

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Arquitectura

Tesis

**Uso de módulos triangulares de ladrillo para la  
construcción de una bóveda catenaria en el campus  
de la Universidad Continental al 2019**

Sergio Enrique Cortez Estrada  
Carol Alison Ramírez Fernández

Para optar el Título Profesional de  
Arquitecto

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a los catedráticos que me guiaron en el desarrollo de mis estudios universitarios y a mi familia por apoyarme a lo largo de este tiempo.

También agradecer al asesor, el Arquitecto Vladimir Simón Montoya Torres por su apoyo en el desarrollo de la tesis.

Carol A. Ramírez Fernández

Agradecer a mis padres por el apoyo que recibí para culminar mis estudios universitarios, y a todas las personas involucradas para poder desarrollar la tesis en especial al Arquitecto Vladimir Simón Montoya Torres.

Sergio E. Cortez Estrada

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios y a mi familia

Carol A. Ramírez Fernández

Este trabajo de investigación está dedicado a mi familia por el apoyo y comprensión, y a Dios por brindarme salud.

Sergio E. Cortez Estrada

# INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA .....	II
INDICE .....	III
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	V
LISTA DE FIGURAS .....	VI
LISTA DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPITULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1    PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA: .....	1
1.1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	1
1.1.2    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2    OBJ ETIVOS: .....	2
1.3    JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.4    HIPOTESIS Y DESCRIPCION DE VARIABLES .....	3
1.4.1    HIPÓTESIS GENERAL .....	3
1.4.2    HIPÓTESIS ESPECÍFICOS .....	3
1.4.3    DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	4
1.4.4    OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	4
CAPÍTULO II .....	5
MARCO TEORICO.....	5
2.1    ANTECEDENTES DEL PROBLEMA: .....	5
2.1.1    ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	5
2.1.2    ANTECEDENTES NACIONALES.....	58
2.2    BASES TEORICAS: .....	61
2.2.1    CARACTERISTICAS DEL LADRILLO .....	61
2.2.2    LADRILLO COMUN DE CAMPAÑA .....	62
2.2.3    LADRILLO PASTELERO .....	64

2.2.4	SISTEMA ESTRUCTURAL DE UNA BÓVEDA.....	68
2.2.5	ELEMENTOS DE BOVEDA .....	69
2.2.6	TIPOLOGIA DE BOVEDAS.....	73
2.2.7	CIMBRA PARA BÓVEDAS.....	81
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:.....	82
CAPÍTULO III .....		87
3.1	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	87
3.1.1	Tipo de Investigación .....	87
3.1.2	Nivel de Investigación Exploratorio .....	88
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	89
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	90
3.3.1	Población.....	90
3.3.2	Muestra.....	90
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	90
CAPÍTULO IV .....		93
RESULTADOS Y DISCUSION.....		93
4.1	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	93
4.1.1	Análisis de los tipos de bóvedas predimensionados con módulos triangulares.....	93
4.1.2	Etapas de desarrollo para la fabricación del prototipo bóveda catenaria .....	99
4.1.3	Diseño de arco catenario .....	102
4.2	ANALISIS DE LA BÓVEDA CATENARIA .....	117
4.2.1	ANALISIS FORMAL.....	117
4.2.2	ANALISIS DE MATERIALIDAD.....	118
4.2.3	ANALISIS ESTRUCTURAL.....	119
4.2.4	ANALISIS CONSTRUCTIVO .....	121
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	125
4.3.1	HIPOTESIS GENERAL .....	125
4.3.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS .....	126
CONCLUSIONES.....		131
RECOMENDACIONES.....		133
BIBLIOGRAFÍA.....		134
ANEXOS.....		137

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Primer paso para la elaboración de modulo triangular .....	100
Fotografía 2: Unión de vértices de los ladrillos pastelero .....	101
<i>Fotografía 3: Prototipo final del módulo triangular.....</i>	<i>101</i>
Fotografía 4: Módulos triangulares .....	101
Fotografía 5: Curva catenaria .....	102
Fotografía 6: Trazado de coordenadas de curva catenaria.....	103
Fotografía 7: Plano cartesiano de curva catenaria .....	103
Fotografía 8: Trazado de cimiento .....	104
Fotografía 9: Excavación de cimiento.....	104
Fotografía 10: Cimiento .....	105
Fotografía 11: Distribución de fierros de 8mm .....	105
Fotografía 12: Trazado de curva catenario en tablonces .....	106
Fotografía 13: Unión de tablonces para el encofrado de la bóveda catenaria.....	106
<i>Fotografía 14: Molde terminado .....</i>	<i>106</i>
Fotografía 15: Moldes elevados en el terreno .....	107
Fotografía 16: Medición de listones para la elaboración del encofrado.....	108
Fotografía 17: Entablado del encofrado .....	108
Fotografía 18: Entablado del encofrado .....	109
Fotografía 19: Finalización del entablado del encofrado .....	109
Fotografía 20: Encofrado para la bóveda catenaria .....	110
Fotografía 21: Trazado para la ubicación de módulos triangulares .....	110
Fotografía 22: Trazado de modulo triangular .....	111
Fotografía 23: Ubicación de módulos triangulares .....	111
Fotografía 24: Empalme de varillas de fierro de 8mm.....	112
Fotografía 25: Asentado de módulos triangulares .....	112
Fotografía 26: Vista lateral del proceso constructivo de bóveda catenaria .....	113
Fotografía 27: Culminación del asentado de la bóveda catenaria.....	113
Fotografía 28: Desencofrado de bóveda catenaria.....	114
Fotografía 29: Desentablado del encofrado.....	114
Fotografía 30: Vista de bóveda catenaria sin encofrado.....	115
Fotografía 31: Vista interior de bóveda catenaria .....	115
Fotografía 32: Vista interior de bóveda catenaria con el acabado final.....	116
Fotografía 33: Bóveda Catenaria Final.....	117
Fotografía 34: Rendimiento de asentado del primer día.....	122
Fotografía 35: Rendimiento de asentado del segundo día .....	122
Fotografía 36: Rendimiento de asentado del segundo día.....	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Catenaria.....	5
Figura 2: Vista exterior de rice house .....	9
Figura 3: Proceso constructivo de arcos catenarios de madera cubiertos de arpillera .....	9
Figura 4: Vista de una vivienda con cobertura de bóveda.....	12
Figura 5: Vista frontal del prototipo de cobertura .....	13
Figura 6: Vista interior de una vivienda con cubierta de ladrillo.....	15
Figura 7: Vista frontal de una cubierta de ladrillo.....	15
Figura 8: Elaboración de la bóveda cilíndrica.....	21
Figura 9: Vista superior de la bóveda esférica .....	21
Figura 10: Vista de la bóveda por arista.....	22
Figura 11: Análisis estructural bóveda interior .....	29
Figura 12: Proceso constructivo .....	29
Figura 13: Bóveda interior .....	30
Figura 14: Proceso constructivo de módulos triangulares .....	31
Figura 15: Proceso constructivo de la bóveda exterior .....	32
Figura 16: Vista frontal de bóveda exterior .....	32
Figura 17: Análisis estructural de la bóveda exterior.....	32
Figura 18: Muro interior de ladrillo "CASA ABU Y FONT" .....	34
Figura 19: Proceso constructivo de bóvedas catenarias .....	36
Figura 20: Proceso constructivo de bóveda catenaria .....	37
Figura 21: Prototipo de viviendas de bóvedas catenarias .....	37
Figura 22: Vista interior "PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION" .....	38
Figura 23: Vista exterior en 3D" PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION" .....	39
Figura 24: Módulos triangulares de "PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION" .....	40
Figura 25: Vista exterior de "PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN" .....	40
Figura 26: Vista exterior del "ARCO DE CTESIFONE" .....	41
Figura 27: Vista exterior del "COLEGIO DE LAS TERESIANAS" .....	42
Figura 28: Vista interior del "COLEGIO DE LAS TERESIANAS" .....	43
Figura 29: Maqueta colgante elaborada por Gaudí .....	44
Figura 30: Vista interior de "COLEGIO DE LAS TERESIANAS" .....	44
Figura 31: Vista Interior de la "CASA MILÁ" .....	45
Figura 32: Vista exterior del "ARCO CATENARIO GATEWAY" .....	46
Figura 33: Vista fontal de la bóveda catenaria "DAW OFFICE" .....	47
Figura 34: Cimbra de la bóveda catenaria "DAW OFFICE" .....	47
Figura 35: Vista fontal del proyecto "CATENARIUS" .....	48
Figura 36: Vista lateral del proyecto "CATENARIUS" .....	49
Figura 37: Vista interior del "JARDÍN DE INVIERNO DE SHEFFIELD" .....	50
Figura 38: Vista interior del "MERCADO CENTRAL DE REIMS" .....	51
Figura 39: Vista exterior del "MERCADO CENTRAL DE REIMS" .....	51
Figura 40: Boceta de prototipo de vivienda casas con bóveda catenaria .....	52
Figura 41: Boceta de planta de prototipo de vivienda casas con bóveda catenaria .....	53

Figura 42: Vista Frontal del edificio Berliner Bogen.....	55
Figura 43: Vista de la elaboración de un prototipo de bóveda catenaria de ladrillo.....	56
Figura 44: Vista final del prototipo de bóveda catenaria de ladrillo.....	56
Figura 45: Capas de la bóveda de Crossway Home.....	57
Figura 46: Vista Frontal de Crossway Home.....	58
Figura 47: Fachada Principal del Proyecto del Puesto de salud Niño Yucay.....	60
Figura 48: Modulo de prototipo con sistema constructivo Amares.....	61
Figura 49: Ladrillo pastelero marca Pirámide.....	65
Figura 50: Ladrillo pastelero marca Lark.....	66
Figura 51: Ladrillo pastelero marca Diamante.....	67
Figura 52: Espacios que genera una bóveda.....	68
Figura 53:Partes de una bóveda.....	69
Figura 54: Línea de clave horizontal.....	70
Figura 55: Línea de clave ascendente.....	71
Figura 56: Línea de clave descendente.....	71
Figura 57: Línea de clave curvada quebrada.....	72
Figura 58: Línea de curvada quebrada peraltada.....	72
Figura 59: Bóveda reticulada.....	73
Figura 60: Bóveda en abanico.....	73
Figura 61: Bóveda esférica rebajada o bohemia.....	74
Figura 62: Bóveda lobulada.....	74
Figura 63: Bóveda tabicada.....	76
Figura 64: Bóveda por arista sobre el coro de la capilla de Tlajomulco en Jalisco.....	76
Figura 65: Bóveda apainelada.....	77
Figura 66: Bóveda baída.....	77
Figura 67: Bóveda de cañón.....	78
Figura 68: Bóveda de crucería nervada.....	78
Figura 69: Bóveda de crucería simple.....	79
Figura 70: Bóveda cupuliforme.....	79
Figura 71: Bóveda de la catedral de Sevilla.....	80
Figura 72: Bóveda falsa.....	80
Figura 73: Cimbra para bóvedas.....	81
Figura 74: Distribución de fuerzan de la bóveda catenaria.....	119

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Detalles de la bóveda de suelo estabilizada .....	14
Tabla 2: Sistema de bóvedas sin cimbra .....	17
Tabla 3: Etapa del proceso del sistema de bóvedas sin cimbra .....	20
Tabla 4: Fotografías del SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO ARMADO .....	24
Tabla 5: Fotografías de puesta en obra del SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO ARMADO .....	24
Tabla 6: Fotografías del prototipo para vivienda con el SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO ARMADO .....	25
Tabla 7: Fotografías de las viviendas con el SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO .....	25
Tabla 8: Fabricación y ejemplos de componentes montados para módulos de cerámica armada .....	27
Tabla 9: Características del ladrillo pastelero marca Pirámide .....	65
Tabla 10: Características del ladrillo pastelero marca Lark .....	66
Tabla 11: Características del ladrillo pastelero marca Diamante .....	67
Tabla 12: Análisis de bóveda de cañón con módulos triangulares .....	93
Tabla 13: Análisis de bóveda de crucería con módulos triangulares .....	95
Tabla 14: Análisis de bóveda vaída con módulos triangulares .....	96
Tabla 15: Análisis de bóveda de cañón apuntado con módulos triangulares .....	97
Tabla 16: Análisis de bóveda de catenaria con módulos triangulares .....	98
Tabla 17: Proceso constructivo de arco catenario .....	103
Tabla 18: Elaboración del cimiento .....	104
Tabla 19: Elaboración de la cimbra .....	106
Tabla 20: En tablado .....	110
Tabla 21: Plantillado de módulos triangulares .....	111
Tabla 22: Asentado de módulos triangulares y culminación de la bóveda .....	113
Tabla 23: Descimbrado de la bóveda catenaria .....	115
Tabla 24: Acabados finales .....	116
Tabla 25: Métrado de Bóveda Catenaria .....	118
Tabla 26: Comparación de una losa con módulos triangulares con una losa convencional .....	120
Tabla 27: Mano de obra y tiempo de construcción .....	123
Tabla 28: Comparación de asentado de ladrillo en una bóveda catenaria con una losa plana convencional .....	124
Tabla 29: Cuadro de costos .....	125
Tabla 30: Comparación entre bóvedas catenaria con módulos triangulares y bóveda Catenarius .....	126
Tabla 31: Comparación entre ladrillo King Kong 18 huecos con ladrillo pastelero .....	127
Tabla 32: Comparación entre bóvedas catenaria con módulos triangulares y bóveda Catenarius .....	128
Tabla 33: Comparación de las medidas del mortero en la bóveda catenaria .....	129
Tabla 34: Tabla de viguetas .....	130

## RESUMEN

La evolución del proceso constructivo en la arquitectura permitió que se pueda pasar desde los pórticos ortogonales hasta la más compleja variedad de arcos, bóvedas y cúpulas, la arquitectura nos presenta esto a través de la historia, como una lección de adaptación, creatividad y tenacidad en el proceso constructivo, en nuestra investigación planteamos re interpretar el proceso constructivo a partir del uso de una unidad de albañilería diferente, un elemento modular compuesto , que se adapte a las necesidades constructivas de pórticos, muros, vigas, losas y de los más complejos la posibilidad de construir una bóvedas catenaria .

Nos planteamos este nivel de complejidad constructiva porque consideramos que nuestro elemento modular es versátil y adaptable a muchos componentes constructivos, esta decisión está respaldada por varios ensayos constructivos que nos permitieron afinar y mejorar la idea de poder usar un módulo triangular como unidad de albañilería adaptable a las necesidades formales de los elementos que podemos construir a partir del módulo seleccionado.

Nuestro módulo se compone de tres elementos cerámicos (ladrillo pastelero) unidos internamente por un alambre de construcción que permite que se puedan unir en contacto por sus vértices y mediante un mortero de concreto se pueda estabilizar la unión de estos tres ladrillos, permitiendo la conformación de un módulo triangular , a partir de esta nueva unidad de albañilería se puede configurar diferentes posibilidades estructurales, como es el caso de muros , losas y para nuestro casos una bóveda, la cual fue construida con el uso de un encofrado de superficie integral para el soporte del proceso constructiva, cada módulo está unido por medio de un mortero de concreto y según sea pertinente se usó varillas de fierro corrugado para mejorar la estabilidad de la bóveda propuesta.

Nuestra investigación busca como propósito demostrar que el módulo triangular de ladrillo pastelero al cual denominamos TRIANGULBRICK nos permita construir diferentes tipos de elementos estructurales de cerramiento o de envolvente según sea la necesidad de los elementos constructivos propuesto.

**Palabras clave:** Bóveda catenaria, Módulos triangulares, albañilería no convencional

## ABSTRACT

The evolution of the construction process in architecture allowed us to go from orthogonal porticoes to the most complex variety of arches, vaults and domes, architecture presents this to us through history, as a lesson in adaptation, creativity and tenacity in the construction process, in our research we propose to re-interpret the construction process from the use of a different masonry unit, a composite modular element, which adapts to the construction needs of porticoes, walls, beams, slabs and the most complex possibility of building a catenary vault.

We consider this level of construction complexity because we consider that our modular element is versatile and adaptable to many construction components, this decision is supported by several construction tests that allowed us to refine and improve the idea of being able to use a triangular module as a masonry unit adaptable to the formal needs of the elements that we can build from the selected module.

Our module is composed of three ceramic elements (pastry brick) internally joined by a construction wire that allows them to be joined in contact at their vertices and by means of a concrete mortar the union of these three bricks can be stabilized, allowing the formation of a triangular module, from this new masonry unit different structural possibilities can be configured, such as walls, slabs and in our cases a vault, which was built with the use of an integral surface formwork for the support. From the construction process, each module is joined by means of a concrete mortar and, as appropriate, corrugated iron rods were used to improve the stability of the proposed vault.

Our research aims to demonstrate that the triangular module of pastry brick which we call TRIANGULBRICK allows us to build different types of structural elements of enclosure or envelope according to the need of the proposed construction elements.

Keywords: Catenary vault, Triangular modules, unconventional masonry

# INTRODUCCIÓN

El ladrillo pastelero en el país posee un uso limitado para la construcción de losas convencionales, es por eso que nuestra investigación trata de generar un proceso constructivo no convencional a través del uso de módulos triangulares de ladrillo pastelero adaptándolos a la construcción de una bóveda catenaria, así recuperar el uso de estas estructuras en la arquitectura moderna. La investigación brindara información a constructores y diseñadores para que puedan aportar un valor estético estructural a sus proyectos.

Durante el proceso de la investigación se buscó desde su génesis, el proponer nuevas alternativas constructivas a partir de la experimentación de materiales convencionales y comerciales, que sean de fácil accesibilidad y disposición en cualquier ferretería del territorio nacional, adicionalmente también que su manipulación sea sencilla y rápida , para lo cual también usamos materiales convencionales de acceso rápido como son el alambre numero 16 cemento portland tipo I y arena gruesa como agregado de la mezcla de mortero .

Mediante este sencillo proceso constructivo es que se puede replicar el módulo de albañilería al cual lo denominamos con el nombre de TRIANGULBRICK, esta unidad de albañilería tiene como propósito el poder ser modular en el proceso constructivo de diferentes elementos estructurales como son el caso de muros, losas, vigas y bóvedas, según sea la naturaleza de su uso en la construcción.

En nuestra investigación logramos demostrar que es viable el uso de esta técnica a partir de la pre fabricación de estos módulos triangulares, en pruebas de campo y en más de una construcción a escala real pudimos analizar las posibilidades y limitaciones que presentaban este tipo de construcción, modificamos la configuración inicial en la cual se planteaba un módulo triangular hasta el vértice , en el proceso de experimentación se pudo evidenciar que no favorecía en el proceso constructivo y en la modulación con otros elementos triangulares, por lo cual en el proceso experimental se cambió a un triángulo con vértices trancos para que en la unión de estos mismos se genere un núcleo estructural en forma hexagonal , de esta manera los módulos triangulares tienen un margen de centímetros para alinearse según sea la necesidad estructural o proceso constructivo que se busque edificar .

Con respecto a los costos y rendimientos en obra se pudo evidenciar que a diferencia de un muro macizo o un muro cara vista los índices de uso de material se disminuyen por que los módulos triangulares tienen un vacío interno modular el cual tiene una dimensión menor a 25 cm de directriz con respecto a sus lados o un triángulo equilátero de 30 centímetros de lado lo cual

genera un vacío, en el cual se optimiza el uso de mortero o de ladrillos en comparación a otros procesos constructivos se reducen en una 27% el uso de mortero y de unidades de albañilería convencional, sin perder la capacidad constructiva de un muro de cerramiento o de envolvente y si el muro fuese de cabeza en el sistema tradicional el porcentaje de ahorro de materiales se reduciría a un 34% en general (mortero y ladrillos).

Con respecto al rendimiento de la mano de obra, al ser un proceso constructivo nuevo los rendimientos bajan inicialmente, midiendo el nivel de avance de una jornada diaria en comparación a un sistema convencional como un muro de soga de ladrillo King Kong, pero en la medida que se capacita y familiariza el personal es un sistema muy fácil de aprender y encontrar el orden lógico de su proceso constructivo , por lo cual consideramos que con una capacitación previa podemos lograr una estandarización del rendimiento bajo el uso de nuestra propuesta de modulo triangular , que se pueden usar en muros, losas reticulares, arcos y bóvedas, según sea la necesidad del proyecto arquitectónico

Este documento está estructurado en cinco capítulos que se exponen a continuación:

Capítulo I, es aquel que da a conocer el planteamiento del estudio, el problema de investigación, los objetivos lo que se desea lograr dentro de la investigación y así mismo se da a conocer la justificación del porqué de la investigación.

Capítulo II, este capítulo se basa en la recopilación de sustento teórico esencial para comprender el tema a profundidad y comprender los detalles conceptuales indispensables dentro de la investigación.

Capítulo III, es básicamente la metodología que fue utilizada dentro de la investigación.

Capítulo IV, son los resultados y la discusión que tiene como fin comprobar la vialidad de la investigación expuesta.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:**

#### **1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

La construcción de bóvedas, es una actividad constructiva que en muchos casos se han olvidado o se han dejado de lado en los procesos constructivos contemporáneos, la facilidad de construir losas planas por un encofrado convencional aleja todas las posibilidades de la exploración formal y geométrica en las coberturas, y solo se solucionan con un medio básico y convencional, la realidad de nuestro país en el campo de la innovación constructiva es limitada por que el uso de los ladrillos solo se limitan para el proceso constructivo de muros y losas planas, a este sistema le llamamos convencional por su proceso de construcción el cual es el más usado en todos los estratos constructivos de nuestro territorio.

#### **1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

##### **1.1.2.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál será la influencia del uso de módulos triangulares de ladrillo en la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020?

### **1.1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál será la técnica mediante la cual el uso de ladrillos pasteleros optimiza la construcción de módulos triangulares para la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020
- ¿Cuál será el porcentaje de reducción de peso de una estructura en una bóveda catenaria al usar módulos triangulares en su construcción dentro de la ciudad de Huancayo al 2020?
- ¿Cuál será el porcentaje de optimización del encofrado para la construcción de una bóveda catenaria, al usar módulos triangulares de ladrillo en la ciudad de Huancayo al 2020?
- ¿Cuánto es el porcentaje de aumento del peralte de las viguetas curvas en la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020?

## **1.2 OBJETIVOS:**

### **A. OBJETIVO GENERAL:**

Ante la problemática presentada se plantea el objetivo principal, que es el norte que guiará el trabajo de investigación:

- Describir como el uso módulos triangulares de ladrillo influye en la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

### **B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

También se plantea los siguientes objetivos en base al cruce de indicadores y variables, para orientar la investigación:

- Describir como el uso de ladrillos pasteleros optimiza la construcción de módulos triangulares para la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.
- Describir como el uso de módulos triangulares reduce el peso de una estructura en una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

- Describir de qué manera el uso de módulos triangulares optimiza el área de encofrado para la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.
- Cuantificar en cuanto aumenta el peralte de las viguetas curvas en la construcción de una bóveda catenaria en el campus de la la ciudad de Huancayo al 2020.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La cultura edificatoria en ladrillo es un campo prolífico en la investigación, en muchos países existen antecedentes sobre distintas técnicas en las que los ladrillos pueden ser usados de maneras no convencionales para fines funcionales en el proceso constructivo de distintas alternativas constructivas , por nuestra parte decidimos investigar sobre las tipologías constructivas desarrolladas por el arquitecto paraguayo Solano Benítez que propone formas alternas de usar los ladrillos en la construcción, nuestra investigación pretende experimentar con estas experiencias constructivas con el fin de ponerlas a prueba en la construcción de una bóveda catenaria , en la cual probaremos la hipótesis planteada en busca de ver que tan eficiente es el uso de módulos triangulares.

### **1.4 HIPOTESIS Y DESCRIPCION DE VARIABLES**

Se plantea la siguiente hipótesis a fin de corroborarla en el proceso de aplicación del trabajo de investigación, basada en la información obtenida y estudiada:

#### **1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL**

Los usos de módulos triangulares de ladrillo influyen positivamente en la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

#### **1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS**

- El uso de ladrillos pasteleros optimiza la construcción de módulos triangulares para la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.
- El uso de módulos triangulares reduce el peso de la estructura de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

- El uso de módulos triangulares de ladrillo optimiza el área de encofrado para la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.
- El uso módulos triangulares de ladrillo aumenta el peralte de viguetas curvas en la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

### **1.4.3 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

**VD:** Bóveda catenaria

**VI:** Módulos triangulares de ladrillo pastelero

### **1.4.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES**

#### **1.4.4.1 VARIABLE DEPENDIENTE**

##### **Bóveda catenaria**

Una catenaria es una curva ideal que representa físicamente la curva generada por una cadena, cuerda o cable sin rigidez flexional, suspendida de sus dos extremos y sometida a un campo gravitatorio uniforme. Esta palabra proviene del latín *catēnariŭs* ('propio de la cadena').

#### **1.4.4.2 VARIABLE INDEPENDIENTE**

##### **Módulos triangulares de ladrillo pastelero**

Estructura prefabrica de ladrillos pasteleros unidos con mortero y alambres de amarre para configurar un triángulo equilátero de ladrillos auto portantes.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA:

##### 2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

###### a) LA CATENARIA EN ARQUITECTURA

Según la información obtenida en (2015) explica como la palabra catenaria se utiliza en las matemáticas y en la arquitectura para designar la curva cuyo trazado sigue la forma que adquiere una cuerda perfectamente flexible sujeta por sus dos extremos, donde las tensiones horizontales del cable se compensan y por ello carece de tensiones laterales por lo que la cadena permanece inmóvil sin desplazarse hacia los lados. Las fuerzas que actúan son una fuerza vertical, la de la gravedad, y una tensión tangente a la cadena en cada punto que es la que la mantiene estirada. Esta no se trata de una curva sino una familia de curvas, en la que cada una de ellas viene determinada por las coordenadas de sus extremos y por su longitud.



Figura 1: Catenaria

Fuente: Revista CASIOPEDIA [https://wiki.ead.pucv.cl/Archivo:Catenaria\\_estelle1.jpg](https://wiki.ead.pucv.cl/Archivo:Catenaria_estelle1.jpg)

Esta curva una vez invertida se conoce como arco catenario. El arco catenario es la forma ideal para el arco que se soporta a sí mismo. Cuando está construido de elementos individuales cuyas superficies son perpendiculares a la curva del arco, no existen fuerzas de cizalla significativas en las uniones y el empuje al apoyo se transmite a lo largo de la línea del arco. Además, para arcos catenarios de igual longitud, cuando mayor es la altura, más pequeño es el empuje horizontal en los puntos de arranque, con lo que se pueden obtener grandes alturas con mínimos empujes laterales. Del arco catenario se derivan los arcos funiculares que tienen también óptimas características constructivas y que se pueden obtener con facilidad reproduciendo (invertidos) los efectos de cargas puntuales sobre una curva catenaria. (2015)

Según la historia en la antigüedad, la cultura de Grecia y Roma, diseñaron sus arcos y bóvedas a partir curvaturas menos eficientes derivadas del círculo, más fáciles de construir, pero menos estables. Durante toda la edad media y el renacimiento la catenaria invertida no fue empleada en Europa, aunque se puede considerar al arco gótico como una afortunada aproximación fortuita. El abordaje científico de los arcos se produjo hasta el año 1670 donde Robert Hooke planteó en la Royal Society de Londres el problema de ¿cuál sería la forma ideal de un arco? Y fue él, quien dijo haberlo resuelto dejando un escrito el cual fue leído después de su muerte donde decía lo siguiente: "Igual que cuelga un hilo flexible pero invertido se sostendrá un arco rígido". Fue esta idea de entender el comportamiento de los arcos por analogía con el comportamiento de los cables colgantes es una de las más geniales de la historia de la arquitectura. En el año 1697, Gregory añadió que la forma ideal de un arco sería en efecto la de una catenaria invertida y si el resto de arcos se sostienen es porque hay una catenaria en su interior. (2015)

Este concepto permite calcular arcos utilizando modelos colgantes sencillos y fue aplicado por los ingenieros ingleses del siglo XVIII en la construcción de puentes. (2015)

La estructura que en la arquitectura aprovecha las ventajas mecánicas de la catenaria recibe el nombre de arco catenario y son estos arcos los que no necesitan apoyos laterales para sustentarse. Sin embargo, la cultura occidental, desde Roma, diseñó sus arcos y bóvedas a partir curvaturas menos eficientes

derivadas del círculo, más fáciles de construir, pero menos estables, y durante toda la edad media y el renacimiento la catenaria invertida fue olvidada en Europa pese a que los arcos de medio punto del Románico tendían a abrirse por lo que eran necesarios grandes muros de contención que los sostuvieran para evitar que se agrietaran. Ni siquiera los arquitectos del Gótico consiguieron dar con la forma adecuada de transmitir los esfuerzos laterales y pese a que los arcos ojivales fueron una afortunada aproximación a la forma de la catenaria, aún era necesario el empleo de robustos arbotantes para que absorbieran las fuerzas horizontales y las trasladasen hacia los cimientos. No será hasta finales del siglo XIX con la llegada del Modernismo cuando los arquitectos, entre los que destaca Gaudí comiencen a utilizar los arcos catenarios. (2015)

#### **b) THE RICE HOUSE- DESING BY KEVIN BORLAND (LA CASA DE ARROZ DISEÑADO POR KEVIN BORLAND)**

Según (Cheng, 2016) Rice House, es una vivienda diseñada por el arquitecto Kevin Borland, construida en 1953.

El proyecto se encuentra en la cresta de una colina en Eltham en el noreste de Melbourne, la casa está concebida como un campamento similar a una tienda de campaña que consta de dos estructuras, la primera estructura con cuatro bloques con arcos catenarios los cuales forman los muros exteriores y el techo como una estructura autoportante, el interior cuenta con muros de ladrillo y concreto que también definen una serie de habitaciones interconectadas, donde se encuentran la cocina, la sala, el comedor y el dormitorio principal; estos bloques se encuentran unido a la segunda estructura por medio de una pasarela.

La segunda estructura consta de dos arcos y fue diseñada originalmente como un garaje y un estudio, pero a mediados de la década de 1950 se reformó bajo la supervisión de Kevin Borland como un apartamento independiente para sus dos hijos y en 1973, Borland diseñó la cochera y la extensión del área de la cocina en el lado sur trasero de la estructura principal que simpatiza con el diseño y la ubicación de la casa original. Borland extendió el techo plano que

cubría la lavandería para crear una cochera para tres autos y un par de almacenes necesarios.

y el otro con dos bloques que albergan un apartamento para niños autónomo para Tanya y su hermano Bela, The Rice House es única como estructura formada por catenaria. o arcos autoportantes, que está catalogado como patrimonio de importancia para el estado y con razón es famoso entre la fraternidad arquitectónica de Melbourne.

En el interior de las estructuras eran comparables a cuevas que ocupaban pequeños espacios y volúmenes.

Se construyó mediante un método conocido como sistema ctesiphon, que formaba una serie de arcos catenarios de madera. El sistema de ctesifón implicó la aplicación de capas de cemento unidas con un agente impermeabilizante a los arcos de madera catenaria cubiertos con arpillera.

La belleza de la técnica fue que un solo elemento estructural actuó como techo y paredes.

El sistema utilizó el siguiente procedimiento de 5 pasos:

- La losa de hormigón armado se vierte con armaduras expuestas a ciertos intervalos para asegurar la superestructura a la losa
- El encofrado que contiene refuerzo se coloca en la parte superior de las paredes interiores y luego se vierte para formar las vigas de hormigón
- Los marcos de madera arqueados se fijan a la losa utilizando el refuerzo expuesto
- La arpillera se tira entonces firmemente sobre los marcos de madera
- Luego se vierten tres capas de concreto sobre la parte superior



*Figura 2: Vista exterior de rice house*

*Fuente: Pagina web Docomomo Australia, <https://docomomoaustralia.com.au/dcmm/rice-house/>*



*Figura 3: Proceso constructivo de arcos catenarios de madera cubiertos de arpillera*

*Fuente: Pagina web ARCHITECTUREAU, <https://architectureau.com/articles/kevin-borlands-spectacular-first-house-for-sale/>*

### **c) CUPULAS Y BOVEDAS PARA VIVIR Y TRABAJAR, CREAR Y MEDITAR**

Según (Gernot, 2017) en su libro explica que es muy probable que, si nos piden que pensemos en una cúpula, nos vengan a la mente la de los grandes templos del primer Renacimiento Italiano: la de la basílica de San Pedro, en el Vaticano, Obra de Miguel Ángel; O la de la iglesia de Santa María de la Flores, En Florencia, diseñada por Filippo Brunelleschi.

La iglesia de Santa Sofía, en Estambul, cuya cúpula actual mide 31.87 metros de diámetros del 562, para los musulmanes, el primer referente sería la cúpula de la Roca de Jerusalén, construida por el Califa Abdal-Malik entre los años 687 y 691.

Pero las bóvedas que realiza Gernot Minke no son ni de hielo ni de piedra, Gernot trabaja con tierra en forma de adobe y empacadas con bolas de paja, y en sus experimentos ha usado materiales diversos como el Bambú y materiales de desechos, como los neumáticos.

- **CÚPULAS Y BÓVEDAS PARA VIVIR Y TRABAJAR, PARA HACER MÚSICA Y MEDITAR**

En 1984 se edificó una cúpula sin encofrado con elementos de barro extrusado. Los elementos se colocaron en estado plástico como anillos en la cúpula y se fueron apisonando con un martillo de madera.

La cúpula se cubrió con una membrana sintética y se cubrió con neumáticos relleno de tierra y panes de pasto, los neumáticos impiden el deslizamiento de la tierra y actúan como contenedores de agua para la vegetación.

Para desarrollar cúpulas sin encofrado se utilizó una guía rotatoria que permite erigir cúpulas con adobes o ladrillos sin grandes habilidades manuales. Esta curva fue desarrollada con un programa de computación que garantiza que los esfuerzos del peso propio de la cúpula se trasladen exactamente por el centro de la pared de la cúpula como esfuerzos de comprensión, en modo que en la cúpula no ocurran esfuerzos de anillo en tracción. Este sistema permite construir cúpulas con un ancho de pared de 30 cm hasta 13 metros de luz. (Gernot, 2017)

- **CÚPULAS Y BÓVEDAS, PROYECTADAS POR EL AUTOR Y LOS COLABORADORES DE SU OFICINA DESDE 1990 HASTA 2010**

**Cúpulas y bóvedas de barro:** Las cúpulas se construyeron con la guía rotaria y las bóvedas con la técnica Nubia sin encofrados. El edificio se impermeabilizó con un revoque a base de barro con estiércol de vaca y con una pintura hidrófoba. La climatización de la edificación se realizó mediante un sistema de túnel soterrado que permite aspirar el aire fresco a una

distancia de 40 metros y una profundidad de 3.50 metros, gracias a esto fue posible reducir en un 60% los costos energéticos en comparación con un sistema común de aire acondicionado.

**En 1993** se edificó un prototipo de vivienda de bajo costo con dos bóvedas de adobe interceptadas. La bóveda se construyó con la técnica Nubia son encofrado, para evitar el calentamiento de los espacios interiores la cubierta de cubrió con lajas de piedra clara solapadas, de modo que genera un espacio intermedio ventilado y el aire caliente sube y se disipa por las rendijas. El mismo concepto fue usado en la fachada creando un sistema de pared doble con una capa ventilada para evitar el calentamiento de la capa interior por el sol de la mañana.

**En el 2005.** Se construyó una vivienda de Bad Schusenried que muestra tres bóvedas de cañón y una cúpula central de ladrillos crudos. Mediante las cúpulas de barro, la cubierta verde, el acristalamiento específico y un revoque especial se logró proteger la edificación en un 99.6% de radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia.

Para zonas de sísmicas se desarrolló un sistema de bóvedas de barro pretensadas. Se colocaron bandas de acero sobre las bóvedas que muestran una sección de catenaria invertida y se tensan con una llave de torsión. (Gernot, 2017)

#### **d) UN TECHO PARA VIVIR, TECNOLOGIAS PARA VIVIENDAS DE PRODUCCION SOCIAL EN AMERICA LATINA**

- **IDENTIFICACION DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO BOVEDA DE SUELO ESTABILIZADA, CUBA**

Según (Gállico, 2005) Este tipo de cubierta puede construirse con ladrillos de suelo estabilizado o barro cocido y se conforma sobre un molde de madera en forma de bóveda que tiene el ancho del local (pueden tener luces de 2.400 mm a 4.200 mm, con incrementos de 300 mm y 1.200 mm de fondo.

Los ladrillos se colocan a mata junta y el espacio entre ellos se rellena con mortero 1: 2: 3

Una vez concluido el primer arco de un metro de ancho, se retiran las cuñas bajando el molde un metro. Este se desplaza un metro y se eleva para realizar el próximo arco, y así sucesivamente hasta el final.

Esta variante de cubierta no lleva acero en la bóveda, pero sí en los cerramientos, que son de hormigón armado fundido in situ con resistencia de 150 Kg/cm<sup>2</sup> y refuerzos de acero de 100 mm y estribos de 4 mm espaciados a 150 mm. Los transversales son reforzados longitudinalmente con aceros de 12 mm, los cuales sirven de tensores que impiden que las bóvedas se abran y se colocan aproximadamente cada 3.00 m.

El buen funcionamiento de la bóveda dependerá del arco de la bóveda donde se recomienda la catenaria, que evita las tracciones, y también de los tensores y la cimentación donde puede producirse asentamientos diferenciales de importancia.

Sobre las bóvedas se coloca un mortero de 10 mm de espesor y luego se emplea una variante de impermeabilización, en este caso asfáltica, protegida con gravilla.

La directriz de cada bóveda responde a la solución geométrica adoptada en el proyecto y ha de cumplirse rigurosamente en la ejecución de las obras, atendiendo a la ubicación o al replanteo de cada punto de coordenadas Z-Y como se plantea en las especificaciones técnicas.



*Figura 4: Vista de una vivienda con cobertura de bóveda*

*Fuente: Libro: Un techo para vivir*





Tabla 1: Detalles de la bóveda de suelo estabilizada

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

- **SISTEMA DE BÓVEDAS SIN CIMBRA, CUBIERTAS LIGERAS DE BAJO COSTO EN CUALQUIER TIPO DE EDIFICIOS, CUBIERTAS DE LADRILLO RECARGADO**
  - **RASGOS TECNOLÓGICOS**

Según (Gálligo, 2005) este trabajo nos muestra una técnica económica, milenaria y moderna, para construir cubiertas con ladrillo sin cimbra ni otro tipo de refuerzo. Estas características hacen que sea una forma de cubrir el espacio a un bajo costo. Podemos utilizarlo para entresijos y para cubrir azoteas.

Para que su costo sea bajo depende de tres condiciones. La primera es que no requiere ningún tipo de cimbra o soporte mientras se construye. Además, se utilizan materiales de bajo costo, como el ladrillo común de barro o ladrillo de tierra cemento o adobe, y en tercer lugar la mano de obra tiene mucha eficacia, pues solo necesitan dos horas/hombre para construir un metro cuadrado de cubierta, la bóveda se deja terminada en su parte inferior, tampoco requiere esfuerzos de hierro o concreto adicionales.

- **RASGOS SOCIOPRODUCTIVOS**

Según (Gálligo, 2005) esta técnica puede ser aprendida por cualquier persona con ganas de aprender, estudiantes, auto constructores o profesionales.

La finalidad de este tipo de talleres es difundir y enseñar esta técnica a personas que tengan la necesidad de cubrir un espacio a bajo costo, esta técnica permite construir cubiertas de hasta 10 metros, especialmente las habitacionales, destinados a viviendas unitarias o colectivas, los espacios educativos y asistenciales, entre otros.



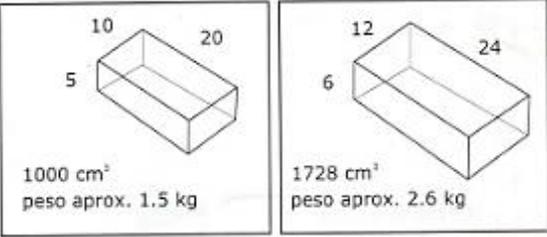
*Figura 6: Vista interior de una vivienda con cubierta de ladrillo*

*Fuente: Libro: Un techo para vivir*



*Figura 7: Vista frontal de una cubierta de ladrillo*

*Fuente: Libro: Un techo para vivir*

<b>SISTEMA DE BÓVEDAS SIN CIMBRA</b>	
<b>TÉCNICA CONSTRUCTIVA</b>	<b>MATERIALES</b>
<p>El ladrillo con que se construye puede ser de barro hecho a mano o también de adobe o un ladrillo de tierra cemento, en proporción de 1 a 10. Sus dimensiones son de 5x10x20 cm siendo los 10 cm de espesor de la bóveda. También se puede usar el ladrillo común de pared entero o por la mitad que en nuestro país mide 6x12x24 cm. En este caso el mortero será de 12 de espesor. El mortero utilizado es una mezcla terciada (cal, cemento y arena) semejante a la de los muros su proporción es de 1:1:6</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Libro: Un techo para vivir</i></p>
<p>El ladrillo tiene una resistencia a la compresión que varía de 50 a 60 Kg/cm<sup>2</sup> y al esfuerzo cortante la resistencia es de apenas de 3Kg/cm<sup>2</sup>. Su peso aproximado es de kilo y medio. Esta baja resistencia permite que pueda ser cortado manualmente con la cuchara del albañil. Un artesano diestro con su ayudante realiza de 7 a 8 m<sup>2</sup> por día. Es decir, cada metro cuadrado de bóveda tiene 2 horas/hombre de trabajo.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Libro: Un techo para vivir</i></p>
<b>PROCESO</b>	
<p>El mortero con padacería sirve de apoyo a la mitad del 5x10x10 recargado con una inclinación de 45 grados en la esquina del espacio a cubrir</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Libro: Un techo para vivir</i></p>

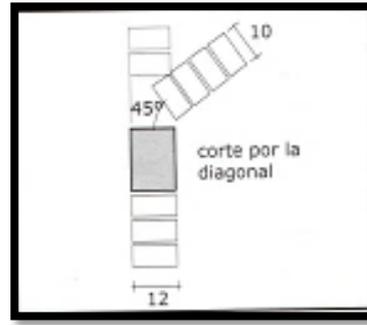
<p>Se inicia la primera hilada curva recargada. Se pueden poner solamente 2 ladrillo en vez de un arco, la hilada resultante queda en forma de "A". El maestro prefiere colocar 3 pedazos de ladrillo para que se forme el primer arco poligonal</p>	 <p>Fuente: Libro: <i>Un techo para vivir</i></p>
<p>El tercer pedazo es menor que los dos laterales y se coloca a manera de clave de un arco. Las hiladas construidas estructuralmente no son arcos, aunque desde el punto de vista geométrico lo parezcan. El avance de cada hilada es más o menos de 8cm, que se trazan sobre los dados de recargue.</p>	 <p>Fuente: Libro: <i>Un techo para vivir</i></p>
<p>La segunda hilada y todas las demás se inician con pieza completa en los extremos, y el ajuste se coloca más o menos en la parte central. Hay que recordar que los arcos son contruidos con cuerdas de 20 cm, es decir son secciones poligonales. Como cada hilada es de dimensión diferente, las piezas de ajuste cambian de tamaño.</p>	 <p>Fuente: Libro: <i>Un techo para vivir</i></p>

Tabla 2: Sistema de bóvedas sin cimbra

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

**ETAPAS DEL PROCESO**

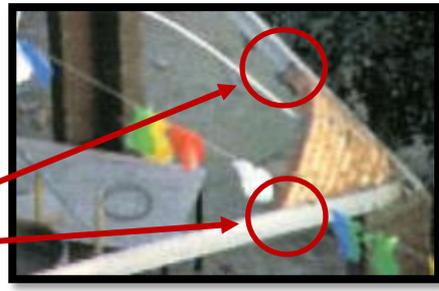
En claros menores de 4,50 metros, basta una cadena perimetral de concreto de 15x15 cm armada con 4 varillas de 3/8". El espesor de la bóveda es de 10 cm. La proporción del espesor en relación con una luz de 10 m es de 1:100. Se pueden cubrir espacios de mayor dimensión engrosando los arranques de la bóveda para resistir los esfuerzos cortantes verticales



Fuente: Libro: Un techo para vivir

Inicio de la construcción de una bóveda por una esquina. El perímetro está hecho con viguetas de concreto sobre una base cuadrada con dos puntos altos y puntos bajos.

- Viguetas de concreto



Fuente: Libro: Un techo para vivir

De las experiencias surgidas durante la enseñanza de la técnica, se han realizado bóvedas experimentales construidas por albañiles y alumnos. Para lograr las curvaturas proyectadas, del 20 al 25% de la luz, se utilizan como guías varillas o tubos de PVC de 3/8", entre las diagonales del espacio.

- Tubos de PVC de 3/8"



Fuente: Libro: Un techo para vivir

Una vez iniciado el arranque en una de las esquinas, 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



Fuente: Libro: Un techo para vivir

El paso siguiente es entrelazar los mantos. Se pueden hacer distintos dibujos en dichos enlaces a manera de un tejido. Las hiladas se van realizando en forma concreta hasta llegar al punto más alto de la bóveda



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

En el cierre de la cubierta la posición de los ladrillos es prácticamente vertical, dado que la inclinación a partir del arranque se va incrementando. El recargue se inicia normalmente a 45 grados y culmina en 90 grados. En esta última fase la adherencia motivada por la sequedad del ladrillo hace se mantenga estable



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

Otra forma de iniciar la construcción en una planta cuadrada o rectangular recargando sobre los lados menores. Esto se realiza cuando la relación entre lados es igual o menor a 1,5. Al llegar ambos mantos a la parte central, el espacio a cubrir queda en forma de una "ojo"



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

Las posibilidades geométricas de las cubiertas son inagotables. Se pueden construir sobre directrices rectas inclinadas o sobre curvas o sobre combinaciones de curvas y rectas. En la foto vemos una cubierta sobre un perímetro de 8x8 m, en forma de "L" y con una diferencia de 3.50 m entre los puntos altos y los puntos bajos de la bóveda



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

Tabla 3: Etapa del proceso del sistema de bóvedas sin cimbra

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

- **IDENTIFICACION DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO BÓVEDA CATALANA, ESPAÑA**

Según (Gálido, 2005) este tipo de bóvedas se componen de una vuelta de rasilla con yeso y de una o varillas de rasilla con mortero de cemento con sarilla de plano en todas.

Trabaja de manera tradicional es decir a compresión en la mayor parte de su masa, por lo que no solo resuelve el problema en una situación de escasez de hierro, sino que proporciona cierta seguridad ante la posibilidad de que el cemento de escasa resistencia.

- **Bóvedas**

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.

- **Bóveda cilíndrica.**

La más fácil y rápida de ejecución

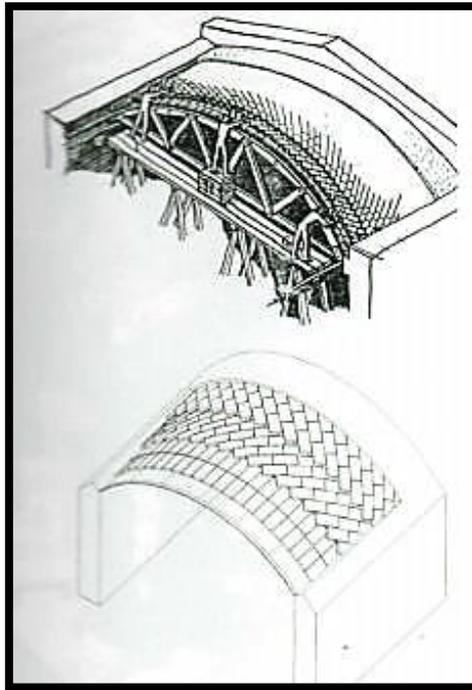


Figura 8: Elaboración de la bóveda cilíndrica

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

- **Bóveda esférica**

Se hace con una cuerda (C) atada al centro de la esfera, con una señal fija para marcar el radio (A). La primera vuelta de rasilla, con yeso, se hace siguiendo una espiral tosca. Después se dobla con aparejo paralelo a uno de los lados o a las diagonales, cruzando los aparejos de las distintas vueltas.

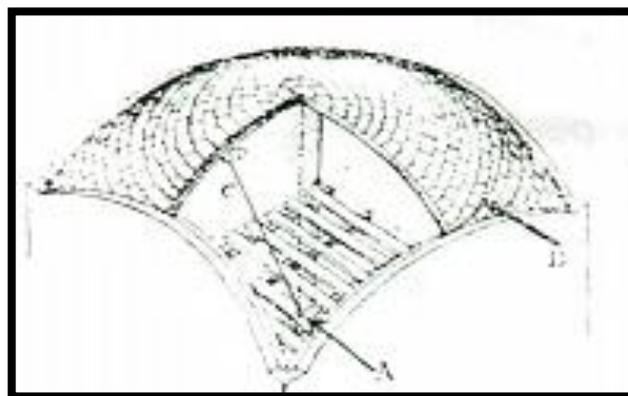
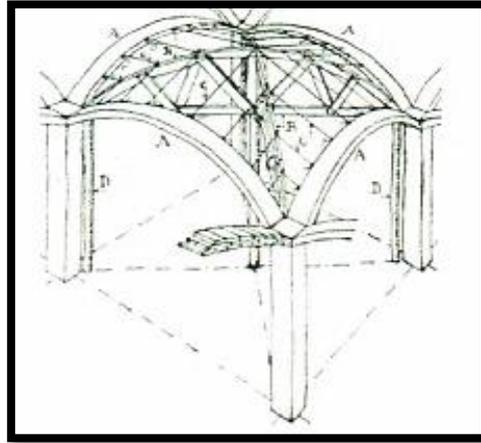


Figura 9: Vista superior de la bóveda esférica

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

- **Bóveda por arista.**

El modo más sencillo de realizarla consiste en colocar dos plantillas que dibujen la intersección en las diagonales, y marcar con rozas los cuatro arcos de cabeza en los muros que forman la caja. Cada trozo de cilindro se hace entonces guiándose por cuerdas tirantes horizontales, tendidas entre clavos y las plantillas diagonales, cuyas cuerdas señalan generatrices.



*Figura 10: Vista de la bóveda por arista*

*Fuente: Libro: Un techo para vivir*

- **IDENTIFICACION DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO BÓVEDA DE LADRILLO ARMADO, MEXICO**

**Descripción general**

Según (Gálligo, 2005) esta ficha se redacta a partir de los datos de la tecnología publicados en el libro vivienda y ciudades posibles, cuyo autor es Carlos Gonzales Lobo y de los datos de aplicación en el Barrio de los Maestros en La Dalia (Matagalpa, Nicaragua)

Sobre el proyecto de autoconstrucción de 37 viviendas, andenes y casa comunal.

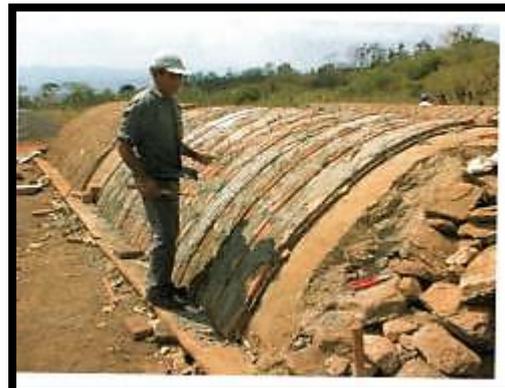
La técnica consiste en realizar semi bóvedas de tabique de barro y de cemento arena, o cerámico, combinados con acero de refuerzo. Véase la descripción de procedimiento con los distintos pasos del trabajo a realizar en el libro indicado.

**FABRICACIÓN DE LA BÓVEDA**



**MOLDE**

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*



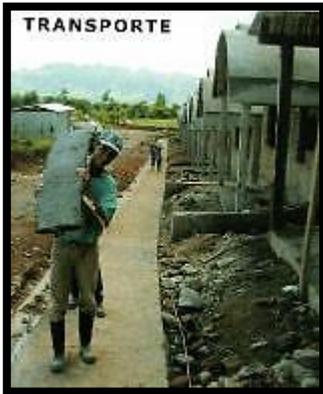
**HORMIGONADO DE LAS PIEZAS**

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

**TRANSPORTE**



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

Tabla 4: Fotografías del SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO ARMADO

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

<b>PUESTA EN OBRA</b>		
		
<b>Enmallado de bóveda</b>	<b>Vaciado de viga</b>	<b>Vaciado de viga</b>

Tabla 5: Fotografías de puesta en obra del SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO ARMADO

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*



Tabla 6: Fotografías del prototipo para vivienda con el SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO ARMADO

Fuente: Libro: Un techo para vivir



Tabla 7: Fotografías de las viviendas con el SISTEMA CONSTRUCTIVO, BÓVEDA DE LADRILLO

Fuente: Libro: Un techo para vivir

- **MÓDULO DE CERÁMICA ARMADA PARA CONSTITUIR TECHOS DE SEMI BÓVEDA CÁSCARA**

Según (Gállico, 2005)

<b>FABRICACIÓN Y EJEMPLOS DE COMPONENTES MONTADOS</b>	
<p>1. Semi bóveda de cerámica armada (50 kg de peso aproximadamente), constituida por hileras de ladrillos, con armadura longitudinal y transversal de hierro <math>\phi</math> 4.4 mm. Las juntas entre ladrillos se llenan con mortero de cemento y arena.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Libro: Un techo para vivir</i></p>
<p>2. Los componentes de este tipo de techo se aparean posicionándose mediante ataduras entre si 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 style="text-align: center;"><i>Fuente: Libro: Un techo para vivir</i></p>
<p>3. Vista inferior de la bóveda con el tensor metálico de los extremos</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Libro: Un techo para vivir</i></p>

4. y 5. Techo mixto, constituido por 2 mini bóvedas y módulos autoportantes de cerámica armada tipo V, armados sobre vigas metálicas extremas del tipo doble "T"



Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

Tabla 8: Fabricación y ejemplos de componentes montados para módulos de cerámica armada

Fuente: Libro: *Un techo para vivir*

#### **e) DECIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA (Un enfoque en los detalles constructivos realizados con los materiales tradicionales)**

En la investigación realizada por el arquitecto Katja Kostrenic en la Universidad Politécnica de Catalunya desarrolla un análisis a diversas obras en latinoamericanas, pero para el desarrollo de nuestra investigación se tomarán en cuenta los siguientes 3 proyectos realizados por el arquitecto Solano Benítez.

#### **BÓVEDAS DE LADRILLOS/TELETON**

- **BOVEDA INTERIOR (Análisis estructural y constructivo)**

Según (Kostrenic, 2015) en su investigación describe como este proyecto fue realizado por el arquitecto Solano Benítez de la mano de un grupo de profesionales como ingenieros y arquitectos, la bóveda estaba ubicada en el interior del Centro de Rehabilitación Teletón de Paraguay.

La intervención inicio con la demolición de compartimientos en la zona de la clínica y gimnasio de centro de rehabilitación, una de las características del trabajo de Solano Benítez es potenciar las posibilidades constructivas del ladrillo como fue en este caso donde se utilizaron retazos de ladrillos

recolectados de una demolición. El proyecto como cualquier otro paso por una etapa de experimentación (cálculo y construcción) que permitió definir la estructura y proceso constructivo adecuado, fue así que se aplica una construcción modular donde se utilizaron 13 módulos los cuales permitieron observar las fallas en los primeros módulos y solucionarlas con refuerzos de cerámica armada.

Cada módulo se construyó usando encofrados de madera los cuales eran versátiles y movibles en su armado, estos fueron los que definieron la forma de la bóveda catenaria y sobre esta se colocaron las cruces estructurales y el encofrado ligero. El sistema de bóveda cerámica de 4cm como lo mencionamos antes se basa en un arco catenario.

Su construcción se realizó partiendo de un cálculo estructural donde la distribución de cargas se distribuye uniformemente a lo largo del arco que se corta en un lado debido al diseño arquitectónico. También mencionan en la investigación que debido a la ausencia de sismos hicieron posible la aplicación de elementos constantes y de mínimo espesor.

Durante el desarrollo de la bóveda debido a la complejidad de los cálculos estructurales el Arquitecto Solano toma la decisión de iniciar la construcción e ir experimentando construyendo por elementos. La construcción empezaba con el armado del encofrado ligero de la madera, la construcción del primer arco fue la prueba para calcular cuanta armadura es necesaria para que el arco funcionara, el arco cuenta con refuerzos que son cruces estructurales de ladrillo y varilla de acero, para evitar un posible pandeo.

El primer resultado de la bóveda fue insatisfactorio e insuficiente ya que el refuerzo no fue suficiente, fue así que las cruces de refuerzo fueron variando en base a la experimentación y los resultados que obtenían, en la segunda prueba la cruz de refuerzo se posiciono 30 cm más arriba que la primera, y con doble capa de ladrillos, pero esta prueba tampoco resulto satisfactoria ya que por su peso fisuraba la bóveda. Finalmente, la tercera funciono con un refuerzo menor.

Las primeras pruebas no fueron destruidas ya que al estar entre las bóvedas que resultaron eficientes, estando juntas trabajaban perfectamente y no estaban expuestas a posibles caídas.

También mencionan que en las cruces estructurales el ladrillo fue colocado de manera perpendicular a la curva de la bóveda, evitando así los esfuerzos cortantes y empujes laterales.



*Figura 11: Análisis estructural bóveda interior*

*Fuente: Informe de tesis “DECIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA”*



*Figura 12: Proceso constructivo*

*Fuente: Informe de tesis “DECIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA”*



Figura 13: Bóveda interior

Fuente: Informe de tesis "DECIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA"

- **BÓVEDA EXTERIOR DE INGRESO; TELETON**

Según (Kostrenic, 2015) La bóveda exterior fue diseñada como cerramiento a la vía pública, utilizada como acceso público en el Centro de Rehabilitación infantil donde generaron un espacio semitransparente de acceso público donde utilizaron módulos de los cuales los elementos que los componen producen vacíos que permiten la filtración de luz proyectando así sombras en la zona de circulación.

El proyecto consta de dos bóvedas catenarias donde se aplicaron hormigón armado en cual otorga la función estructural y el ladrillo cerámico que brinda aligeramiento a la estructura, además que aporta riqueza estética, versatilidad de colocación y tiene un bajo costo y fue aplicado en todo el proyecto como material predominante.

Para su construcción necesitaban una figura geométrica indeformable es por eso que utilizaron módulos triangulares huecos con una dimensión de 70 x 70cm que fueron pre fabricados con ladrillo que trabajan a su máxima capacidad de compresión para recibir y distribuir las cargas a través de sus vértices, los otros materiales para su fabricación son el mortero y encofrados de madera, estos módulos deben contar con un tiempo prudencial de fraguado previo a su puesta en obra

La bóveda se construye a partir de un encofrado móvil de madera, sobre este se elaboran las cruces estructurales cerámicas y después se ubican

los módulos triangulares, la unión de todos los elementos cerámicos y refuerzos de acero se realizan con mortero de cemento.

Con respecto al sistema estructural nos dice que la mejor manera de distribución de cargas es a través de una curva catenaria donde se incorporaron cruces estructurales o refuerzos estructurales, estos estaban ubicados cada quinta línea diagonal paralela y también se utilizaron refuerzos horizontales ya que con el tiempo la bóveda empezó a vibrar y fueron necesarios para la estabilización de las bóvedas, además las bóvedas contaban con un enmallado estructural de acero que se oculta en la uniones de los módulos, este enmallado absorbe los esfuerzos de tracción. Estos dos elementos los de refuerzo y el enmallado se encargan de dar la forma y repartir las cargas de manera uniforme en toda la estructura.

Con respecto a la cimentación de la estructura las bóvedas catenarias están amarradas a una viga de arranque, desarrolla la curvatura y se asienta sobre la viga de cimentación. (Kostrenic, 2015)

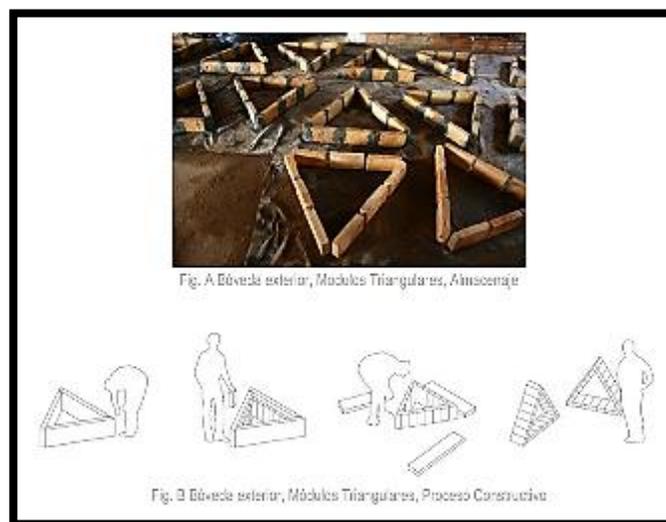


Figura 14: Proceso constructivo de módulos triangulares

Fuente: Tesis "DECIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA"



Figura 15: Proceso constructivo de la bóveda exterior

Fuente: Tesis “DESCIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA”

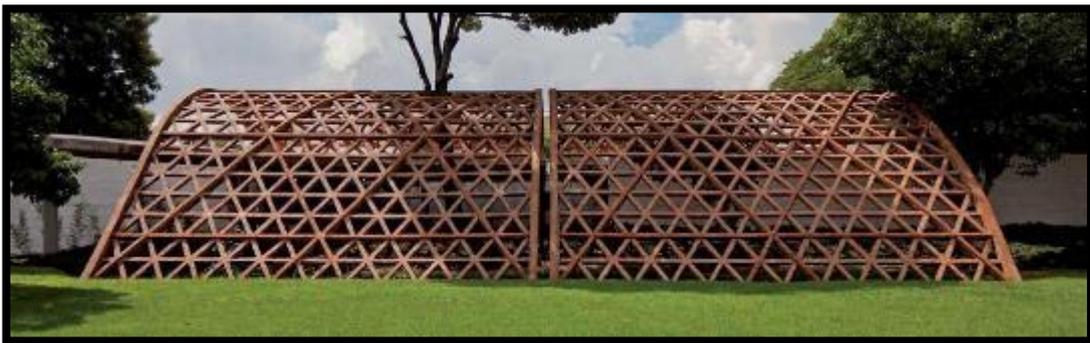


Figura 16: Vista frontal de bóveda exterior

Fuente: Tesis “DESCIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA”

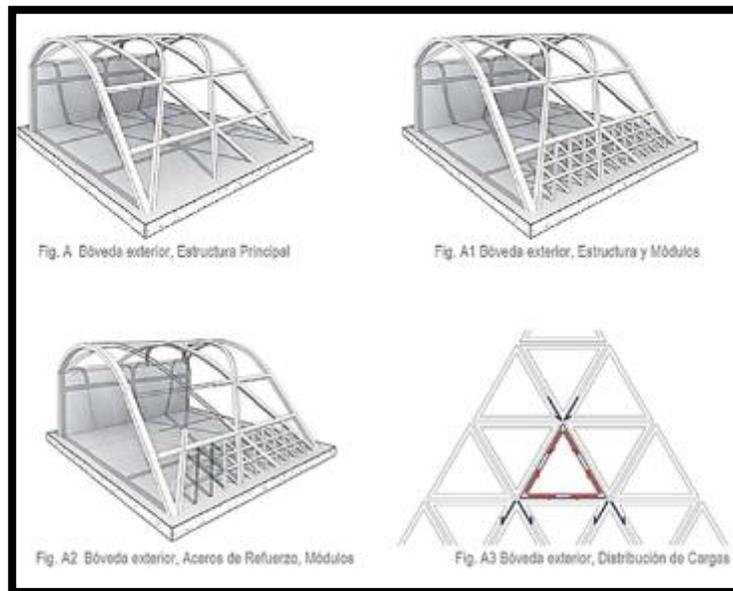


Figura 17: Análisis estructural de la bóveda exterior

Fuente: Tesis “DESCIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA”

- **CONSTRUCCION INNOVADORA EXPERIMENTAL (CASA ABU Y FONT)**

Según (Kostrenic, 2015) el material predominante es el ladrillo aplicado en tabiques divisorios, losas cerámicas y módulos prefabricados. El funcionamiento del ladrillo depende de las uniones realizadas con mortero de cemento y la estabilidad estructural se realiza con varillas de acero. Otros materiales usados son la madera y el vidrio reciclado.

En la arquitectura de Solano Benítez todos los materiales que intervienen cumplen una función estructural, ya sea principal o de apoyo combinado con el hormigón, acero y ladrillo.

La estructura de la casa ABU Y FONT está realizada usando dos vigas vierendheel de 14 metros sosteniendo la casa que descarga su peso en cuatro pilares que descansan en los linderos, la separación entre una y otra es de 11 metros y viguetas longitudinales traspasan en los voladizos para equilibrar sus tensiones internas. Todo el conjunto adiciona una losa cerámica armada que suplementa la tensión en la parte inferior del conjunto.

Los dos pisos cuentan con dormitorios y estares íntimos. La planta superior su corte es de 5 metros de alto para mantener el aire preservado.

El ladrillo cerámico es el material más usado en todas sus capacidades, como suelo, paredes y cielo, alisadas de cemento dan recubrimiento a todo lo que se pretende en contacto con el agua, los vidrios y metales en conjunto suman estructuras para sostener puertas de gran tamaño, y los cerramientos de madera contra-chapada, hermetizan sus espacios.



Figura 18: Muro interior de ladrillo "CASA ABU Y FONT"

Fuente: Tesis "DESCIFRANDO LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL LATINOAMERICANA"

#### **f) CATENARY VAULTS: A SOLUTION TO LOW-COST HOUSING IN SOUTH AFRICA (BÓVEDAS CATENARIA: UNA SOLUCION A BAJO COSTO PARA VIVIENDAS EN SUDAFRICA)**

Según (Bulovic, 2014) en su investigación nos muestra como estableció un método eficaz de diseño y análisis de bóvedas de catenaria y así plantear un prototipo de vivienda de bajo costo y eficaz teniendo en cuenta los criterios de diseño importantes para la construcción del prototipo de vivienda de bajo costo, duradero y estructuralmente eficiente como respuesta al problema del acceso a la vivienda en Sudáfrica.

El prototipo de este proyecto considera varios criterios para asegurar su eficiencia el cual es crear un hogar confortable de dos niveles, utilizando un pequeño presupuesto. La orientación de la estructura en relación con el sol, para maximizar la energía solar ayuda a garantizar la reducción de los gastos de electricidad. Además, la distribución interna de la vivienda es fundamental. El diseño interno de la casa a partir de una forma cuadrada para el piso inferior permite maximizar la privacidad generando espacios cómodos y obteniendo luz natural. En la parte superior de la casa se diseñan dos bóvedas catenarias como la estructura del techo, además están permiten utilizar el área superior como un segundo dormitorio. El doble volumen de las bóvedas reduce la sensación de confinamiento, también se incorporaron para minimizar los costos

y maximizan la eficiencia térmica y estructuralmente desde el punto de vista arquitectónicos es la más eficiente.

Con relación a las consideraciones de diseño para las bóvedas catenarias en el informe desarrollaron el método de Equilibrio Segmental, el cual permite el diseño preciso de bóvedas catenarias bajo carga vertical y lateral. El Método de Equilibrio Segmental es particularmente efectivo al permitir al usuario diseñar la forma más natural bajo la carga estipulada, con un método eficiente y preciso, utiliza ecuaciones de equilibrio simples para definir una curva natural y eficiente que respalde los diversos criterios de carga. Para simplificar el análisis y garantizar que la estructura esté correctamente diseñada, se investigó una carga de temperatura en el peor de los casos en la que todo el lado estaba sujeto al cambio de temperatura. Sin embargo, esta carga no supera la capacidad de resistencia del material y, por tanto, el diseño es adecuado. La estructura exhibe una debilidad considerable y posiblemente falla, bajo cargas puntuales. Está claro que las cáscaras bidimensionales, como las bóvedas y los arcos, no son eficaces para soportar cargas puntuales. Por lo tanto, se recomienda que todo el mantenimiento se realice desde un sistema de soporte adyacente que proporcione acceso al techo.

Dentro de los materiales utilizados en la construcción del prototipo tenemos los bloques de ladrillo que demostraron ser muy eficaces, estos bloques tienen excelentes propiedades térmicas, son fáciles de producir, requieren un aporte mínimo de energía en la fase de producción y son rentables. Los bloques de enclavamiento de pila seca facilitaron considerablemente el proceso de construcción y Ahorro de costes en forma de mortero y rapidez de construcción. Los bloques de ladrillos partidores fueron muy efectivos en la construcción de las bóvedas, ya que proporcionaron el espesor requerido que los ladrillos ordinarios no tendrían. Los bloques exhiben excelentes resistencias a la compresión y a la tracción y pueden competir con los ladrillos de cemento ordinarios. Durante el proceso de análisis, las fuerzas ejercidas por el muro y la bóveda no superan la capacidad de los materiales de construcción. Los bloques son satisfactorios en la construcción de edificios de dos pisos, así como en formas curvas. Sin embargo, debido a las fuerzas de tracción creadas por la carga de temperatura, se recomienda aplicar una capa impermeable o

pintura sobre la superficie de las bóvedas para minimizar las diferencias de temperatura en el material.

Con respecto a los métodos de construcción en esta investigación se utilizó el método de un encofrado deslizante. Este método demostró ser muy eficaz para garantizar que la forma fuera precisa. Sin embargo, ralentizó el proceso de construcción. Debido al tamaño de las bóvedas, fue difícil determinar la cantidad de arriostramiento requerido para soportar adecuadamente los ladrillos sin sobrecargar el encofrado. Estas formas son pesadas y, por lo tanto, difíciles de mover, pero si no están lo suficientemente reforzadas, se producen deformaciones que provocan imprecisiones y retrasos en la construcción. El encofrado también debe dejarse caer después de un fraguado inicial en el mortero para permitir que la bóveda se contraiga naturalmente a medida que se seca el mortero. Esto evita que la estructura se sujete para que no se formen grietas. Aunque la construcción fue precisa, se deben investigar diferentes métodos de encofrado. También se pueden considerar métodos de construcción más costosos si este proyecto se aplica a escala masiva, ya que el reciclaje del encofrado podría hacerlo más eficiente y rentable.



*Figura 19: Proceso constructivo de bóvedas catenarias*

*Fuente: Catenary Vaults, A solutions to low-cost housing in south Africa*



*Figura 20: Proceso constructivo de bóveda catenaria*

*Fuente: Catenary Vaults, A solutions to low-cost housing in south Africa*



*Figura 21: Prototipo de viviendas de bóvedas catenarias*

*Fuente: Catenary Vaults, A solutions to low-cost housing in south Africa*

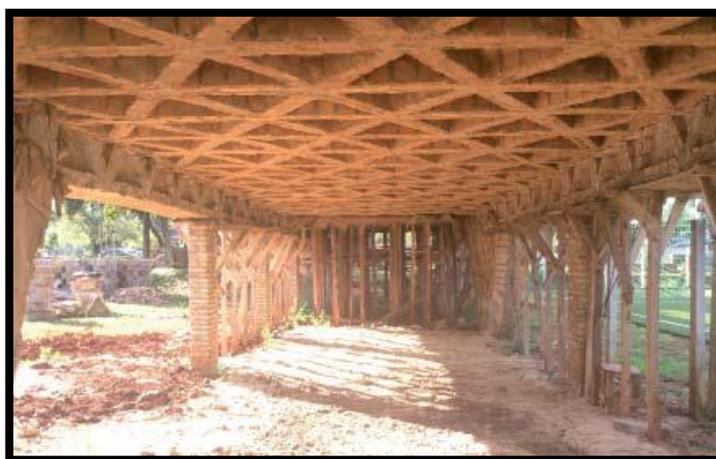
## **g) ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN LA OBRA DEL GABINETE DE ARQUITECTURA Y PROPUESTA ARQUITECTONICA**

### **PROYECTO PASARELA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION**

Según (Serrano Ramírez, y otros, 2015) explica cómo en el proyecto de la pasarela de la universidad Asunción se llega a plantear una construcción austera donde se resuelven los aspectos estructurales y constructivos de manera técnica basadas en la experimentación.

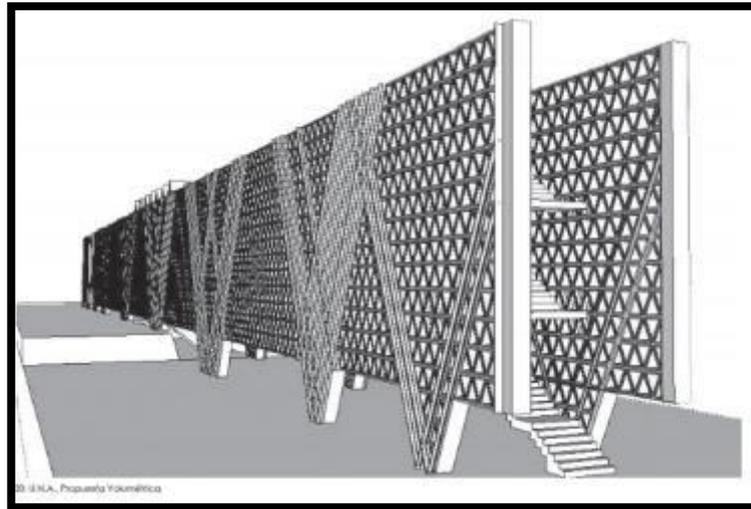
El proyecto es la construcción de una pasarela estar y circulación que comunica a la Facultad de Arquitectura con el área de parqueadero en el campus de la Universidad Nacional de Asunción. Tiene una longitud de 60 metros y se desarrolla en dos etapas, en la primera etapa se construye 30 metros de su longitud.

Se plantea una planta libre y dos plantas altas donde el material estructural predominante es el hierro y el hormigón, usando módulos cerámicos de ladrillo como recubrimiento y alivianamiento.



*Figura 22: Vista interior "PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION"*

*Fuente: Tesis "ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN LA OBRA DEL GABINETE DE ARQUITECTURA Y PROPUESTA ARQUITECTONICA"*



*Figura 23: Vista exterior en 3D" PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION"*

*Fuente: Tesis "ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN LA OBRA DEL GABINETE DE ARQUITECTURA Y PROPUESTA ARQUITECTONICA"*

Según (Serrano Ramírez, y otros, 2015) la elección del ladrillo fue por su bajo costo y versatilidad de aplicación. La unión de elementos se realiza con mortero y varillas de hierro. Usando el hormigón armado como sistema estructural principal. Se construye módulos prefabricado triangulares de ladrillo donde todas las uniones se realizan con alambre de acero galvanizado dando forma a la estructura, siendo el hierro y el hormigón los encargados de la transmisión de cargas y estabilidad estructural.

Los puntos de apoyo encargados de la trasmisión de esfuerzos hacia la cimentación tienen forma triangular y presentan orificios como parte de estética y para reducir el volumen del material. Están compuestas por una malla estructural de hierro que trabaja a tracción y distribuyen uniformemente los esfuerzos, la comprensión queda absorbida por el hormigón.



*Figura 24: Módulos triangulares de "PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION"*

*Fuente: Tesis "ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN LA OBRA DEL GABINETE DE ARQUITECTURA Y PROPUESTA ARQUITECTONICA"*

Según (Serrano Ramírez, y otros, 2015) se aplica gran cantidad de hierro en los puntos de apoyo porque depende de los amarres de fachada y la estabilidad estructural del proyecto.

Cada nivel posee vigas de hormigón longitudinales que absorben las cargas de las losas, todos los esfuerzos de tracción y compresión son absorbidos por el hierro y hormigón.



*Figura 25: Vista exterior de "PASARELA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN"*

*Fuente: Tesis "ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN LA OBRA DEL GABINETE DE ARQUITECTURA Y PROPUESTA ARQUITECTONICA"*

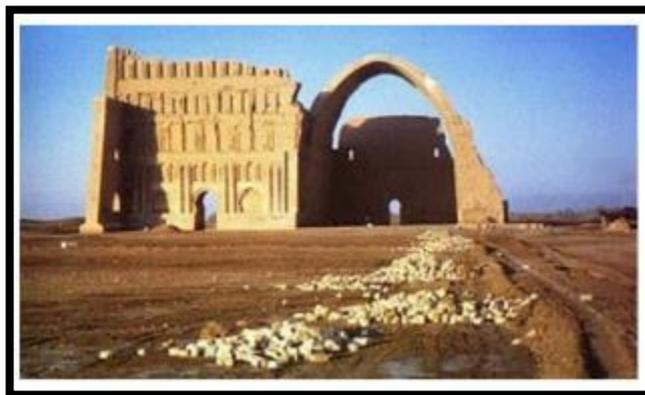
El proceso constructivo se realiza de la siguiente manera:

- Se arma un encofrado de madera forrado con plástico.
- Se coloca un lecho de arena que favorece el fraguado de las uniones de mortero.
- Se ubican los módulos cerámicos como alivianamiento.
- Se disponen varillas de hierro en las uniones de los módulos prefabricados amarrándolos entre sí y anclando la losa a las vigas de borde.
- Se vierte mortero líquido en las juntas de uniones de elementos cerámicos.
- Se tiende una malla de retracción de fraguado.
- Se funde una capa de hormigón con acabado pulido.

## **h) PROYECTOS EN LOS QUE DESARROLLARON LA BÓVEDA CATENARIA**

### **• LA CATENARIA EN LA ANTIGUEDAD**

Según (2015) existen pruebas de que en la antigüedad se construyeron intuitivamente arcos estables con la curvatura de catenarias invertidas como fue en el Gran Arco de Ctesifonte o Taq-i Kisra que es el único resto visible de la antigua ciudad de Ctesifonte en la antigua Persia, actual Irak. Este arco, construido sin cimbras, era parte del palacio imperial de la ciudad, que por las inundaciones que se produjeron en la zona durante el siglo pasado derribaron una de las alas de la construcción existente pero no el gran arco que sigue en pie en la actualidad.



*Figura 26: Vista exterior del "ARCO DE CTESIFONE"*

*Fuente: PDF La Catenaria en Arquitectura,  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/43144372/la-catenaria-en-arquitectura>*

- **ANTONIO GAUDI**

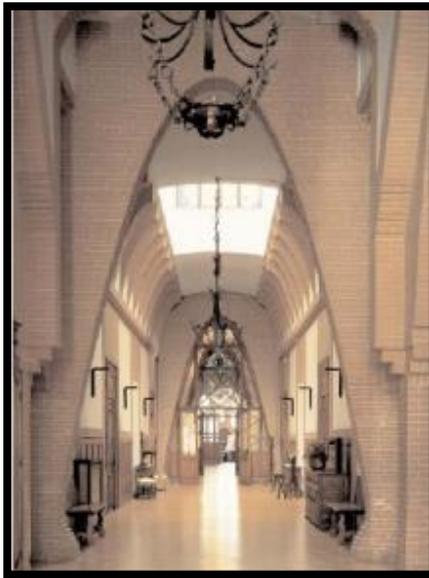
Según (2015) uno de los grandes arquitectos de todos los tiempos y probablemente el primero en investigar y hacer uso en su obra de la catenaria y lo que diferencia a este arquitecto del resto de arquitectos de su época, es que siempre había una preocupación por el diseño de una estructura estable y no solo la comprobación de estabilidad. Este interés en construir estructuras estables, apoyado en una buena formación técnica, es él que le lleva a buscar soluciones originales centradas en la raíz de los problemas y por ello, desde sus primeras obras, al empleo de arcos catenarios y parabólicos que eran muy poco habituales en la arquitectura occidental.



*Figura 27: Vista exterior del "COLEGIO DE LAS TERESIANAS"*

*Fuente: <https://www.dosde.com/discover/colegio-teresiano/>*

Aunque por otro lado es evidente que su interés por este tipo de arcos no era estrictamente estructural, sino que los encontraba estéticamente agradable, ya que los ubicaba en lugares donde otras soluciones estructurales eran posibles, es así que Gaudí llega a manifestar que "... la catenaria da elegancia y espiritualidad al arco, elegancia y espiritualidad a la construcción entera", "evita contrafuertes, el edificio pesa menos, gana una gracia vaporosa y se aguanta sin raros accesorios ortopédicos" (2015).



*Figura 28: Vista interior del "COLEGIO DE LAS TERESIANAS"*

*Fuente: PDF La Catenaria en Arquitectura, <https://www.yumpu.com/es/document/read/43144372/la-catenaria-en-arquitectura>*

Además, la catenaria es una forma natural sencilla de realizar para los trabajadores, tenemos referencias de que el proceso de construcción era simple, se fijaba la luz del arco, se clavaban dos clavos en la parte alta, se suspendía una cadena hasta que el punto más bajo coincidía con la flecha deseada del arco, se dibujaba la forma resultante utilizando la cadena como guía y el carpintero construía la cercha correspondiente que luego se invertía y se procedía a su ubicación. Gaudí utilizó en algunos casos para el diseño de estructuras una maqueta colgante por ejemplo en el proyecto de la iglesia de la colonia Güell creó una reproducción a escala 1:10 para las medidas de longitud (1:10.000 para el peso) en la que mediante hilos que simulaban columnas y arcos y pesos suspendidos para reproducir las cargas conseguía determinar las formas adecuadas. Fotografiaban la maqueta y después invertían la fotografía y así conocer la forma ideal de los arcos (2015).



Figura 29: Maqueta colgante elaborada por Gaudí

Fuente: Pagina web, [https://wiki.ead.pucv.cl/ESTUDIO\\_Y\\_APLICACION\\_DE\\_LA\\_CATENARIA](https://wiki.ead.pucv.cl/ESTUDIO_Y_APLICACION_DE_LA_CATENARIA)

En su trabajo con los arcos parabólicos y catenarios, Gaudí utiliza frecuentemente algunos recursos como la simetrización y sobre todo la repetición de los arcos para conseguir efectos especiales. Lo podemos ver por ejemplo en los largos pasadizos del colegio de las Teresianas cubiertos por arcos catenarios.



Figura 30: Vista interior de “COLEGIO DE LAS TERESIANAS”

Fuente: PDF La Catenaria en Arquitectura, <https://www.yumpu.com/es/document/read/43144372/la-catenaria-en-arquitectura>

En la casa Milá la estructura del ático la constituye una sucesión de 270 arcos de ladrillo de diferentes alturas que adoptan forma de catenaria y sirven para distribuir el peso de la ondulante azotea. Los arcos crean recorridos serpenteantes alrededor de los volúmenes cilíndricos de las escaleras. La buhardilla fue Construida con la técnica catalana, que tienen un grosor de un solo ladrillo y que se unen entre sí por hileras de también un único ladrillo.



Figura 31: Vista Interior de la "CASA MILÁ"

Fuente: [http://www.pasarlascanutas.com/gaudi/casa\\_mila\\_la\\_pedrera/casa\\_mila\\_51.JPG](http://www.pasarlascanutas.com/gaudi/casa_mila_la_pedrera/casa_mila_51.JPG)

- **THE GATEWAY ARCH**

Según (2015) probablemente la obra arquitectónica con forma de arco catenario más famosa del siglo XX es el Gateway Arch de San Luis (Missouri), obra del arquitecto norteamericano de origen finlandés Eero Saarinen que constituye una maravilla de la construcción, sobre todo si tenemos en cuenta que fue proyectado en una época anterior a las computadoras.

El diseño de Saarinen fue el ganador de un concurso nacional desarrollado en 1947 para la creación de un monumento en recuerdo de los pioneros de la conquista del Oeste americano. Saarinen quiso crear un monumento perfecto en memoria del espíritu de aquellos hombres y por ello eligió una forma perfecta, la curva catenaria. El arco es el monumento nacional más alto de los Estados Unidos de América con una altura de 192 metros, distancia que es exactamente igual, pese a que la ilusión óptica sugiera lo contrario, a la separación existente

entre los dos puntos de arranque a nivel del suelo y tuvo un costo de 15 millones de dólares, fue construido entre 1963 y 1965.



*Figura 32: Vista exterior del "ARCO CATENARIO GATEWAY"*

*Fuente: PDF La Catenaria en Arquitectura, <https://www.yumpu.com/es/document/read/43144372/la-catenaria-en-arquitectura>*

- **LA ARQUITECTURA SOLIDARIA DE FOUNDATION. BÓVEDAS CATALANAS EN SENEGAL**

Según (Blasi, 2018) es un proyecto realizado por el estudio de arquitectura Daw Office con su proyecto Foundation Hagamos Escuela, un proyecto para construir escuelas en las zonas económicas desfavorables del continente africano, esta escuela está ubicada en Senegal, cerca del río Casamance, y la conforman un grupo ordenado de espacios de encuentro y otras de juego.

La bóveda catenaria estructura los espacios de 6m de ancho, 6m de alto y 10 de profundidad y se construyeron a base de bloques de tierra comprimida elaboradas en la propia obra, utilizando materia prima local.

Con respecto a la construcción unieron métodos de construcción tradicionales y técnicas constructivas, las bóvedas se construyeron por

partes con ayuda de una cimbra de madera estructura para sostener los bloques de tierra. Actuales logran una arquitectura eficiente y sostenible.



Figura 33: Vista frontal de la bóveda catenaria "DAW OFFICE"

Fuente: Artículo de página Experimenta <https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/la-arquitectura-solidaria-de-foundawtion-bovedas-catalanas-en-senegal/>



Figura 34: Cimbra de la bóveda catenaria "DAW OFFICE"

Fuente: Artículo de página Experimenta <https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/la-arquitectura-solidaria-de-foundawtion-bovedas-catalanas-en-senegal/>

- **CATENARIUS UNA BÓVEDA EXPERIMENTAL DE LADRILLOS DE SUELO CEMENTO ARMADO**

Según (Franco, 2014) es un proyecto elaborado por el arquitecto Ramiro Meyer que cubre un área de 90 m<sup>2</sup> y lo describen como un pabellón simple, eficiente y sin uso predeterminado, construido para la población rural

abandonada de Paraguay. La forma nace de redibujar los experimentos con la bóveda catenaria del arquitecto Félix Candela.

La catenaria inicial de hormigón armado, como una cáscara de mampostería armada, construida modularmente en etapas, con un encofrado más corto y reutilizable, metálico y móvil. La generatriz catenaria de la bóveda se define con 4 arcos de varillas trianguladas, paralelos 1 m entre sí, amarrados con correas y apoyados sobre ruedas, permitiendo subir, bajar y mover fácilmente el molde. Un sistema de andamiaje de tablas se armó por fuera de la bóveda. Bolsas plastilleras (costales) se apoyan sobre las vigas y sobre éstas se colocan ladrillos con cuñas, que con su peso propio tensan las bolsas y adoptan naturalmente una curva catenaria.

En todas las juntas se colocan varillas de 4,2 mm y mezcla. Finalmente se carga una capa de 3 cm de hormigón armado con tejido de gallinero, fraguando en una cáscara de doble curvatura catenaria de suelo cemento armado.

Estructuralmente, la bóveda es sometida en su sección transversal a esfuerzos de compresión pura que permiten reducir su sección al mínimo constructivamente posible. La ondulación longitudinal, aumenta el momento de inercia en cada nervio, asegurando los apoyos y otorgando rigidez general a toda la bóveda.



*Figura 35: Vista frontal del proyecto "CATENARIUS"*

Fuente: ArchDaily, <https://www.archdaily.pe/pe/757486/catenarius-una-boveda-experimental-de-ladrillos-de-suelo-cemento-armado>



Figura 36: Vista lateral del proyecto "CATENARIUS"

Fuente: ArchDaily, <https://www.archdaily.pe/pe/757486/catenarius-una-boveda-experimental-de-ladrillos-de-suelo-cemento-armado>

- **JARDÍN DE INVIERNO DE SHEFFIELD**

Según (Sanchez, 2006) el Winter Garden es la segunda fase del proyecto Heart of the City, después de Millennium Galleries. realizado por los arquitectos Pringle Richards Sharratt y es considerado como un ejemplo sobresaliente para las ciudades, para hacer que los espacios urbanos sean atractivos y accesible como sea posible.

El edificio fue concebido como una galería cubierta como parte integral de la red de calles peatonales que, junto con las Millennium Galleries, forman un centro peatonal que une los barrios cívicos, artísticos y universitarios de Sheffield, una ruta cultural hasta el centro de la ciudad.

La estructura del Winter Garden está conformada por una serie de arcos y vigas maestras que, además de constituir la armadura de la edificación, cumplen con una función de distribución espacial, pues al estar elaborados en láminas de madera encolada de Alerce, tienen la capacidad de sostener su propio peso, curvarse según la geometría deseada y brindar estabilidad a la estructura lo que favorece la eliminación de las columnas de refuerzo, maximizando así el área interna del edificio.

En este sentido, los arquitectos explican que las láminas encoladas fueron sometidas a un proceso de transformación para obtener las propiedades, longitudes y formas requeridas por el diseño. De hecho, el arco más grande de

madera laminada encolada en el Winter Garden mide 24 metros de longitud y 900 mm de grosor.

Cabe destacar que los arcos y las vigas están soportados por pequeñas piezas en acero inoxidable, cuyo resultado es una estructura muy eficiente pues, al facilitar los rangos de altura y la disposición de las áreas, permite un efecto visual de mayor volumen, sin restar protagonismo a la madera como material primario; hecho que convierte al Winter Garden en uno de los desarrollos más avanzados en cuanto a ingeniería de construcción aplicada a la transformación de la madera.



Figura 37: Vista interior del “JARDÍN DE INVIERNO DE SHEFFIELD”

Fuente: <https://www.alamy.es/foto-interior-de-jardines-de-invierno-el-centro-de-la-ciudad-de-sheffield-sheffield-south-yorkshire-inglaterra-gb-uk-eu-europa-48558997.html>

- **EL MERCADO CENTRAL DE REIMS**

Según (Granados, 2018) es una obra del arquitecto Emile Maigrot junto con el ingeniero Eugene Freyssinet. La estructura responde a una curva catenaria, la cual rige estructuralmente en la cascara del mercado de 7cm de espesor.

El material que se empleó fue el hormigón armado, utilizando encofrados y cimbras desmontables diseñadas para utilizar la mínima cantidad de madera posible

La bóveda tiene una altura de 20m y una luz de 38m, que se mantiene estable con las otras bóvedas perpendiculares que tiene el proyecto logrando cubrir juntas un área de 49m por 109m.

Posee bandas de vidrios de una tonalidad amarilla, colorean la luz que los atraviesa, generando un ambiente cálido y agradable, restando dureza al interior de hormigón omnipresente.

El mercado cierra en 1988 y el estado de abandono posterior llevó a la Municipalidad a proponer su demolición. La movilización ciudadana consiguió la declaración del mercado como monumento histórico en el año 1990

Tras un largo proceso, el proyecto de rehabilitación, dirigido por François Chatillon, fue aprobado en 2007, iniciándose las obras de recuperación y febrero de 2010. La reinauguración se produjo el 14 de septiembre de 2012. (Granados, 2018)



*Figura 38: Vista interior del "MERCADO CENTRAL DE REIMS"*

Fuente: <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/hormigon-al-limite-el-mercado-central-de-reims-de-maigrot-y-freyssinet>



*Figura 39: Vista exterior del "MERCADO CENTRAL DE REIMS"*

Fuente: <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/hormigon-al-limite-el-mercado-central-de-reims-de-maigrot-y-freyssinet>

## i) SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Según (Minke, 2015) Las temperaturas extremas estacionales habituales en Paraguay están entre 10 y 40 ° Celsius. Gernot Minke lo compensa con medidas constructivas y crea un clima de vida confortable utilizando paredes sólidas y techos abovedados, construidos de bloques de tierra hechos a mano, que brindan un excelente aislamiento térmico y acústico, techos cubiertos de tierra y vegetación, que brindan aislamiento térmico adicional, elementos de sombra. frente a las ventanas y un sofisticado sistema de ventilación cruzada.

Gernot Minke visita regularmente el sitio, supervisando el proceso constructivo, brindando y elaborando diseños nuevos para optimizar los detalles de sombra, techos verdes y recetas para los bloques de tierra y revoque de tierra estabilizada.

- **HOUSES WITH CATENARY VAULTS (CASAS CON BOVEDA DE CATENARIA)**

Las **bóvedas de tierra** se construyen en forma de cadena invertida, una catenaria, sobre bases de 90 cm de altura. La geometría de la línea de catenaria da como resultado una altura de habitación libre de 3,70 m con un ancho de habitación seleccionado de 3,50 m. Las casas de la serie "Hobbit" tienen bóvedas de crucería, las casas de la serie "Bóveda" tienen bóvedas paralelas interconectadas por enormes arcos de puerta.

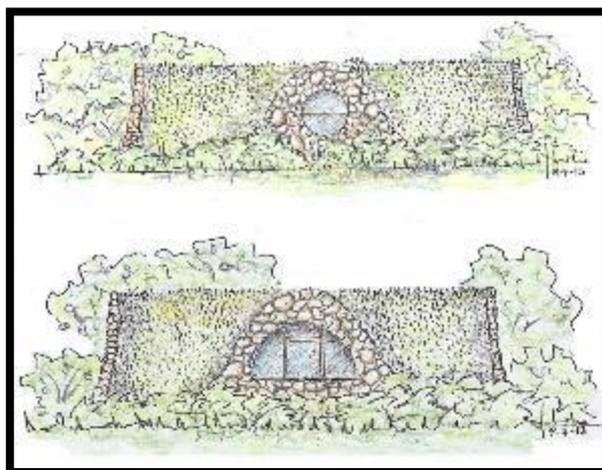


Figura 40: Boceta de prototipo de vivienda casas con bóveda catenaria

Fuente: <https://valletucan.com/en/architecture/>

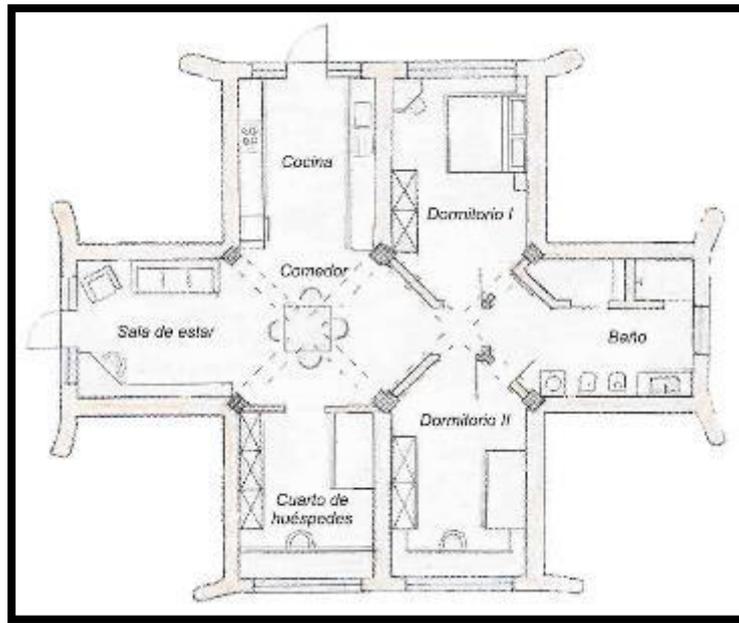


Figura 41: Boceta de planta de prototipo de vivienda casas con bóveda catenaria

Fuente: <https://valletucan.com/en/architecture/>

Estas estructuras son ideales para climas tropicales y subtropicales proporcionando una fácil ventilación natural. Además, permiten cubrir espacios sin elementos de hormigón armado de acero mediante el uso de bloques de tierra hechos a mano de suelo arcilloso local. Solo las bóvedas macizas hechas de bloques de tierra en combinación con los techos verdes proporcionan un buen aislamiento térmico y acústico para el interior. Los techos altos y una ventilación cruzada óptima por la noche garantizan un clima interior agradable incluso en el pleno verano subtropical de Paraguay. Sin embargo, dado que la cuestión de un clima interior confortable es hasta cierto punto subjetiva, hemos proporcionado conexiones para el aire acondicionado en cada habitación.

Las paredes normales de las casas en Paraguay están construidas con ladrillos huecos que tienen un aislamiento térmico y acústico muy pobre. Los muros de tierra maciza de 35 a 40 cm de espesor de las casas en Valle Tucán proporcionan un aislamiento mucho mejor y una vida útil mucho más larga. Una ventaja adicional de la tierra material de construcción es que regula la humedad, absorbe la humedad cuando la humedad en la habitación se eleva por encima del 50% y la libera de nuevo cuando el aire está seco. El componente principal de los bloques de tierra utilizados es un suelo arcilloso rojo de un sitio minero a

unos 2 km de distancia. La tierra se mezcla con algunas partes de gravilla y arena gruesa para obtener las propiedades adecuadas. Los bloques se hacen a mano en el lugar y luego se secan al aire libre, lo que no requiere ningún aporte de energía adicional. La prueba de que se pueden construir edificios duraderos con este material tiene siglos de antigüedad,

#### **j) BERLINER BOGEN, HAMBURGO**

Según (Christiam Alba, 2015) el "Berliner Bogen" en Hamburgo se ha construido sobre la cuenca de un canal con una longitud de 140 metros, cuenta con 22 vigas de acero con una altura de 33 metros enredadas diagonalmente en pared que soportan toda la carga de la carcasa del edificio y los componentes del arco de hormigón armado sólido y los techos de hormigón.

La estructura arqueada lleva la carga primaria del edificio, un tanque de almacenamiento de agua (24000 metros cúbicos) fue construido por debajo del nivel un gran puente conduce a un brillante y generoso vestíbulo, que está conectado con el hall de entrada de eje principal del edificio; en el final de este eje, una terraza conduce al visitante directamente sobre el canal.

En el interior del edificio se encuentra un componente macizo cuyos plafones están suspendidos de los arcos de acero que cubren todo el espacio. El edificio está cubierto de una carcasa de vidrio de 14.000 metros cuadrados, en forma de cresta que da acceso a las instalaciones de mantenimiento.

La piel de vidrio permite el paso de la luz solar al interior, así como también protege de la contaminación acústica de la calle y el ferrocarril, y las malas condiciones meteorológicas. Todas las oficinas son iluminadas y ventiladas naturalmente durante el día, gracias a los jardines ya mencionados. A través de la ganancia solar pasiva, el consumo de energía en invierno se minimiza. Mientras que en el verano los atrios proporcionan una ventilación adecuada a todas las zonas habitadas del edificio.

los componentes principales del sistema consisten en matrices de tuberías prefabricadas, los módulos Contec. Están equipados con tubos de polietileno macizo (tubos PE-Xa) según el método Engel de 20 x 2,3 mm. El calor generado en

el interior del edificio es absorbido por los elementos de refrigeración, que se instalan en hormigón y se llenan con medio refrigerante, y luego se envían al exterior del edificio.



*Figura 42: Vista Frontal del edificio Berliner Bogen*

*Fuente: <http://www.peruarki.com/berliner-bogen-office-building/>*

### **k) BOVEDA DE LADRILLO**

Según (Silver , y otros, 2014) Inspirado en el trabajo de Eladio Dieste, el prototipo de la bóveda Vault201 fue construido por alumnos de arquitectura del MIT en el Cooper-Hewitt National Design Museum de Nueva York. La bóveda abarca 4,88 metros, tiene 4cm de grosor y está constituida por 720 ladrillos. La curvatura de la bóveda se compone de juntas de perfil variable, aunque están fijas con el fin de mantener un mismo diseño de hilada y evitar el hecho de que tener que cortar demasiados ladrillos. Al final como resultado del prototipo se desarrolló un sistema taxonómico de tres módulos de ladrillos distintos.



Figura 43: Vista de la elaboración de un prototipo de bóveda catenaria de ladrillo

Fuente: Libro: Ingeniería de estructuras para arquitectos



Figura 44: Vista final del prototipo de bóveda catenaria de ladrillo

Fuente: Libro: Ingeniería de estructuras para arquitectos

## I) CROSSWAY ZERO CARBON HOME

Según (Alter, 11) el arquitecto Richard Hawkes acaba de terminar lo que él llama una casa con cero emisiones de carbono, ubicada en Staplehurst en el condado de Kent Inglaterra donde utilizaron todas las tecnologías más recientes, pero también demostrando "cómo el diseño contemporáneo puede celebrar los materiales y la artesanía locales e integrar nuevas tecnologías para producir un edificio altamente sostenible que se sienta ligero en la Tierra".

El espectacular techo abovedado de 20m de largo, en particular, es una técnica antigua llamada bóveda de madera, que utiliza ladrillos delgados para crear edificios ligeros y duraderos.

La bóveda no solo es increíblemente delgada y eficiente, sino que le da al interior ese encantador y cálido aspecto de ladrillo. Además, esta estructura no depende de la gravedad, sino de la adhesión de varias capas de tejas superpuestas que se entrelazan con mortero de fraguado rápido. Si solo se usara una capa de baldosas delgadas, la estructura colapsaría, pero agregar dos o tres capas hace que la capa laminada resultante sea casi tan fuerte como el hormigón armado.

La bóveda le da a la casa mucha resistencia estructural, pero evita la necesidad de materiales intensivos en energía incorporada como el hormigón armado. También le proporciona una gran masa térmica, lo que permite que el edificio retenga el calor, absorba las fluctuaciones de temperatura y reduzca la necesidad de sistemas centrales de calefacción o refrigeración



*Figura 45: Capas de la bóveda de Crossway Home*

*Fuente : <https://www.treehugger.com/crossway-zero-carbon-home-brings-back-the-timber-vault-4853844>*



*Figura 46: Vista Frontal de Crossway Home*

<https://www.digsdigs.com/crossway-zero-carbon-house-in-uk/>

## **2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES**

### **a) “EVALUACION DEL CONFORT AMBIENTAL DEL PUESTO DE SALUD NIÑO YUCAY – AYACUCHO, EJECTADO CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO AMARES”,**

Según (Garcia, 2015) su investigación una de las variables es la evaluación del sistema constructivo lo cual nos lleva a la técnica ancestral de la bóveda Nubia que es una de las tecnologías antiguas de construcción en tierra. (Garcia, 2015) La técnica de construcción de la Nubian Vault utiliza mano de obra y materiales renovables del lugar (tierra, piedra y agua) para crear viviendas sostenibles y de bajo costo.

Para la construcción de este prototipo en el puesto de salud niño Yucay – Ayacucho realizaron una prueba en moldes de madera para verificar la resistencia del barro preparado con tierra del lugar, como resultado obtienen, que la tierra con más arcilla el decrecimiento lineal es mayor es por eso que agregaron arena gruesa y así evitan fisuras que debiliten la estructura , para los revoques se utilizó la mezcla de 3 partes de arena gruesa y 2 de tierra

cernida; para el mortero se utilizó la mezcla de 1 parte de arena gruesa y 1 de tierra cernida y para los adobes y adobitos la mezcla fue de 2 partes de arena gruesa y 3 partes de tierra cernida.

En la construcción se utilizaron 3 tipos de adobe, el adobe tradicional de 40cm x 30cm x 20cm con un peso de 35 kg cada unidad, estos adobes son utilizados para la construcción de los muros verticales. Para la construcción de la bóveda nubiaca se utilizaron 3 tipos de adobitos, de 20cmx20cmx6cm, otro de 20cmx18cmx6cm y por último el adobito adobito poligonal que ayudara a formar la curva .

Para construcción realizaron la limpieza del terreno y trazado y picado de la cimentación, la cual fue rellena de cemento ciclópeo, continuaron con el sobrecimiento de hormigón y de 40cm x 15cm de espesor, una vez seco se emplearon un plástico sobre el sobrecimiento para aislar el muro de adobe de la humedad del suelo. Después de culminar con los muros verticales iniciaron con el uso de los adobitos, pero antes utilizan alambre con púas para unir los adobes y adobitos y así impedir que se resbalen.

Para obtener la forma de arco utilizaron una cadena sostenida por dos clavos a 3 metros de distancia, donde trazaron un plano cartesiano a cada 10cm cada punto, estos puntos de la catenaria invertidos obtienen la forma de la bóveda nubiaca.

Sobre los muros verticales se inicia el asentado de los adobitos, los cuales deben estar a una inclinación de 60° que permitirá la construcción de la bóveda sin cimbra, también es importante señalar que resaltan la construcción de solo 15 hiladas de adobitos por día.



*Figura 47: Fachada Principal del Proyecto del Puesto de salud Niño Yucay*

*Fuente: Informe de tesis titulada "Evaluación del Confort Ambiental del Puesto de salud Niño Yucay – Ayacucho, Ejecutado con el Sistema Constructivo Amares"*

## **b) INFRAESTRUCTURA DE SALUD Y FORMACION DE CAPACIDADES LOCALES EN CONSTRUCCION SISMORRESISTENTE EN TIERRA**

Según (Fisher, 2006) La presente investigación tiene como objetivo el desarrollo de un programa de apoyo y modernización del sector salud en el Perú, en cuanto al desarrollo de un sistema que pretende mejorar las condiciones de confort de cualquier edificación.

El proyecto se desarrolló teniendo como idea central una bóveda que en este caso es la bóveda núbica la cual tiene la forma de una catenaria invertida.

En el antiguo Egipto es que se pudo utilizar este sistema constructivo de una manera que no requirió la cimbra para su realización, pero tuvo que tener diferentes temáticas al momento de la ejecución como por ejemplo la bóveda tenía que ser encimada mayormente con adobes de 20 cm de ancho x 20 cm largo y 5 a 6 cm de espesor. La inclinación que debía tener durante la concepción de la bóveda debería de ser de 65° y 70° con respecto a la horizontal que describe.

Los resultados que mostraron las pruebas realizadas en el laboratorio de estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica de Perú (PUCP) fueron que ante un desastre de categoría catastrófica la edificación se muestra estable sin presentar condiciones de falla.

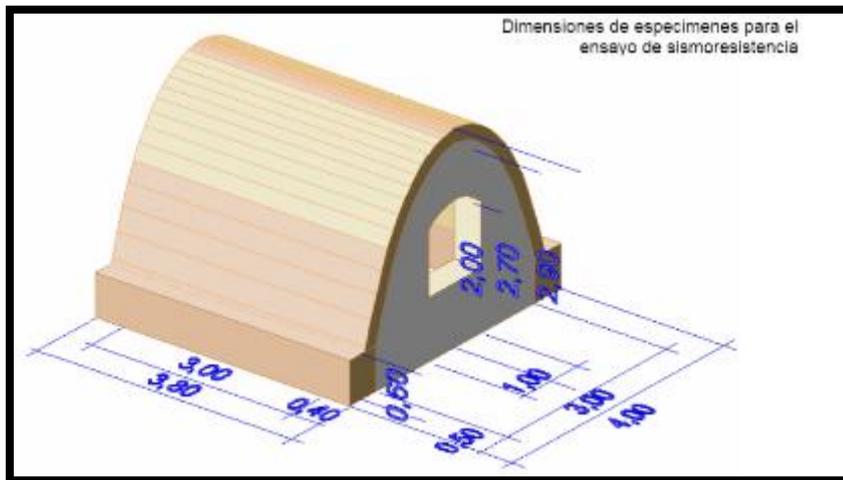


Figura 48: Módulo de prototipo con sistema constructivo Amares

Fuente: Investigación titulada "Infraestructura de Salud y Formación de Capacidades Locales en Construcción Sismoresistente en Tierra"

## 2.2 BASES TEORICAS:

### 2.2.1 CARACTERISTICAS DEL LADRILLO

Desde hace algunos años, la tendencia al aligeramiento de las obras de fábrica y desarrollo correspondiente al ladrillo, siempre más ligero y de mayor formato, han modificado las condiciones de fabricación y empleo de los ladrillos de tierra cocida.

Además, lejos de señalar al ladrillo una simple misión de relleno y protección contra la intemperie, cada día es más frecuente construir con ladrillos resistentes, es decir, sin armadura, inmuebles de cinco plantas o incluso más, De este modo es como utilizan íntegramente todas las cualidades del ladrillo:

- Resistencia mecánica
- Aislamiento
- Protección con la intemperie.

## 2.2.2 LADRILLO COMUN DE CAMPAÑA

Según (Bianucci, 2009), antes de analizar el proceso de fabricación del ladrillo común, es importante conocer su materia prima, su composición y el comportamiento de la misma.

Dentro de los materiales de construcción el ladrillo común está considerado como piedra artificial, puesto que se obtiene por un proceso de cocción de arcillas y otros componentes naturales. Es común también que entre otros componentes se encuentre el carbonato de calcio, que si las partículas son grandes luego de la cocción se convierte en oxido de calcio, que al hidratarse con agua produce quemaduras o roturas en el material, que desmerecen su calidad

- **Extracción y Meteorización.**

Para la fabricación del ladrillo común se pueden utilizar tierras que se extraen de excavaciones por lo general arcillas rojas, o tierra vegetal negra que se encuentra más en superficie, Una vez extraído el suelo es necesario dejarlo reposar para que se produzca un proceso llamado de pudrición (meteorización), que los agentes atmosféricos, que se encargan desarrollar, homogeneizando la masa al disolver sales, pudren impurezas orgánicas, como raíces, que luego da un mejor manejo para moldear y mejorar los productos terminados.

Es necesario agregar distintas materias orgánicas, para evitar las roturas o grietas debido a las contracciones, producidas en el secado o cocción. Estiércol, aserrín, carbonilla, cascara de arroz, o cascarrilla de algodón, están entre los más usados y vienen denominados liga, por ser el elemento ligante de la mezcla.

- **Preparación**

Comienza el proceso de amasado de pisaderos, que es una excavación circular entre 10 y 15 metros de diámetro y 40 o 50 cm. De profundidad. La fabricación inicia con el amasado del barro con agua y el preparado de la liga, este empaste suele hacerse con caballos, que giran dentro del círculo mezclando elementos, operación que puede durar hasta dos días. Actualmente se realiza, en alternativa, con una rueda metálica, que gira sobre una barra sin fin sujeta a un eje que está en el centro del pisadero. Este mecanismo es accionado por un motor o por un tractor, con lo cual la

tarea se reduce tiempo. Se debe tener cuidado con el agua, que puede ser de cualquier lugar, pero lo fundamental es que no contenga sales.

- **Moldeo.**

El barro es secado de los pisaderos con palas y es trasladado en carretillas hasta la mesa del moldeo.

El modelado se efectúa a mano introduciendo la arcilla en un molde doble, para dos adobes, con fuerza, este molde de madera, es un bastidor que se asemeja a una caja sin tapa ni fondo. Las dimensiones son pocos mayores que las del ladrillo terminado, teniendo en cuenta la retracción de la materia prima, que dependerá de sus componentes; seguidamente, con una tablilla se retira el barro sobrante y así es llevada a la cancha de oreo, donde viene depositado en el suelo, se retira el molde y se lo limpia con agua en la misma mesa de moldeo, para volver a usarlo. El rendimiento del trabajo manual, se calcula en 900 adobes por día y por hombre.

- **Secado.**

Una vez que el adobe se ha oreado, tras un día o dos de exposición, se completa el proceso de secado apilando los adobes, parados y en forma cruzada, para asegurar un secado parejo. Estas pilas deben de ser cubiertas con chapas, esteras de paja, para proteger el adobe de las lluvias, que lo convierten en los llamados ladrillos llovidos, de mala calidad en su apariencia y resistencia. El tiempo de secado puede demorar 3 o 4 días dependiendo del clima.

- **Horneado.**

El fuego de las boquillas, se mantiene mientras dura la combustión de la carbonilla (aproximadamente 80 horas), luego se tapan para asegurar una lenta combustión, mantenida por las brasas, durante 70 horas.

Por ser horno cuyas características, no permiten una distribución uniforme de calor, resultan ladrillos de diferentes calidades. Un 75% bien cocidos (campana), un 15% son de inferior calidad (bayos), porque no alcanzan el grado de cochura necesaria; el 10% son recocidos, por haber estado en contacto directo con el fuego, y se les ha producido un principio de vitrificación. Estos se los ocupa para cascotes en contra pisos, pues la vitrificación no les permite adherirse con morteros.

- **Enfriamiento.**

Una vez que el horno se enfrió se procede al desmontaje y a la carga de los ladrillos en camiones, pasando así la incorporación del ladrillo a la construcción. El tiempo aproximado de la tarea es de 3 días.

- **Conclusión.**

El tamaño del ladrillo comunes que se fabrica en el país, es de 26,5 a 27 cm de largo, por 12,5 a 13 cm de ancho, por 6cm a 7cm. de espesor.

Cuando el ladrillo es de primera calidad, bien cocido, (campana por el sonido claro), los ensayos de compresión en probetas, llegan a una resistencia de 90 kg/cm<sup>2</sup> a la rotura.

Lo importante, de todas las maneras es que sus medidas estén relacionadas entre sí para posibilitar su uso.

- **Resistencia a compresión del ladrillo.**

Los ladrillos empleados en las fábricas se obtienen a partir de ciertas arcillas secadas al sol o cocidas artificialmente al horno. Su resistencia según la norma MV-201 da los siguientes valores de cálculo: Ladrillo macizo 70-300 kg/cm<sup>2</sup>, ladrillos perforados 100-200 kg/cm<sup>2</sup> y ladrillos huecos 30-150 kg/cm<sup>2</sup>.

Para conocer la resistencia de los ladrillos en las antiguas edificaciones es preciso realizar ensayos sobre probetas o elementos extraídos del propio edificio.

- **Resistencia a tracción.**

La resistencia a tracción de los ladrillos es muy baja, alrededor del 3% de la resistencia de compresión y no se tiene en cuenta en el análisis.

### **2.2.3 LADRILLO PASTELERO**

Los ladrillos pasteleros sirven para la edificación de techos, la forma de los ladrillos pasteleros es fácilmente reconocible, siendo planos y chatos, de esta manera se puede hablar de una forma cuadrada de escasa altura.

Sus medidas suelen ser de 3 centímetros de altura por 25 de ancho y 25 de largo. Se suele poner los ladrillos pasteleros al final de una edificación, yendo en la parte más alta, siendo su mayor propiedad la de poder disipar los males del clima dependiendo de la época del año. De esta manera nos encontramos con que en verano absorbe el calor para la sensación térmica interna sea menor y en invierno se encarga de aislar la humedad.

## Producción de ladrillo pastelero en el Perú.

- Ladrillo pastelero Pirámide.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Atributo	Detalle
Características	Ladrillo pastelero de alta calidad. Ideal para el uso en la instalación en el acabado final del techo.
Marca	Pirámide
Dimensiones	24 x 24 x 3 cm
Color	Anaranjado
Peso	2.4 kg
Rendimiento	16 und/m <sup>2</sup>
Usos	Ladrillos para techo
Aplicaciones	Edificaciones de viviendas, edificios u otros
Numero de huecos	6
Recomendaciones	Tener cuidado con el transporte del producto a obra.
Categoría	Ladrillos



Figura 49: Ladrillo pastelero marca Pirámide

Fuente:

<https://www.ladillospiramide.com/producto/ladrillo-pastelero/>

Tabla 9: Características del ladrillo pastelero marca Pirámide

Fuente: <https://www.ladillospiramide.com/producto/ladrillo-pastelero/>

- Ladrillo pastelero Lark

<b>CARACTERISTICAS</b>	
Atributo	Detalle
Características	Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicios rigurosas
Marca	LARK
Dimensiones	25 x 25 x 3 cm.
Color	Anaranjado
Peso	2.4 kg
Rendimiento	16 und/m <sup>2</sup>
Usos	Ladrillos para techo
Aplicaciones	Edificaciones de viviendas, edificios u otros
Numero de huecos	6
Recomendaciones	Tener cuidado con el transporte del producto a obra.
Categoría	Ladrillos



Figura 50: Ladrillo pastelero marca Lark

Fuente: <https://ladrilloslark.com.pe/>

Tabla 10: Características del ladrillo pastelero marca Lark

Fuente: <https://ladrilloslark.com.pe/>

- Ladrillo pastelero Diamante.

 <p>Figura 51: Ladrillo pastelero marca Diamante</p> <p>Fuente: <a href="https://ladrillosdiamante.com/">https://ladrillosdiamante.com/</a></p>	CARACTERISTICAS	
	Atributo	Detalle
	Características	Ideal para absorber y disipar la temperatura del sol y aislar la humedad
	Marca	DIAMANTE
	Dimensiones	24x24x3cm.
	Color	Anaranjado
	Peso	1.8 kg
	Rendimiento	16 und/m <sup>2</sup>
	Usos	Ladrillos para techo
	Aplicaciones	Edificaciones de viviendas, edificios u otros
	Numero de huecos	6
	Recomendaciones	Tener cuidado con el transporte del producto a obra.
	Categoría	Ladrillos

Tabla 11: Características del ladrillo pastelero marca Diamante

Fuente: <https://ladrillosdiamante.com/>

## 2.2.4 SISTEMA ESTRUCTURAL DE UNA BÓVEDA

Según (García Henao, y otros, 2006) es una estructura que cierra superiormente un espacio, así como al arco cierra un vano o una abertura. La bóveda es siempre tridimensional, al igual que el arco, la bóveda se compone de elementos constructivos de menos tamaño que el espacio que cubren, por lo que gravitan sobre el vacío y para sostenerse han de transmitir su peso y las cargas que soportan de uno a otro hasta los apoyos.

Las bóvedas soportan esfuerzos de compresión, por lo que adoptan formas apropiadas que eviten fatigas de extensión y transmitan las compresiones uniformemente a apoyos continuos o concentrados sobre apoyos aislados.

La gran variedad de maneras de conseguir esto es combinando con la diversidad de espacios a cubrir, determinan las diferentes formas que puede adoptar la bóveda, las cuales cada una de ellas recibe su propio nombre.

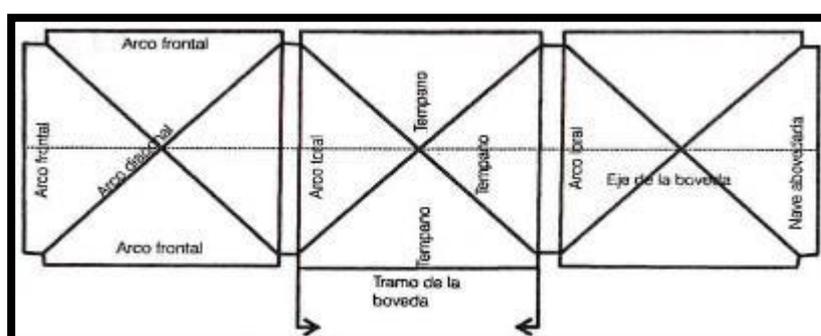


Figura 52: Espacios que genera una bóveda

Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones.

## 2.2.5 ELEMENTOS DE BOVEDA

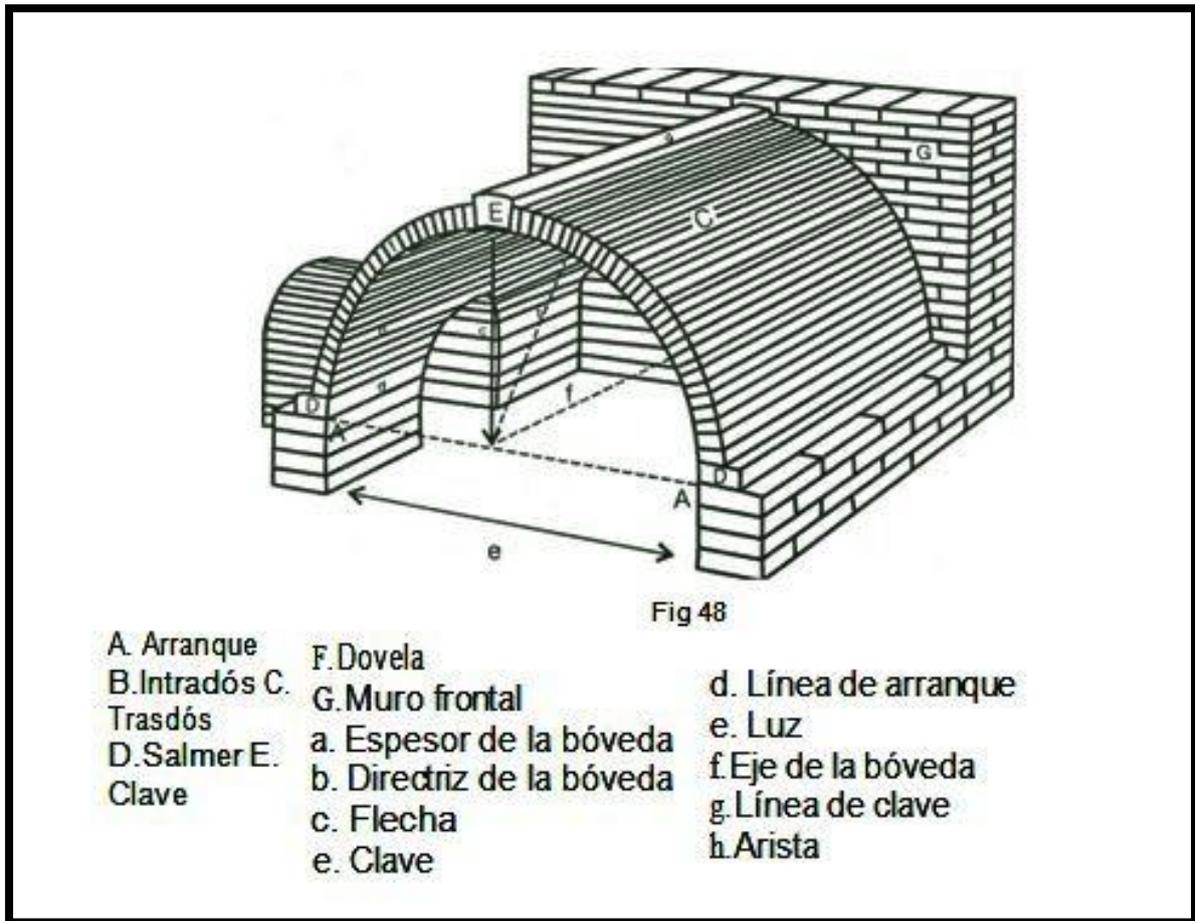


Figura 53: Partes de una bóveda

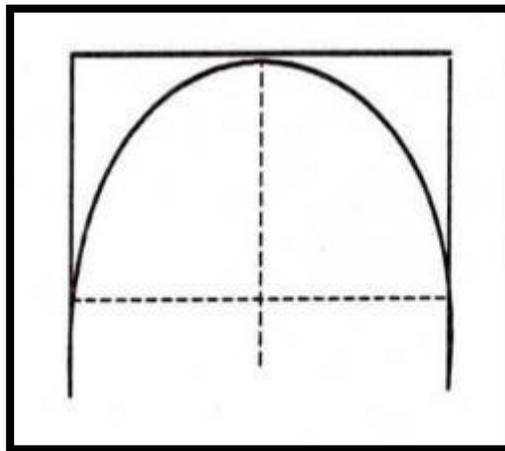
Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones

- A. Punto de arranque:** Son los de los arcos que componen la bóveda.
  - B. Intradós:** Es la superficie externa de la bóveda.
  - C. Trasdós:** Es la parte superior o lomo de una dovela
  - D. Salmeres:** Son las dovelas en las líneas de arranque de la bóveda.
  - E. Clave:** Es la dovela central que cierra la bóveda
  - F. Dovelas:** Son las piezas elementales que componen las bóvedas.
  - G. Muro frontal:** Es el que cierra la bóveda en sus partes abiertas.
- a) **Espesor:** Es la distancia entre el trasdós y el intradós de la bóveda.

- b) **Directriz o Perfil:** Es la línea de arco en que se basa la bóveda. Que aparenta en las secciones de la bóveda.
- c) **Flecha:** Es la altura desde el arranque a la clave.
- d) **Líneas de arranque:** Es la que se forma uniendo entre si todos los puntos de arranque de los arcos que componen la bóveda.
- e) **Línea de clave:** Es la unión de las claves de todos los arcos de la bóveda.
- f) **Eje de la Bóveda:** Es la línea central formada por la unión de los centros de todos los arcos que componen la bóveda.
- g) **Aristas o líneas de aristas:** Son las que se forman en el encuentro de dos superficies de bóveda que forman esquina saliente.
- h) **Apoyo:** Son las partes de los muros o pilares sobre los que descansa la bóveda

➤ **Líneas:**

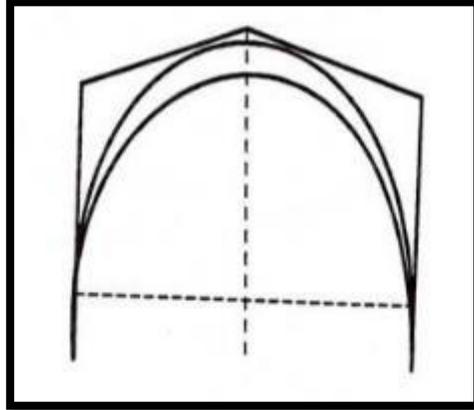
- **Línea de clave horizontal:** Cuando las claves de los arcos frontales y de los diagonales están a igual altura. En las bóvedas por arista, los tímpanos son cilíndricos.



*Figura 54: Línea de clave horizontal*

*Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones*

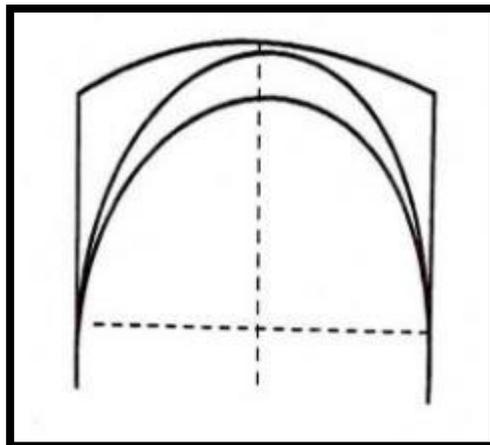
- **Línea de clave ascendente:** Cuando la clave del arco diagonal es más baja que las correspondientes a los arcos frontales y los tímpanos son ascendentes y cilíndricos.



*Figura 55: Línea de clave ascendente*

*Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones*

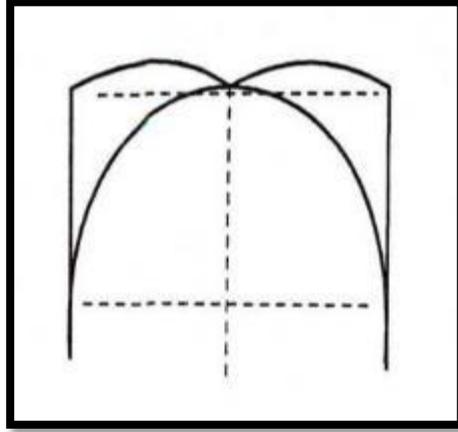
- **Línea de clave descendente:** Cuando la clave del arco diagonal es más baja que las correspondiente a los arcos frontales y los tímpanos son inclinados y casi siempre cilíndricos.



*Figura 56: Línea de clave descendente*

*Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones*

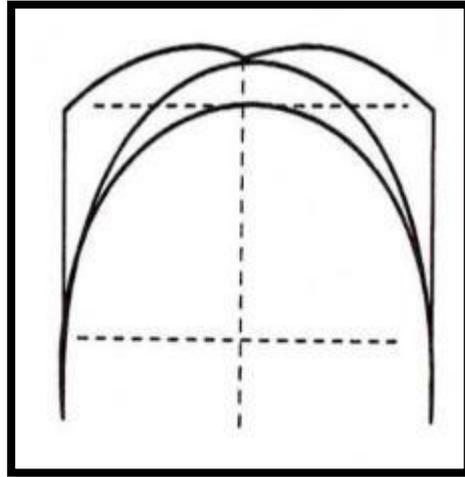
- **Línea de clave curvada quebrada:** Cuando las claves de los arcos diagonales y frontales están a la misma altura y los tímpanos tienen forma de abombada esférica.



*Figura 57: Línea de clave curvada quebrada*

*Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones*

- **Línea de clave quebrada peraltada:** Cuando la clave del arco diagonal está más alta que la de las frontales y los tímpanos tienen abombada esférica.



*Figura 58: Línea de curvada quebrada peraltada*

*Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones*

### 2.2.6 TIPOLOGIA DE BOVEDAS

Según (García Henao, y otros, 2006) tenemos los siguientes tipos de bóvedas:

#### a) Bóveda reticulada

Es una bóveda estrellada dispuesta de manera que los arcos secundarios sustituyen a los fundamentales, formando el sistema de nervios una red. Su forma fundamental puede ser en cúpula o cilíndrica. Si es de cañón seguido, puede enriquecerse con el intercalado de lunetas.

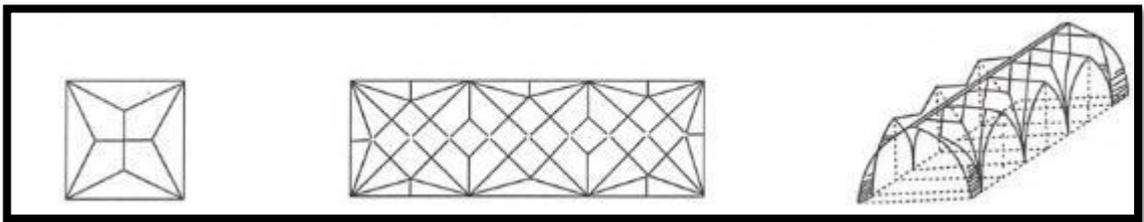


Figura 59: Bóveda reticulada

Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones

#### b) Bóveda en abanico

Son bóvedas estrelladas de varios tamaños en que los aristones o arcos terceletes se disponen en forma radial alrededor de los puntos de apoyo, dando esta sensación de abanicos.

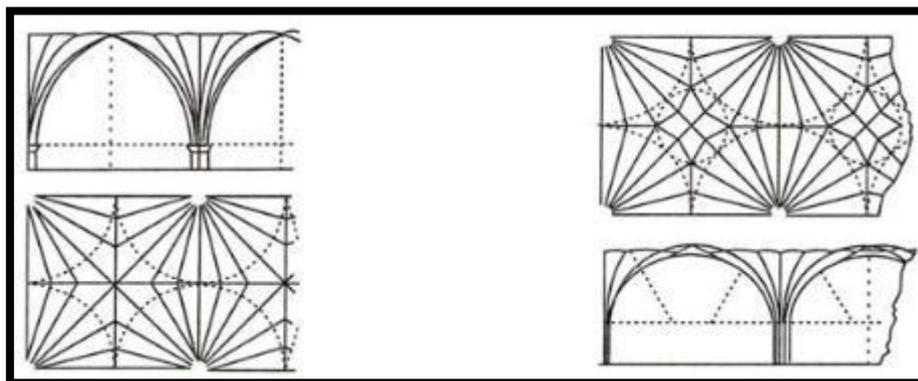
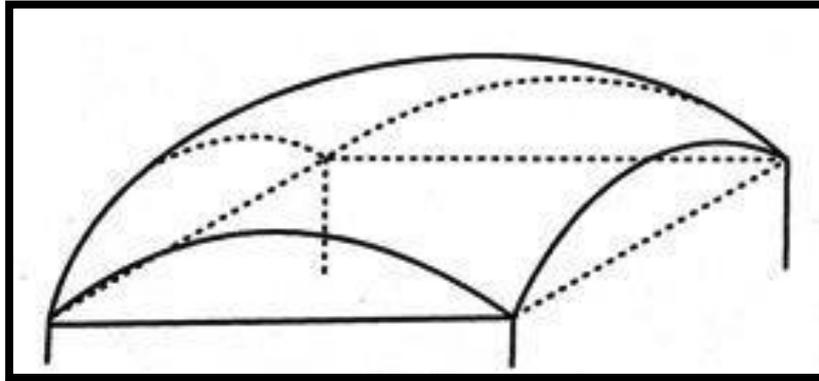


Figura 60: Bóveda en abanico

Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones

**c) Bóveda esférica rebajada o bohemia**

Es lo queda de una cúpula después de ser cortada por planos verticales

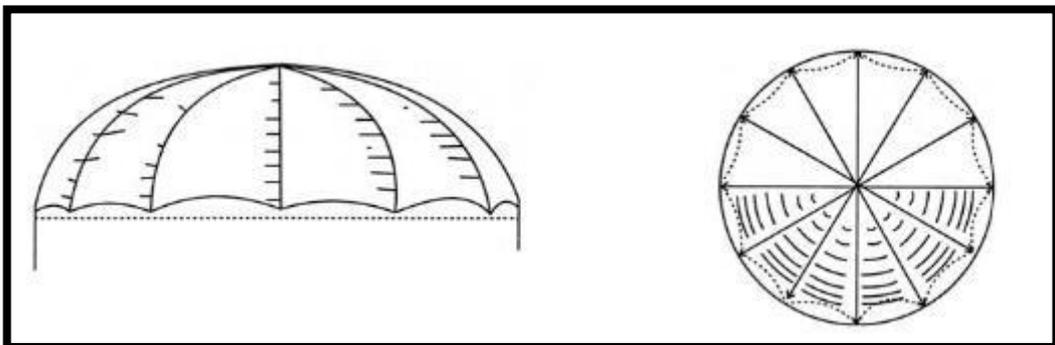


*Figura 61: Bóveda esférica rebajada o bohemia*

*Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones*

**d) Bóveda lobulada**

Es una bóveda esférica dividida en lóbulos, entre los que se forman aristas que reúnen en la clave



*Figura 62: Bóveda lobulada*

*Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones*

### **e) Bóveda tabicada**

Según (García Henao, y otros, 2006) son bóvedas fabricadas con ladrillo y mortero, los ladrillos se instalan cerrando aros y anillos sucesivos hasta formar la bóveda, las bóvedas se pueden construir con espesores muy pequeños, con doble hoja logrando obtener unos 10 cm incluyendo el recubrimiento y el mortero o también en algunos casos con un espesor de 5 cm, con respecto a la esbeltez de la bóveda la medida se encuentra entre los 100 cm a menos.

Estas bóvedas fueron utilizadas en iglesias para formar forjados y para la construcción de escaleras. A mediados del siglo xix se empezaron utilizar en España y Francia para la construcción de cubiertas, principalmente de fábricas textiles.

A finales del siglo xix y principios del xx las bóvedas se convirtieron en un símbolo nacional de Cataluña.

Rafael Guastavino inserta este modelo en América a finales del siglo xix, entre los años de 1890 y 1900. Construyendo en varios edificios importante de la zona este de los Estados Unidos.

Se conoce bastante bien la técnica de la construcción tabicada que aparece en obras de Collins, Gulli y Mochi, Gonzales y Huertas, pero con respecto al comportamiento estructural no se conocía mucho y no llegaban a distinguir el comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas y el de las bóvedas de ladrillo o piedra lo que genero comentarios como falta de seguridad y durabilidad a partir del siglo XVIII.

Las bóvedas fabricadas tenían un comportamiento estructural y eran considerados monolíticas y sin empujes, se analizó según el método elástico, pero fracasaron es por eso que Guastavino lo encuadro dentro de las estructuras cohesivas. En España se demolieron mucho de ellos porque llego a calificar de imposible calcular.



Figura 63: Bóveda tabicada

Fuente: página web, [https://es.wikipedia.org/wiki/B%C3%B3veda\\_tabicada](https://es.wikipedia.org/wiki/B%C3%B3veda_tabicada)

## f) TIPOS DE BÓVEDAS DE CRUCERÍA

Genéricamente una bóveda es toda obra de fábrica arqueada que cierra un espacio comprendido por muros o pilares.

### f.1) Bóveda de arista

Es la que se forma por la intersección de dos bóvedas de cañón (normalmente de medio punto) de igual de altura y con el mismo plano de arranque, siendo sus aristas salientes hacia el interior de la bóveda. No se debe confundir con la bóveda aristada, denominación que se le da a la estrellada que ha transformado sus nervios en aristas.

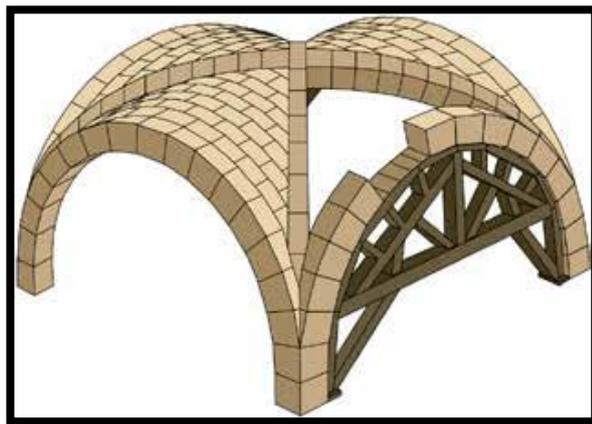


Figura 64: Bóveda por arista sobre el coro de la capilla de Tlajomulco en Jalisco

Fuente: Pagina web [https://www.researchgate.net/figure/Figura-120-Proceso-construtivo-de-la-boveda-por-arista-Fuente-Elaboracion-propia\\_fig9\\_331485128](https://www.researchgate.net/figure/Figura-120-Proceso-construtivo-de-la-boveda-por-arista-Fuente-Elaboracion-propia_fig9_331485128)

### f.2) Bóveda apainelada

La de perfil bajo generada por arcos carpaneles, normalmente con tres centros.



Figura 65: Bóveda apainelada

Fuente: Pagina web <http://www.turismovalledeljerte.com/que-ver-en-el-valle-del-jerte/patrimonio/iglesias/iglesia-de-ntra-s-de-la-asuncion>

### f.3) Bóveda baída (vaída)

La que resulta de cortar una semiesfera por planos verticales levantados en el perímetro de un polígono inscrito en el círculo de la planta. O lo que es lo mismo, intersección de una semiesfera de radio R y un prisma, la cual está inscrita en la circunferencia de radio R.

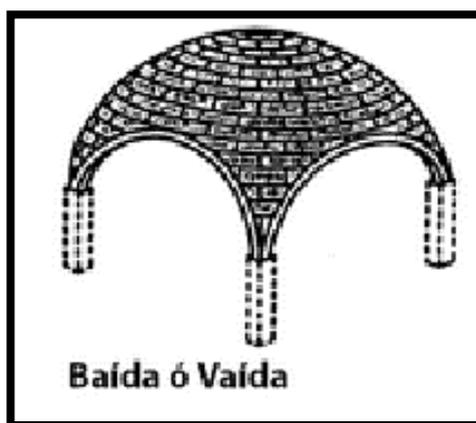


Figura 66: Bóveda baída

Fuente: Revista Baúl del Arte bóvedas y cúpulas

#### f.4) Bóveda de cañón

La que su intradós es de forma cilíndrica. Su sección transversal puede ser un semicírculo (medio punto) o un arco apuntado. Si la superficie es continua se denomina de cañón de seguido. Siendo más frecuente que presente resaltes en forma de arcos fajones que la dividen en tramos.

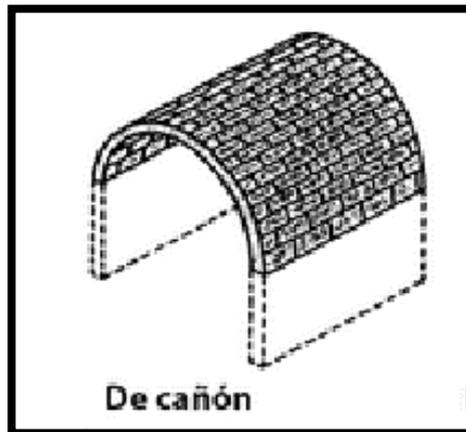


Figura 67: Bóveda de cañón

Fuente: Revista Baúl del Arte bóvedas y cúpulas

#### f.5) Bóveda de crucería nervada

Denominación genérica de las bóvedas de arcos independientes que constituyen una de las características principales de la arquitectura gótica. Constan de dos elementos esenciales, los arcos que forman su esqueleto y los plementos o paños que cubren los espacios intermedios.

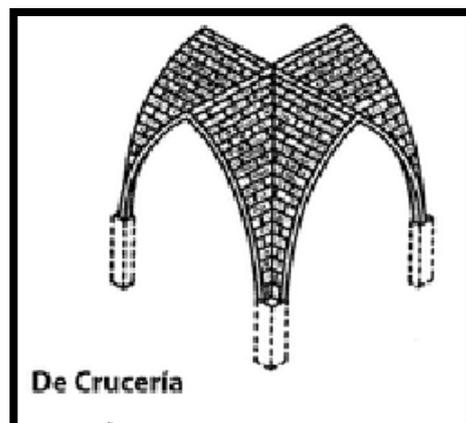
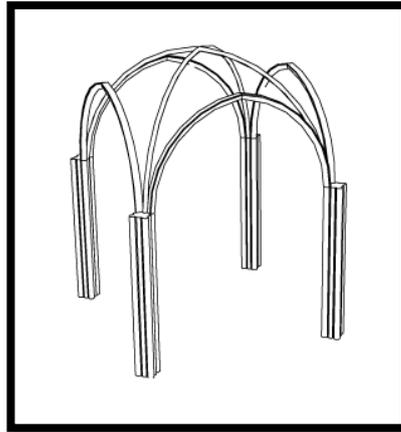


Figura 68: Bóveda de crucería nervada

Fuente: Revista Baúl del Arte bóvedas y cúpulas

### f.6) **Bóveda cuatrimpartita o de crucería simple**

Es aquella crucería elevada sobre una planta cuadrada o rectangular que se divide, mediante los nervios diagonales, en cuatro paños fundamentales o plementos. El esquema está constituido por cilindros que se Interpenetran, superficies de curvatura simple, constituyendo una estructura de cascara de gran estabilidad.



*Figura 69: Bóveda de crucería simple*

*Fuente: Revista Baúl del Arte bóvedas y cúpulas*

### f.7) **Bóveda cupuliforme**

Aquella que dispone de plementos con superficies curvadas generadas por rampantes redondos.



*Figura 70: Bóveda cupuliforme*

*Fuente: Pagina web, <https://www.inglaterra.ws/catedral-de-san-pablo-de-londres/>*

### f.8) Bóveda estrellada

La que entremezcla las nervaduras formando complicadas tracerías en forma estrellada.

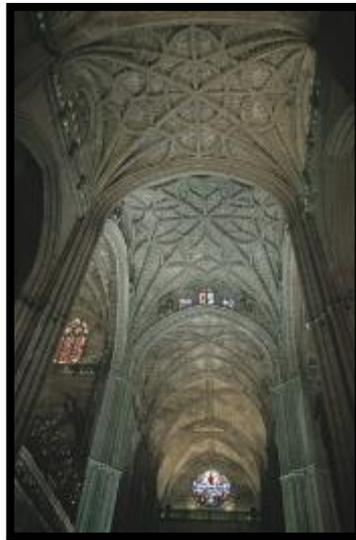


Figura 71: Bóveda de la catedral de Sevilla

Fuente: <https://inarqadia.wordpress.com/2014/01/25/la-catedral-de-salamanca-i-las-bovedas-de-la-iglesia-nueva/>

### f.9) Bóveda falsa

La formada por aproximación de hiladas horizontales en voladizo.

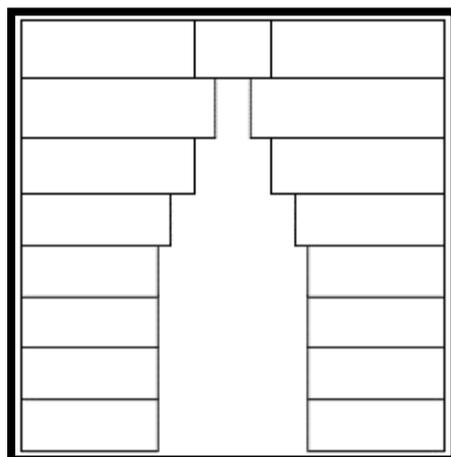


Figura 72: Bóveda falsa

Fuente: Pagina web, [https://es.wikipedia.org/wiki/Falso\\_arco](https://es.wikipedia.org/wiki/Falso_arco)

## 2.2.7 CIMBRA PARA BÓVEDAS

Según (García Henao, y otros, 2006) las cimbras para bóvedas son semejantes a las de arcos, necesitan para su construcción armazones para que mantengan los materiales hasta que estén terminadas y puedan sostenerse por sí mismos. La estructura de la cimbra depende de la bóveda, de su peso y de su forma. Para las bóvedas corrientes de fábrica, la cimbra se compone de una serie de cuchillos o cerchas formadas por tablas clavadas y cortadas de modo que el borde superior afecta a la forma de una de las secciones de la bóveda; sobre estas armaduras de apoyo clavadas de una a otra se colocan listones o tabillas, de modo que constituyan un tablero unido y de la forma más aproximada posible al intradós de la bóveda que se va a construir.

El perfilado de la superficie de asiento se termina por medio de una ligera capa de mortero o de barro. Para sostener la cimbra se construye un andamio, con maderos transversales apoyados o empotrados en los muros de estribo, sobre cuales se extiende un piso de tablones. Encima de este solado cuyo nivel quedara por debajo del plano de arranque, se levantará para cada cuchillo dos muretes de apoyo de ladrillo hacia los extremos y los pies derechos de madera necesarios para el buen asiento del conjunto reforzando el andamio, siempre que haga falta por medio de pies derechos o tornapuntas empotrados en las paredes.

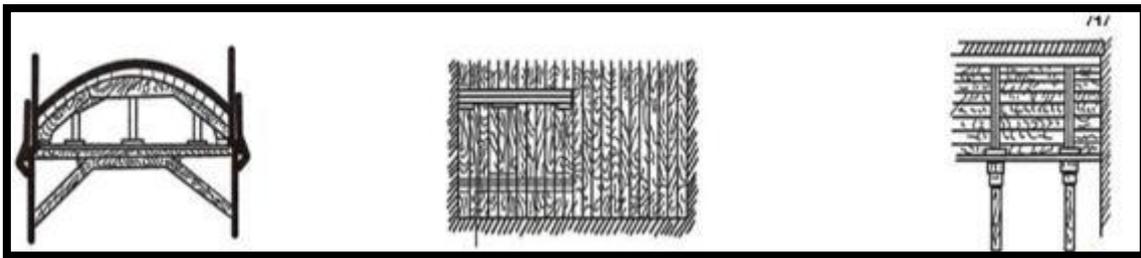


Figura 73: Cimbra para bóvedas

Fuente: Libro de Albañilería en restauración de edificaciones

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:

### a) Modulo:

Según (Porto, y otros, 2009) se conoce como módulo a una estructura o bloque de piezas que, en una construcción, se ubican en cantidad a fin de hacerla más sencilla, regular y económica. Todo módulo, por lo tanto, forma parte de un sistema y suele estar conectado de alguna manera con el resto de los componentes.

### b) Modular:

Según (Porto, y otros, 2009) aquello que se considera como modular es fácil de ensamblar y suele ofrecer una amplia flexibilidad (no en sus componentes, sino en la manera de armado). Por otra parte, el producto final o sistema puede conservar su apariencia sin sufrir consecuencias con sólo reparar el módulo o componente que no funciona. Se conoce como modularidad a la capacidad de un sistema para ser entendido como la unión de varios elementos que se vinculan entre sí y que resultan solidarios (cada uno cumple con una tarea para de un objetivo común).

### c) Ladrillo

Según (Bianucci, 2009) el ladrillo es el material de construcción más antiguo fabricado por el hombre. En los primeros tiempos se comenzó elaborándolo en su forma cruda, que es el adobe. Su difusión se debió a que el hombre le dio tamaño que se acomodaba a su mano y para hacerlo recurrió a materias primas accesibles, que se pueden encontrar casi en cualquier parte.

El hombre logro fabricar un material de construcción que, con muy pocas variantes tecnológicas, siguen manteniendo plena vigencia y demanda hasta nuestros días.

Se sabe que el ladrillo se originó en las antiguas civilizaciones del Medio oriente, como el adobe es atacado por el agua, en las regiones con grandes precipitaciones, se comenzaron a desarrollar las técnicas de cocción, lo que le da una definitiva estabilidad como material de construcción. Podemos definir que el ladrillo es una "Piedra artificial" de forma geométrica, que resulta propiedad plástica de la materia prima empleada, La arcilla, que, al modelarse con agua, una vez seca tras su posterior cocción adquiere una gran dureza y resistencia. Se Llega así al ladrillo común de campo tan conocido y popularizado en nuestros días.

#### **d) Mortero:**

El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción como ladrillos, piedras, bloques de hormigón. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques.

Es una mezcla de cemento, arena y agua y aditivos técnicamente formulado que permiten mantener el producto en estado fresco durante horas o días, en condiciones adecuadas.

La dosificación del mortero varía según los materiales, se elaboran comúnmente de forma manual, para la elaboración del mortero destinado a obras de albañería, se tendrá en cuenta lo que indica las normas NTP 399.607 y 399.610.

#### **Funciones del mortero.**

- Sirve para pegar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras y bloques de hormigón además se usa para rellenar espacios entre bloques.
- Crea un sello apretado entre piezas y corta la entrada del aire y humedad.
- Crea enlaces entre el refuerzo común, los tirantes de metal, y los anclajes, si los hay de modo que trabajen integralmente con la albañería.
- Proporciona una calidad arquitectónica a las estructuras expuestas con contrastes de color o sombra.
- Compensa las variaciones de tamaño en las unidades proporcionando un colchón para unificar las tolerancias dimensionales de las unidades.

#### **Propiedades del mortero**

En el estado endurecido la propiedad más importante de un mortero de mampostería es su capacidad de adherencia, que se define como la capacidad de pegarse a la superficie de trabajo.

Otra propiedad deseable de los morteros de mampostería es la durabilidad, que es la capacidad del mortero de resistir el envejecimiento, los cambios del clima y los efectos nocivos de la intemperie durante su vida útil.

La resistencia, tensión y comprensión son también propiedades deseables de mortero. Una buena resistencia a tensión del mortero evita la aparición de grietas.

**e) Bóveda:**

Según (Hoyos, y otros, 2012) es una estructura que cierra superiormente un espacio, así como al arco cierra un vano o una abertura. La bóveda es siempre tridimensional, al igual que el arco, la bóveda se compone de elementos constructivos de menos tamaño que el espacio que cubren, por lo que gravitan sobre el vacío y para sostenerse han de transmitir su peso y las cargas que soportan de uno a otro hasta los apoyos.

**f) Catenaria**

Según (Marco, y otros) la catenaria es la curva que naturalmente adopta una cadena bajo una carga uniformemente distribuida, como lo es su propio peso. Cada eslabón (punto de la curva) representa un determinado trio de fuerzas. Dos ejercidas en un ángulo obtuso a tracción por los dos eslabones adyacentes y la tercera ejercida hacia abajo por el peso del propio eslabón.

**g) Cimbra:**

Según (Hoyos, y otros, 2012) son las armaduras provisionales de carpintería de armar, que se emplean para sostener los elementos constructivos de que se componen el arco o la bóveda, hasta que los materiales hayan logrado la consistencia suficiente.

- **Elementos componentes:**

Las cimbras se componen de la cercha o armadura, y el revestimiento o superficie de asiento de arco. Las armaduras están formadas por dos o más elementos sencillos clavados o ensamblados, de plano vertical, que vienen a constituir el elemento resistente y desempeñan un papel análogo a los cuchillos o armaduras. El entramado de enlace, que constituye el trasdós de la cimbra, es el elemento horizontal que sirve para el atado de las armaduras. Este se compone a su vez de correas y forro, revestimiento formado por tablas o listones que, clavados sobre las correas, dan a la cimbra el perfil trasdós que ha de servir de apoyo al intradós del elemento que se construye.

- **Clases de cimbra:**

- **Fijas:** Las que se apoyan en puntos intermedios entre los estribos del arco de la bóveda.
- **Volantes:** Las que se apoyan en los estribos.
- **Mixtas:** Las que si bien se apoyan en los estribos pueden tener algún apoyo intermedio.
- **Giratorias:** Las que pueden ser trasladadas alrededor de un eje a medida a que avanza la construcción.
- **Suspendidas o áreas:** Las que están sostenidas sobre el espacio que ha de cubrirse.

#### **h) Fuerza:**

Es la capacidad, vigor o robustez para mover algo que tiene peso o hace resistencia, la fuerza es un fenómeno físico capaz de modificar la velocidad de desplazamiento, movimiento y/o estructura (deformación) de un cuerpo, según el punto de aplicación, dirección e intensidad dado

#### **i) Tensión:**

Todos los objetos físicos que están en contacto pueden ejercer fuerzas entre ellos. A estas fuerzas de contacto les damos diferentes nombres, basados en los diferentes tipos de objetos en contacto. Si la fuerza es ejercida por una cuerda, un hilo, una cadena o un cable, la llamamos tensión.

#### **j) Compresión:**

Es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determina dirección

#### **k) Carga**

Está relacionado a aquella cosa que genera peso o presión respecto a otra o a la estructura que se transporta

#### **l) Resistencia:**

La resistencia referida a los materiales, implica la fuerza o acción que pueden soportar los objetos sólidos sin sufrir roturas o deterioros.

**m) Soporte:**

Un soporte es algo, ya sea físico o simbólico, que sirve como sustento o puntal. Los soportes, por lo tanto, se utilizan para sostener o mantener una cosa. Por ejemplo: “Tenemos que comprar un soporte para instalar el nuevo televisor”, “Mi esposa ha sido mi soporte en estos momentos tan difíciles”, “La municipalidad anunció que pronto reparará el soporte del cartel que se rompió en la última tormenta”.

Como objeto físico, el soporte puede ser un accesorio o una estructura que permite ubicar un objeto en un cierto lugar. Con un soporte, se puede colgar un horno microondas en una pared, por citar una posibilidad.

**n) Peso:**

Es una medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre un objeto. El peso equivale a la fuerza que ejerce un cuerpo sobre un apoyo.

**o) Arco:**

Es el elemento constructivo de directriz en forma curvada o poligonal, que salva el espacio abierto entre dos pilares o muros transmitiendo toda la carga que soporta a los apoyos, mediante una fuerza oblicua que se denomina empuje.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El alcance de una investigación indica el resultado lo que se obtendrá a partir de ella y condiciona el método que se seguirá para obtener dichos resultados, por lo que es muy importante identificar acertadamente dicho alcance antes de empezar a desarrollar la investigación. El método de la investigación por ser de naturaleza aplicada es el método científico

##### **3.1.1 Tipo de Investigación**

La investigación se plantea de tipo descriptivo de esta manera porque durante el desarrollo del registro de datos queremos analizar los resultados en función a la relación que puede existir entre una variable y otra, y mediante este registro de datos observados poder describir la relación existente entre las dos variables planteadas en la investigación.

En la cual nuestra primera variable es la Bóveda catenaria y la segunda variable es la de Módulos triangulares de ladrillo estas dos variables responden a nuestras bases teóricas y el planteamiento del problema en el cual buscamos la relación que existe entre ambas al momento de llevarlas a un proceso constructivo.

### 3.1.2 Nivel de Investigación Exploratorio

Las investigaciones de tipo exploratorias ofrecen un primer acercamiento al problema que se pretende estudiar y conocer. La investigación de tipo exploratoria se realiza para conocer el tema que se abordará, lo que nos permita conocer algo que hasta el momento desconocíamos.

Particularmente el tema exploratorio lo decidimos por el uso de un elemento estructural muy antiguo que es la bóveda y el uso de una técnica constructiva no convencional y contemporánea que se basa en el uso de módulos triangulares pre fabricados de ladrillo pastelero, exploramos en las posibilidades constructivas que se pueden alcanzar con esta técnica y los resultados a los que se puede llegar al momento de probar su versatilidad constructiva en un elemento estructural como es el caso de una bóveda , pero sumándole mayor rigor constructivo una de tipo catenaria .

Los resultados de este tipo de tipo de investigación nos dan un panorama o conocimiento superficial del tema, pero es el primer paso inevitable para cualquier tipo de investigación posterior que se quiera llevar a cabo.

A partir de los datos obtenidos de esta exploración constructiva podemos plantear diversos elementos estructurales que se pueden construir a partir de la aplicación de la técnica seleccionada y bajo el método ya explorado en la parte experimental constructiva.

Esto es importante porque la investigación que desarrollamos está vinculado a observar las interacciones entre las variables propuestas para nuestro caso se trata sobre cómo se interrelaciona la construcción de una bóveda catenaria y la Construcción con módulos triangulares de ladrillos y queremos explorar las posibilidades de resultados que se logran para poder describir, registrar y evidenciar en nuestra investigación.

## 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### Descriptivo Simple

El método descriptivo es uno de los métodos cualitativos que se usan en investigaciones que tienen como objetivo la evaluación de algunas características de una población o situación en particular. En la investigación descriptiva, el objetivo es describir el comportamiento o estado de un número de variables. El método descriptivo orienta al investigador en el método científico.

La descripción implica la observación sistemática del objeto de estudio y catalogar la información que es observada para que pueda usarse y replicarse por otros. El objetivo de esta clase de métodos es ir obteniendo los datos precisos que se puedan aplicar en promedios y cálculos estadísticos que reflejen, por ejemplo, tendencias.

Por lo general estos estudios son la puerta de acceso a otros de mayor profundidad sobre un fenómeno en concreto, ofreciendo datos sobre la función y su forma.

Algunas de las características más representativas del método descriptivo son:

- Suele atender a un método cualitativo porque en los datos que registramos evidenciamos las mediciones en el proceso constructivo
- Es un primer abordaje al objeto que se está estudiando y funciona como un catalizador de nuevas investigaciones, a partir de este primer caso se puede mejorar otras casuísticas en otros procesos constructivos.
- Hace posible la consecución de muchos datos sobre el objeto que se estudia, durante el proceso constructivo se replantearon formas y criterios de construcción para mejorar el resultado final
- Implica una observación atenta y hay un registro fiel de lo que se observa, todo el proceso constructivo fue registrado para tener evidencias en futuras aplicaciones
- No implica generalizaciones ni proyecciones el proyecto es único y sus condiciones de igual manera son solo aplicables para el caso de la bóveda catenaria.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 Población.**

Determinada por 06 elementos estructurales en los que de manera digital se prototiparon y se ensayaron las posibilidades de construcción, usando los módulos triangulares(variable independiente), de los cuales se tomaron como referencia las dimensiones probadas en campo y adaptadas a las dimensiones de los prototipos de bóvedas, los prototipos fueron desarrollados de manera digital usando en primer orden el software de AutoCAD 2019, para la digitalización bidimensional, se usó posteriormente el software SketchUp 2019 para el modelamiento tridimensional y finalmente se usó el software Lumion10 para la simulación de los prototipos, mediante este proceso se pudo evidenciar la factibilidad constructiva de cada prototipo propuesto, no todos los casos tuvieron resultados óptimos por eso se usó una ficha de observación para validar o descartar cada prototipo ensayado.

#### **3.3.2 Muestra.**

De total de prototipos de bóvedas fabricados de manera digital, se preseleccionaron 2 prototipos como parte de la muestra los cuales son la bóveda de cañón y la bóveda catenaria, esta selección se realizó por conveniencia por parte de los investigadores usando como herramienta de selección un cuadro valorativo para justificar la selección, ambos prototipos lograron la mayor valoración con este instrumento, fue así que durante el proceso constructivo se seleccionó a la bóveda catenaria como muestra definitiva para su construcción.

### **3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- Identificación y delimitación

Primer punto de la investigación. Es cuando se toma la decisión de lo que se va a investigar y la clase de preguntas a las que se quiere buscar respuesta.

En esta etapa nuestra principal materia de investigación es las posibilidades constructivas, al no existir referentes directos se tenía que experimentar constructivamente en un plano no vertical sino curvilíneo que es particularmente más complejo, pero requería de su propio método constructivo.

- Elaboración y construcción de los instrumentos

Todo depende de lo que se quiera investigar, debiendo seleccionar los instrumentos para recoger datos. En esta fase del proceso, todo debe hacerse con anticipación, asegurándose de que los instrumentos sean los válidos.

Nuestros instrumentos de validación fueron las fichas de observación, que se fueron actualizando porque el modelo digital fue actualizado posterior a lo desarrollado en la parte experimental constructiva, con estos nuevos datos se validaron los instrumentos de observación

- Observación y registro de datos

Momento importante del proceso, debiendo estar aquí atento a la realidad que se observa para tomar nota de muchos detalles. Esta parte fue determinante en el proceso constructivo, muchos aspectos fueron replanteados y ajustados a los requerimientos en obra que se suscitaron durante el proceso constructivo.

- Decodificación y categorización de la información

Aquí los datos percibidos pasan a transcribirse en algún formato y se organizan dependiendo de la importancia o el significado.

Nuestros resultados fueron registrados posteriores a las observaciones y mediciones realizadas, con estos datos pudimos cuantificar valores cuantitativos como el peso, el volumen la cantidad de materiales y los costos tanto en materiales como en mano de obra porque los rendimientos convencionales no son los mismos en un sistema nuevo.

- Análisis

En cuanto los datos se catalogan, es el momento de interpretar y analizar con referencia al objeto de estudio. En análisis no debe establecer relaciones causales, ya que la propia naturaleza del método no lo hace posible.

Nuestro análisis respalda nuestras conclusiones e hipótesis, las cuales fueron puestas a prueba después del proceso experimental constructivo.

- Propuestas

Justo en este momento es donde se sugieren los pasos siguientes de la investigación del objeto de estudio. Con la información que se recabe, lo normal es que aparezcan preguntas nuevas y se puede indagar en estas cuestiones.

En esta etapa posterior a la experimentación constructiva nos planteamos diferentes enfoques donde podríamos aplicar el proceso constructivo y la técnica de construcción llevándola aplicar en otros elementos estructurales, materia de posteriores investigaciones.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

##### 4.1.1 Análisis de los tipos de bóvedas predimensionados con módulos triangulares

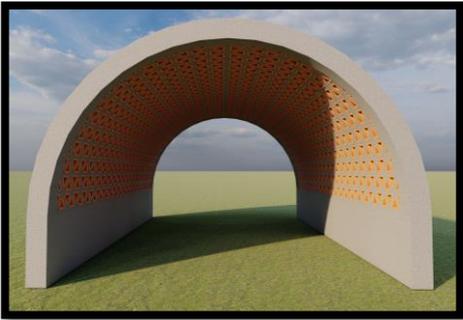
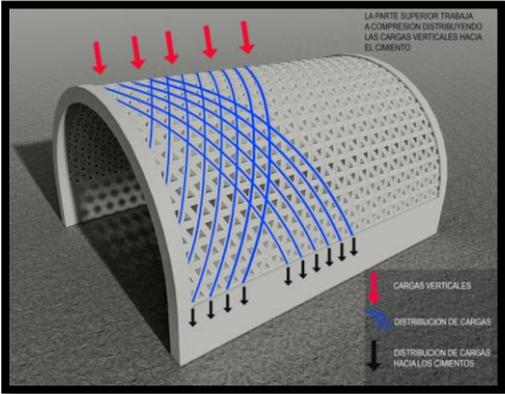
TIPOLOGIA	PROTOTIPO BC-T1	GRAFICO
<b>GEOMETRIA</b>	Es la prolongación de un arco semicircular a lo largo de un eje	 <p style="text-align: center;">Bóveda de cañón elaborado con módulos triangulares</p>  <p style="text-align: center;">VISTA AREA DE LA BOVECA DE CAÑÓN</p>
<b>DIMENSIONES</b>	Largo: 6.98M Ancho: 5.60M Altura: 3.75M	
<b>MATERIALES</b>	Ladrillo pastelero Varillas de acero de $\varnothing \frac{1}{2}$ Cemento tipo I	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	En su época fue el principal sistema para construir cubiertas, también se utilizó para abovedar sótanos, criptas, vestíbulos, claustros e incluso grandes sales	
<b>ANALISIS DE LA ESTRUCTURA</b>	<p>La bóveda de cañón posee dos muros, que deben soportar una gran presión, no solo vertical, sino también lateral.</p> <p>A comparación con otras bóvedas, la de cañón es más inestable, ya que ejerce sobre sus elementos sustentantes una fuerte presión, no solo vertical, sino también un empuje transversal, por ese motivo puede fácilmente derrumbarse si no se refuerzan.</p> <p>En el prototipo los módulos triangulares y varillas de acero que se encuentran entre estos generan una malla estructural que refuerza el sistema, además que ayuda a la distribución de cargas hacia los dos muros que se recomienda utilizar en este tipo de bóvedas</p>	
<b>CONCLUSION</b>	<p>El prototipo si se puede desarrollar con los módulos triangulares, ya que estos se adaptan a la forma, pero es importante tener en cuenta que este tipo de bóveda es estructuralmente inestable.</p> <p>Si es factible su construcción con módulos triangulares de ladrillo pastelero.</p>	

Tabla 12: Análisis de bóveda de cañón con módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

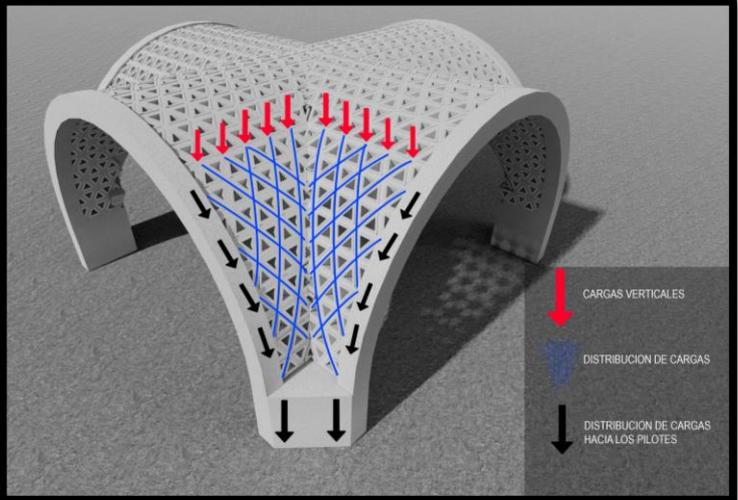
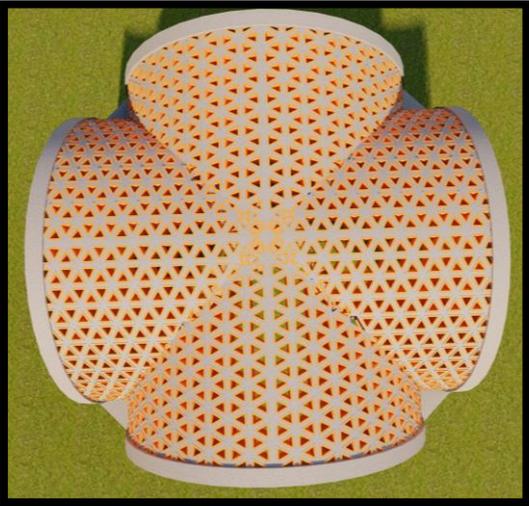
TIPOLOGIA	PROTOTIPO BA-T2	GRAFICO
<b>GEOMETRIA</b>	Esta generada por dos superficies semicilíndricas ortogonales cuyas líneas de intersección, o aristas son arcos de eclipse que se cruzan en el vértice superior	 <p data-bbox="786 584 1361 611">Bóveda de arista elaborada con módulos triangulares</p>
<b>DIMENSIONES</b>	Largo:6.98m Ancho:6.98m Altura:3.75	
<b>MATERIALES</b>	Ladrillo pastelero Varillas de acero de $\varnothing \frac{1}{2}$ Cemento tipo I	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	Se usa para cubrir espacios de planta cuadrada, para la cual el espacio inicial es rectangular para luego ser subdividido en tramos cuadrados mediante pilares de apoyo o columnas.	
<b>ANALISIS DE LA ESTRUCTURA</b>	Su trabajo estructural es distribuir los empujes de las cubiertas hacia las columnas o pilotes. Al ubicar los módulos En el prototipo se observa que los módulos no logran encajar para la formación de aristas, generando discontinuidad en la malla estructural que forman los módulos triangulares y varillas de acero.	 <p data-bbox="1283 920 1390 943">CARGAS VERTICALES</p> <p data-bbox="1283 981 1414 1003">DISTRIBUCION DE CARGAS</p> <p data-bbox="1283 1048 1414 1093">DISTRIBUCION DE CARGAS HACIA LOS PILOTES</p>
<b>CONCLUSION</b>	Debido a la forma de la bóveda en las aristas en la parte superior e inferior no se logra una unión consistente de los módulos triangulares. Por ello no es factible su construcción con módulos triangulares de ladrillo pastelero.	 <p data-bbox="836 1749 1307 1776">VISTA AREA DE LA BOVEDA DE ARISTA</p>

Tabla 13: Análisis de bóveda de arista con módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

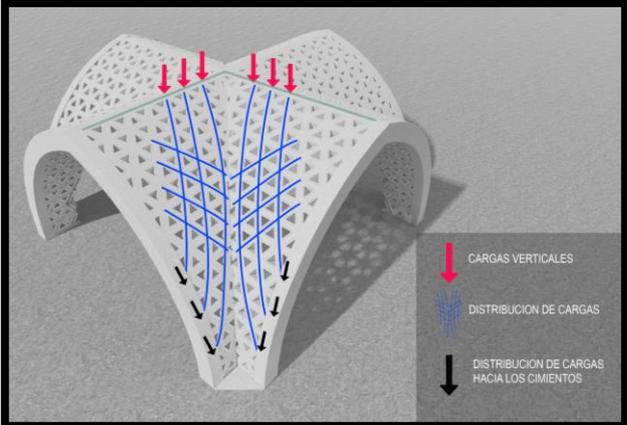
TIPOLOGIA	PROTOTIPO BCR-T3	GRAFICO
<b>GEOMETRIA</b>	Está conformada por el cruce, o intersección de dos bóvedas de cañón apuntados, se caracteriza por estar reforzada por dos más nervios diagonales que se cruzan en la clave.	
<b>DIMENSIONES</b>	Largo:5.55m Ancho:5.55m Altura:3.94m	
<b>MATERIALES</b>	Ladrillo pastelero Varillas de acero de $\varnothing \frac{1}{2}$ Cemento tipo I	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	Surgen con la necesidad de edificar enormes espacios forrados para ellos se redujo el grosor de los muros y de los contrafuertes	
<b>ANALISIS DE LA ESTRUCTURA</b>	<p>El peso de dichas bóvedas es transmitido a los cimientos utilizando los 4 pilares como medio de comunicación.</p> <p>Al ubicar los módulos En el prototipo se observa que los módulos no logran encajar para la formación de aristas, generando discontinuidad en la malla estructural que forman los módulos triangulares y varillas de acero.</p> <p>Para obtener la forma apuntada del prototipo sería necesario generar vigas en ambas direcciones las cuales transmitirían su peso a la parte superior de los arcos generando sobrecarga en la estructura</p>	<p>Bóveda de crucería elaborada con módulos triangulares Debido a la forma que tiene la bóveda de crucería para lograr</p>  <p>CARGAS VERTICALES DISTRIBUCION DE CARGAS DISTRIBUCION DE CARGAS HACIA LOS CIMIENTOS</p>
<b>CONCLUSION</b>	<p>Para la unión de los módulos triangulares en los vértices sería necesario diseñar módulos con diferentes formas, además de dos vigas en la parte superior de la estructura generando que la distribución de cargas sea ineficiente y es muy probable que la bóveda colapse</p> <p>Por ello no es factible su construcción con módulos triangulares de ladrillo pastelero.</p>	

Tabla 13: Análisis de bóveda de crucería con módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

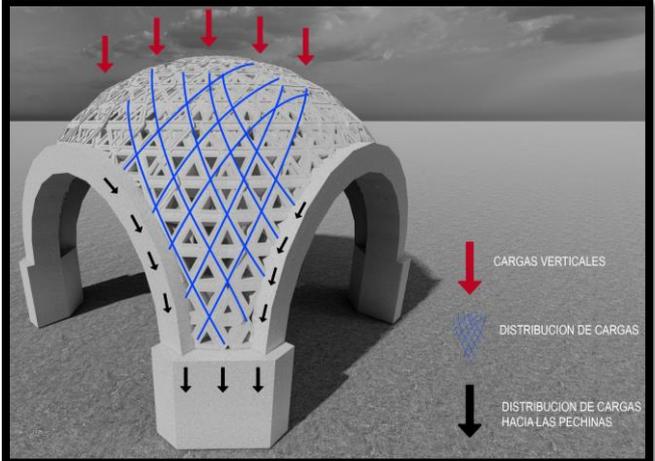
TIPOLOGIA	PROTOTIPO BV-T4	GRAFICO
<b>GEOMETRIA</b>	Resulta de seccionar un hemisferio con cuatro planos verticales cuyas trazas en planta corresponden al cuadrado inscrito en la circunferencia base del hemisferio	
<b>DIMENSIONES</b>	Largo: 4.73m Ancho: 4.73m Altura: 2.45m	
<b>MATERIALES</b>	Ladrillo pastelero Varillas de acero de $\varnothing \frac{1}{2}$ Cemento tipo I	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	Debido a su planta cuadrada sirve para techar espacios cuadrados	<p>Boveda vaída elaborada con módulos triangulares</p>
<b>ANALISIS DE LA ESTRUCTURA</b>	<p>La bóveda vaída se caracteriza por ser levantadas por pechinas las cuales reciben las cargas estructurales.</p> <p>Como podemos observar en las imágenes no se pueden utilizar los módulos triangulares para la construcción de este prototipo debido a la forma que posee la bóveda, además de los arcos que reposan sobre las pechinas serian necesario otros tipos de módulos de diferente forma y dimensión para lograr encajar en la forma de este.</p>	
<b>CONCLUSION</b>	La bóveda vaída no se puede construir con módulos triangulares de ladrillo pastelero, por ello no es factible su construcción	 <p><b>VISTA AREA DE LA BOVEDA VAIDA</b></p>

Tabla 14: Análisis de bóveda vaída con módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

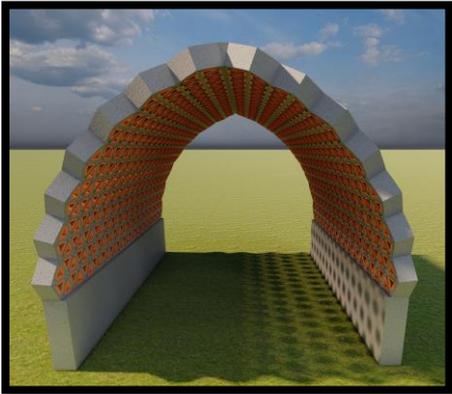
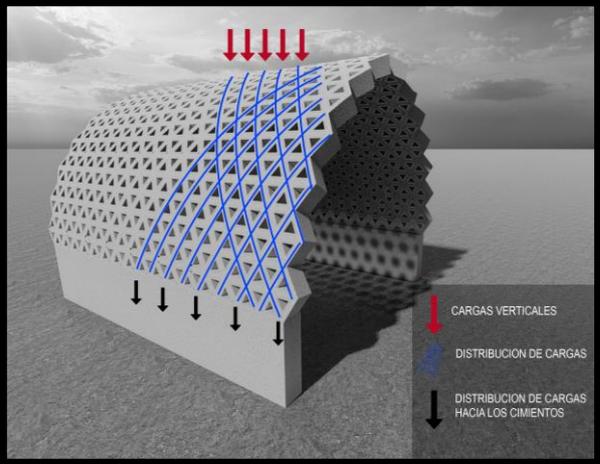
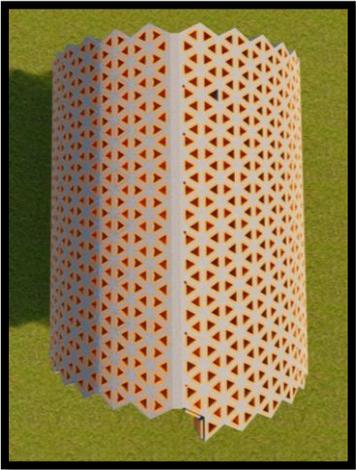
TIPOLOGIA	PROTOTIPO DE BCA-T5	GRAFICO
<b>GEOMETRIA</b>	Este tipo de bóveda se forma de un arco apuntado en su desplazamiento a lo largo de dos muros paralelos, cubriendo el espacio que hay entre ellos	 <p data-bbox="852 618 1406 674">Bóveda de cañón apuntado elaborado con módulos triangulares</p>
<b>DIMENSIONES</b>	Largo: 5.18 m Ancho: 2.63 m Altura: 2.70 m	
<b>MATERIALES</b>	Ladrillo pastelero Varillas de acero de $\varnothing \frac{1}{2}$ Cemento tipo I	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	En su época fue el principal sistema para construir cubiertas, también se utilizó para abovedar sótanos, criptas, vestíbulos, claustros e incluso grandes salas	 <p data-bbox="1246 994 1414 1122"> <span style="color: red;">↓</span> CARGAS VERTICALES  <span style="color: blue;">—</span> DISTRIBUCION DE CARGAS  <span style="color: black;">↓</span> DISTRIBUCION DE CARGAS HACIA LOS CIMIENTOS </p>
<b>ANALISIS DE LA ESTRUCTURA</b>	<p>En la bóveda de cañón apuntada al ser ojival en parte superior tienen como ventaja el ejercicio de unos empujes laterales menores.</p> <p>Los módulos triangulares se adaptan a la forma de la bóveda, pero es necesario considerar una viga en la parte superior para definir la forma del tipo de bóveda, esta viga genera sobre a la carga a la estructura, además que genera discontinuidad de la malla estructural que forma los módulos triangulares y las varillas de acero.</p> <p>Además, consideramos dos muros laterales que ayudan a la distribución de cargas</p>	
<b>CONCLUSION</b>	<p>En este prototipo podemos observar que los módulos triangulares se adaptan a la forma, sin embargo, en la parte superior sería necesario considerar una viga.</p> <p>Este prototipo es poco factible para su construcción con módulos triangulares de ladrillo pastelero.</p>	 <p data-bbox="890 1727 1366 1783">VISTA AREA DE LA BOVEDA DE CAÑÓN APUNTADO</p>

Tabla 15: Análisis de bóveda de cañón apuntado con módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

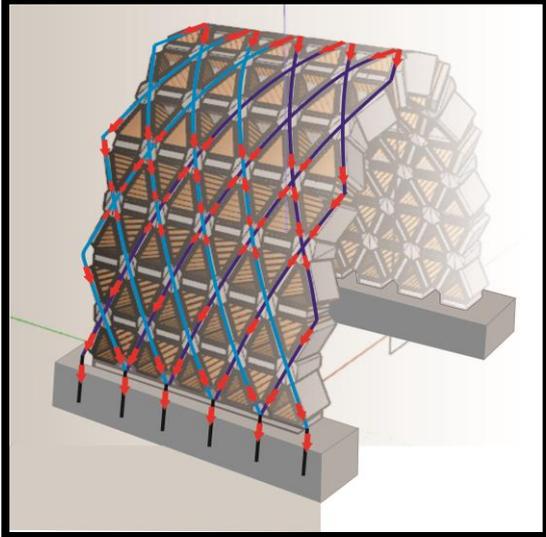
TIPOLOGIA	PROTOTIPO DE BCT-T6	GRAFICO
<b>GEOMETRIA</b>	Esta forma en curva se obtiene suspendiendo una cadena por sus extremos a merced de la gravedad, lo que forma una curva espontánea y natural.	
<b>DIMENSIONES</b>	Largo: 2.10 m Ancho: 2.40 m Altura: 2.80 m	
<b>MATERIALES</b>	Ladrillo pastelero Varillas de acero de $\varnothing \frac{1}{2}$ Cemento tipo I	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	Su función principal es la de elemento estructural portante	
<b>ANALISIS DE LA ESTRUCTURA</b>	<p>La bóveda catenaria nace de un arco catenarico que tiene la capacidad de soportar el peso del material con el que está construido, sin colapsar ya que redirigen la fuerza vertical de la gravedad en fuerzas de compresión a lo largo de la curva del arco.</p> <p>Los módulos triangulares se adaptan a la forma del prototipo sin la necesidad de un elemento estructural adicional Los módulos forman una malla estructural, la cual distribuye las cargas verticales hacia el cimiento.</p>	
<b>CONCLUSION</b>	<p>Los módulos triangulares se adaptan de manera eficiente a la forma del prototipo, además que aporta valor estructural al sistema. Por ello este prototipo es factible para su construcción con módulos triangulares de ladrillo pastelero.</p>	

Tabla 16: Análisis de bóveda de catenaria con módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Cuadro de valoración de prototipos de bóvedas con módulos triangulares de ladrillo de pastelero

CODIGO DE PROTOTIPO	EL PROTOTIPO ES EFICIENTE GEOMETRICAMENTE	LOS MODULOS TRIANGULARES DE LADRILLO PASTELERO SE ADAPTAN AL PROTOTIPO PROPUESTO	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO	ES PROBABLE LA CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO	VALORACION DEL PROTOTIPO
BC-T1	0	1	0	1	2
BA-T2	1	0	0	-2	-1
BCR-T3	1	-2	-2	-2	-5
BV-T4	1	-2	-2	-2	-5
BCA-T5	1	0	-2	0	-1
BCT-T6	2	2	2	2	8

	Factor excelente en el desempeño del prototipo	2
	Factor bueno en el desempeño del prototipo	1
	Factor regular en el desempeño del prototipo	0
	Factor malo en el desempeño del prototipo	-1
	Factor deficiente en el desempeño del prototipo	-2

Tabla 17: Valoración de prototipos

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.3 Etapas de desarrollo para la fabricación del prototipo bóveda catenaria

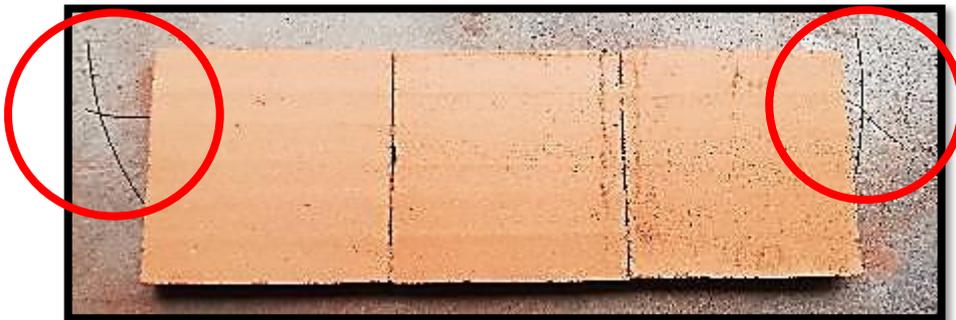
#### 4.1.3.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO

Según el desarrollo del proyecto de bóveda exterior en el centro infantil de rehabilitación del teletón ubicado en Paraguay desarrollado por el Arquitecto Solano Benítez, será el sistema en el cual nos basaremos para la construcción de nuestro prototipo, señala que la bóveda se debe construir en un encofrado móvil de madera el cual dará la forma a la curva catenaria.

Sobre este encofrado se ubicarán los módulos triangulares y entre ellos se desarrollará un enmallado con varillas de acero. Estos elementos deben ubicarse con precisión para garantizar el funcionamiento estructural del prototipo.

#### 4.1.3.2 PROCESO CONSTRUCTIVO

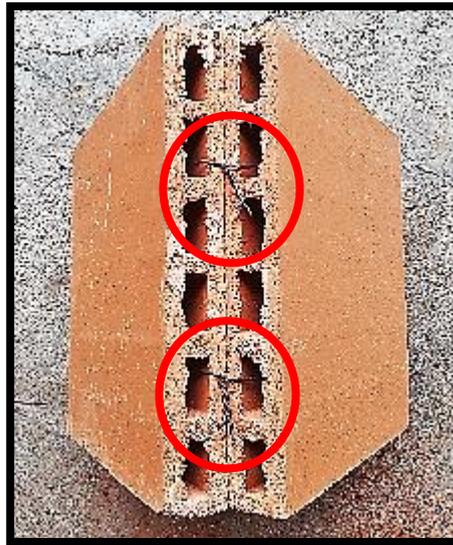
**PRIMER PASO:** Cortamos dos tiras de alambre N° 16 cada uno de 1 metro, para luego pasarlas por los agujeros de los ladrillos.



*Fotografía 1: Primer paso para la elaboración de modulo triangular*

*Fuente: Elaboración propia*

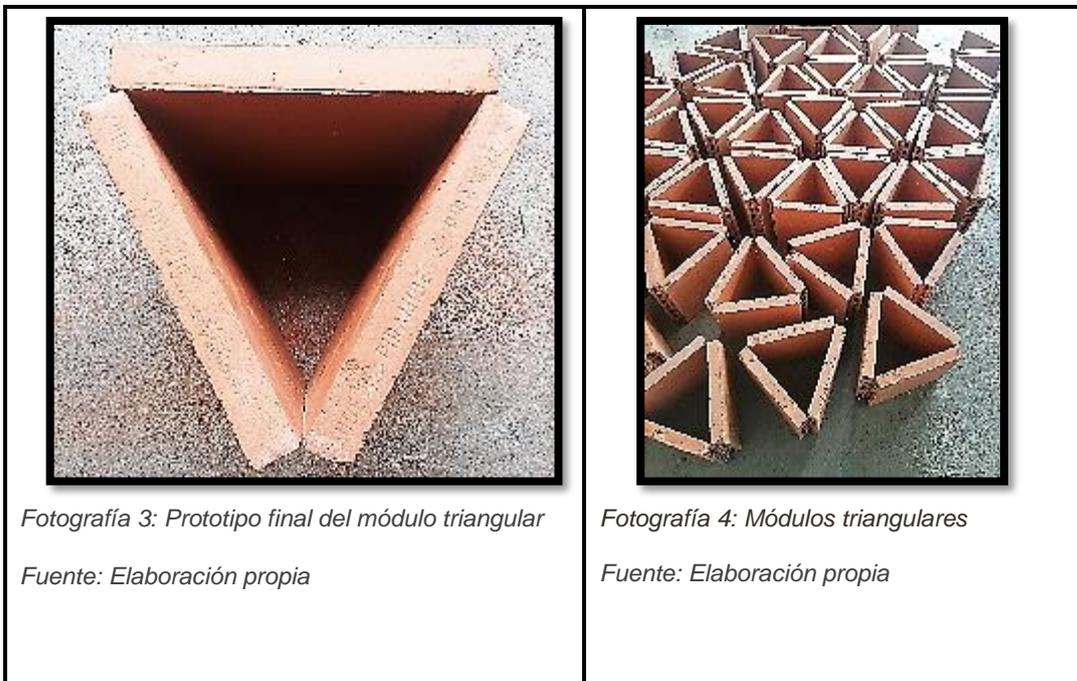
**SEGUNDO PASO:** Unimos los ladrillos por los vértices para poder tortolear los alambres y así lograr la rigidez del módulo.



Fotografía 2: Unión de vértices de los ladrillos pastelero

Fuente: Elaboración propio

**TERCER PASO:** Se elaboraron (166) prototipos de módulos triangulares para poder construir la bóveda catenaria



Fotografía 3: Prototipo final del módulo triangular

Fuente: Elaboración propia

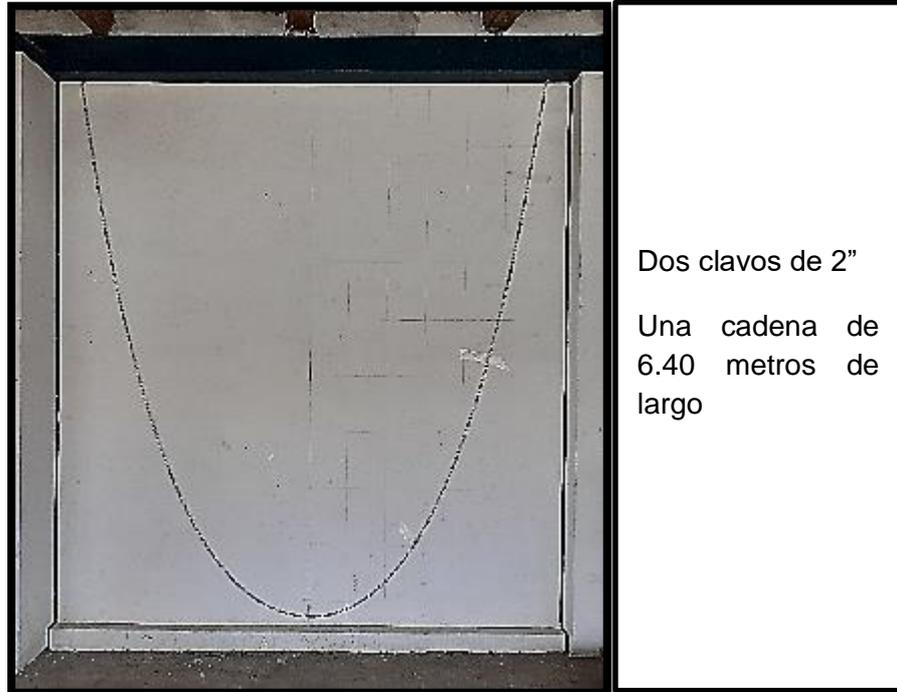
Fotografía 4: Módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4 Diseño de arco catenario

- **PRIMER PASO:**

Situamos dos puntos a 2.40 metros de distancia y colgamos una cadena de ambos puntos para obtener así la curva catenaria



*Fotografía 5: Curva catenaria*

*Fuente: Elaboración propia*

- **SEGUNDO PASO:**

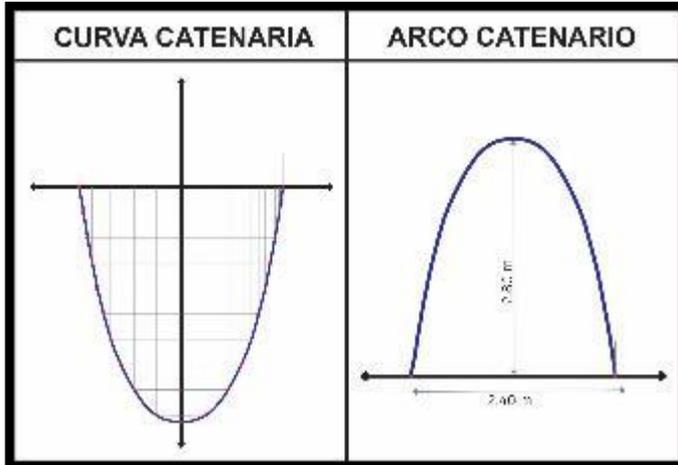
Tomamos el punto medio de la curva catenaria y con un nivel de mano empezamos a trazar puntos cada 30 cm hacia abajo y cada 20 cm hacia la derecha para obtener un plano cartesiano con puntos exactos y así poder trasladar la catenaria al AutoCAD.



En este proceso ubicamos el **punto medio** de la catenaria y a partir de ese punto empezamos a obtener el plano cartesiano

Fotografía 6: Trazado de coordenadas de curva catenaria

Fuente: Elaboración propia



Con los puntos obtenidos en la fotografía N° 6 elaboramos el plano cartesiano de la curva catenaria por ende el arco catenario en el programa de AutoCAD.

Fotografía 7: Plano cartesiano de curva catenaria

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Proceso constructivo de arco catenario

Fuente: Elaboración propia

- **TERCER PASO: ELABORACIÓN DEL CIMIENTO**

Iniciamos con el trazado del cimiento que fueron de 2.10 metros largo por 0.40 metros de ancho y con una profundidad de 0.60 metros.

 <p><i>Fotografía 8: Trazado de cimiento</i> <i>Fuente: Elaboración propia</i></p>	<p>Con yeso blanco, un cordel y una escuadra realizamos el trazado del cimiento</p>
 <p><i>Fotografía 9: Excavación de cimiento</i> <i>Fuente: Elaboración propia</i></p>	<p>Utilizamos un pico y una pala para realizar la excavación de los dos cimientos</p>

Tabla 19: Elaboración del cimiento

Fuente: Elaboración propia



*Fotografía 10: Cimiento*

*Fuente: Elaboración propia*

- **CUARTO PASO:**

Se inicio con el vertido de concreto en los cimientos una vez lleno se plantaron las varillas de 8 mm de espesor, cada varilla de 1.20 m de largo y se colocaron cada 40 cm y 2 cm.



*Fotografía 11: Distribución de fierros de 8mm*

*Fuente: Elaboración propia*

- **QUINTO PASO: ELABORACIÓN DEL ENCOFRADO**

Con las medidas obtenidas en el AutoCAD iniciamos el trazado de los puntos en el piso y tablas para la elaboración del encofrado. Se elaboraron tres de estos moldes

 <p>Fotografía 12: Trazado de curva catenaria en tablonés</p> <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Utilizamos dos tablonés por molde de 1 ½" x 12 x 10</p>
 <p>Fotografía 13: Unión de tablonés para el encofrado de la bóveda catenaria</p> <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Para cortar y darle la forma de la catenaria a la madera utilizamos una caladora</p>
 <p>Fotografía 14: Molde terminado</p> <p>Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Para unir los elementos ya cortados utilizamos unas chapas y clavos 3"</p>

Tabla 20: Elaboración de la cimbra

Fuente: Elaboración propia

- **SEXTO PASO: ARMADO DEL ENCOFRADO EN EL TERRENO**

Iniciamos con la elevación de los tres moldes que poseen la forma de la bóveda catenaria, se escuadraron los moldes a la cimentación y se apuntalaron.



Fotografía 15: Moldes elevados en el terreno

Fuente: Elaboración propia

- **SÉPTIMO PASO: ENTABLADO**

Iniciamos cortando las tablas y listones a 2.10 metros para poder ubicarlas de forma horizontal en los moldes de la bóveda catenaria.



*Fotografía 16: Medición de listones para la elaboración del encofrado*

*Fuente: Elaboración propia*

Cortamos tablas de 1 x 4 x 10 a 2.10 metros



*Fotografía 17: Entablado del encofrado*

*Fuente: Elaboración propia*

Una vez obtenido los listones pasamos a clavarlos en los moldes



*Fotografía 18: Entablado del encofrado*

*Fuente: Elaboración propia*

Empezamos a clavar los listones desde uno de los laterales hasta cierta distancia, luego pasamos al otro lateral para poder ir uniformemente.



*Fotografía 19: Finalización del entablado del encofrado*

*Fuente: Elaboración propia*

Como podemos observar en la fotografía N° 19 ya nos encontramos en la parte superior del molde de la bóveda catenaria



Fotografía 20: Encofrado para la bóveda catenaria

Fuente: Elaboración propia

Logramos de forma satisfactoria el entablado de la bóveda catenaria

Tabla 21: Entablado

Fuente: Elaboración propia

- **OCTAVO PASO:**

Iniciamos con el trazado de la forma triangular en el entablado, tomando como partida la altura de los módulos triangulares 22 cm y la altura del mortero que es de 4 cm de espesor, ya obtenida la forma y los puntos exactos comenzamos a ubicar los módulos triangulares.



Fotografía 21: Trazado para la ubicación de módulos triangulares

Fuente: Elaboración propia

Plantillamos la forma del módulo triangular en el encofrado para poder ubicarlos de forma adecuada ya teniendo los puntos exactos.



*Fotografía 22: Trazado de modulo triangular*

*Fuente: Elaboración propia*

En la fotografía N° 22 podemos observar que obtuvimos la forma del módulo triangular.



*Fotografía 23: Ubicación de módulos triangulares*

*Fuente: Elaboración propia*

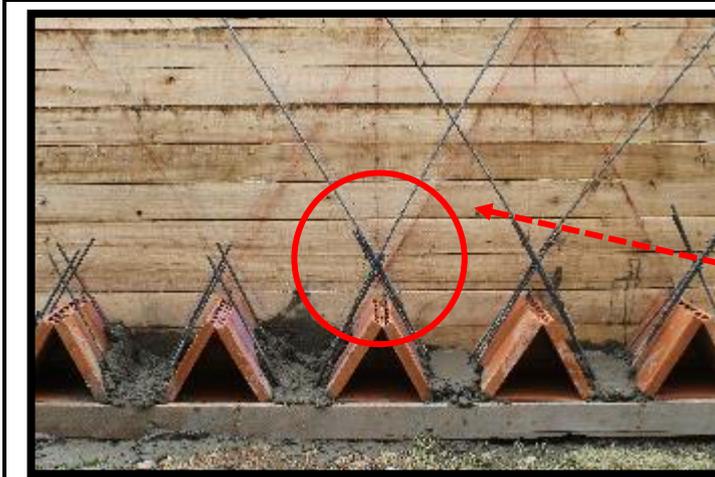
Terminamos de plantillar la forma para poder ubicar los módulos triangulares de manera uniforme respetando la separación entre módulos.

*Tabla 22: Plantillado de módulos triangulares*

*Fuente: Elaboración propia*

- **NOVENO PASO:**

Una vez obtenido los puntos exactos iniciamos con el vertido de mortero en la base y entre los módulos, avanzado simultáneamente como un asentado común de pared en ambos lados de la catenaria.



Empalmamos fierros de 8 mm en las mechas ya colocadas posteriormente

*Fotografía 24: Empalme de varillas de fierro de 8mm*

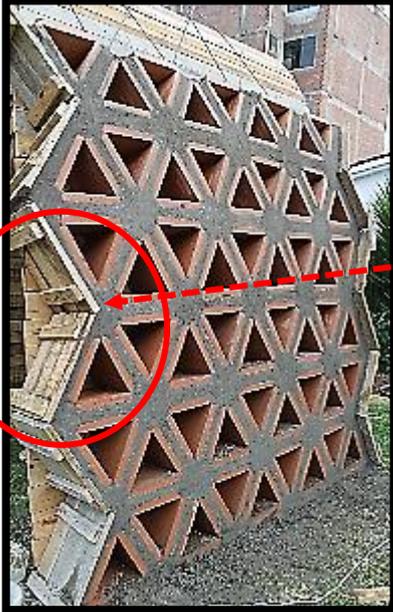
*Fuente: Elaboración propia*



Iniciamos con el asentado de los módulos triangulares de uno de los laterales de la bóveda catenaria.

*Fotografía 25: Asentado de módulos triangulares*

*Fuente: Elaboración propia*

 <p><i>Fotografía 26: Vista lateral del proceso constructivo de bóveda catenaria</i></p> <p><i>Fuente: Elaboración propia</i></p>	<p>Terminando de asentar uno de los laterales de la bóveda catenaria.</p> <p>Colocamos unas tablas en forma de V a los bordes de la bóveda para poder verter el mortero y no puedan ceder.</p>
 <p><i>Fotografía 27: Culminación del asentado de la bóveda catenaria</i></p> <p><i>Fuente: Elaboración propia</i></p>	<p>Una vez concluido el asentado de los módulos triangulares curamos la bóveda catenaria durante 5 días por 3 horas cada día.</p>

*Tabla 23: Asentado de módulos triangulares y culminación de la bóveda*

*Fuente: Elaboración propia*

- **DECIMO PASO: DESENCOFRADO DE LA BÓVEDA CATENARIA**



En este paso retiramos los puntales y chapas.

Fotografía 28: Desencofrado de bóveda catenaria

Fuente: Elaboración propia



Al retirar los puntales y los moldes las tablas empezaron a caer por sí solas sin necesidad de forzar a la estructura.

Fotografía 29: Desentablado del encofrado

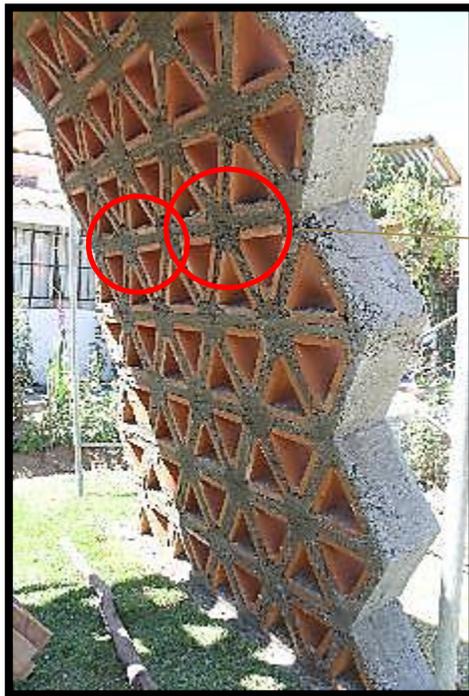
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 30: Vista de bóveda catenaria sin encofrado

Fuente: Elaboración propia

Finalizamos de retirar los moldes y en el encofrado podemos observar la parte interior de la bóveda.



Fotografía 31: Vista interior de bóveda catenaria

Fuente: Elaboración propio

Al retirar el encofrado nos percatamos que al interior quedaron lugares donde el mortero no ingreso de manera uniforme formando pequeñas **cangrejas**

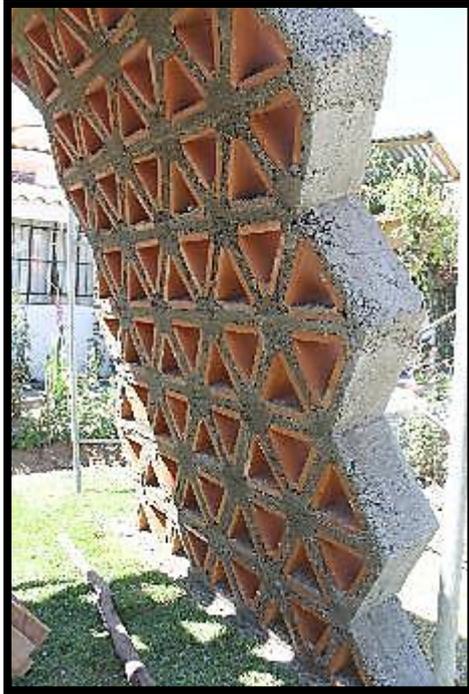
Consideramos que al ser una bóveda elaborada por medio de un encofrado al momento de vertir el mortero no llego a introducirse uniformemente a la tabla lo cual genero las cangrejas.

Tabla 24: Descimbrado de la bóveda catenaria

Fuente: Elaboración propi

## ONCEAVO PASO: ACABADOS

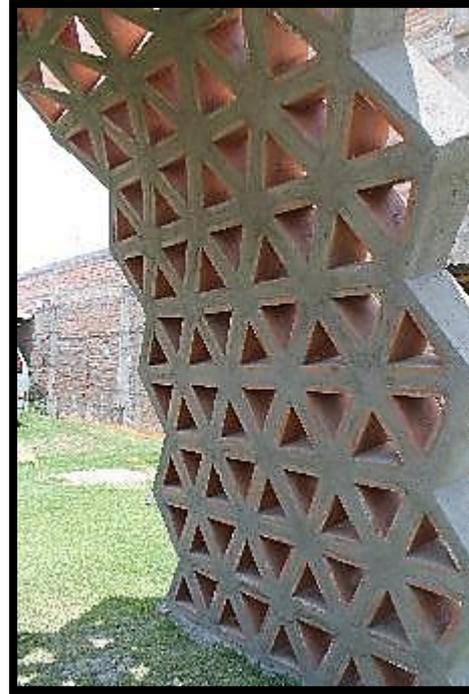
En este paso procedimos a rellenar las cangrejas para que tenga un acabado uniforme



**ANTES**

*Fotografía 32: Vista interior de bóveda catenaria con el acabado final*

*Fuente: Elaboración propio*



**DESPUES**

*Fotografía 33: Vista interior de bóveda catenaria con el acabado final*

*Fuente: Elaboración propio*

Para rellenar las cangrejas utilizamos, arena fina y cemento.

Procedimos a realizar el acabado de la parte interior de la bóveda catenaria obteniendo un resultado uniforme.

*Tabla 25: Acabados finales*

*Fuente: Elaboración propia*



*Fotografía 33: Bóveda Catenaria Final*

*Fuente: Elaboración propio*

## **4.2 ANALISIS DE LA BÓVEDA CATENARIA**

### **4.2.1 ANALISIS FORMAL**

De acuerdo a los antecedentes que estudiamos el primer elemento para obtener la forma de nuestro proyecto es el arco catenario, el más eficiente de todos los arcos. Este arco extendido a través de un eje forma la bóveda catenaria la cual define la forma volumétrica del proyecto.

Otro elemento formal en el proyecto son los módulos triangulares de ladrillo pastelero que se encuentra en toda la volumetría.

## 4.2.2 ANALISIS DE MATERIALIDAD

Entre los materiales predominantes del proyecto se encuentran el ladrillo pastelero seleccionado por ser el más esbelto de los ladrillos y por ser uno de los que no tiene variedad de uso, otro material es el mortero conformado por la mezcla de arena gruesa, cemento y agua, el cual sirve como conglomerante entre los módulos triangulares y por último tenemos al acero de 8 mm que forma una malla a lo largo de la volumetría de la bóveda catenaria.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	N° DE VECES	DIMENSIONES				PARCIAL	TOTAL
				LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	AREA (m2)		
<b>01.00.00</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>								
<b>01.01.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>								
01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	1	2.4	2.1			5.04	5.04
01.01.02	TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	1	2.4	2.1			5.04	5.04
01.01.03	TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO DURANTE EL PROCESO	m2	1	2.4	2.1			5.04	5.04
01.01.02	EXCAVACION MANUAL DE CIMIENTO	m3							1.008
01.01.03	EXCAVACION DE CIMIENTOS	m3	2	2.1	0.4	0.6	0.504	0.504	1.008
<b>02.00.00</b>	<b>OBRA DE CONCRETO SIMPLE</b>								
02.01.01	CONCRETO PARA CIMIENTO $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	m3	2	2.1	0.4	0.6	0.504	0.504	1.008
02.01.02	ACERO DE REFUERZO 8mm	Kg	14					0.395	5.53
02.01.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	3	2.4	2.1	2.8	14.112	14.112	42.336
02.01.04	LADRILLO PASTELERO PIRAMIDE	und	162						162
<b>03.01.01</b>	<b>CARPINTERIA</b>								
03.01.02	MADERA DE 1X4X10"	UND	35	3				35	35
03.01.03	MADERA DE 1X2X10"	UND	20	3				20	20
03.01.04	MADERA DE 1 1/2X12X10	UND	8	3				8	8
03.01.05	CLAVOS DE 3"	Kg							2
03.01.06	CLAVOS DE 2 1/2"	Kg							2
03.01.07	CLAVOS DE 2"	Kg							2

Tabla 26: Métrado de Bóveda Catenaria

Fuente: Elaboración propio

### 4.2.3 ANALISIS ESTRUCTURAL

Para que el sistema estructural funcione es necesario una estructura que absorba y distribuya las cargas. Es por eso que decidimos realizar una catenaria alargada porque, a mayor altura, el empuje horizontal en los puntos se arranque es menor.

En la bóveda los encargados de la transmisión de cargas y estabilidad estructural son el fierro y el mortero, los cuales forman una malla estructural trabajando a tracción a lo largo del proyecto, los puntos hexagonales son el apoyo a la estructura para la distribución de las fuerzas a la cimentación.

La compresión es absorbida por el mortero y por otro lado se encuentran los módulos triangulares que brindan alivianamiento a la estructura de la bóveda catenaria.

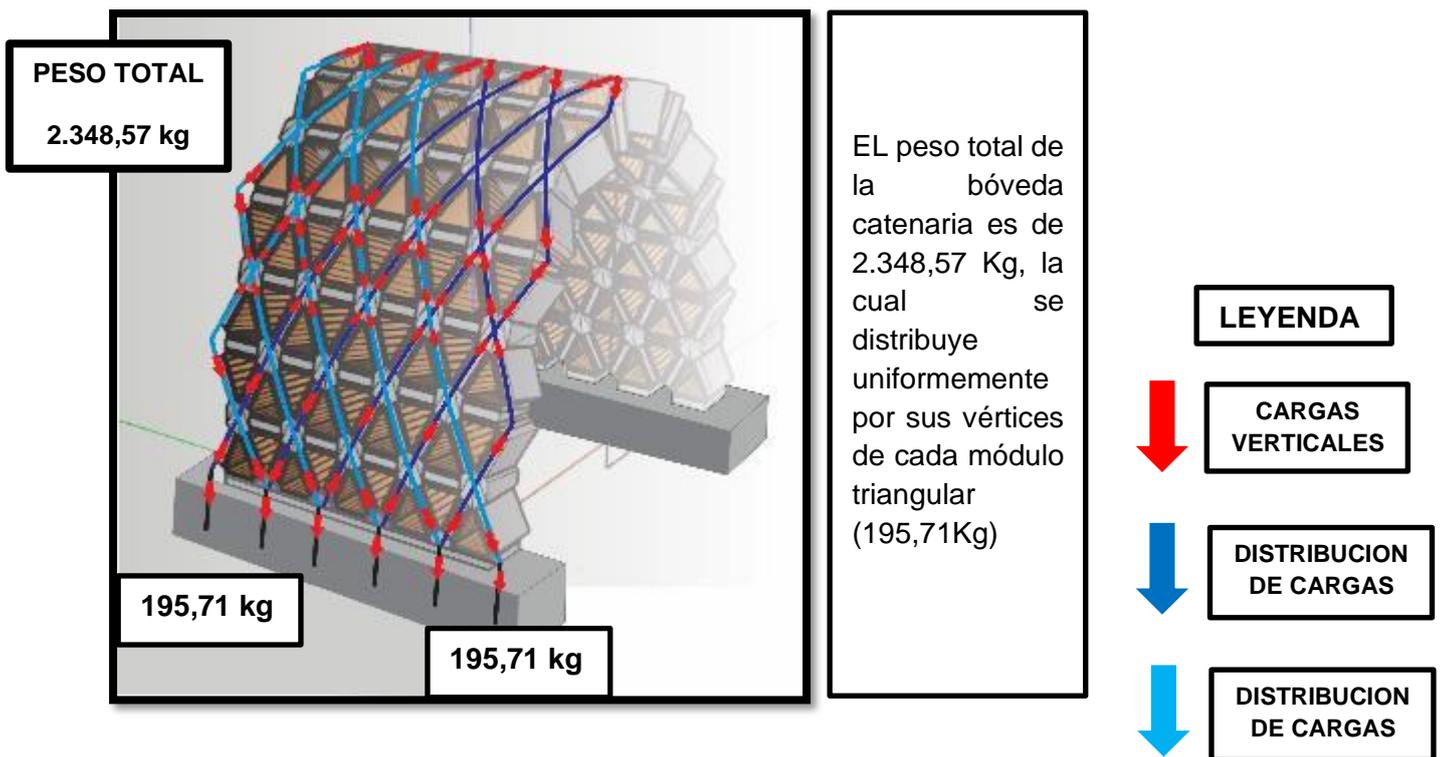


Figura 74: Distribución de fuerzan de la bóveda catenaria

Fuente: Elaboración propio

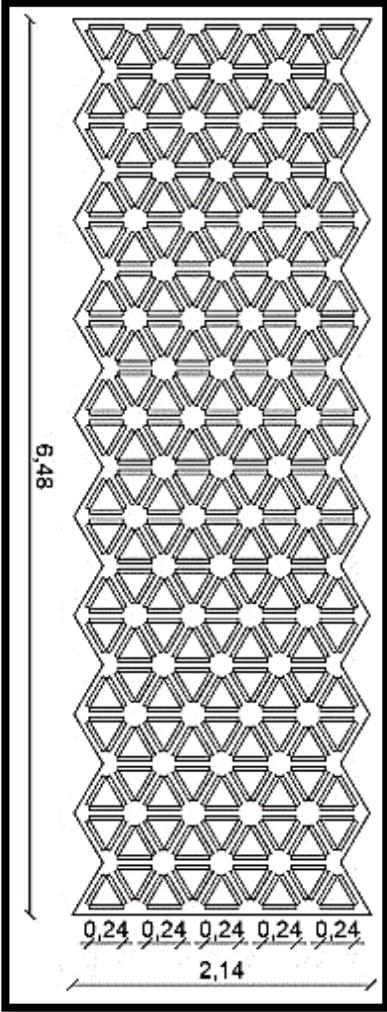
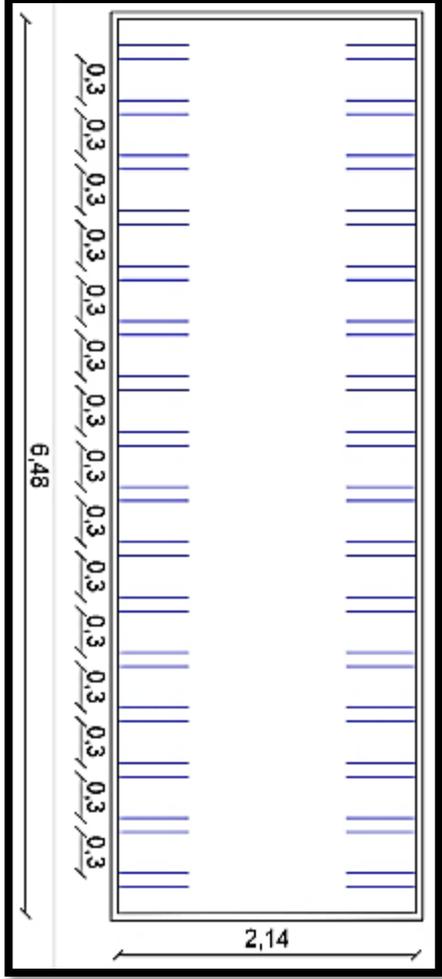
LOSA CON MODULOS TRIANGULARES	LOSA CONVENCIONAL
	
<p>En este tipo de losa con módulos triangulares tenemos:</p> <p>486 ladrillos pasteleros de 24x24x3 cm que tienen un peso de 1061 Kg</p> <p>Peso de mortero: 1282.04 Kg</p> <p>Peso de Fierro: 5.53 Kg</p> <p><b>Peso Total: 2.348,57 Kg</b></p>	<p>En este tipo de losa convencional tenemos:</p> <p>117 ladrillos para techo de 30x30x20 cm con un peso de 1.170 Kg</p> <p>Peso de concreto: 3581.1 Kg</p> <p>Peso de Fierro: 12.32 Kg</p> <p><b>Peso Total: 4763,42 Kg</b></p>

Tabla 27: Comparación de una losa con módulos triangulares con una losa convencional

Fuente: Elaboración propio

## 4.2.4 ANALISIS CONSTRUCTIVO

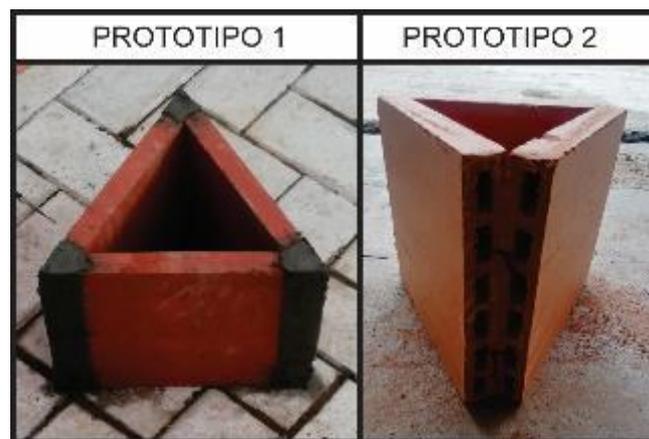
### 4.2.4.1 MODULO TRIANGULAR

Para la construcción del módulo se realizaron algunos ensayos en los cuales identificamos que

PROTOTIPO 1: Al tener los vértices con terminación en punta y no todos similares generaban dificultad al momento de ingresar el mortero, otra característica del tipo 1 fue que tenían mayor peso y generaba dificultad a momento de trasladarlos.

PROTOTIPO 2: En este prototipo decidimos dejar a modulo rigidizado solo por los alambres.

Para la construcción de la bóveda se elaboraron 166 módulos triangulares del prototipo 2, y el armado tomo un tiempo de dos días.



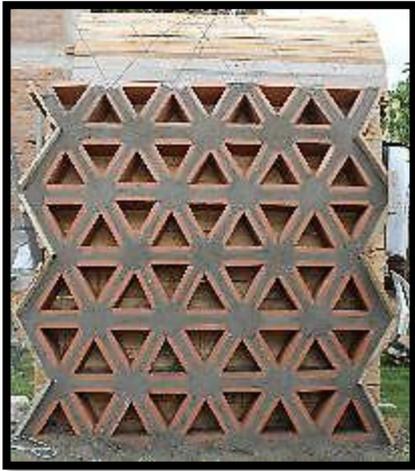
*Figura 72: Prototipos de módulos triangulares*

*Fuente: Elaboración propio*

#### 4.2.4.2 BOVEDA CATENARIA CON MODULOS TRIANGULARES

##### ➤ MANO DE OBRA Y TIEMPO DE CONSTRUCCION

La construcción de la bóveda tomando en cuenta la cimentación y armado del encofrado, asentado de ladrillo, desencofrado y acabado final tomo un tiempo total de 7 días.

<p><b>PRIMER DÍA DE ASENTADO:</b></p> <p>El trabajo inicio a las 9:00 am y culmino a las 5:00 pm</p> <p>Al ser un proceso constructivo no convencional el rendimiento de la mano de obra fue menor, en el primer día solo logramos colocar dos filas de módulos triangulares en ambos lados de la bóveda catenaria.</p>	 <p>Fotografía 34: Rendimiento de asentado del primer día</p> <p>Fuente: Elaboración propio</p>
<p><b>SEGÚN DÍA DE ASENTADO:</b></p> <p>Al tener la experiencia del primer día nuestro rendimiento fue mayor y logramos colocar 4 filas más de módulos triangulares en ambos lados de la bóveda catenaria.</p>	 <p>Fotografía 35: Rendimiento de asentado del segundo día</p>

### **TERCER DÍA DE ASENTADO:**

Al llegar a la parte superior de la bóveda instalamos un andamio en cada lado de la bóveda. Ya que por la altura se hacía más complicado transportar los materiales, por tal motivo el rendimiento bajo moderadamente.



*Fotografía 36: Rendimiento de asentado del segundo día*

*Fuente: Elaboración propio*

*Tabla 28: Mano de obra y tiempo de construcción*

*Fuente: Elaboración propia*

Además, si comparamos el asentado de los módulos en una bóveda catenaria, con una losa plana convencional en relación al rendimiento, en la losa plana el rendimiento sería mayor.

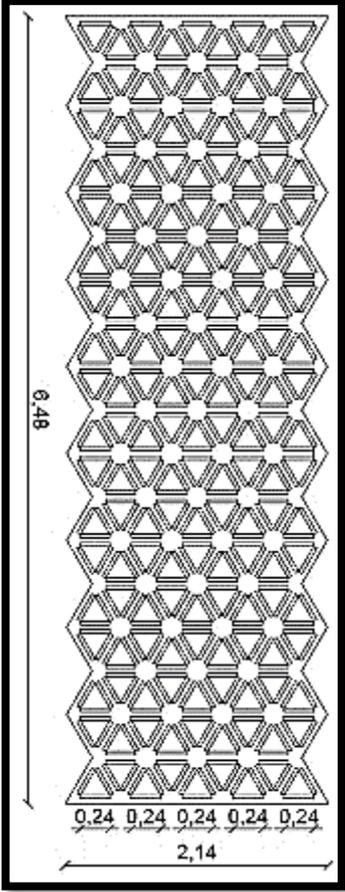
	
<p>Al ser una bóveda, la forma curva que posee reduce el rendimiento ya que la ubicación de los módulos triangulares y agregado de mortero es igual al asentado de ladrillo de un muro convencional.</p>	<p>En una losa plana el proceso constructivo sería diferente, en este caso nos permitiría ubicar primero todos los módulos triangulares sobre el entablado para luego verter el mortero como un vaciado convencional de techo. Como resultado el rendimiento es mucho mayor.</p>

Tabla 29: Comparación de asentado de ladrillo en una bóveda catenaria con una losa plana convencional

Fuente: Elaboración propio

➤ **CUADRO DE COSTOS**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IMPORTE</b>
8	Madera 1 1/2 X 12 X 10	45	360
35	Madera 1X4X10	5.5	192.5
20	Madera 1X2X10	3	60
14	Fierro DE 8 MM	12	168
2	Kg de clavos de 3"	4.5	9
2	Kg de clavos de 2 1/2"	4.5	9
2	Kg de clavos de 2"	4.5	9
15	Bolsas de cemento	24	360
1	Disco N° 7 para-Fierro	7	7
1	Disco N° 7 para-Madera	14	14
500	Ladrillo pasletero piramide	2	1000
2	Confetillado	50	100
2	Arena gruesa	50	100
1/2	Arena fina	30	30
		<b>TOTAL</b>	<b>2418.5</b>

Tabla 30: Cuadro de costos

Fuente: Elaboración propio

## **4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.3.1 HIPOTESIS GENERAL**

Los usos de módulos triangulares de ladrillo influyen positivamente en la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

Como pudimos ver en los antecedentes las bóvedas son estructuras que se dejaron de construir y una manera de volver a considerarlas en la construcción moderna es transformándolas, en nuestro caso decidimos utilizar los módulos triangulares de ladrillo pastelero que influyen de manera positiva en la estructura aportando ligereza a la estructura, además brindando un valor agregado en cuanto a la estética de la bóveda catenaria.

La fabricación de estos módulos triangulares no requiere mano de obra calificada además son elementos de bajo costo, fácil de transportar y adquirir ya que los ladrillos pasteleros se pueden encontrar en cualquier ferretería de la ciudad de Huancayo.

Al utilizar los módulos triangulares de ladrillo pastelero reduce la cantidad de fierro y hormigón para la fabricación de la bóveda.

Bóveda catenaria con módulos triangulares	Bóveda Catenarius
 <p data-bbox="280 1160 571 1189"><i>Fuente: Elaboración propio</i></p>	 <p data-bbox="831 1140 1390 1249"><i>Fuente: ArchDaily, <a href="https://www.archdaily.pe/pe/757486/catenarius-una-boveda-experimental-de-ladrillos-de-suelo-cemento-armado">https://www.archdaily.pe/pe/757486/catenarius-una-boveda-experimental-de-ladrillos-de-suelo-cemento-armado</a></i></p>

Tabla 31: Comparación entre bóvedas catenaria con módulos triangulares y bóveda Catenarius

*Fuente: Elaboración propio*

## 4.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

### 4.3.2.1 HIPOTESIS ESPECÍFICA H1

El uso de ladrillos pasteleros optimiza la construcción de módulos triangulares para la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

De acuerdo a los diferentes tipos de ladrillos para techo que encontramos en nuestro país, el ladrillo pastelero tiene menor versatilidad de uso, el ladrillo pastelero es más esbelto y tiene menor costo, y su forma cuadrada facilita la fabricación de los módulos triangulares por ende la fabricación de la bóveda catenaria.

<b>LADRILLO HUECO 15</b>	<b>LADRILLO HUECO 8 PASTELERO</b>
	
<b>PESO:</b> 7.8 Kg	<b>PESO:</b> 4.300 – 4.600 Kg
<b>DIMENSIONES</b> <b>LARGO:</b> 30.0 cm <b>ANCHO:</b> 30.0 cm <b>ALTO:</b> 15.0 cm	<b>DIMENSIONES</b> <b>LARGO:</b> 24.0 cm <b>ANCHO:</b> 24.0 cm <b>ALTO:</b> 8.0 cm
<b>PRECIO:</b> S/. 3.04 c/u	<b>PRECIO:</b> S/. 2.00 c/u

Tabla 32: Comparación entre ladrillo King Kong 18 huecos con ladrillo pastelero

Fuente: [www.ladillospiramide.com](http://www.ladillospiramide.com)

#### 4.3.2.2 HIPOTESIS ESPECÍFICA H2

El uso de módulos triangulares reduce el peso de la estructura de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

Al unir los ladrillos pasteleros por sus vértices se genera un orificio en la parte central, además reducimos la cantidad de fierro.

PROTOTIPO	REFERENTE
 <p data-bbox="261 790 501 819"><i>Fuente: Fuente propio</i></p>	 <p data-bbox="799 645 1310 752"><i>Fuente: ArchDaily, <a href="https://www.archdaily.pe/pe/757486/catenarius-una-boveda-experimental-de-ladrillos-de-suelo-cemento-armado">https://www.archdaily.pe/pe/757486/catenarius-una-boveda-experimental-de-ladrillos-de-suelo-cemento-armado</a></i></p>
<p data-bbox="261 902 772 1182">En nuestro prototipo reducimos el peso de la bóveda al generar estos orificios con los módulos triangulares y no cubrir con una capa de hormigón armado y al utilizar la menor cantidad de fierro en la estructura</p>	<p data-bbox="799 902 1353 1081">En este caso podemos observar una bóveda que cuenta con vigas y a su vez cuenta con una capa de hormigón armado la cual hace que su peso se incremente</p>

*Tabla 33: Comparación entre bóvedas catenaria con módulos triangulares y bóveda Catenarius*

*Fuente: Elaboración propio*

### **4.3.2.3 HIPOTESIS ESPECÍFICA H3**

El uso de módulos triangulares de ladrillo pastelero optimiza el área de encofrado para la construcción de una bóveda catenaria en la ciudad de Huancayo al 2020.

Los módulos triangulares poseen una forma plana en sus lados, al momento de ubicarlos sobre el encofrado, tomamos como partida una separación de 4 cm entre módulos, medida exterior que fue variando según alcanzábamos la parte superior de la bóveda, mientras que por la parte interior se conservó la medida de 4 cm.

Las medidas exteriores que variaron fueron:

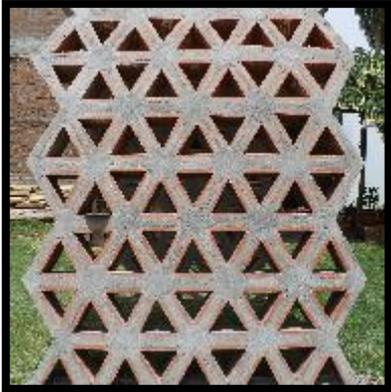
PARTE INFERIOR	PARTE SUPERIOR
 <p data-bbox="392 763 687 792"><i>Fuente: Elaboración propio</i></p>	 <p data-bbox="850 763 1145 792"><i>Fuente: Elaboración propio</i></p>
<p data-bbox="392 875 826 1055">En la parte inferior de la bóveda catenaria observamos que la medida del mortero es ligeramente uniforme</p>	<p data-bbox="850 875 1353 1003">En la parte superior de la bóveda catenaria observamos que la medida del mortero se incrementa</p>

Tabla 34: Comparación de las medidas del mortero en la bóveda catenaria

Fuente: Elaboración propio

#### 4.3.2.4 HIPOTESIS ESPECÍFICA H4

- El uso módulos triangulares de ladrillo aumenta el peralte de viguetas curvas en la construcción de una bóveda catenaria la ciudad de Huancayo al 2020.
- Los módulos triangulares al adaptarse a la forma curva de la bóveda catenaria generan aberturas en las viguetas modificando su peralte de la parte exterior generando una vigueta de mayor dimensión.

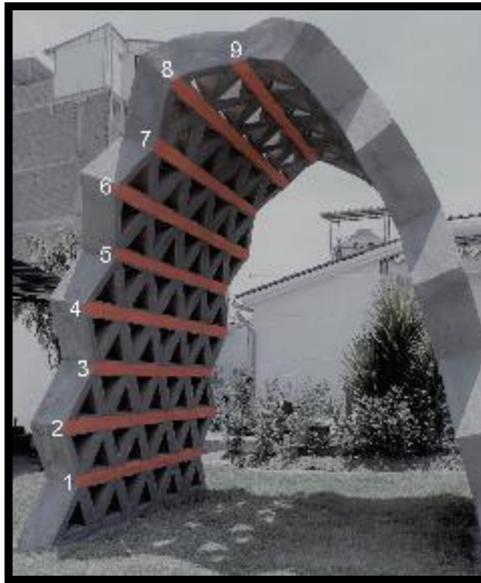


Figura 73: Viguetas de bóveda catenaria

Fuente: Elaboración propio

VIGUETAS	ANCHO DE VIGUETA	
	INTERIOR	EXTERIOR
V1	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	4 cm
V2	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	4,7 cm
V3	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	5 cm
V4	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	6 cm
V5	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	7 cm
V6	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	7,5 cm
V7	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	8,5 cm
V8	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	13 cm
V9	INTERIOR	4 cm
	EXTERIOR	20 cm

Tabla 35: Tabla de viguetas

Fuente: Elaboración propio

## CONCLUSIONES

- Se concluyo que el uso de módulos triangulares de ladrillo pastelero influye positivamente en la construcción de una bóveda catenaria, ya que el módulo triangular se adapta a la forma curva de la bóveda catenaria, además damos a conocer una estructura no convencional, agregando un valor estético a la bóveda catenaria la cual es una estructura que dejó de utilizarse en la arquitectura moderna.

También es importante resaltar que a través de los módulos triangulares generamos un nuevo uso a los ladrillos pasteleros dejando de ser solo un elemento de revestimiento en la arquitectura actual.

- Se concluyo que el ladrillo pastelero si optimiza la construcción de módulos triangulares, por su ligereza, cada ladrillo tiene un peso de 2.4 kg y por su menor costo a comparación de otros ladrillos utilizados para la construcción de techos aligerados, otra característica importante es su esbeltez (24cm x 24cm x 3cm), la cual favorece a la unión de los ladrillos a través de sus vértices para la fabricación de los módulos triangulares los cuales no requieren de mano de obra calificada, también es importante resaltar la forma cuadrada que posee el ladrillo pastelero aporta profundidad al módulo y es un elemento de bajo costo, fácil de transportar y adquirir ya que lo pueden encontrar en cualquier ferretería de la ciudad de Huancayo.

- Se concluye que los módulos triangulares si reducen el peso de la estructura de una bóveda catenaria debido al orificio que poseen en la parte central los cuales son rellenos durante el proceso de asentado, ya que los módulos triangulares son unidos a través de sus laterales, también es importante resaltar que al utilizar los módulos triangulares de ladrillo pastelero se reduce la cantidad de uso de fierro y hormigón a comparación de una bóveda cubierta completamente por mortero y ladrillo.

- Se concluye que el uso de módulos triangulares si optimiza el área de encofrado en la construcción de una bóveda catenaria ya que los módulos triangulares poseen una forma plana que se adaptan a la forma curva sin deformarla, además el

encofrado facilita el asentado de los módulos triangulares y al vertido de mortero durante el proceso constructivo, también se encarga de soportar la carga de la estructura durante el proceso de fraguado de la bóveda catenaria.

- Se concluye que los módulos triangulares al adaptarse a la forma curva de la bóveda catenaria generan aberturas en las viguetas modificando su peralte de la parte exterior generando una vigueta de mayor dimensión, en la parte inferior se inició con una vigueta de 4 cm entre módulos, medida exterior que fue variando según alcanzábamos la parte superior de la bóveda, mientras que por la parte interior se conservó la medida de 4 cm.

ANÁLISIS DE PERALTE DE VIGUETAS DE BÓVEDA CATENARIA			
	<b>VIGUETAS</b>	<b>ANCHO DE VIGUETA</b>	
	<b>V1</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	4 cm
	<b>V2</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	4,7 cm
	<b>V3</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	5 cm
	<b>V4</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	6 cm
	<b>V5</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	7 cm
	<b>V6</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	7,5 cm
	<b>V7</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	8,5 cm
	<b>V8</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	13 cm
	<b>V9</b>	INTERIOR	4 cm
		EXTERIOR	20 cm

Tabla: Tabla de viguetas

Fuente: Elaboración propio

Tabla: Tabla de viguetas

Fuente: Elaboración propio

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda unir a los ladrillos pasteleros por sus vértices para lograr una mayor rigidez del módulo triangular y así evitar que cedan durante su transporte, ya que durante la construcción de la bóveda identificamos algunos módulos no se encontraban
- Se recomienda trazar unas líneas verticales para la ubicación de los módulos triangulares y otras líneas horizontales y diagonales que servirán de guía para la ubicación de las viguetas, estas tres líneas generarán una plantilla sobre el entablado y mejora el rendimiento de asentado.
- Se recomienda que en la plantilla generada anteriormente se ubique clavos que servirán de soporte de los módulos triangulares ayudando a una correcta ubicación y evitando que estos no se deslicen, además facilitan el agregado de mortero en las viguetas que se encuentran entre los módulos.
- Se recomienda iniciar el asentado de los módulos triangulares por la parte inferior de ambos lados de la bóveda catenaria, debido a que esto facilitara la unión de los módulos en la parte superior.

## BIBLIOGRAFÍA

**Alter, Lloyd. 11.** TREEHUGGER Sostenibilidad para todos. *TREEHUGGER Sostenibilidad para todos*. [En línea] 2018 de Octubre de 11. <https://www.treehugger.com/crossway-zero-carbon-home-brings-back-the-timbrel-vault-4853844>.

**Bianucci, Mario Averardo. 2009.** El ladrillo. Resistencia, Argentina : s.n., 2009.

**Blasi, Jordi. 2018.** Experimenta. *Experimenta*. [En línea] 27 de Abril de 2018. <https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/la-arquitectura-solidaria-de-foundawtion-bovedas-catalanas-en-senegal/>.

**Bulovic, Ivanka. 2014.** *Catenary Vaults: A solution to low-cost housing in South Africa*. University of the Witwatersrant. Johannesburg : s.n., 2014. pág. 234, Informe de investigacion.

**Carone, Guillermo.** wikiarquitectura. *wikiarquitectura*. [En línea] [Citado el: 07 de Mayo de 2019.] <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/maisons-jaoul/>.

**Cheng, Linda. 2016.** ARCHITECTUREAU. *ARCHITECTUREAU*. [En línea] 23 de Junio de 2016.

**Christiam Alba. 2015.** PERUARKI. *PERUARKI*. [En línea] 2015. <http://www.peruarki.com/berliner-bogen-office-building/>.

**Fernandez, Raquel Martinez. 2011.** Sistemas economicos de techado con bovedas de fabrica,boveda nubia y boveda recargada mexicana. *Construccion con tierra tecnologia y arquitectura*. Valladolid : s.n., 2011.

**Fisher. 2006.** *Programa de apoyo a la modernización del sector salud y aplicación en una region. Apurimac*. Pontifica Universidad Católica del Perú. 2006.

**Franco, Jose Tomas. 2014.** ArchDaily. *ArchDaily*. [En línea] 19 de Noviembre de 2014.  
<https://www.archdaily.pe/pe/757486/catenarius-una-boveda-experimental-de-ladrillos-de-suelo-cemento-armado>.

**Gállido, Pedro Lorenzo. 2005.** *Un techo para vivir*. Barcelona : Comgrafic, 2005. ISBN 84-8301-801-2.

**Gálligo, Pedro Lorenzo. 2005.** *Un techo para vivir*. Barcelona : Comgrafic, 2005. ISBN 84-8301-801-2.

**García Henao, Gloria Amparo, Mejía Rendón, Aparicio y Gonzáles Arias, Ubaldo. 2006.** Sistema de Bibliotecas SENA. *Sistema de Bibliotecas SENA*. [En línea] 2006.  
[https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria\\_restauracion\\_edificaciones/construccion\\_arcos\\_bovedas.html#](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/construccion_arcos_bovedas.html#).

**Garcia Muñoz, Julian y Beltran, Maria de los Angeles. 2014.** La prefabricación de bóvedas de ladrillo: Historia de una utopía latinoamericana. 2014. ISSN:2340-9711.

**Garcia, Juan Carlos Chancafe. 2015.** Evaluación del confort ambiental del puesto de salud Niño de Yucay-Ayacucho, ejecutado con el sistema constructivo AMARES. *Viviendas ambientales con el sistema constructivo AMARES en el distrito de Molinos-Jauja*. Huancayo : s.n., 2015.

**Gernot, Minke. 2017.** *Cúpulas y Bóvedas "Para Vivir y Trabajar, Crear y Meditar"*. s.l. : Icaria, 2017. pág. 64.

**Granados, Jerónimo. 2018.** *arquitecturayempresa*. *arquitecturayempresa*. [En línea] 24 de Setiembre de 2018. <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/hormigon-al-limite-el-mercado-central-de-reims-de-maigrot-y-freysinnet>.

**Hoyos, Francisco Javier Jaramillo y Vinasco, Orlando López. 2012.** Sistema de bibliotecas SENA. *Sistema de bibliotecas SENA*. [En línea] 2012.  
[https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria\\_restauracion\\_edificaciones/construccion\\_arcos\\_bovedas.html#](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/construccion_arcos_bovedas.html#).

**Kostrenic, Katja. 2015.** *Descifrando la Arquitectura Experimental Latinoamericana*. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona : s.n., 2015. pág. 102, Informe de investigación.

**Marco, Aresta y Fábio, Mendes. CATENOIDES EN ESTRUCTURAS ABOVEDADAS DE ADOBE Y LADRILLO.** Buenos Aires : s.n.

**Minke, Gernot. 2015.** Valle Tucan. *Valle Tucan*. [En línea] 2015.  
<https://valletucan.com/en/architecture/>.

**Poma, Michel Bernaola. 2019.** *Uso de arcos de albañilería convencional y su aplicación en la construcción de vanos arquitectónicos sin dintel de soporte para edificaciones*. Huancayo : s.n., 2019. Tesis.

**Porto, Julián Pérez y Gardey, Ana. 2009.** Definicion.DE. *Definicion.DE*. [En línea] 2009.  
<https://definicion.de/modulo/>.

**Sanchez, Carolina Obregon. 2006.** prsarchitects. *prsarchitects*. [En línea] 01 de Setiembre de 2006. <http://www.prsarchitects.com/news/publications/winter-garden-sheffield-icono-de-la-arquitectura-sostenible>.

**Serrano Ramírez, Paúl Felipe y Solano Figueroa, Fernando Santiago. 2015.** *Analisis de características estructurales en la obra del Gabinete de arquitectura y propuesta arquitectonica*. Universidad de Cuenca. Cuenca : s.n., 2015. pág. 287, Tesis.

**Silver , Pete, McLean, Will y Evans, Peter. 2014.** *Ingeniería de estructuras para arquitectos*. Barcelona : Art Blume, 2014. ISBN: 978-84-9801-731-1.

**2015.** Yumpu. *Yunpu*. [En línea] 2015. [Citado el: 01 de Julio de 2020.]  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/43144372/la-catenaria-en-arquitectura>.

## ANEXOS

### PROTOTIPO T 01



*Fuente: Elaboración propio*

### PROTOTIPO T 02



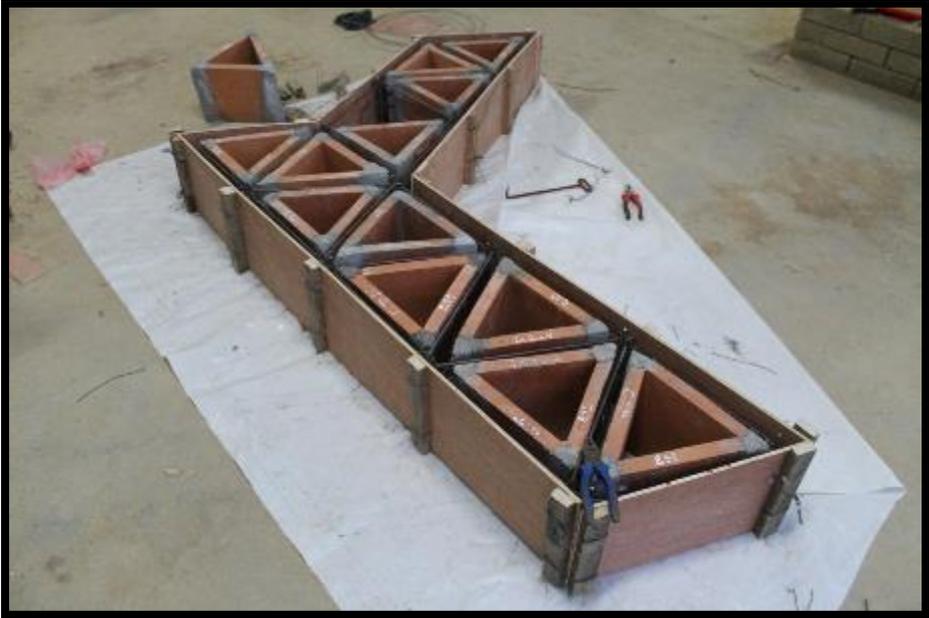
*Fuente: Elaboración propio*

**PROTOTIPO T 03**



*Fuente: Elaboración propio*

**PROTOTIPO T 04**



*Fuente: Elaboración propio*

**PROTOTIPO T 05**



*Fuente: Elaboración propio*

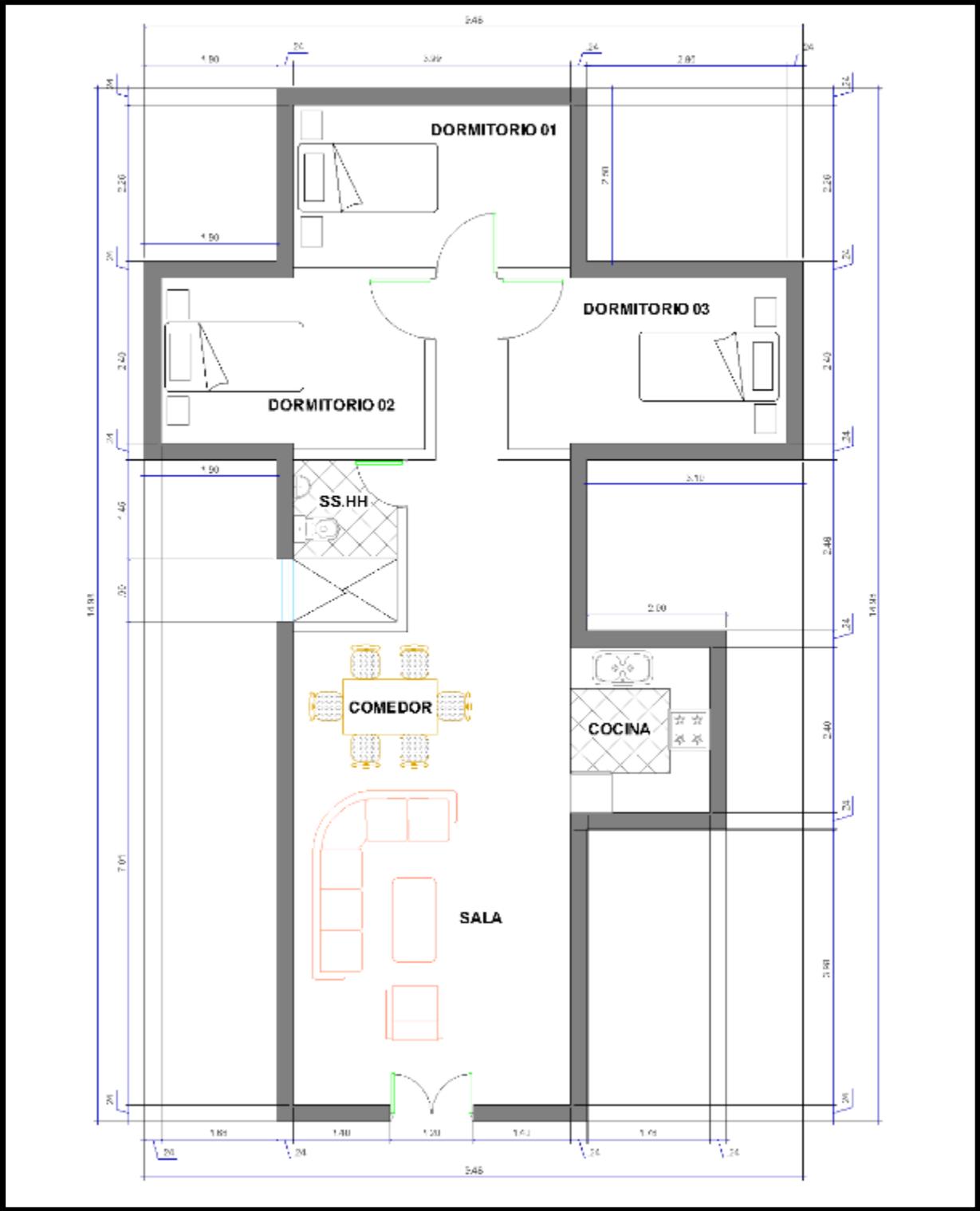
**PROTOTIPO T 06**



*Fuente: Elaboración propio*

**ANTEPROYECTO ARQUITECTONICO**

**PLANTA VIVIENDA UNIFAMILIAR**



Fuente: Elaboración propio

**VISTA 3D EXTERIOR DEL PROYECTO VIVIENDA UNIFAMILIAR**



Fuente: Elaboración propio



Fuente: Elaboración propio

**VISTA 3D INTERIOR DEL PROYECTO VIVIENDA UNIFAMILIAR**



Fuente: Elaboración propio



Fuente: Elaboración propio



Fuente: Elaboración propio

## Modelo de Ficha prototipo

<b>TIPOLOGIA</b>	<b>PROTOTIPO DE BOVEDA</b>	<b>GRAFICO</b>
<b>GEOMETRIA</b>		
<b>DIMENSIONES</b>		
<b>MATERIALES</b>		
<b>FUNCIONALIDAD</b>		
<b>ANALISIS DE LA ESTRUCTURA</b>		
<b>CONCLUSIONES</b>		

*Elaboración fuente propia*

