



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS**

TESIS

**DOCUMENTACIÓN, ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS
CONSTRUCTIVOS, GEOMETRÍAS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA
EDIFICACIÓN DE BÓVEDAS EN LA REGIÓN ALTOS NORTE DE JALISCO**

PRESENTA

Luis Mauricio Hernández Gutiérrez

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL EN EL ÁREA DE
CONSTRUCCIÓN
PNPC**

TUTOR

Dr. Miguel Ángel Soto Zamora

COMITÉ TUTORIAL

**Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil
Dr. Raudel Padilla Cenicerros**

Aguascalientes, Ags., 15 de noviembre de 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
FORMATO DE CARTA DE VOTO APROBATORIO

M. EN FIL. OMAR VÁZQUEZ GLORIA
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS
DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **LUIS MAURICIO HÉRNANDEZ GUTIÉRREZ** con ID 141908 quien realizó la tesis titulada: **DOCUMENTACIÓN, ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS, GEOMETRÍAS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA EDIFICACIÓN DE BÓVEDAS EN LA REGIÓN ALTOS NORTE DE JALISCO**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 26 de noviembre de 2018.

Dr. Miguel Ángel Soto Zamora
Tutor de tesis

Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil
Asesor de tesis

Dr. Raudel Padilla Ceniceros
Asesor de tesis

c.c.p.- Luis Mauricio Hernández Gutiérrez
c.c.p.- Dr. Ricardo Arturo López León - Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Dr. Sergio Ignacio Martínez Martínez - Jefatura del Depto. de Construcción y Estructuras
c.c.p.- Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil - Consejero Académico
c.c.p.- Archivo



Dra. María del Carmen Martínez Serna
Dirección General de Investigación y Posgrado
PRESENTE

Por medio de este conducto informo que el documento final de tesis titulado: "DOCUMENTACIÓN, ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS, GEOMETRÍAS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA EDIFICACIÓN DE BÓVEDAS EN LA REGIÓN ALTOS NORTE DE JALISCO". Presentado por el sustentante: **Luis Mauricio Hernández Gutiérrez** con ID: 141908, egresado de la Maestría en Ingeniería Civil cumple las normas y lineamientos establecidos institucionalmente. Cabe mencionar que el autor cuenta con el **voto aprobatorio** correspondiente.

Para efecto de los trámites que al interesado convengan, se extiende el presente, reiterándole las consideraciones que el caso amerite.

ATENTAMENTE

Aguascalientes, Ags., 27 de noviembre de 2018
"SE LUMEN PROFERRE"



M. en Fil. Omar Vázquez Gloria
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

c.c.p.- Dr. Ricardo Arturo López León – Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC.
c.c.p.- Dr. Miguel Ángel Soto Zamora – Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil y Tutor de tesis.
c.c.p.- Ing. Luis Mauricio Hernández Gutiérrez – Egresado de la Maestría en Ingeniería Civil.
✓ c.c.p.- Lic. Delia Guadalupe López Muñoz – Jefe Sección de Certificados y Títulos.
c.c.p.- Archivo

AGRADECIMIENTOS

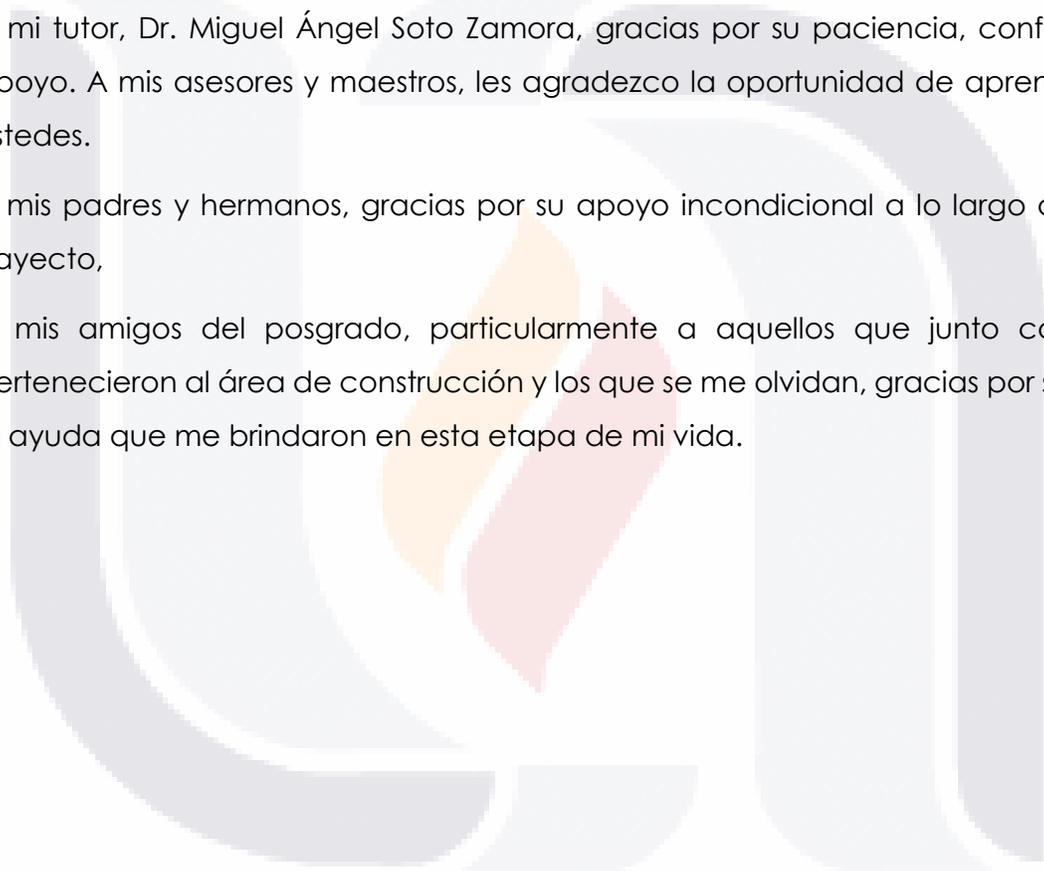
Agradezco a CONACyT y al Gobierno Federal por su enorme compromiso con la formación de científicos y tecnólogos de alto nivel, gracias por becarme y hacer posible este sueño.

Un gran agradecimiento a la Universidad Autónoma de Aguascalientes por las facilidades que me fueron brindadas para la elaboración de este proyecto.

A mi tutor, Dr. Miguel Ángel Soto Zamora, gracias por su paciencia, confianza y apoyo. A mis asesores y maestros, les agradezco la oportunidad de aprender de ustedes.

A mis padres y hermanos, gracias por su apoyo incondicional a lo largo de este trayecto,

A mis amigos del posgrado, particularmente a aquellos que junto conmigo pertenecieron al área de construcción y los que se me olvidan, gracias por su toda la ayuda que me brindaron en esta etapa de mi vida.



DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi familia, amigos, maestros y todas las personas que me ayudaron durante este periodo tan importante de mi vida.

De manera muy especial la dedico también a mi Padrino José Juan tt, aunque ya no pudo acompañarme hasta el final de este camino, ya que ha sido fuente de inspiración y motivación, porque desde dónde se encuentre me sigue brindando la luz que necesito para continuar.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1 Prólogo	17
1.2 Objetivo General.....	18
1.3 Objetivos Particulares.....	18
1.4 Alcances	19
1.5 Justificación.....	19
1.6 Hipótesis	20
1.7 Metodología.....	20
CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	23
2.1 Bóveda tabicada.....	23
2.1.1 Clasificación geométrica de las bóvedas tabicadas.....	24
2.2 Historia	30
2.2.1 Orígenes de la bóveda tabicada	30
2.2.2 Bóvedas valencianas de cruceña.....	31
2.2.3 Bóveda tabicada extremeña	34
2.3 Bóvedas mexicanas siglo XVI.....	35
2.3.1 Materiales	36
2.3.2 Proceso de construcción de la bóveda.....	36
2.4 Análisis estructural de bóvedas catalanas	37
2.5 Cualidades mecánicas de las bóvedas según Rafael Guastavino.	39
2.6 Calculo tradicional de bóvedas, arcos y cúpulas	41
2.7 Normas de construcción para bóvedas en Extremadura España.	41
2.8. Bóvedas tradicionales en México Técnicas Empíricas de Los Altos de Jalisco	42
2.9. Región altos Norte Jalisco	44

2.10	Contexto arquitectónico de la Región con énfasis en el municipio sede Lagos de Moreno	46
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO.....		49
3.1	Geometría de las bóvedas y teoría empírica	49
3.2	Propiedades de los materiales	52
3.2.1	Cuñas	52
3.2.2	Morteros	55
3.2.2.1	Conglomerantes	56
3.2.2.2	Dosificación	56
3.2.2.3	Calidad técnica del mortero	57
3.3	Análisis de geometrías mediante fotogrametría digital de corto rango	58
CAPITULO IV: METODOLOGÍA.....		66
4.1	Metodología.....	66
4.1.1	Conformación del patrón.....	66
4.1.2	Entrevista en profundidad.....	66
4.1.3	Seguimiento a bóveda	67
4.1.4	Caracterización de materiales	67
4.1.4.1	Ensaye a cuñas	67
4.1.4.2	Ensaye a morteros.....	68
4.1.5	Análisis de geometrías	68
4.1.6	Relación de la geometría y adherencia de materiales con ángulos controlados.....	68
CAPITULO V: RESULTADOS.....		70
5.1	Entrevista en profundidad.....	70
5.2	Seguimiento de bóveda	77
5.2.1	Reporte fotográfico de seguimiento de bóveda de 8m x 12m.....	79
5.2.2	Información obtenida.....	82
5.3	Caracterización de materiales.....	85
5.3.1	Cuña	85
5.3.1.1	Determinación de las dimensiones en base a la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013.....	85

5.3.1.2	Determinación de la densidad en base a la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013.....	87
5.3.1.3	Determinación de la absorción total en base a la norma NMX-C-037- ONNCCE-2013	90
5.3.1.4	Determinación de la Resistencia a la compresión en base a la norma NMX-C-036- ONNCCE-2013.....	91
5.3.1.5	Análisis de las granulometrías del material de las cuñas.....	94
5.3.2	Mortero	97
5.3.2.1	Resistencia a la compresión de acuerdo con la norma española UNE EN 1015-11, AENOR, 2000-2007	97
5.4	Análisis de geometrías	98
5.4.1	Consorcio Nu3	102
5.4.2	Casa Josefina Hernández González	110
5.4.3	Rancho Alfonso Mena.....	113
5.4.4	Casa Lucía G.H.....	123
5.4.5	Restaurante la Cabaña del Tío Chon	126
5.5	Relación de la geometría y adherencia de materiales con ángulos controlados	143
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		146
6.1	Entrevista en profundidad.....	146
6.2	Seguimiento a bóveda.....	147
6.3	Caracterización de materiales.....	149
6.3.1	Cuñas	149
6.3.2	Mortero	150
6.4	Fotogrametría	151
6.4.1	Comparación Peralte en función del área de la bóveda.....	154
6.4.2	Comparación Peralte en función del área de la bóveda agrupado por mano de obra	155
6.4.3	Comparación Peralte en función del ángulo	157
6.4.3.1	Comparación en función con el Angulo de arranque	157
6.4.3.2	Comparación Peralte en función del ángulo medio.....	158

6.4.3.3 Comparación Peralte en función del ángulo de cierre159

6.5 Relación de la geometría y adherencia de materiales con ángulos controlados 159

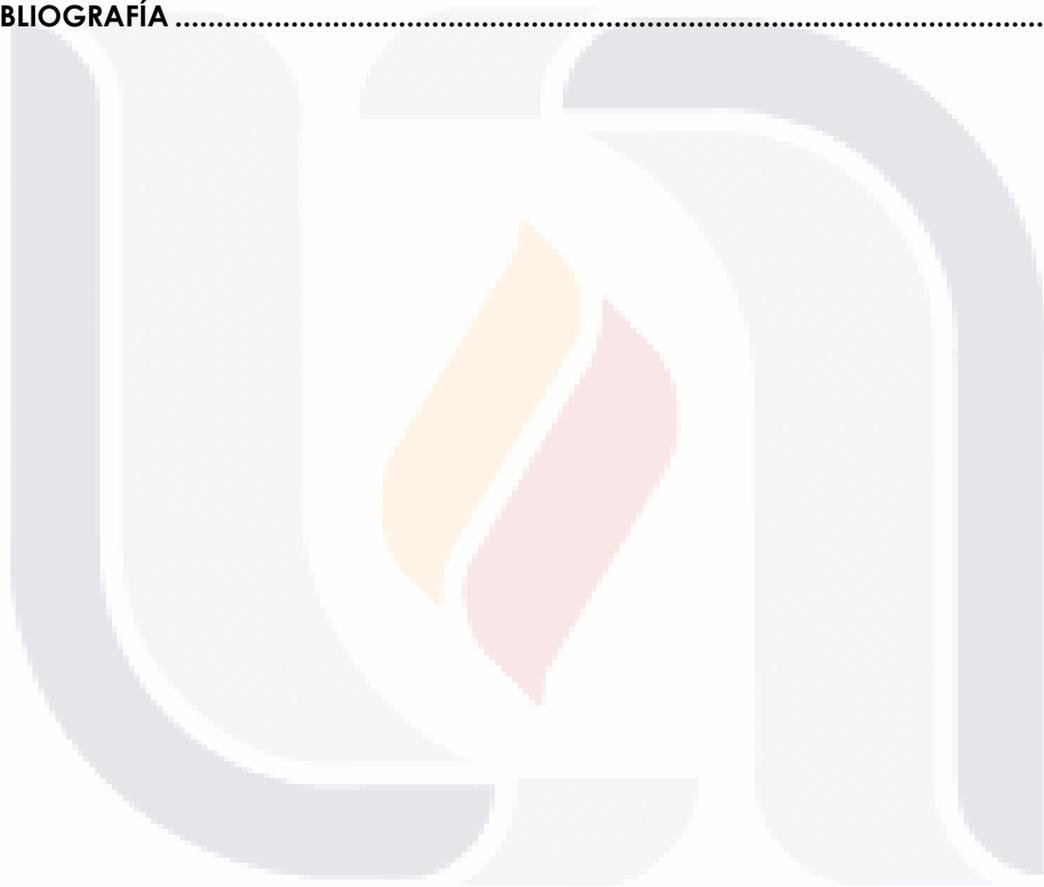
CAPITULO VII: CONCLUSIONES..... 162

7.1 Conclusión General 162

7.2 Conclusiones Particulares..... 162

7.3 Nichos de Investigación 163

BIBLIOGRAFÍA 165



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normalización de espacios para bóvedas Extremadura España	42
Tabla 2. Sistema unificado de clasificación de Suelos SUCS	54
Tabla 3. Relación de pesos volumétricos según el código urbano.....	55
Tabla 4. Referencia para pesos volumétricos (NTC-DF-2004).....	55
Tabla 5. Proporcionamiento, en volumen recomendados para morteros en elementos estructurales	58
Tabla 6. Medidas obtenidas de cuña.....	87
Tabla 7. Densidad obtenida de cuñas.	89
Tabla 8. Volúmenes obtenidos de cuñas.	89
Tabla 9. Absorción de agua de cuñas.	90
Tabla 10. Características de ensaye de compresión en cuñas.....	93
Tabla 11. Valores de resistencia a compresión de cuñas.....	94
Tabla 12. Valores obtenidos de prueba granulométrica.....	97
Tabla 13. Resistencia a la compresión de mortero.....	98
Tabla 14. Dimensiones de bóvedas del Consorcio Nu3.....	102
Tabla 15. Dimensiones de bóveda de la casa de Josefina Hernández.	110
Tabla 16. Dimensiones de bóvedas en el Rancho Alfonso Mena	113
Tabla 17 Dimensiones de bóvedas en la casa de Lucía G.H.....	123
Tabla 18. Dimensiones de bóvedas en el Restaurante del Tío Chon.	127
Tabla 19 Datos geométricos obtenidos mediante fotogrametría digicatla corto rango.....	151
Tabla 20 Variación en ángulos para prueba.....	160
Tabla 21 Variación de ángulos máximos.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bóveda de arista.	24
Figura 2. Bóveda apainelada	25
Figura 3. Bóveda baída o vaída.	25
Figura 4. Bóveda de cañón.	26
Figura 5. Bóveda de crucería nervada.	26
Figura 6. Bóveda cuatrimpartita o crucería simple.	27
Figura 7. Bóveda estrellada.	27
Figura 8. Bóveda Gallonada.	28
Figura 9. Bóveda Gallonada.	28
Figura 10. Bóveda en rincón de claustro.	29
Figura 11. Bóveda sexpartita.	29
Figura 12. Bóveda escarzana.	30
Figura 13. Orígenes: tres métodos de construcción de ladrillos en bóvedas del norte de Europa con cimbra de madera. (López López, 2012)	31
Figura 14. Tipos de bóveda de crucería simple, Reinterpretación de los dibujos de Viollet le Duc y Lamperez (Navarro Fajardo, 2004)	32
Figura 15. Bóvedas de Crujería Simple, Claustro del monasterio de san Jerónimo de Cotalba, Claustro del convento del Carmen Valencia. (Navarro, 2004)	33
Figura 16. Bóvedas de Crujería estrellada. Cabecera de la iglesia del monasterio de Corpus Christi en Llutxent. Cabecera de la iglesia de San Bartolome de Xabia (Navarro, 2004).	34
Figura 17. Modelo geométrico de bóvedas (García Gómez, 2012)	35
Figura 18. Proceso de construcción de la pechina lam 4 (Carmona Barrero, Normalización del proceso constructivo de la bóveda tabicada extremeña, 2005).	36
Figura 19. Lam 2 (Carmona Barrero, Normalización del proceso constructivo de la bóveda tabicada extremeña, 2005).	37
Figura 20. Análisis de Elemento Finito, resultados de pruebas a modelo, (Lopez, 2012).	38
Figura 21. Bóvedas en Cohesión de Rafael Guastavino.	40

Figura 22. Diagrama de pruebas Guastavinas de resistencia en cohesión.....40

Figura 23. Bóvedas tradicionales43

Figura 24. Mapa de SAGARPA donde se muestran las regiones de México, resaltando la región bajo occidente.45

Figura 25. Mapa de subdivisión política de Jalisco y acercamiento a la región los Altos de Jalisco.46

Figura 26. Bóveda en teatro José Rosas Moreno y Bóvedas en la Parroquia de la Asunción en Lagos de Moreno Jalisco47

Figura 27. Bóveda sometida a carga en ensayos de Guastavino.....50

Figura 28. Muestra el proceso constructivo de una bóveda.51

Figura 29. Muestra la ilustración deliberadamente desproporcionada del acomodo de los empujes en una bóveda o arco según Moseley, 1843.51

Figura 30. Grafica de producción de ladrillo en México 2015, (Aguilera, 2016)53

Figura 31. Imagen de proceso de fotogrametría en estructura modelada 3D. (Aparicio,2018).....59

Figura 32. Imagen de Agisoft ejemplo donde se aprecian la ubicacion de puntos y direccion de fotografías tomadas en sitio.60

Figura 33. Resultado de puntos de nube dispersa.....61

Figura 34. Resultado de nube de puntos densa.....62

Figura 35. Creación de malla.....62

Figura 36. Colocación de textura.....63

Figura 37. Revisión y limpieza de modelos en Solid Inspector para Sketchup.....63

Figura 38 Secciones en Sketchup.....64

Figura 39. Macro localización Bóveda de seguimiento78

Figura 40. Micro localización seguimiento de bóveda.78

Figura 41. Bóveda al 06 de noviembre.79

Figura 42. Bóveda al 13 de noviembre.79

Figura 43. Bóveda al 18 de noviembre.80

Figura 44. Bóveda al 22 de noviembre, se trabajan las otras dos esquinas, ya se movió el andamiaje.....80

Figura 45. Vista lateral de bóveda al 22 de noviembre.81

Figura 46. Bóveda al 24 de noviembre.81

Figura 47. Bóveda al 27 de noviembre.82

Figura 48. Detalle esquina, arranque de bóveda.83

Figura 49. Detalle colocación andamiaje.84

Figura 50. Comisura al centro en un lado arbitrario de la bóveda.84

Figura 51. Dimensionamiento de normativa.86

Figura 52. Medición de cuñas.87

Figura 53. Cuñas dentro del horno para obtener su registro en seco.88

Figura 54. Cuña en proceso de saturación.88

Figura 55. Cuñas cabeceadas previo a ensayo de compresión.92

Figura 56. Ensayo de compresión en cuñas.93

Figura 57. Ejecución de prueba de granulometría.95

Figura 58. Cribado del material.95

Figura 59. Material retenido en cada malla.96

Figura 60. Gráfica de granulometría.97

Figura 61. Locación de bóvedas estudiadas.99

Figura 62. Plantilla SketchUp para cortes en 3D.100

Figura 63. Plantilla SketchUp para cortes en 2D.101

Figura 64. Obtención de curvas con Sketchup.101

Figura 65. Modelo fotogramétrico de Bóveda de Consorcio Nu3.102

Figura 66. Corte A de Bóveda 1 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.103

Figura 67. Corte B de Bóveda 1 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.103

Figura 68. Corte D/D2 de Bóveda 1 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.104

Figura 69. Corte A de Bóveda 2 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.104

Figura 70. Corte B de Bóveda 2 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.105

Figura 71. Corte D/D2 de Bóveda 2 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.....105

Figura 72. Corte A de Bóveda 3 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.....106

Figura 73. Corte B de Bóveda 3 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.....106

Figura 74. Corte D/D2 de Bóveda 3 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.....107

Figura 75. Corte A de Bóveda 4 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.....107

Figura 76. Corte B de Bóveda 4 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.....108

Figura 77. Corte D/D2 de Bóveda 4 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.....108

Figura 78. Corte A de Bóveda 5 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.....109

Figura 79. Corte B de Bóveda 5 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.....109

Figura 80. Corte D/D2 de Bóveda 5 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.....110

Figura 81. Modelo fotogramétrico de Bóveda de la casa de Josefina Hernández.111

Figura 82. Corte A de Bóveda en sala de Josefina Hernández, con dimensiones de 4.20m x 4.00m.....111

Figura 83. Corte B de Bóveda en sala de Josefina Hernández, con dimensiones de 4.20m x 4.00m.....112

Figura 84. Corte D/D2 de Bóveda en sala de Josefina Hernández, con dimensiones de 4.20m x 4.00m.....112

Figura 85. Modelo fotogramétrico de Bóveda en la cocina del rancho Alfonso Mena.....113

Figura 86. Corte A de Bóveda en la cocina del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.65m x 4.40m.....114

Figura 87. Corte B de Bóveda en la cocina del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.65m x 4.40m.....114

Figura 88. Corte D/D2 de Bóveda en la cocina del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.65m x 4.40m.....115

Figura 89. Modelo fotogramétrico de Bóveda en la habitación 1 del rancho Alfonso Mena.....115

Figura 90. Corte A de Bóveda en la habitación 1 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.60m x 4.40m.....116

Figura 91. Corte B de Bóveda en la habitación 1 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.60m x 4.40m.....116

Figura 92. Corte D/D2 de Bóveda en la habitación 1 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.60m x 4.40m.....117

Figura 93. Modelo fotogramétrico de Bóveda en la habitación 2 del rancho Alfonso Mena.....117

Figura 94. Corte A de Bóveda en la habitación 2 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.10m x 4.40m.....118

Figura 95. Corte B de Bóveda en la habitación 2 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.10m x 4.40m.....118

Figura 96. Corte D/D2 de Bóveda en la habitación 2 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.10m x 4.40m.....119

Figura 97. Modelo fotogramétrico de Bóveda en pasillo del rancho Alfonso Mena.119

Figura 98. Corte A de Bóveda en pasillo del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 2.55m.....120

Figura 99. Corte B de Bóveda en pasillo del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 2.55m.....120

Figura 100. Corte D/D2 de Bóveda en pasillo del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 2.55m.....121

Figura 101. Modelo fotogramétrico de Bóveda en sala del rancho Alfonso Mena.
121

Figura 102. Corte A de Bóveda en sala del Rancho de Alfonso Mena, con
 dimensiones de 4.40m x 3.10m.....122

Figura 103. Corte B de Bóveda en sala del Rancho de Alfonso Mena, con
 dimensiones de 4.40m x 3.10m.....122

Figura 104. Corte D/D2 de Bóveda en sala del Rancho de Alfonso Mena, con
 dimensiones de 4.40m x 3.10m.....123

Figura 105 Escalera Lucía G.H.124

Figura 106. Corte A de Bóveda en escalera de Lucia G.H. con dimensiones de 3.30
 m x 2.15m.....125

Figura 107. Corte B de Bóveda en escalera de Lucia G.H. con dimensiones de 3.30
 m x 2.15m.....125

Figura 108. Corte D/D2 de Bóveda en escalera de Lucia G.H. con dimensiones de
 3.30 m x 2.15m.....126

Figura 109. Modelo fotogramétrico del pasillo del restaurante Tío Chon.127

Figura 110. Corte A de Bóveda en pasillo 1 del restaurante Tío Chon, con
 dimensiones de 3.85m x 1.85m.....128

Figura 111. Corte B de Bóveda en pasillo 1 del restaurante Tío Chon, con
 dimensiones de 3.85m x 1.85m.....128

Figura 112. Corte D/D2 de Bóveda en pasillo 1 del restaurante Tío Chon, con
 dimensiones de 3.85m x 1.85m.....129

Figura 113. Corte A de Bóveda en pasillo 2 del restaurante Tío Chon, con
 dimensiones de 3.85m x 1.85m.....129

Figura 114. Corte B de Bóveda en pasillo 2 del restaurante Tío Chon, con
 dimensiones de 3.85m x 1.85m.....130

Figura 115. Corte D/D2 de Bóveda en pasillo 2 del restaurante Tío Chon, con
 dimensiones de 3.85m x 1.85m.....130

Figura 116. Modelo fotogramétrico de Bóveda cuadrada del restaurante Tío Chon.
131

Figura 117. Corte A de Bóveda cuadrada 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m132

Figura 118. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m132

Figura 119. Corte A de Bóveda cuadrada 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m133

Figura 120. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m133

Figura 121. Corte A de Bóveda cuadrada 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m134

Figura 122. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m134

Figura 123. Corte A de Bóveda cuadrada 4 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m135

Figura 124. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 4 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m135

Figura 125. Corte A de Bóveda cuadrada 5 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X5.00m.....136

Figura 126. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 5 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m136

Figura 127. Corte A de Bóveda cuadrada 6 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X5.00m.....137

Figura 128. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 6 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m137

Figura 129. Modelo fotogramétrico de Bóveda rectangular del restaurante Tío Chon.....138

Figura 130. Corte A de Bóveda rectangular 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....139

Figura 131. Corte B de Bóveda rectangular 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....139

Figura 132. Corte D/D2 de Bóveda rectangular 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....140

Figura 133. Corte A de Bóveda rectangular 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....140

Figura 134. Corte B de Bóveda rectangular 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....141

Figura 135. Corte D/D2 de Bóveda rectangular 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....141

Figura 136. Corte A de Bóveda rectangular 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....142

Figura 137. Corte B de Bóveda rectangular 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....142

Figura 138. Corte D/D2 de Bóveda rectangular 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m.....143

Figura 139. Prototipo diseñado y fabricado para observar adherencias en juntas de cuñas.....144

Figura 140. Cuñas junteadas en ángulo inferior a la horizontal.144

Figura 141 Resistencia ala compresión149

Figura 142 Resistencia a la compresión mortero150

Figura 143 Moldes utilizados para el ensaye de cubos de mortero150

Figura 144 Peralte vs Área.....155

Figura 145 Peralte vs Área Consorcio Nu3.....156

Figura 146 Peralte vs Área Alfonso Mena156

Figura 147 Peralte vs Área Tío Chon157

Figura 148 Peralte en función al ángulo de arranque.....158

Figura 149 Peralte en función Angulo medio.....158

Figura 150 Peralte en función del ángulo de cierre.....159

RESUMEN

Actualmente se cuenta con poca información técnica sobre la construcción de bóvedas, ya que la información disponible rescata su recorrido histórico y arquitectónico.

En el presente trabajo se realiza la caracterización de materiales y la descripción de los procesos y geometrías de las bóvedas laguense o tipo lagos; mismas que, debido a su alto costo y necesidad de mano de obra especializada, cada vez pasan más de lo popular a lo exclusivo.

Las bóvedas laguenses son construidas por personal originario de la región Altos de Jalisco, quienes ejecutan la obra basados únicamente en los conocimientos heredados y su propia experiencia. Sin embargo, existen características geométricas similares entre bóvedas contruidas por las mismas personas, como la relación que hay entre su peralte y área. Las cuñas empleadas en la construcción de las bóvedas tipo lagos cuentan con mayor resistencia a la compresión con respecto a otros elementos de barro rojo recocido comúnmente utilizados.

Palabras clave: *Bóveda, cuña, geometría.*

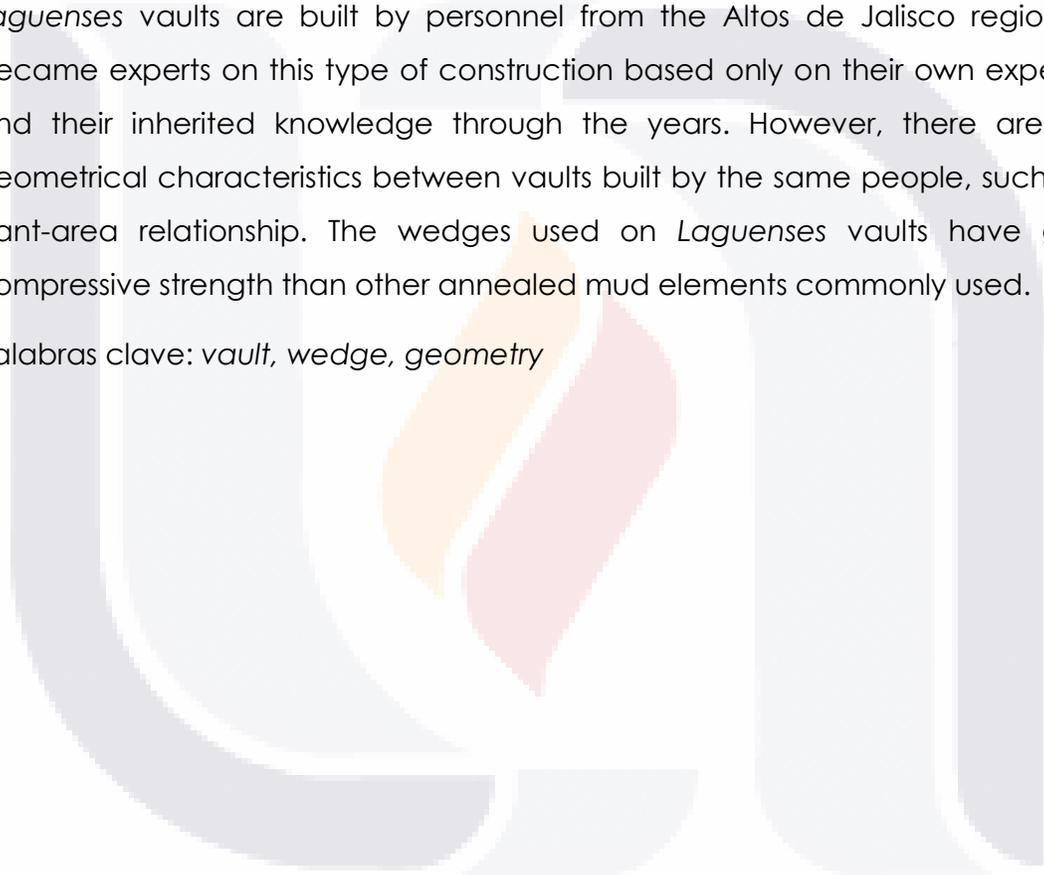
ABSTRACT

Nowadays there is little knowledge on the construction of vaults, as the available information rescues mostly its historical and architectural route.

In this thesis, it is carried out the description of the materials, processes and geometries of “*Laguenses*” vaults; which have lost popularity over the years due to its high costs and its need for skilled workforce.

Laguenses vaults are built by personnel from the Altos de Jalisco region, who became experts on this type of construction based only on their own experience and their inherited knowledge through the years. However, there are similar geometrical characteristics between vaults built by the same people, such as the cant-area relationship. The wedges used on *Laguenses* vaults have greater compressive strength than other annealed mud elements commonly used.

Palabras clave: *vault, wedge, geometry*





TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Prólogo

La cubierta de toda edificación es siempre un tema sensible debido a que cumple la función principal de las construcciones habitables que es ofrecer un techo para el resguardo de familias y de bienes materiales ante el intemperismo. La elección de una techumbre adecuada representa un reto para los profesionales de la construcción debido a que entran en juego suficientes variables, tales como la planeación de una planta adicional a futuro, el presupuesto del cliente, el acabado arquitectónico adecuado, entre otras.

En ciertas zonas de la región en edificaciones pertenecientes a las primeras décadas del siglo anterior se utilizaron bóveda de mampostería en las techumbres, las más comunes en la región son las bóvedas catalanas, encontrándose en casas, comercios y hasta en bodegas de zonas rurales, este sistema se utilizó ampliamente durante el porfiriato con una variante de bóvedas de muy alta calidad y belleza arquitectónica del llamado sistema Guastavino implementado por el arquitecto español Rafael Guastavino Moreno mismo que construyó bóvedas tabicadas en más de mil edificios de Estados Unidos y algunas en México. (Contreras, 2016)

Esta técnica constructiva es bastante conocida gracias a su extensa bibliografía, situación contraria al análisis de la estructura de las bóvedas que no fue hasta el siglo XVIII que fue vista con recelo por algunos arquitectos por su falta de seguridad y durabilidad. De manera particular las bóvedas tabicadas se comportan estructuralmente de manera distinto a las de piedra, según el arquitecto español Guastavino pertenecen a un tipo de estructuras cohesivas que conservan las características de considerarse bóvedas monolíticas y sin empujes. (Huerta, 2004)

Las bóvedas son un sistema de cubierta tabicada con características únicas donde se elimina la necesidad de incluir armados de acero de refuerzo, así como cimbra durante el proceso constructivo. En la región de los altos de Jalisco se puede apreciar la riqueza de este tipo de techumbres, siendo el Municipio de Lagos de Moreno el principal proveedor de la mano de obra para la edificación de estas.

En la actualidad la construcción de bóvedas está resurgiendo en un sector específico limitándose a las viviendas tipo residencial de nivel socioeconómico alto, algunas de las ventajas en este tipo de cubiertas que mencionan Célia Neves y Obede Borges en su libro Técnicas de construcción con tierra son evitar gastos de cimbra, prescindir del acero de refuerzo y elementos estructurales de concreto debido a que las hiladas se colocan en forma de arcos autoportantes, una desventaja es que limita las construcciones a no edificarse ningún nivel por encima de la misma ya que tendrían que usarse grandes volúmenes de relleno, provocando un posible daño estructural en la cubierta.

1.2 Objetivo General

Caracterizar los procesos constructivos, materiales y geometrías de las bóvedas típicas de la región altos norte de Jalisco con la finalidad de que se pueda dar origen a una posible reglamentación de las mismas garantizando con ello su preservación en el tiempo como una tradición constructiva propia de la región.

1.3 Objetivos Particulares

- A. Desarrollar una exhaustiva revisión al estado actual del conocimiento donde se mencione la clasificación y tipos de bóvedas, así como los procesos registrados mediante la consulta de artículos, publicaciones, tesis, libros y demás documentos oficiales.
- B. Formar un padrón de mano de obra especializada en la construcción de bóvedas de la Región altos Norte del estado de Jalisco.
- C. Caracterizar en laboratorio los materiales empleados en la construcción de las bóvedas mediante ensayos en muestras obtenidas en campo.
- D. Determinar y evaluar la geometría de bóvedas existentes, construidas por miembros del padrón mediante técnicas de fotogrametría digital de corto rango, y asociar sus características geométricas.
- E. Generar recomendaciones técnicas que incluyan los resultados de la caracterización de los materiales, procesos y geometrías de las bóvedas a partir de la información recabada durante la campaña experimental.

1.4 Alcances

Los alcances para este trabajo se verán limitados a los tipos de bóvedas que se construyen en la región altos norte de Jalisco, relegando todas aquellas que no sean típicas de la zona y a aquellas de carácter histórico, el proyecto de investigación que se pretende desarrollar se encuentra acotado por los siguientes aspectos.

- A. Se documentará únicamente los procesos constructivos en bóvedas realizadas por mano de obra calificada que se encuentre dentro de los 8 municipios pertenecientes a la región Altos Norte de Jalisco.
- B. Se desarrollará una caracterización de procesos constructivos mediante entrevistas a profundidad con los miembros del gremio de la construcción especializados en este tipo de estructuras.
- C. La geometría de las bóvedas será estudiada mediante un levantamiento convencional utilizando técnicas de fotogrametría digital de corto rango en aquellos casos en que sea factible su utilización
- D. Durante la recabación de datos en campo se dará seguimiento a la construcción de bóvedas elaboradas por distintas cuadrillas con la finalidad de documentar sus técnicas constructivas y su rango de especialidad en la aplicación d las mismas.
- E. Se determinarán los principales proveedores de las piezas de mampostería, así como las proporciones y materiales empleados en la elaboración de morteros, ensayándolos en laboratorio y determinando sus características físico-mecánicas.
- F. No será objeto de este estudio el análisis estructural de las bóvedas ni su evaluación experimental en laboratorio a escala real debido a las limitaciones temporales del proyecto.

1.5 Justificación

Es conocido que la mano de obra necesaria para la construcción de bóvedas demanda de una mayor capacidad técnica y de experiencia, de manera que exige personal calificado para la correcta ejecución del proceso constructivo.

Los conocimientos de la mano de obra requerida para la construcción de las bóvedas han sido tradicionalmente transmitidos de generación en generación de padres a hijos, volviendo esto una tradición que pese a los años ha logrado sobrevivir hasta la actualidad, por diversas razones el gremio de especialistas en este tipo de trabajos se ha visto mermado en número y en el presente el personal que las ejecuta resulta insuficiente para cubrir las demandas en este tipo de edificaciones en la región. Este desabasto, en conjunto con la especialización del trabajo genera un costo elevado de mano de obra impactando en el valor final de las bóvedas, lo anterior aunado a los nuevos materiales y procesos constructivos que se han desarrollado durante los últimos años han logrado desplazar este tipo de techumbres tan ricas en arquitectura e identidad para la región de los altos norte de Jalisco.

Debido a la trasmisión oral y practica de las técnicas implementadas para la construcción de bóvedas existe un pobre conocimiento técnico científico respecto al tema, lo que vuelve casi imposible regular y normalizar los materiales, procesos y geometría de las bóvedas, por lo que es necesario la existencia de recomendaciones técnicas y mecanismos de evaluación para las mismas.

Por eso resulta de vital importancia estudiar y documentar el proceso constructivo de las bóvedas ya que es un elemento estructural y su mala ejecución puede representar un riesgo para los ocupantes de la edificación, un manual de recomendaciones técnicas permitiría tener un correcto control de calidad en obra, además de garantizar la preservación temporal de la técnica y su posible trasmisión a las siguientes generaciones. se volvería del dominio público, permitiendo salvaguardar esta tradición constructiva.

1.6 Hipótesis

Mediante un padrón de mano de obra especializada dentro de la región se puede obtener la información necesaria para caracterizar procesos constructivos, materiales y geometrías de las bóvedas típicas de los altos norte de Jalisco.

1.7 Metodología

Esta investigación será principalmente de carácter cuantitativo y de carácter experimental considerando principalmente las siguientes variables.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- A. Geometría de las bóvedas.
 - B. Materiales o insumos requeridos para la construcción de las mismas.
 - C. Proceso de la tradición constructiva

Este proyecto incluye también aspectos cualitativos por lo que la investigación utilizara los siguientes pasos de metodología:

- A. Desarrollar una exhaustiva revisión al estado actual del conocimiento donde se mencione la clasificación y tipos de bóvedas, así como los procesos registrados mediante la consulta de artículos, publicaciones, tesis, libros y demás documentos oficiales.
- B. Localizar a personas de la región altos norte de Jalisco que se dediquen a la construcción de Bóvedas, para consolidar un padrón de mano de obra especializada.
- C. Documentar las técnicas constructivas empleadas para la edificación de las bóvedas mediante entrevistas a profundidad con los miembros del gremio.
- D. Caracterizar en laboratorio los materiales empleados en la construcción de las bóvedas mediante ensayos en muestras representativas obtenidas en campo. Dosificaciones y pruebas mecánicas de los materiales entre otras.
- E. La geometría de las bóvedas será estudiada mediante fotogrametría digital de corto rango en aquellos casos en que su utilización ayude a la representación de las propiedades geométricas.



CAPÍTULO

II

ESTADO ACTUAL DEL
CONOCIMIENTO

CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2.1 Bóveda tabicada

"...Genéricamente una bóveda es toda obra de fábrica arqueada que cierra un espacio comprendido por muros o pilares que lo confinan" (Navarro Fajardo, 2004)

Entendiendo el concepto de bóveda como elemento constructivo soportado cuya geometría principal es una serie de arcos organizados de en un esquema radial, lineal o axial; que en conjunto generaran una curvatura contenida por muros y soportada por pilares. Podemos encontrar diversos ejemplos de procesos constructivos, desde elementos monolíticos de concreto hasta las llamadas bóvedas tabicadas.

Se les llama bóvedas de fábrica a las bóvedas tabicadas, mismas que están construidas con ladrillos y cemento, mortero o yeso como aglomerante, realizando el proceso sin cimbra ya que la técnica prescinde de ella. El agarre de los ladrillos se logra mediante el rápido fraguado del aglomerante entre la colocación de cada hilada o anillo.

El enfoque de esta investigación se centra en las bóvedas llamadas tabicadas, específicamente las realizadas en la región de lagos de moreno Jalisco. En la literatura nos encontramos con diversas investigaciones sobre estos sistemas afines.

Son de pequeños espesores, normalmente de dos capas con aproximadamente 10 cm. en total, incluyendo la junta de mortero existente entre capas los recubrimientos, pero también se encuentran de una capa.

La característica principal de las bóvedas son su geometría que consta de las curvas de varias técnicas, pueden ser con directriz, de superficies regladas, paraboloides entre otras. En cuestiones de materiales la construcción de las bóvedas resulta sencillo y poco costoso debido a que no hay gasto de cimbra ni se ahorran los tiempos de coloración y retirado de la misma.

La utilidad que se le ha dado a las bóvedas ha sido para cubrir espacios, techumbres y cubiertas; para formar escaleras. Es una técnica que encuentra en casi todos los sectores de la construcción desde edificios públicos como

bibliotecas, escuelas, hasta casas de campo, residenciales, almacenes entre otras (López López, 2012).

2.1.1 Clasificación geométrica de las bóvedas tabicadas

En la investigación de (Navarro Fajardo, 2004) y a (Huerta, 2004) las bóvedas se clasifican de la siguiente manera:

Bóveda de arista: Se forma al intersecar de dos bóvedas de cañón de misma altura y plano de arranque, siendo sus aristas salientes hacia el interior de la bóveda. No debe ser confundida con la bóveda aristada, denominación que se le da a la estrellada que ha transformado sus nervios en aristas.

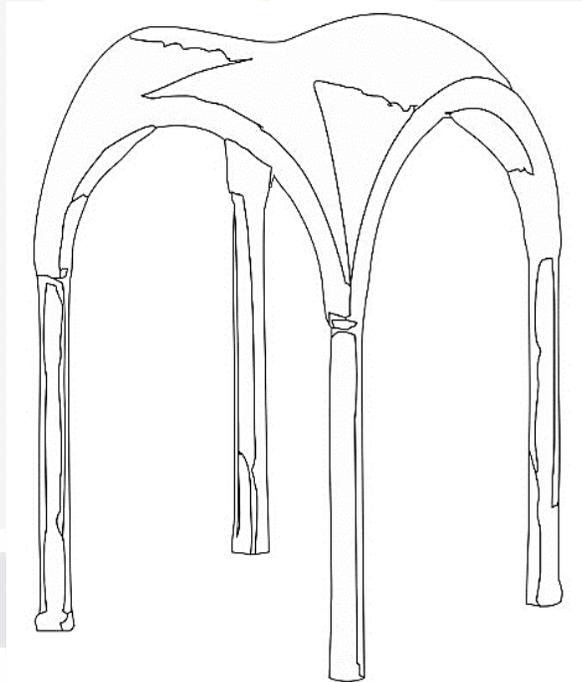


Figura 1. Bóveda de arista.

Bóveda apainelada: La de perfil bajo conformada por tres centros generada a partir de arcos carpaneles.

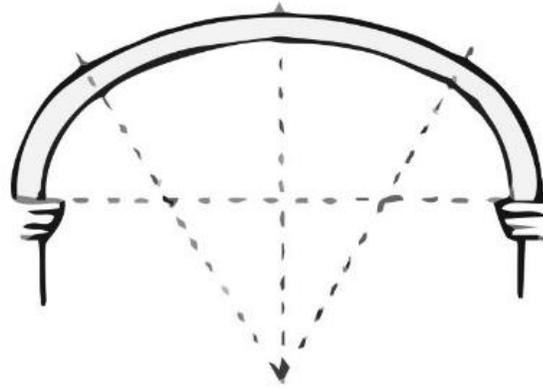


Figura 2. Bóveda apainelada

Bóveda baída o vaída: Resultado geométrico de cortar una semiesfera por planos verticales elevados en el perímetro de un polígono inscrito en el círculo de la planta. Es el resultado de trasponer una semiesfera que le da volumen con un prisma que le define el perímetro de la misma.

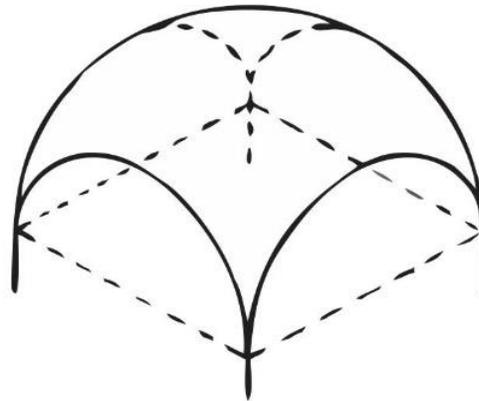


Figura 3. Bóveda baída o vaída.

Bóveda de cañón: De forma cilíndrica, en un corte transversal la sección es un semicírculo. Si la superficie es continua se denomina de cañón seguido, teniendo arcos resaltados llamados fajones que cortan la bóveda en tramos.

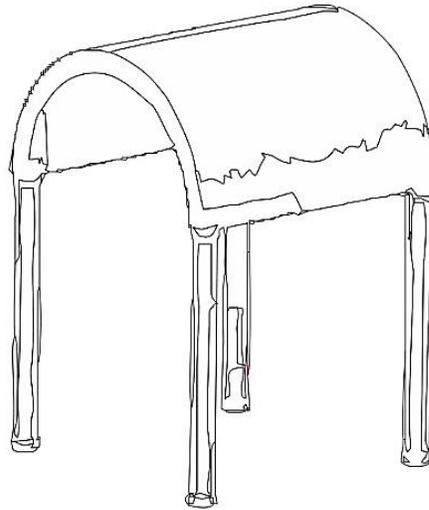


Figura 4. Bóveda de cañón.

Bóveda de crucería nervada: Nombre adecuado bóvedas de arcos independientes que constituyen una de las características principales de la arquitectura gótica. Se reconocen dos elementos principales, los arcos que forman su esqueleto y los paños que cubren los espacios intermedios.

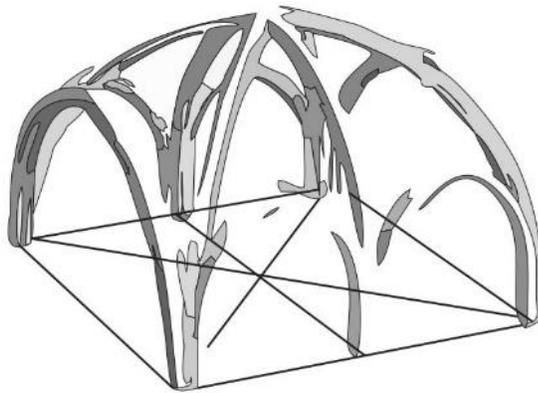


Figura 5. Bóveda de crucería nervada.

Bóveda cuatrimpartita o de crucería simple: Es elevada sobre planta cuadrada o rectangular que se divide, mediante los nervios diagonales, en cuatro gajos fundamentales que reciben el nombre de plementos. El esquema está constituido

por cilindros que se interconectan, resulta ser una estructura de cáscara de gran estabilidad.

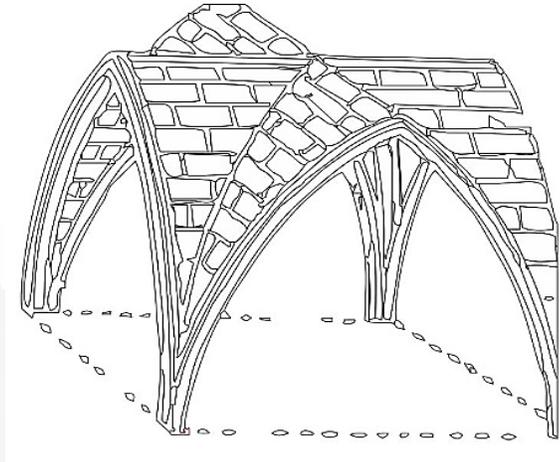


Figura 6. Bóveda cuatrimpartita o crucería simple.

Bóveda cupuliforme: Contiene de elementos con superficies curvadas generadas por rampas redondas.

Bóveda estrellada: De acuerdo con sus trazos tiene forma de estrella, toma su forma mezclando varias nervaduras.



Figura 7. Bóveda estrellada.

Bóveda falsa: Se conforma de hiladas horizontales que salen de forma sucesiva en tipo voladizo.

Bóveda gallonada: Resultado de la intersección de 4 cilindros que se cortan en un eje a 45° cubriendo un espacio de base octogonal. El radio resultante de los arcos de las aristas es mayor que el de los gallones.

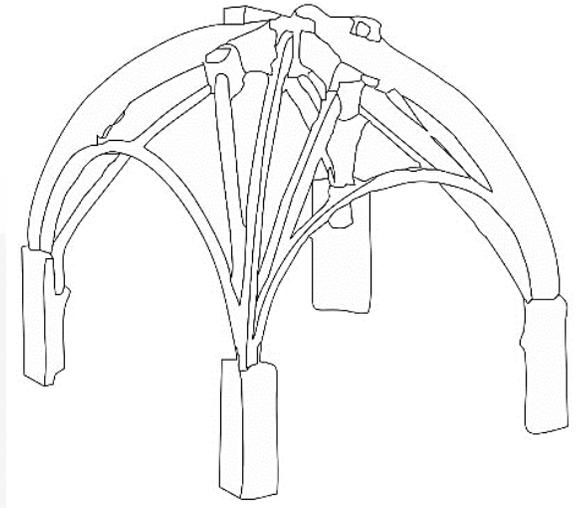


Figura 8. Bóveda Gallonada.

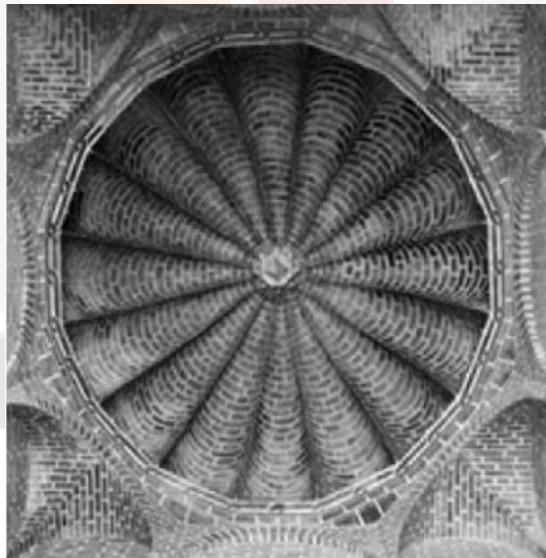


Figura 9. Bóveda Gallonada.

Bóveda reticulada: Bóveda nervada en la que los nervios forman una retícula o malla continua, En Inglaterra aparece bajo la denominación de bóveda de ligaduras (*lierne vault*).

Bóveda en rincón de claustro: La originada por la intersección de cañones cilíndricos de igual altura y que arrancan de un mismo plano horizontal. Al contrario que la bóveda de arista que solo tiene apoyos aislados, la bóveda claustro en cada uno de sus paños tiene que apoyarse en un muro continuo.

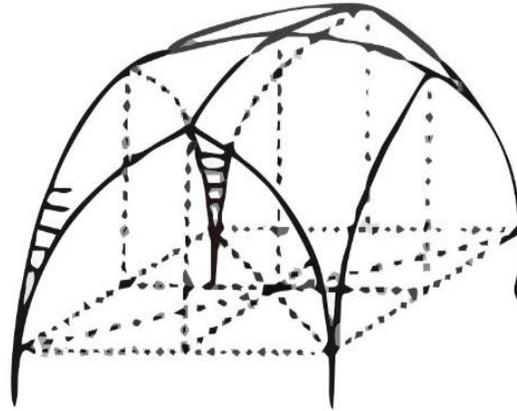


Figura 10. Bóveda en rincón de claustro.

Bóveda sexpartita: Queda dividida en seis compartimentos y lleva un arco transverso que pasa por la clave, cuenta a cada lado dos arcos formeros muy peraltados.



Figura 11. Bóveda sexpartita.

Bóveda de abanico: También conocida como bóveda palmeada. Los nervios se abren a partir de los arranques simulando la forma de las ramas de una palmera o las varillas de un abanico.

Bóveda escazana: Generada por arcos de medio punto cuyo centro está situado por debajo de la línea de arranques, obteniéndose un perfil rebajado circular.



Figura 12. Bóveda escazana.

2.2 Historia

2.2.1 Orígenes de la bóveda tabicada

La hipótesis más aceptada con respecto al génesis de la bóveda tabicada hace referencia a la labor de los constructores romanos quienes usaban la cimbra permanente de ladrillos que se extendía por debajo de las bóvedas de argamasa y piedra de las grandes construcciones romanas. Se dice también que proviene de las construcciones medievales populares; y por último la que encuentra su génesis en la cultura musulmana. Si bien no podemos determinar los orígenes exactos de la bóveda a ciencia cierta, se tiene suficiente evidencia para asegurar que se realizan bóvedas tabicadas portantes a partir de 1400 (López López, 2012).

Existen registros de bóvedas romanas con arcos embebidos, las edificaron de piedra sillería, de mampostería y argamasa (de acuerdo con la RAE es Mortero primitivo hecho de cal, arena y agua, que se emplea en las obras de albañilería) utilizando un cimbrado de madera con forma que se quería construir, después de se retiraba el molde una vez que sus elementos hayan fraguado.

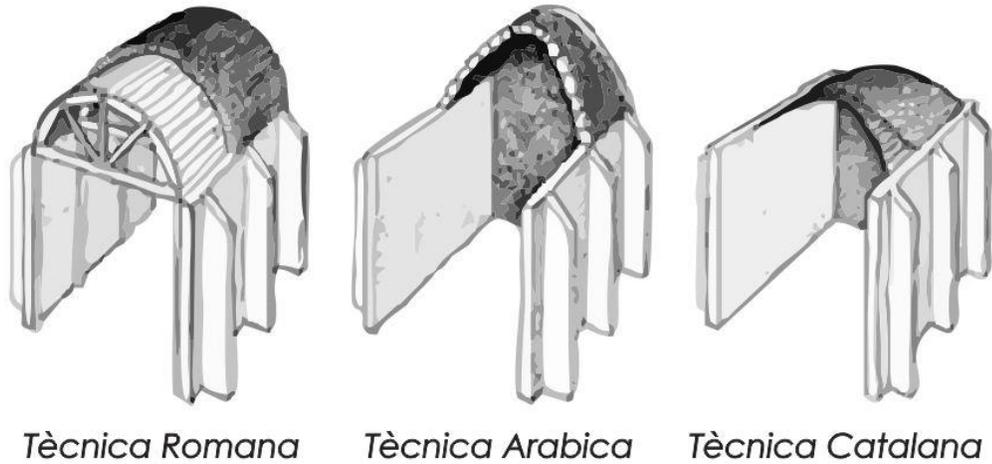


Figura 13. Orígenes: tres métodos de construcción de ladrillos en bóvedas del norte de Europa con cimbra de madera. (López López, 2012)

2.2.2 Bóvedas valencianas de crucería

Los tipos de bóvedas de crucería de la arquitectura valenciana se clasifican en cuatro grupos que las abarcan todas, estas bóvedas pertenecen del siglo XIV al XVI, esta clasificación atiende criterios de su traza en planta y a la utilización de elementos constructivos. Estos son los cuatro grupos: Bóvedas de crucería simple, Bóvedas sexpartitas, Bóvedas de crucería estrelladas, y Bóvedas de crucería nervadas. (Navarro Fajardo, 2004)

Bóvedas de crucería simple

Es el tipo más sencillo y abundante aplicado a la cubierta de espacios en tramos cuadrados y perlongados, tanto en naves principales, como colaterales y capillas. Es común en estructuras pertenecientes a la arquitectura gótica clásica.

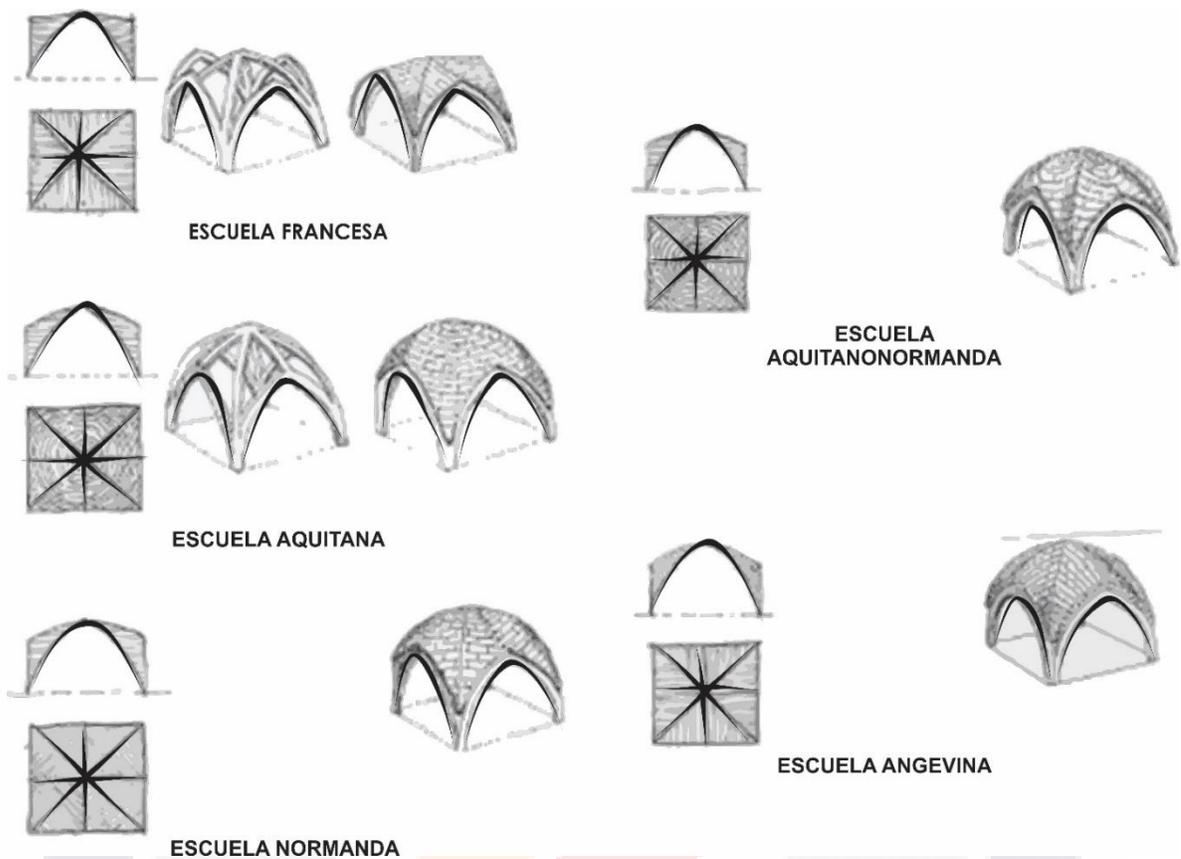


Figura 14. Tipos de bóveda de crucería simple, Reinterpretación de los dibujos de Viollet le Duc y Lamperez (Navarro Fajardo, 2004)

Algunas obras representativas son: a finales del XIII se cierran las naves del Convento de San Agustín, Durante los siglos XIII y XIV se cubren los tramos de las naves, capillas, transepto, girola, presbiterio y capillas absidiales de la Seo. Del siglo XIV son las de la nave y capillas de la iglesia de los Santos Juanes (tapadas por tabicadas posteriores). También se cubren con bóvedas cuatripartitas las de la iglesia de San Martín y las de la iglesia de Santa Catalina (c. 1300).



Figura 15. Bóvedas de Crujería Simple, Claustro del monasterio de san Jerónimo de Cotalba, Claustro del convento del Carmen Valencia. (Navarro, 2004)

La Bóveda Sexpartita

Bóveda en el Reino de Valencia, del que tan solo hemos encontrado un caso, es el de la iglesia parroquial de Utiel (Valencia), su construcción data del siglo XVI. En los tramos dos y tres de su nave se despliegan bóvedas sexpartitas con seis tímpanos triangulares

Bóvedas de crucería estrellada

La descripción de su diseño es muy sencilla, se parte del cuadrado y se rota 45° , de esta forma obtenemos una base octogonal que despliega la forma de una estrella. Según Viollet le Duc, la primera bóveda de crucería estrellada con cinco claves se encuentra en el crucero de la catedral de Amiens (c. 1260-1270). En España, la primera bóveda estrellada fue construida en el crucero de la catedral de Toledo (1300).



Figura 16. Bóvedas de Crujería estrellada. Cabecera de la iglesia del monasterio de Corpus Christi en Lutxent. Cabecera de la iglesia de San Bartolome de Xabia (Navarro, 2004).

Bóvedas de crujería nervadas

Son pocas bóvedas de crujería que se han diseñado en piedra con un corte de cantería esmerado, prescindiendo de las nervaduras resaltadas y son reemplazadas por aristas en el encuentro de los plementos. Destacan la de la sacristía de la Capilla Real (1431-1463) del convento de Santo Domingo de Valencia, de Francesc Baldomar, la de la capilla del fossar (1476) de la iglesia de San Nicolás de Valencia entre otras importantes obras.

2.2.3 Bóveda tabicada extremeña

En la arquitectura tradicional de la Baja Extremadura era muy frecuente resolver las cubiertas de espacios generalmente destinados a vivienda mediante la construcción de bóvedas de ladrillo. Con anterioridad al s. XIX, la construcción de estas bóvedas se hacía colocando el ladrillo a sardinel, es decir con su cara mayor en contacto con los contiguos, mientras que en el interior del espacio se colocaban las caras menores del ladrillo. Esta técnica recibe el nombre "de rosca", y proviene de una tradición militar. Dado el monto de la construcción, estaba reservado a las clases sociales de alto nivel adquisitivo.

Después de la segunda mitad del s. XIX comenzó a extenderse por toda la cuenca del Guadiana una nueva técnica que introducen alarifes portugueses que emigran desde su país hacia esta región. (Carmona, 2003)

Carmona toma como objetivo establecer las pautas constructivas del proceso de ejecución de la bóveda tabicada de tradición extremeña. Realiza una normalización del proceso de construcción de la misma, con el fin de analizar cuáles son los parámetros regionales en su elaboración y considerar las posibles variantes de la técnica en otras zonas geográficas. En el artículo de la revista expone paso a paso cual es el proceso de construcción recuperando la técnica tradicional (Carmona Barrero, Normalización del proceso constructivo de la bóveda tabicada extremeña, 2005).

2.3 Bóvedas mexicanas siglo XVI

La investigadora Natalia García Gómez en su publicación de 2012 titulada trazo de las bóvedas de nervadura siglo XVI toma como objeto de estudio el análisis geométrico del trazo de una muestra de cuatro bóvedas construidas en edificaciones religiosas antiguas y se revisaron documentos oficiales del trazo de las mismas para identificar la geometría de los trazos utilizados en la construcción.

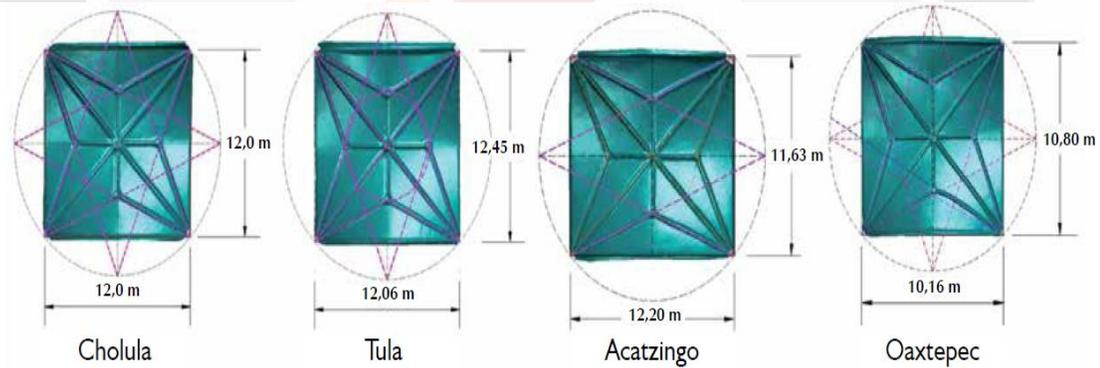


Figura 17. Modelo geométrico de bóvedas (García Gómez, 2012)

Los modelos geométricos obtenidos representan en gran medida, como el uso de un mismo sistema para trazo (el tratado de Alonso de Vandelvira y el padre Tosca), el factor humano, el tiempo y las técnicas del constructor afectan el resultado geométrico final, con variaciones que podrían causar problemas estructurales.

2.3.1 Materiales

Tradicionalmente construyó en Extremadura con ladrillos macizos cuya denominación “trabuco” o “bovedines” que tienen las siguientes dimensiones 21 x 10 x 5 cm. Para los materiales de revestimiento se emplea la cal.

2.3.2 Proceso de construcción de la bóveda

En los puntos donde se ubica el arranque de la bóveda, se situarán las “pechinas”, son los puntos de apoyo de esta y tienen la función física de transmitir los esfuerzos de la bóveda al muro.

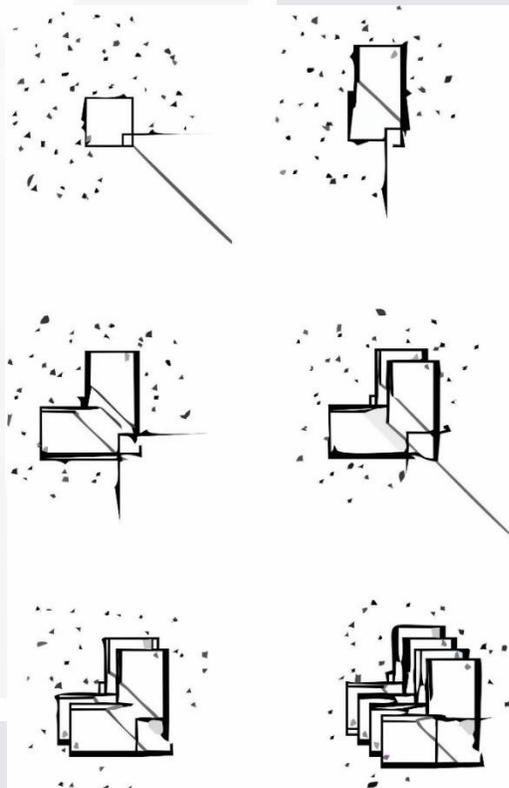


Figura 18. Proceso de construcción de la pechina lam 4 (Carmona Barrero, Normalización del proceso constructivo de la bóveda tabicada extremeña, 2005).

Se trazan los arcos formeros de la bóveda en los muros perimetrales del espacio a cubrir, se procede al marcado de la pechina en cada uno de los puntos de arranque de la bóveda. Sobre dicho trazado se abre un cajeadado que permite alojar el volumen de los ladrillos.

La altura de la bóveda deberá ser tal que permita la colocación de todas las hiladas de ladrillo.

En la parte inferior de la arista, el cruce de ladrillos produce un efecto de sierra, de manera que es necesario cortarlos mediante una operación llamada espatillado que consiste en darle un golpe seco. Una vez finalizado el cierre, se realizaba un trasdosado mediante el vertido de una lechada de yeso que permitía asegurar un correcto rejuntado de la misma por la parte superior.

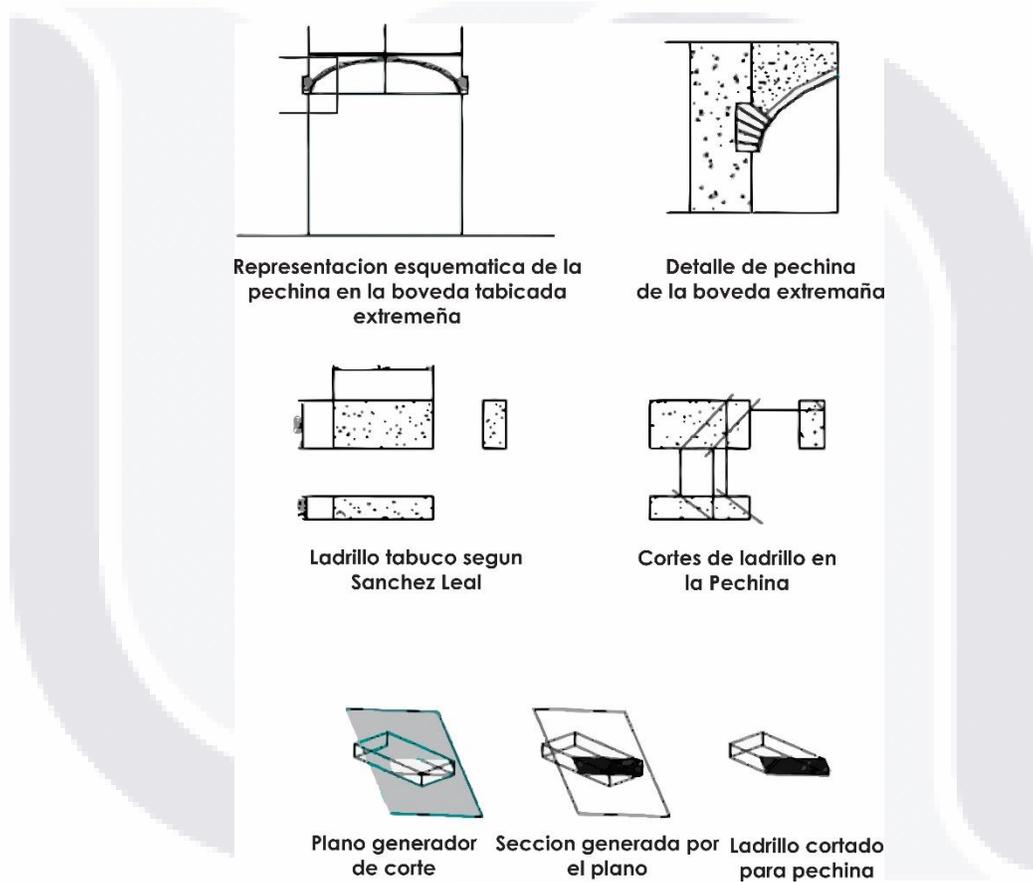


Figura 19. Lam 2 (Carmona Barrero, Normalización del proceso constructivo de la bóveda tabicada extremeña, 2005).

2.4 Análisis estructural de bóvedas catalanas

En 2012 David López López Maestro por la universidad politécnica de Cataluña presento la tesis, Análisis estructural de bóvedas tabicadas donde analizo estructuralmente la geometría y 3 variables de bóveda catalana, teniendo resultados que dan viabilidad al método de análisis estructural propuesto por

Jaques Hayman que propone que durante la construcción de la bóveda se debe tener en consideración nula tracción y afirma que la resistencia a la compresión es infinita.

Además, pone a prueba el teorema de Santiago Huerta, Arquitecto de la universidad de Madrid que propone que las bóvedas deben analizarse por geometría a elemento finito.

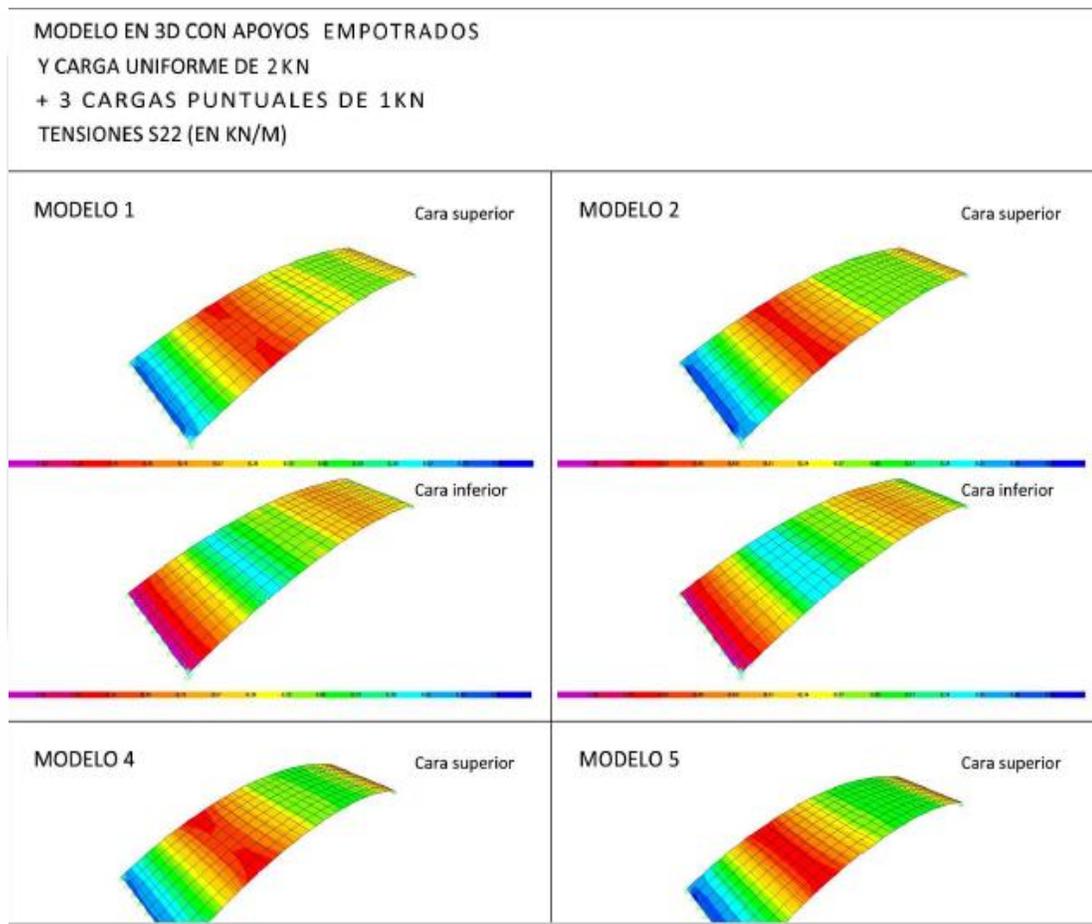


Figura 20. Análisis de Elemento Finito, resultados de pruebas a modelo, (Lopez,2012).

Los resultados que obtiene indican que después de hacer el mismo análisis con las variables de capas de ladrillos parece tener mayor resistencia las bóvedas cuya conformación geométrica es dada por 2 capas, la tercera capa no ejerce mejoras y la capa sencilla sufre mayor estrés (López López, 2012).

2.5 Cualidades mecánicas de las bóvedas según Rafael Guastavino.

Según la información histórica del investigador español Gustavo Huerta Fernández, Las bóvedas catalanas se convirtieron casi en un símbolo de la región y su exportación a las Américas no se hizo esperar a finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

Las técnicas catalanas expresadas en el texto denominado "La mecánica de las bóvedas tabicadas en su contexto histórico: Aportaciones Guastavinas" tiene una similitud importante a las conocidas Bóvedas laguenses estudiadas en el presente documento.

El documento de Gustavo Huerta hace referencia a como se tiene la idea de que no existen técnicas de cálculo matemático, ni cómo se cree que la técnica es una técnica empírica que deja de lado cualquier precisión de cálculo estructural, y propone a Rafael Guastavino como el padre de la técnica bovedera en Iberoamérica.

El registro histórico habla de construcciones abovedadas desde el siglo XVI, el texto más relevante habla de cómo los materiales que se utilicen para la construcción de las bóvedas (cañón, media naranja, pañuelo, arista, rincón de claustro, etc). no es relevante para el accionar mecánico de la bóveda, todas requerirán por geometría dotar de un trasdosado para la transmisión de cargas a los elementos soportantes.

Guastavino por otra parte elabora una técnica basada en las leyes de Hooke con ladrillos colocados en forma cohesiva o trabajando cuatrapeado entre elementos para mejorar y dar condiciones flexionantes a la geometría de la losa, prueba de esto es que con esta técnica se han logrado construir bóvedas de cañón con 6m de luz, y 7.5cm de espesor.

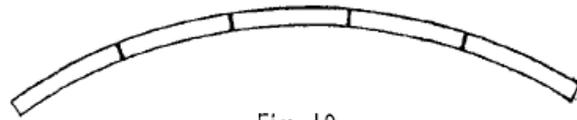


Fig. 10.

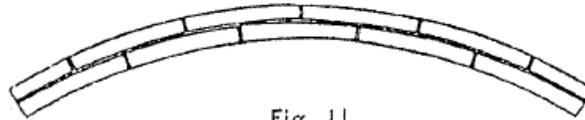


Fig. 11.

Figura 21. Bóvedas en Cohesión de Rafael Guastavino.

Sin embargo, esta teoría se viene abajo cuando se realizan mediciones estructurales haciendo pruebas de resistencia utilizando elementos en cohesión y elementos con mayor dimensión geométrica, por lo que la cohesión no tiene que ver con la mejora en resistencia estructural, pero ayuda bien a la construcción sin cimbra de las bóvedas tabicadas. (Huerta, 2005).

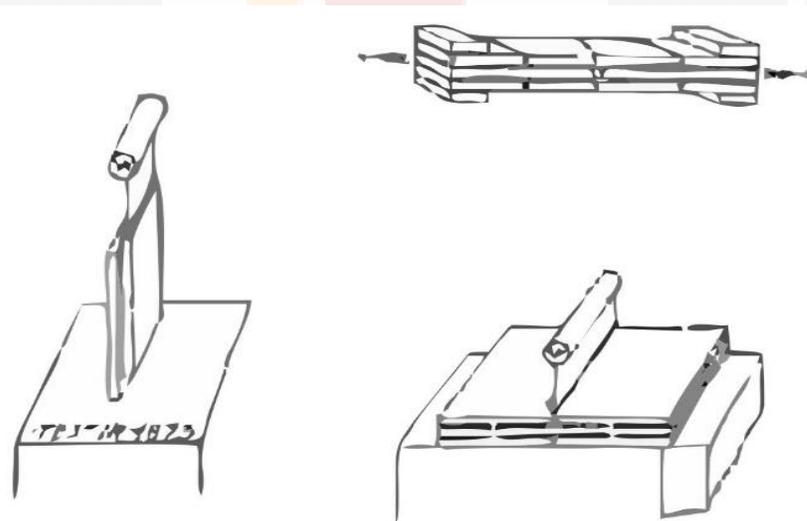


Figura 22. Diagrama de pruebas Guastavinas de resistencia en cohesión.

2.6 Cálculo tradicional de bóvedas, arcos y cúpulas

Tradicionalmente las bóvedas, arcos y cúpulas tabicadas se han realizado con métodos empíricos heredados y documentados por los arquitectos e ingenieros de la antigüedad, la técnica empírica ha dado resultados buenos y otros terribles donde la construcción no responde a las reglas de proporción geométrica ni las recomendaciones geométricas y de materiales.

Estas técnicas de cálculo operan tradicionalmente por la teoría elástica y su correspondiente enfoque de resistencia sin embargo no están justificadas según los modelos de análisis de elementos finitos actuales donde estas reglas no aplican en lo absoluto.

La información que recaba el investigador Santiago Huerta en su libro concluye que la condición más importante de una construcción de bóveda, arco o cúpula no es la resistencia si no la estabilidad.

Por lo que los métodos de cálculo tradicionales empíricos no son suficientes para garantizar la integridad de una bóveda.

En el mismo documento antes referido se hace hincapié en que lo más importante a analizar por los investigadores en esta época es las condiciones geométricas y la estabilidad que estas le pueden dar a la construcción de una bóveda. Esto se deduce del teorema de seguridad aplicado en el libro antes mencionado del mismo autor. (Huerta, 2004)

2.7 Normas de construcción para bóvedas en Extremadura España.

Si bien las diferencias entre una bóveda de Extremadura España y una de los altos de jalisco es evidente, ambas son consideradas elementos constructivos vernáculos cuyo cálculo empírico y tradición de herencia boca a boca ha provocado la pérdida de registro en formulas y reglas que permitan tener garantía del equilibrio y geometría idónea para la construcción de las mismas.

Las bóvedas de Extremadura ya han tenido estudios que abalan la geometrización de los elementos previendo la desaparición de la técnica junto a la figura de maestro albañil que parece cada vez más próxima debido a las tecnologías actuales.

En su artículo Juan Diego Carmona Barrero en 2005 propone simples reglas empíricas para permitir la normalización de la geometría y construcción de las bóvedas como se enuncian a continuación:

Tabla 1. Normalización de espacios para bóvedas Extremadura España

Crujía	Espacio	Dimensiones aprox.	Bóvedas predominantes	Decoración
1ª	Dormitorio	3.25 x 3.50	Arista / artesa / lunetos	Si
	Pasillo	3.25 x 2.00	Arista	Si
	Alcoba	3.25 x 2.50	Arista	Si
2ª	Dormitorio	3.25 x 3.50	Vaída	No
	Pasillo	3.25 x 2.00	Arista	Si
	Alcoba	3.25 x 2.50	Vaída	No
3ª	Pasillo	3.25 x 4.50	Lunetos / artesa	Si
	Salón			Si
	Cocina	3.25 x 3.50	Arista	No

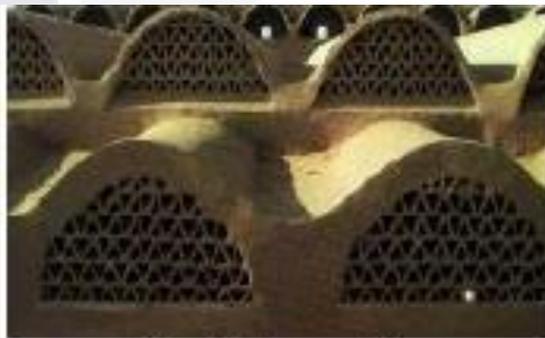
2.8. Bóvedas tradicionales en México Técnicas Empíricas de Los Altos de Jalisco

La bóveda de tierra es sistema constructivo que se basa en una técnica tradicional que fue transmitida de manera empírica a través de las generaciones, estas se desarrollaron y se encuentran ubicadas en el centro del país.

De acuerdo a la información manejada en el libro técnicas de construcción con tierra (Celia & Faria, 2011) el origen radica en la existencia de ejemplares de bóvedas, que emplean esta técnica constructiva partiendo del principio de elementos de tierra cruda como lo es el adobe que en sumamente se eligieron de este modo por las ventajas que representaba, fácil de fabricar y secar, permite diversidad en formas y tamaños, abunda la materia prima y no requiere de gran equipamiento, siendo un método favorable para la época donde la mano de obra abundaba, es importante mencionar que algunas bóvedas o cúpulas prescindían de la necesidad de algún encofrado o cimbra.

Entre las desventajas de las bóvedas elaboradas con adobe encontramos que debido a su alta porosidad es capaz de almacenar grandes cantidades de agua en temporales de lluvia arriesgando derrumbes por colapso

En los arcos, bóvedas y cúpulas es recomendable tener en cuenta los diseños estructurales acoplados a la forma que se va a construir donde se consideren variables como al tamaño y peso de los adobes que se van a utilizar en la construcción. En el caso de algunas cúpulas y bóvedas (como las nubias), pueden ser construidas sin necesidad de encofrados de apoyo o cimbras.



Obra de Hassan Fathy
(Steele, 1988)



Obra del Arq. Ramón Aguirre,
(www.arcillayarquitectura.com)

Figura 23. Bóvedas tradicionales

Se trata de una técnica que se origina y propaga a través del saber popular en la región del centro de la república mexicana, de manera que en ciertos lugares se le llega a conocer comúnmente con el nombre de bóveda del bajío, abarcando parte de los estados de Querétaro, Guanajuato y Jalisco. Siendo las de este último las de nuestro interés

Regionalmente se conocen también como bóveda de cuña o catalanas, haciendo referencia a su principal materia prima, la cuña que generalmente conserva las dimensiones de **5 cm x 10 cm x 20 cm** y son elementos de tierra pasadas por un proceso de cocción.

El arquitecto Ramírez Ponce (2001) denomina al as bóvedas como cubiertas de ladrillo recargado ya que se logra la estabilidad entre los elementos por el recargue de las mismas siendo su principal característica.

Es indudable que su origen se remonta a las bóvedas tabicadas de Francia Portugal y Extremadura ejecutadas cuando menos desde el siglo XVII (Marín, 2002).

Las bóvedas mexicanas son un sistema digno de difundir y que presenta múltiples ventajas importantes como ahorros en tiempos de ejecución y en costos de producción, con el mínimo consumo de energía (Guerrero B, 2007).

2.9. Región altos Norte Jalisco

La región Altos norte de Jalisco pertenece a una macro región denominada centro y occidente de México o también conocida como región del bajo occidente y la conforman los estados Jalisco, Aguascalientes, San Luis Potosí, Colima, Michoacán de Ocampo, Guanajuato y Querétaro.

El estado de Jalisco tiene su propia subdivisión de regiones donde agrupa municipios afines en ciertas características culturales, arquitectónicas, económicas entre otras, hacia el Noroeste de la zona metropolitana del estado se encuentran los Altos de Jalisco, dividiéndose en Altos Norte y Sur.

La región Altos Norte de Jalisco se extiende con área de 8.882 km² que representa el 11% de la extensión territorial total del estado y colinda con los estados de Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, y Guanajuato y con el mismo estado colinda con los municipios Mexxicacán, Cañadas de Obregón, Jalostotitlán, San Miguel el Alto, San Julián y Arandas.

Estos son los 8 municipios componen la Región Altos Norte Jalisco:

- 1 Encarnación de Díaz
- 2 Lagos de Moreno
- 3 Ojuelos de Jalisco
- 4 San Diego de Alejandría
- 5 San Juan de los Lagos

6 Teocaltiche

7 Unión de San Antonio

8 Villa Hidalgo

Cada región tiene un municipio sede y el de esta es Lagos de Moreno. En Este municipio se encuentra la principal fuente de mano de obra especializada para la elaboración de bóvedas tabicadas dentro de la región anteriormente descrita.



Figura 24. Mapa de SAGARPA donde se muestran las regiones de México, resaltando la región bajío occidente.



Figura 25. Mapa de subdivisión política de Jalisco y acercamiento a la región los Altos de Jalisco.

2.10 Contexto arquitectónico de la Región con énfasis en el municipio sede Lagos de Moreno

En la región de Los Altos se tienen un conjunto de características que son utilizadas para atraer al turismo, tales como el patrimonio cultural que abarca desde las fabricas tequileras, el paisaje agavero, el mariachi, la charrería, así como edificaciones de importante valor arquitectónico que tienen su origen en la época colonial. (Vázquez de la Torre & Cardenas, 2013)

El municipio se, Lagos de Moreno, ha destacado por su belleza arquitectónica en distintos rubros, a finales del 2012 recibió el nombramiento de pueblo mágico siendo el 66 a nivel nacional y el quinto del estado, para recibir dicho nombramiento la titular la Secretaría de Turismo a nivel federal acudió a este municipio para hacer entrega de nombramiento al entonces gobernador del estado Emilio González que declara al destino turístico debido entre varias características a su riqueza y diversidad arquitectónica.

Los requerimientos para recibir el nombramiento de pueblo mágico son diversos, se enfocan en la riqueza cultural y arquitectónica, además de la capacidad turística del mismo.

En las pagina web de la secretaria de turismo en el apartado del municipio en cuestión sugiere entre otras cosas algunos atractivos arquitectónicos, entre ellos La Parroquia de Nuestra Señora de la Asunción, entre otros templos y museos, así como también el teatro José Rosas Moreno, teniendo entre como común denominador nuestra característica a estudiar, bóvedas y elementos compuestos por la técnica tabique recargado de canto o bóveda de cuña para construir cubiertas en sus versiones más lujosas y ricas arquitectónicamente hablando, y que fueron elaboradas con mano de obra de la región, misma aún subsiste. (Turismo, 2014).



Figura 26. Bóveda en teatro José Rosas Moreno y Bóvedas en la Parroquia de la Asunción en Lagos de Moreno Jalisco

“...cubiertas económicas de ladrillo de canto sin cimbra, se utiliza en la zona central y occidental de México en donde aparece, -invención del saber popular- en la segunda mitad del siglo XIX, en dos poblaciones que se disputan su origen: San Juan del Río, Querétaro y Lagos de Moreno, Jalisco.” (Ponce, 2014)



CAPÍTULO

III

MARCO TEÓRICO

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se definirán los elementos teóricos relevantes para el desarrollo de la tesis. Estos están divididos en 3 partes.

1. Geometría de las bóvedas y teoría empírica de la construcción de las mismas.
2. Características y normatividad de materiales de construcción, Tabique y morteros.
3. Técnica de levantamiento, Fotogrametría y procesado en agisoft Modelado en Sketchup.

3.1 Geometría de las bóvedas y teoría empírica

En la región de los altos de jalisco no se cuenta con manuales, reglamentos ni teorías estructurales que sustenten la construcción de nuevas bóvedas, y sin embargo las reglas de construcción parecen pasar de generación en generación haciendo de estas un trabajo casi artesanal, cuya mano de obra especializada ha tomado con orgullo y tradición la responsabilidad de preservarla.

Existe evidencia de una patente (CA159778A) generada por el constructor Rafael Guastavino en 1914 (pos-Morten), los documentos e imágenes no están disponibles en línea, pero el texto "El sistema Guastavino en México: las obras de un empresario moderno de la construcción en tiempos porfirianos" de Mónica Contreras, hace referencia a la misma, y explica que en esta patente se protegió la propiedad intelectual del uso de yeso en la primera hilada para generar una adherencia casi inmediata.

Las reglas Guastavinas que se aplican empíricamente hasta hoy en día deberían corresponder a lo publicado y patentado por Rafael Guastavino y Antonio Prieto.

Algunas de estas se modificaron con el paso del tiempo y de generación en generación, pero es evidente que parten de estas premisas geométricas.

Los ensayos de Guastavino son claves para el entendimiento de la funcionalidad de las bóvedas tabicadas sin cimbra que son predecesoras de las bóvedas laguenses.



Figura 27. Bóveda sometida a carga en ensayos de Guastavino.

En el primer ensayo, Guastavino utiliza una bodega con relaciones 1/10 de Flecha/Luz, y obtiene valores de tensión de ruptura de (14.6 N/mm²), tracción de (2.0 N/mm²) y cortante de (0.9Nmm²).

En resumen, Guastavino utiliza una serie de expresiones simples para el cálculo de la que se resumen en la regla geométrica: **1/10 proporciones de claro vs flecha.**

Como se mencionó anteriormente, lo más importante en la construcción de una bóveda tabicada es el equilibrio de las líneas de empuje por lo que Líneas de empujes en un macizo de fábrica.

La línea de empujes (línea de puntos) es el lugar geométrico del punto de paso de la resultante por un sistema de planos de corte dados. Estos planos de sección pueden corresponder a juntas reales o imaginadas. Moseley llamó a esta curva "línea de reacciones" y a su envolvente, que define la dirección de los empujes, "línea de presiones". (Moseley, 1843)

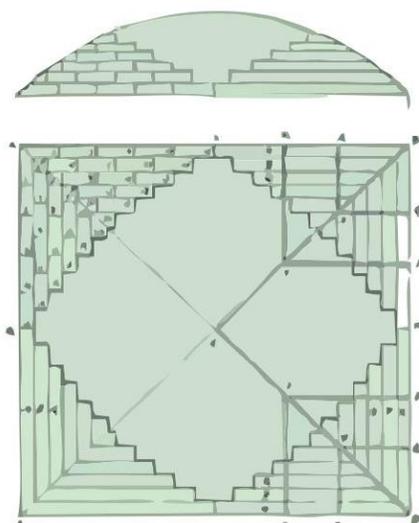


Figura 28. Muestra el proceso constructivo de una bóveda.

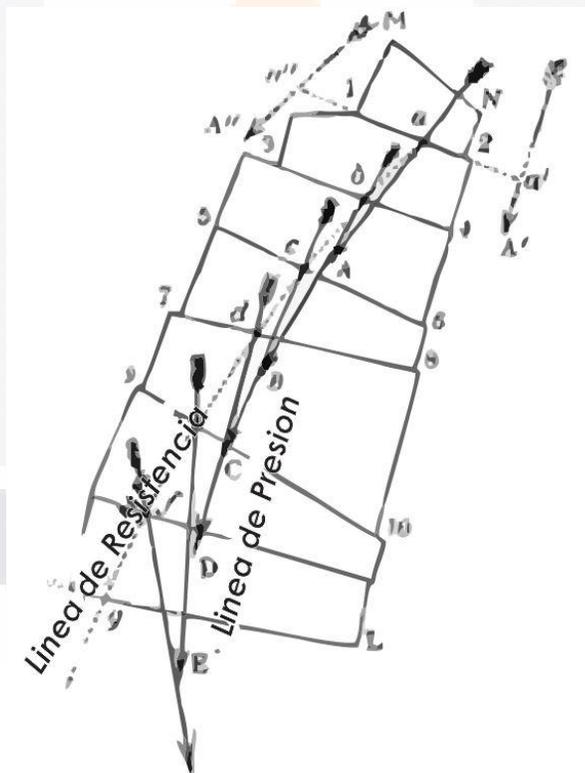


Figura 29. Muestra la ilustración deliberadamente desproporcionada del acomodo de los empujes en una bóveda o arco según Moseley, 1843.

En gran parte de la literatura se muestra esa relación de 1/10 respecto al claro o luz y a la flecha o arco que finalmente tendrá la bóveda, inclusive si se busca reglas geométricas distintas a estas siempre se hace referencia a que las bóvedas se hacen a "Sentimiento" o por experiencia. Esta carencia de reglas sobre la geometría de las bóvedas es motivo de esta tesis en la etapa experimental por lo que será importante comprobar y medir con precisión las relaciones claro flecha.

3.2 Propiedades de los materiales

Se requiere conocer las características técnicas que la teoría establece para tener un marco de referencia con el cual comparemos resultados obtenidos en la presente tesis. Por lo que se presentan a continuación las normativas aceptadas para la realización de cuñas y morteros, estos últimos solamente en función de la normativa ya que la "receta" de mortero empleada por los constructores de bóvedas de la región de los altos de jalisco no es de dominio popular y no tiene normatividad aplicable.

3.2.1 Cuñas

Tabique - Cuña, el ladrillo rojo recocido en proporciones utilizadas para la construcción de bóvedas se llama comúnmente en la región cuña, y sus propiedades suelen ser similares a las del tabique rojo recocido común, elaborado en la región y América latina. Siendo México uno de los principales productores y consumidores de este material. Según se muestra en la siguiente gráfica, el estado de la republica que más produce ladrillo rojo es Puebla, y el segundo lugar es Jalisco.



Figura 30. Grafica de producción de ladrillo en México 2015, (Aguilera, 2016)

Según la norma NMX, las especificaciones y métodos de ensayo para el llamado tabique rojo recocido son las siguientes: "tipo de pieza de mampostería en forma de prisma rectangular, que puede ser fabricado en barro, compactado o extruido y sometido a proceso de cocción"

En esta tesis se hará referencia a este elemento como cuña.

Según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, presentado en la tabla 2, se considera grano fino al material que después de hacerse la prueba de granulometría y más del 50% del material pasa por el tamiz No 200.

Revisando la normatividad correspondiente, podemos tener valores de referencia para la realización de las pruebas de peso volumétrico y resistencia de materiales, motivo de esta tesis para clasificación de materiales utilizados para la construcción de bóvedas en la región.

El código urbano de la ciudad de Aguascalientes clasifica al tabique con valores máximos y mínimos de peso volumétrico según lo muestra la siguiente Tabla 3.

Tabla 2. Sistema unificado de clasificación de Suelos SUCS

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO S.U.C.S.							
Suelos de grano grueso: (mas del 50 % es retenido en el tamiz n° 200)	Gravas: mas del 50% de la fraccion gruesa es retenida por el tamiz n° 4 (4.76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	Gw	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos	Cu=d60		
			Gp	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	No cumplen con las especificaciones de granulometria de cw		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	Gm	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Limites de atterberg sobre la linea ip<4	Encima de la linea a con ip entre 4 y 7 son casos limite que requieren doble simbolo.	
			Gc	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla	Limites de atterberg sobre la linea ip>7		
	Arenas: mas del 50% de la fraccion gruesa pasa por el tamiz n° 4 (4.76 mm)	Arenas limpias: (pocos o sin finos)	Sw	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cuando no se cumplen simultaneamente las condiciones para sw		
			Sp	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.			
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	Sm	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Limites de atterberg debajo de la linea a ip<4	Los limites situados en la zona rayada con ip entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de simbolo doble.	
			Sc	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla	Limites de atterberg debajo de la linea a ip>7		
	Suelos de grano finon (mas del 50% del material pasa por el tamiz n° 200)	Limos y arcillas: limite liquido < de 50	MI	Limos inorganicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas o limos arcillosos de ligera plasticidad.	1- determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulometrica.		
			CI	Arcillas inorganicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava arcillas arenosas, arcillas limosas.	2- según el porcentaje de finos (fraccion inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:		
OI			Limos organicos y arcillas organicas limosas de baja plasticidad	<5% - > cw, gp, sw, sp			
Limos y arcillas: limite liquido > de 50		Mh	Limos inorganicos , suelos arenosos finos o limosos con mica o datomeas, limos elasticos.	> 12% > gm, gc, sm, sc			
		Ch	Arcillas inorganicas de plasticidad alta.	5 al 12% > casos limite que requieren usar doble simbolo			
		Oh	Arcillas inorganicas de plasticidad media a elevada; limos organicos.				
Suelos altamente organicos		Pt	Turba y otros suelos de alto contenido organico				

Tabla 3. Relación de pesos volumétricos según el código urbano

MATERIAL	PESO VOLUMETRICO (ton/m ³)		
	MAXIMO	MINIMO	
Concreto reforzado (no ligero)	Clase I	2.40	2.20
	Clase II	2.20	2.00
Mortero de cal y arena	1.80	1.40	
Mortero de cemento y arena	2.10	1.90	
Mortero de yeso	1.50	1.10	
Tabique de barro hecho a mano	1.50	1.30	
Tabique prensado o extruido (volumen neto)	2.20	1.60	

Según las normas técnicas complementarias a las que el código municipal del estado de Aguascalientes hace referencia se establece el peso volumétrico mínimo al cual debe cumplirse en un tabique rojo recocido o en este caso una cuña. (NTC-DF-2004).

Tabla 4. Referencia para pesos volumétricos (NTC-DF-2004)

Tipo de pieza	Valores de kN/ m ³ (kg/cm ³)
Tabique de barro recocido	13 (1300)
Tabique de barro con huecos verticales	17 (1700)
Bloque de concreto	17 (1700)
Tabique de concreto (tabicón)	15 (1500)

3.2.2 Morteros

En lo referente a morteros la principal característica a considerar es la calidad de la mezcla considerando las características del material conglomerante, y la selección del mismo. La calidad de estos debe mantenerse antes y después de la obra.

3.2.2.1 Conglomerantes

El conglomerante tiene la función de unir los materiales utilizados en el mortero con la finalidad de generar uno nuevo, con características de maleabilidad y endurecimiento que en el caso específico de las bóvedas garantiza la integridad geométrica de las mismas.

Tipos de conglomerantes, según (Rodríguez Haro, 2016):

- Aéreos, cuyas características son las de fraguar y endurecer únicamente en medio seco, ejemplos de este tipo de morteros pueden ser los conglomerados con cal o yeso.
- Hidráulicos, cuyas propiedades son las de fraguado tanto en medios secos como húmedos, caso específico de los morteros de cemento gris y cal hidráulica.

Las proporciones de conglomerante y agua son la base de un buen mortero, y depende de estas la función para la cual se emplearán. Y estas se determinan con el tipo de material, yeso cal o cemento.

En el caso del cemento que es la principal materia prima para los morteros que se utilizan en la construcción de bóvedas la resistencia y adherencia se determina por la proporción cemento agua, y la maleabilidad se mejora con el uso de cales,

En cuanto a los áridos su característica principal es la de disminuir las retracciones debiendo absorber y transmitir las cargas que se le efectúen al mortero. Una granulometría adecuada será la ideal para la obtener la mayor ocupación de huecos y por consecuencia mayor porcentaje de compacidad, en función del uso del mortero a elaborar; considerando que la elección de un determinado árido tendrá influencia directa en el color y textura final, y con esto un mejor comportamiento en el uso de bóvedas.

3.2.2.2 Dosificación

Para obtener un buen mortero lo más importante es la dosificación del material por lo que la determinación de las proporciones de material en estas deberá ser las adecuadas. En el caso de las bóvedas se sigue considerando una receta empírica

el uso de estas proporciones y es motivo de esta tesis el análisis de las distintas dosificaciones obteniendo estas de la investigación en campo a base de entrevistas, detallada más adelante en el capítulo de campaña experimental.

3.2.2.3 Calidad técnica del mortero

Para determinar las características del mortero empleado para la realización de bóvedas se requiere realizar ensayos normalizados en laboratorio, realizando pruebas en estado fresco, una correcta elección de materiales es vital para determinar la caracterización de los elementos de la bóveda, por lo que la obtención de materiales en la región de los altos de jalisco será importante para obtener resultados determinantes.

Por otro lado, existen materiales que por sus procesos industrializados pueden generar diferencias en cuanto a resultados en laboratorio en los morteros utilizados para la realización de bóvedas, la famosa receta secreta podría verse afectada por el uso de estos materiales por lo que se tendrá en cuenta en la presente investigación el uso de materiales propios de la región y con ello resultados específicos.

No se tiene registro previo de uso de aditivos para la construcción de morteros con estas características por lo que solo se toman en cuenta las pruebas de mortero especificadas en las normas técnicas complementarias, donde se enlistan las siguientes características de morteros.

Inicia extracto:

“Mortero para pegar piezas Los morteros que se empleen en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 4 MPa (40 kg/cm²).*
- b) Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla 5.*
- c) La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3. El volumen de arena se medirá en estado suelto.*

d) Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable. Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 5."

Tabla 5. Proporcionamiento, en volumen recomendados para morteros en elementos estructurales

TIPO DE MORTERO	PARTES DE CEMENTO HIDRAULICO	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERIA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA	RESISTENCIA NOMINAL EN COMPRESION f* Mpa (kg/cm ²)
I	1	-	0 a 1/4	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementante es en volumen.	12.5 (125)
	1	0 a 1/2	-		
II	1	-	1/4 a 1/2		7.5 (75)
	1	1/2 a 1	-		
III	1	-	1/2 a 1 1/4	4.0 (40)	

3.3 Análisis de geometrías mediante fotogrametría digital de corto rango

En la actualidad los métodos de análisis y de documentación a monumento históricos y edificaciones del patrimonio cultural emplean diversos métodos de análisis para adquirir su información espacial, tales como topografía convencional, fotogrametría y técnicas de laser terrestre, entre otros, todos estos son métodos no destructivos. (Cardenal Escarcena, y otros, 2010)

La Fotogrametría es una técnica que mediante una secuencia de fotografías permite obtener la información necesaria, se utiliza para obtener modelos detallados con dimensiones mediante imágenes, algunas formas en las que puede utilizarse es para obtener datos en dos dimensiones sobre imágenes planas, mediante el uso de un estereoscopio se permite ver 2 imágenes con traslape indicado y muestra la respectiva elevación de sus elementos, y una tercer forma de aplicar la fotogrametría es mediante una secuencia ordenada de fotografías que mediante el uso de software genera modelos en 3 dimensiones del objeto analizado. (Figueroa, 2016)

Hay autores que proponen a la fotogrametría como la opción más viable de análisis y esto debido a que proporciona información valiosa a bajos costos, los equipos requeridos para llevar a cabo este método son portables y de baja inversión además que no es necesaria una capacitación tan especializada para el manejo de estos, se tienen periodos de registro cortos. (Hanke, 2002)

Un ejemplo donde se aplicó fotogrametría digital de corto rango es en objetos producto de en excavaciones arqueológicas. Estas son dos figuras de hueso provenientes de la edad Calcolítica y son procedentes de un yacimiento marroquí en Jaen. Estas figuras de aproximadamente 12 cm de longitud han sido analizadas mediante fotogrametría digital usando una cámara réflex no métrica. (Cardenal Escarcena, y otros, 2010)

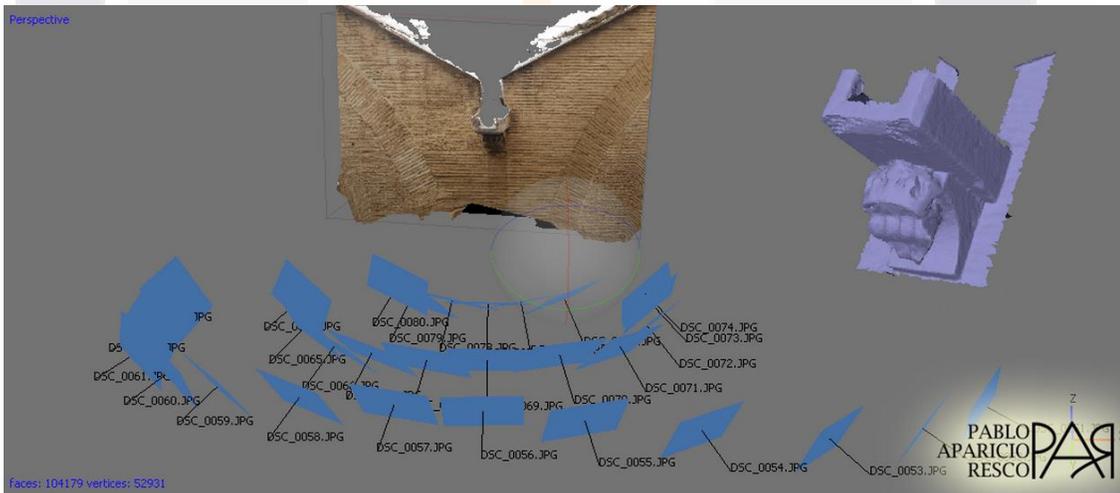


Figura 31. Imagen de proceso de fotogrametría en estructura modelada 3D. (Aparicio,2018)

El procesamiento del modelo 3D obtenido no puede hacerse con el software de fotogrametría+, por lo que debe de exportarse a programas de procesamiento de modelos 3D, el mejor software para este fin es sin duda “Sketchup” cuya fuente es open source, este programa lanzado por Google en 2005 con la finalidad de realizar modelos arquitectónicos que se adaptaran a la plataforma Google Earth, ha tenido mejoras considerables que permiten el intercambio de información con

otras plataformas. Caso directo con Agisoft, programa gratuito que se utilizaría para el procesamiento fotogramétrico.

Los pasos empleados para realizar un proyecto de fotogrametría son los siguientes:

Materiales

- Cámara digital o equivalente con resolución mínima de 8 mpx.
- Software de procesamiento fotogramétrico open source AgiSoft

Procedimiento

En este caso se usó una cámara con una resolución de 16 mpx y una cámara de 12 mpx, Se toman suficientes fotografías de cada cara del monumento para que el software pueda generar traslapes y una correcta geo posición de las mismas, también se toman fotos más cercanas para apreciar detalles, en la siguiente imagen se puede observar cómo se tomaron las fotografías, cada línea señala desde dónde fue tomada cada foto y el cuadro azul la orientación y posición exacta de las misma.

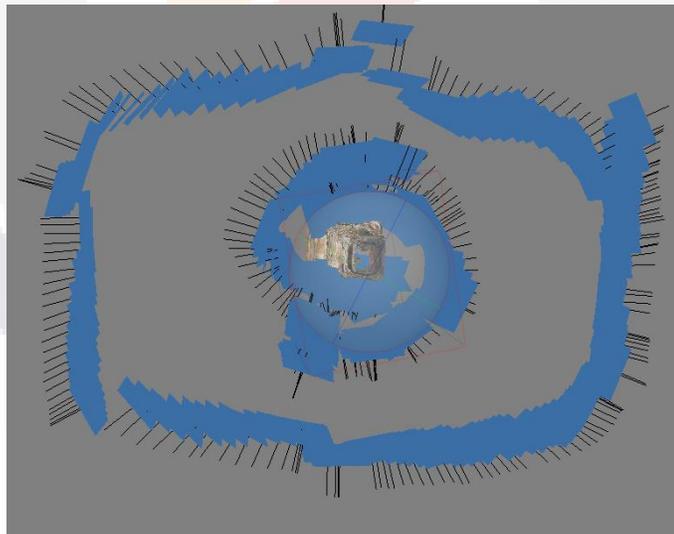


Figura 32. Imagen de Agisoft ejemplo donde se aprecian la ubicación de puntos y dirección de fotografías tomadas en sitio.

Se realizan los siguientes procesos dentro del Software para obtener un modelo:

1. Orientar fotos o nube dispersa (25 000 pts por foto)

- Detección de puntos
- Búsqueda de puntos respectivos
- Estimación de la estructura de la escena



Figura 33. Resultado de puntos de nube dispersa.

2. Crear nube de puntos densa (Baja)

- Reconstrucción de mapas de profundidad
- Generar nube de puntos densa
- Crear malla (250 000 caras o polígonos)



Figura 34. Resultado de nube de puntos densa.

3. Generando malla

- Calculando colores de vértices

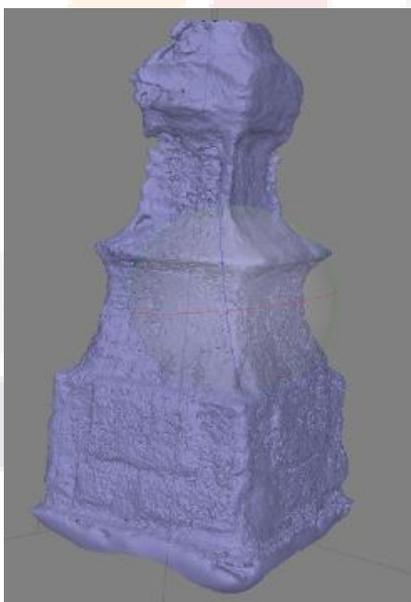


Figura 35. Creación de malla.

4. Crear textura (Permitir corrección de color)

- Parametrizando el mapa de la textura

- Calculando la corrección del color



Figura 36. Colocación de textura.

Procesamiento de modelo en Sketchup

Sketchup funciona con un procesamiento de aristas, vértices y caras que cuando son fusionados generan grupos de sólidos. Esta condición lo hace ideal pues el programa agisoft generara un volumen a base de superficies, este elemento no sería solido sino hasta ser procesado y completado con extensiones para Sketchup como Solid inspector, o curvsoft.

El modelo obtenido del procesamiento fotogramétrico es exportado en formato .3ds, el cual es compatible con Sketchup, el modelo en Sketchup es a su vez “limpiado de elementos y caras fuera de sitio.

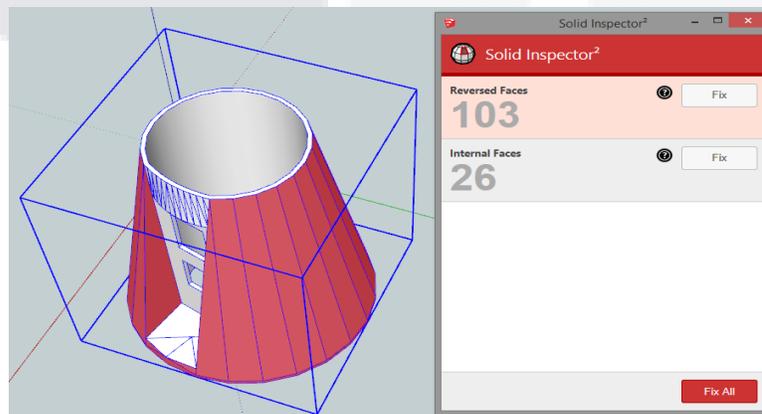


Figura 37. Revisión y limpieza de modelos en Solid Inspector para Sketchup.

Cuando el modelo está limpio se procede a escalar y orientar respecto a los ejes x,y,z esto nos dará como resultado un modelo trabajable que puede ser intervenido con herramientas de corte de volumen en la barra de "sección" que el software permite exportar como imagen a CAD.

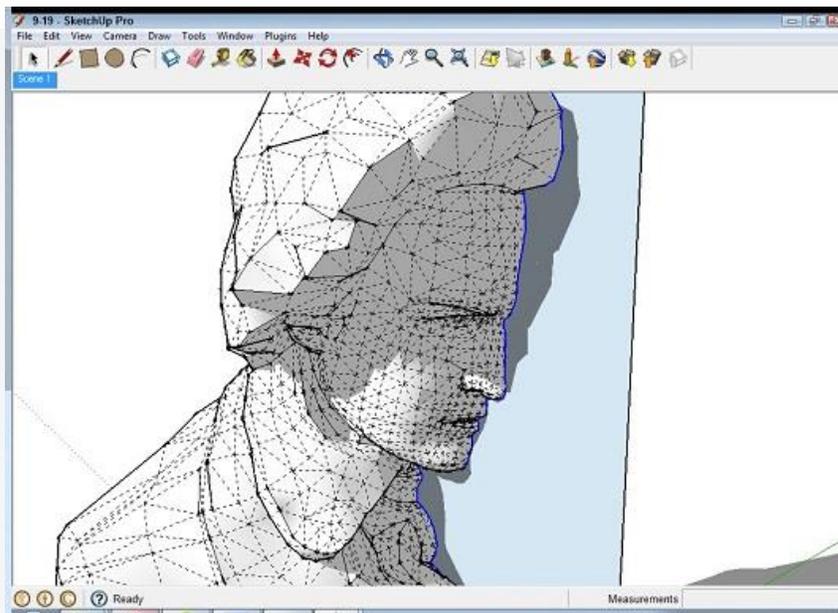


Figura 38 Secciones en Sketchup.

Este procedimiento y migración entre programas permite obtener geometrías precisas, y completamente referenciadas a el trabajo en campo realizado.

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

CAPÍTULO

IV

Metodología

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Metodología

4.1.1 Conformación del patrón

El primer paso para comenzar mi investigación fue localizar a personas de la región altos norte de Jalisco que se dedican a la construcción de Bóvedas, para consolidar un padrón de mano de obra especializada.

A familiares y amigos que tienen dentro de sus casas o propiedades bóvedas en las que date su construcción de 1990 en adelante se le solicita información del constructor, oficial albañil o cualquier registro que permita la localización de la mano de obra. Se da prioridad a la búsqueda dentro del municipio de Lagos de Moreno debido a que es el que cuenta con mayor reconocimiento en la construcción de estas.

El padrón de expertos en el gremio se conforma de 3 cuadrillas o brigadas, o bien maestros mayores que se dedican a la construcción de bóvedas del municipio de Lagos de Moreno, tanto de la cabecera municipal como de sus rancherías.

4.1.2 Entrevista en profundidad

Para documentar las técnicas constructivas empleadas para la edificación de las bóvedas se optó por un método tradicional de obtención de información valiéndose de entrevistas a profundidad con los miembros del gremio.

De acuerdo con TAYLOR, S.J. y BOGDAN R. en entrevistas a profundidad es necesario crear una atmósfera que permita que el entrevistado se sienta cómodo para lograr obtener la mayor información posible, sugiriendo los siguientes puntos para generar dicha atmósfera

- No abrir juicio
- Permitir que la gente hable
- Prestar atención
- Ser sensible

Estos puntos garantizan que los entrevistados cooperen con la información, necesaria e incluso con información que no lo es, la intención es no cortarles la

inspiración en su relato y dejarlos hablar guiándolo más a modo de charla que de entrevista. (TAYLOR & BOGDAN, 1987)

Con cada una de las cuadrillas se realiza una entrevista a profundidad donde se sigue un protocolo que bajo la marcha se modificó según convino, dándole esta libertad que permite ganar la atención de los entrevistados permitiéndoles tomar el rumbo de la entrevista. Se hizo a modo de charla y camaradería ya que sólo de esta forma fue posible obtener información requerida.

4.1.3 Seguimiento a bóveda

Después de haber realizado las entrevistas entre los miembros del gremio se le dio seguimiento solamente a una brigada en la construcción de una bóveda, el criterio con el que se eligió la bóveda fue por que esta se encuentra en el municipio de Encarnación que esta justo a la mitad del Municipio de Lagos de Moreno Jalisco y Aguascalientes capital, siendo el primero donde se realiza la parte de campo correspondiente a la investigación de esta tesis y el segundo donde se encuentra el laboratorio donde se caracterizaron los materiales, de modo que es posible llegar a visitarla frecuentemente, otro factor que se consideró para elegir esta bóveda fue que estaba arrancándose durante las fechas de campaña experimental y el bovedero a cargo mostró siempre una mayor disposición con respecto al resto del padrón.

4.1.4 Caracterización de materiales

Se caracterizaron en laboratorio los materiales empleados en la construcción de las bóvedas mediante ensayos en muestras representativas obtenidas en campo. Dosificaciones y pruebas mecánicas de los materiales entre otras.

Se analizaron los materiales utilizados en la construcción las bóvedas, tomando las cuñas como muestras representativas de las ladrilleras que los abastezcan, procurando tomar de distintos lotes y quemas.

4.1.4.1 Ensaye a cuñas

Se decide tomar las normas que rigen las pruebas de los tabiques rojos recocidos y adecuarlas al análisis de las cuñas ya que son piezas del mismo material con un mismo proceso de cocción, teniendo como variantes las medidas de estas, en

términos prácticos la cuña es un elemento a escala del tabique, aunque con propiedades diferentes, mismas que con las pruebas se fueron determinando.

1. Determinación de las dimensiones en base a la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013
2. Determinación de la densidad en base a la norma NMX-C-037- ONNCCE-2013
3. Determinación de la absorción en base a la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013
4. Determinación de la Resistencia a la compresión en base a la norma NMX-C-036- ONNCCE-2013
5. Análisis de las granulometrías del material de las cuñas

4.1.4.2 Ensaye a morteros

Se ensayan cubos de 5 cm para conocer la resistencia del mortero utilizado en el junteo.

1. Resistencia a la compresión de acuerdo con la norma española UNE EN 1015-11, AENOR, 2000-2007

4.1.5 Análisis de geometrías

La geometría de las bóvedas será estudiada mediante un levantamiento basado en utilizar técnicas de fotogrametría digital de corto rango en aquellos casos en que su utilización ayude a la representación de las propiedades geométricas.

4.1.6 Relación de la geometría y adherencia de materiales con ángulos controlados

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS



TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

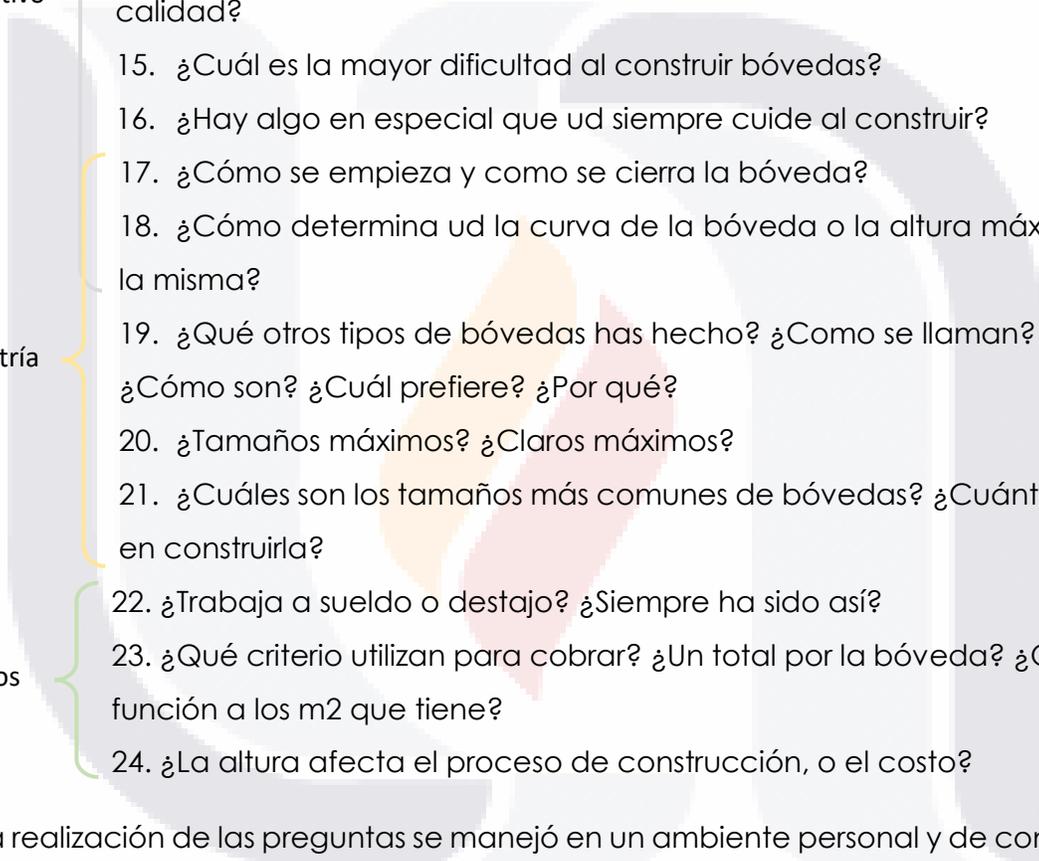
TESIS

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1 Entrevista en profundidad

Para obtener información respecto al procedimiento constructivo de una bóveda se decidió realizar entrevistas entre miembros del gremio ya que solo así lograría obtenerse algo de información de esta tradición constructiva, la entrevista viene segmentada en 5 partes, datos personales, materiales, proceso constructivos, geometría y costos, son el enfoque general que llevan esas preguntas o bien, los datos que se pretende pueden brindarnos, esta es la estructura de la entrevista que decidió realizarse:

-
- 1.Nombre
 - 2.Edad
 - 3.¿Desde qué edad es bovedero?
 - 4.¿Cómo aprendió a construir bóvedas? ¿Cómo se inició como bovedero?
 - 5. ¿Cuánto le tomó aprender esta técnica?
 - 6.¿Dónde ha construido bóvedas?
 - 7.¿Tienes aprendices? ¿De su familia alguien continuó la tradición dedicándose a lo mismo?
 - 8.¿Requiere de alguna cuña especial? ¿Ha construido de algún otro material?
 - 9.¿Qué dosificación de mortero utiliza? ¿Qué características debe tener la arena?

- 
- 10. ¿Qué herramientas necesita durante la construcción de una bóveda?
 - 11. ¿El clima afecta la construcción de las mismas?
 - 12. ¿Has cimbrado alguna bóveda? ¿de qué tipo? ¿Dónde?
 - 13. ¿Podría describir el acabado que llevan las bóvedas en la parte superior?
 - 14. ¿Qué cosas determinan si una bóveda es de buena o de mala calidad?
 - 15. ¿Cuál es la mayor dificultad al construir bóvedas?
 - 16. ¿Hay algo en especial que ud siempre cuide al construir?
 - 17. ¿Cómo se empieza y como se cierra la bóveda?
 - 18. ¿Cómo determina ud la curva de la bóveda o la altura máxima de la misma?
 - 19. ¿Qué otros tipos de bóvedas has hecho? ¿Como se llaman? ¿Cómo son? ¿Cuál prefiere? ¿Por qué?
 - 20. ¿Tamaños máximos? ¿Claros máximos?
 - 21. ¿Cuáles son los tamaños más comunes de bóvedas? ¿Cuánto tarda en construirla?
 - 22. ¿Trabaja a sueldo o destajo? ¿Siempre ha sido así?
 - 23. ¿Qué criterio utilizan para cobrar? ¿Un total por la bóveda? ¿O va en función a los m2 que tiene?
 - 24. ¿La altura afecta el proceso de construcción, o el costo?

La realización de las preguntas se manejó en un ambiente personal y de confianza, de modo que para lograr penetrar la barrera o celo profesional entre cada bovedero y el entrevistador, se realizó a modo de charla y durante los sábados después de cobrar su trabajo de la semana, no se anotaron las respuestas para hacer sentir más cómodo y relajado al especialista en la materia, se decidió únicamente grabar la conversación que guiada por las preguntas anteriores tomó en todos los caso más de 1 hora en ejecutarse.

De modo que para presentar las respuestas sintetizadas se reprodujo la cinta las veces necesarias para poderlas plasmar en las siguientes líneas, se repitió el mismo proceso con cada uno.

1. Nombre

R1.- Juan ortega

R2.- Pedro Ortiz

R3.- Javier Rojo

2. Edad

R1.- 65

R2.- 51

R3.- 58

3. ¿Desde qué edad es bovedero?

R1.- 14

R2.- 18

R3.- 16

4. ¿Cómo aprendió a construir bóvedas? ¿Cómo se inició como bovedero?

R1.- De mi padre

R2.- Padre y hermanos

R3.- Padre

5. ¿Cuánto le tomó aprender esta técnica?

R1.- Muchos años

R2.- Aún sigo aprendiendo

R3.- Entre 5-10 años para que quedaran bien

6. ¿Dónde ha construido bóvedas?

R1.- En México y estados unidos

R2.- Prácticamente por todo el país

R3.- Existen pocos estados a los que no les haya construido una bóveda, duré buen tiempo en chihuahua

7. ¿Tienes aprendices? ¿De su familia alguien continuó la tradición dedicándose a lo mismo?

R1.- Nadie quiso seguir la tradición

R2.- Un hijo

R3.- Un yerno

8. ¿Requiere de alguna cuña especial? ¿Ha construido de algún otro material?

R1.- Cuña de golpe o de agua, tabicón, tabique, zotehuela, jarros(cantaros) al color que el cliente quiera que se vea la bóveda

R2.- Cualquier cuña

R3.- Siempre he trabajado con las cuñas que se hacen aquí en Sanmiguel del 40(municipio de lagos)

9. ¿Qué dosificación de mortero utiliza? ¿Qué características debe tener la arena?

R1.- 3.5 botes de arena por 1 bulto de mortero

R2.- 4 botes de arena 1 bulto de mortero

R3.- 3.5 botes de arena 1 de mortero

10. ¿Qué herramientas necesita durante la construcción de una bóveda?

R1.- Martillo, cepillo, cuchara y criba

R2.- Andamios, cepillo alambre y cucharas

R3.- Martillos, cuchara, pala, botes y criba

11. ¿El clima afecta la construcción de las mismas?

R1.- No afecta la construcción solo baja el rendimiento

R2.- Baja el rendimiento

R3.- El aire y el frío lo quitan a uno de trabajar

12. ¿Has cimbrado alguna bóveda? ¿de qué tipo? ¿Dónde?

R1.- Sí, a capricho del cliente, una en lagos y una en Ags y una de aristas en un templo de Mty.

R2.- No

R3.- No

13. ¿Podría describir el acabado que llevan las bóvedas en la parte superior?

R1.- Lechada cemento arena de orillas a al centro, enladrillado zotehuela, arena con cemento encima

R2.- Lechada, zotehuela, arena y cemento

R3.- Lechada y zotehuela, otra lechada superior

14. ¿Qué cosas determinan si una bóveda es de buena o de mala calidad?

R1.- La experiencia del bovedero con ángulos muy pronunciados

R2.- Curvas irregulares

R3.- Que se vea forzado el cierre además de curvas irregulares

15. ¿Cuál es la mayor dificultad al construir bóvedas?

R1.- Parchar, reparar, ya no queda bien, no se pueden construir entre dos maestros, no sale, cada uno jala para su lado

R2.- Cuando se te ha llegado a caer, vencer el miedo para volver a levantar

R3.- No tiene dificultad cuando se tiene la experiencia, nomás cuando se le presiona a uno con el tiempo

16. ¿Hay algo en especial que ud siempre cuide al construir?

R1.- Un buen criba, para eliminar arenas gruesas porque engrosa la junta y pierde la estética.

R2.- Andamio nivelado

R3.- Se cuidan todos los aspectos, todo es importante

17. ¿Cómo se empieza y como se cierra la bóveda?

R1.- En el primer ladrillo se le da la inclinación necesaria de la bóveda, se cierra a donde dé.

R2.- Se apoya la primera cuña en mezcla para dar la inclinación y se cierra donde toque

R3.- Según el tipo de bóveda, ya sea rectangular o de esquinas.

18. ¿Cómo determina usted la curva de la bóveda o la altura máxima de la misma?

R1.- Es a ojo

R2.- A sentimiento

R3.- A ojo

19. ¿Qué otros tipos de bóvedas has hecho? ¿Como se llaman? ¿Cómo son? ¿Cuál prefiere? ¿Por qué?

R1.- De cañón, de esquinas, de aristas, cuadrada, prefiero hacer la de cañón porque es más bonita, pero es más trabajosa y se avanza menos, económicamente hablando la preferida es la de esquinas porque deja ver menos los detalles y se elaboran más rápido.

R2.- Generalmente trabajo rectangulares y de esquinas, son las más rápidas

R3.- He hecho de todo tipo, pero la de esquinas es la más común, se hace rápido y se paga bien.

20. ¿Tamaños máximos? ¿Claros máximos?

R1.- No hay límites, no más que refuercen los muros ya que la bóveda empuja ellos y si no dan soporte se puede caer el muro, 22 x 12 mts es la mayor que he construido

R2.- Siempre he podido tapar las que me han invitado a hacer

R3.- Lo máximo que yo he tapado 10m x 10m

21. ¿Cuáles son los tamaños más comunes de bóvedas? ¿Cuánto tarda en construirla?

R1.- 6x6 y 4x4

R2.- 5x5 y 6x6

R3.- 4x4, 5x5 y 6x6

22. ¿Trabaja a sueldo o destajo? ¿Siempre ha sido así?

R1.- Siempre a destajo

R2.- A destajo

R3.- A destajo

23. ¿Qué criterio utilizan para cobrar? ¿Un total por la bóveda? ¿O va en función a los m² que tiene?

R1.- Depende del lugar, complejidad y altura. \$250 m² en promedio y el mejor precio \$1000 m², también se puede cobrar un tanto por bóveda

R2.- Se cobra de acuerdo a la distancia, entre más lejos lo lleven a uno es más cara y también la altura se considera.

R3.- A veces por m² y a veces por bóveda, según el cliente, algo que siempre va a elevar el costo es hasta donde tenga que ir a hacerla y que tanto tiempo me separen de mi familia.

24. ¿La altura afecta el proceso de construcción, o el costo?

R1.- Si porque se avanza menos y sube el costo.

R2.- A mayor altura menor rendimiento y más riesgo y pues uno no trae seguro, hay que cobrar más.

R3.- Es psicológico al estar más alto, tus movimientos son más lentos y torpes por lo tanto hay que cobrar más caro o no le sale a uno.

5.2 Seguimiento de bóveda

Las entrevistas con los bovederos se realizaron en su lugar de trabajo con la intención de familiarizarnos y lograr un acercamiento con el trabajo que nos interesa, con la intención de lograr captar detalles que en la entrevista en profundidad se pudieron haber pasado o bien los mismos especialistas en la materia hubiesen decidido reservarse ya que es por todos bien sabido que existe un celo profesional y un tabú con respecto a la técnica constructiva porque además de que la mano de obra escasea, pues es su fuente de ingreso y sostén de la familia, que por ser una especialidad o particularidad en la construcción les permite ganar más que muchas personas que son parte de la mano de obra de la construcción en general.

Se decide darle seguimiento a una bóveda que se encuentra en construcción en noviembre del 2017 en el municipio de Encarnación de Díaz, es justo a esta por varias razones, la primera y más importante es que está a cargo de Juan Ortega, bovedero de Lagos de Moreno, mismo que al momento de la entrevista mostró mayor interés y apertura que el resto, además de ofrecer un total apoyo a la investigación, otro factor es la ubicación ya que Encarnación queda a mitad de distancia del municipio de Lagos y Aguascalientes, el primer lugar es donde se realizó parte de la campaña experimental correspondiente al análisis de las geometrías estudiadas mediante fotogrametría digital de corto rango y donde se localizaron los bancos de materiales caracterizados y en Aguascalientes se procesó la información de las geometrías en la computadora del laboratorio y también se realizó el análisis a los materiales, siendo entonces conveniente esta ubicación ya que el paso era obligado, y el tercer criterio que permitió elegir esta bóveda para el seguimiento es que coincidió que su construcción llevaba apenas unos días de iniciada y que la bóveda es de buen tamaño, tomando varias semanas su construcción para entre vuelta y vuelta poder tomar detalle de la misma. De Haber

sido una bóveda de menores dimensiones su construcción pudo haber tomado no más de 2 semanas y la cantidad de detalle hubiese sido menor.

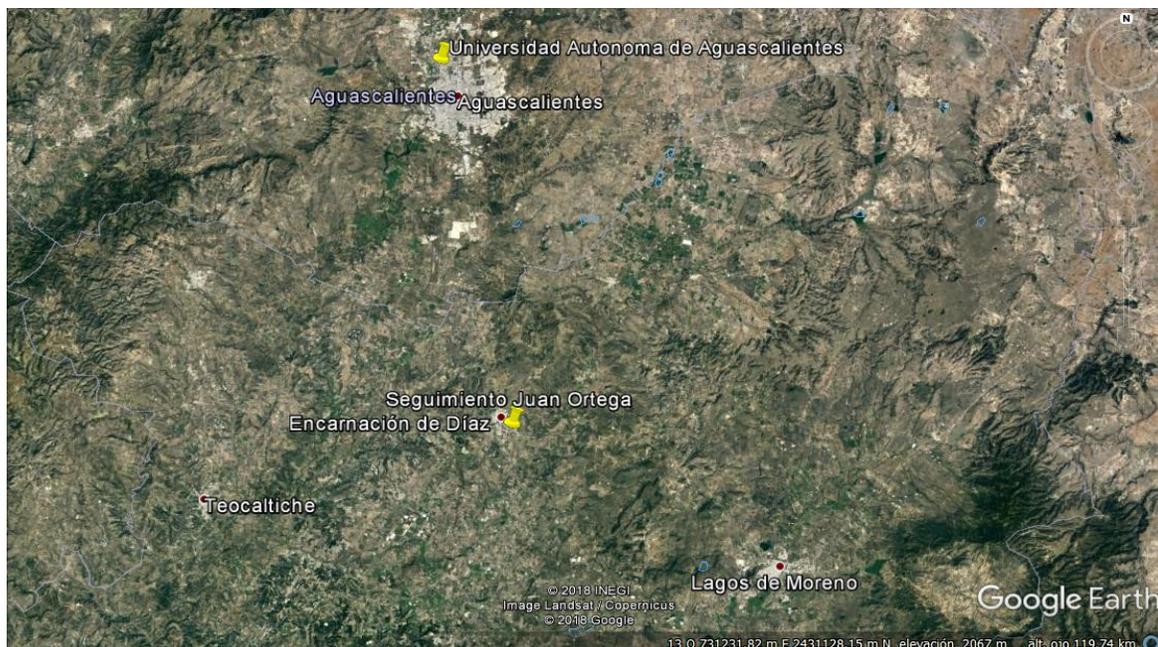


Figura 39. Macro localización Bóveda de seguimiento

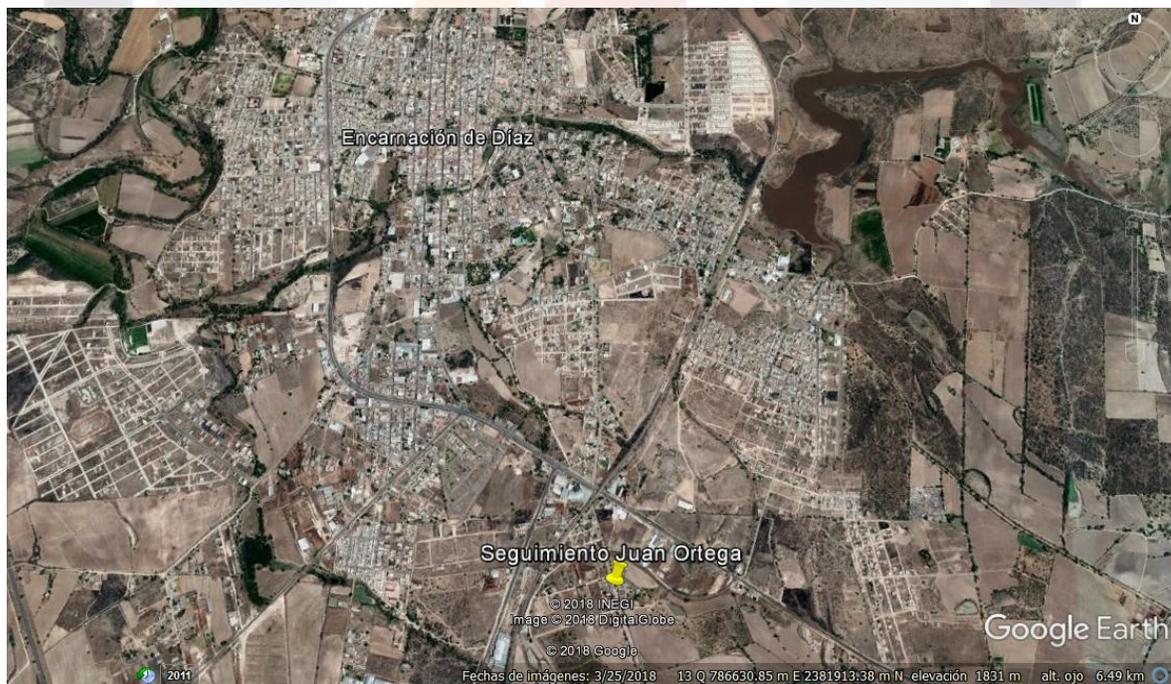


Figura 40. Micro localización seguimiento de bóveda.

5.2.1 Reporte fotográfico de seguimiento de bóveda de 8m x 12m



Figura 41. Bóveda al 06 de noviembre.



Figura 42. Bóveda al 13 de noviembre.



Figura 43. Bóveda al 18 de noviembre.



Figura 44. Bóveda al 22 de noviembre, se trabajan las otras dos esquinas, ya se movió el andamiaje.



Figura 45. Vista lateral de bóveda al 22 de noviembre.



Figura 46. Bóveda al 24 de noviembre.



Figura 47. Bóveda al 27 de noviembre.

5.2.2 Información obtenida

Con el seguimiento de bóvedas es posible constatar que la curvatura la dan efectivamente como ellos lo denominan, a ojo o bien a sentimiento, ya que las visitas fueron alternando tanto en días de la semana como en horario y jamás se encontraron reventones de hilo o algo que pudiese dejar ver la intención de trazo de la misa, durante estos recorridos eventualmente las fotografías se tomaban desde arriba de los andamios para ver si se corría algún nivel o alguna referencia para las hiladas que indicara el cambio de inclinación de la cuña para formar la bóveda o bien marcas que nos indicaran la elevación. Se apreció que es un trabajo que se ejecuta relajado fuera de presiones o de programas de obra y que la gente, particularmente el bovedero tiene que estar agusto, en algunas ocasiones las visitas se realizaron sin la presencia de Juan Ortega (bovedero a cargo) debido a que el clima resultaba no ser favorable para realizar su labor, siempre mencionó que cuando no trabaja cómodo las bóvedas no le cierran bien, entonces evita las situaciones de estrés

Esta bóveda es conocida como bóveda de esquinas, que como su nombre lo dice toma las 4 esquinas para irse trabajando:

Proceso observado:

Se coloca la primera cuña en la esquina con un poco de inclinación (Figura 49), el ángulo lo determina el especialista en la materia de acuerdo con su experiencia, no se rige en ningún instrumento de precisión para el arranque.

La colocación de los andamios (Figura 50) se realiza en el sentido corto de la bóveda de la lado para que permita pegar cuña en dos de las 4 esquinas.

Después se continúa con la colocación de las siguientes hiladas que, en un inicio, cada hilada tiene su origen en el cerramiento mismo o estructura donde se apoya a bóveda.

En las hiladas siguientes, al dar avance en cada esquina comenzarán a rematarse a las hiladas en con las mismas de la otra esquina, sucede primero esto en lado corto y eventualmente en el lado largo (Figura 51).



Figura 48. Detalle esquina, arranque de bóveda.



Figura 49. Detalle colocación andamiaje.

Durante el proceso de la construcción de la bóveda es necesario mover los andamios para trabajar ambas esquinas sin que se vayan atrasando, es decir, se coloca el andamio en lado corto y se trabajan dos esquinas por 2 o 3 días, y después se recorre al otro extremo para realizar la misma operación.



Figura 50. Comisura al centro en un lado arbitrario de la bóveda.

Juan ortega menciona que realiza así el trabajo para no pasarse la mitad de la bóveda en los ejes largos ya que debe empatar justo en la mitad, estas fueron las únicas señas que se vieron sobre los cerramientos, indicando el para su trazo la mitad en cada uno de los 4 lados, siendo la referencia de donde va a cerrando.

Cada que movía los andamios se tomaba muy en serio la tarea de dejarlos bien nivelados me comentó en reiteradas ocasiones que si no está a nivel el andamio toda su perspectiva cambia y la bóveda no le queda, mencionó que hace muchos años en sus inicios una esquina no le daba y era porque precisamente estaba mal el piso y sus andamios quedaban mal, arrastrando esos errores al trazo de la bóveda, la tumbo 2 veces y a la tercera ocasión resulto esa esquina de su agrado.

Se equipo de trabajo fue muy simple, dos auxiliares y él, lo apoyaban con hacer la mezcla del mortero y con la elevación de los materiales, además de que cuando Juan ortega cambiaba de esquina era tarea de los auxiliares chulear la boquilla de dándole un acabado estético.

5.3 Caracterización de materiales

5.3.1 Cuña

Se toman las normativas que se utilizan para regir las pruebas de tabiques rojos recocidos ya que una cuña conserva características geométricas de los ladrillos, siendo prácticamente un espécimen más pequeño con diferentes características físico mecánicas, mismas que las siguientes pruebas permitirán visualizar más claramente.

5.3.1.1 Determinación de las dimensiones en base a la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013

Determinar las dimensiones consiste en tener las medidas exactas de nuestras cuñas en sus tres dimensiones, mismas que en la siguiente imagen se aprecian, alto, ancho y largo.

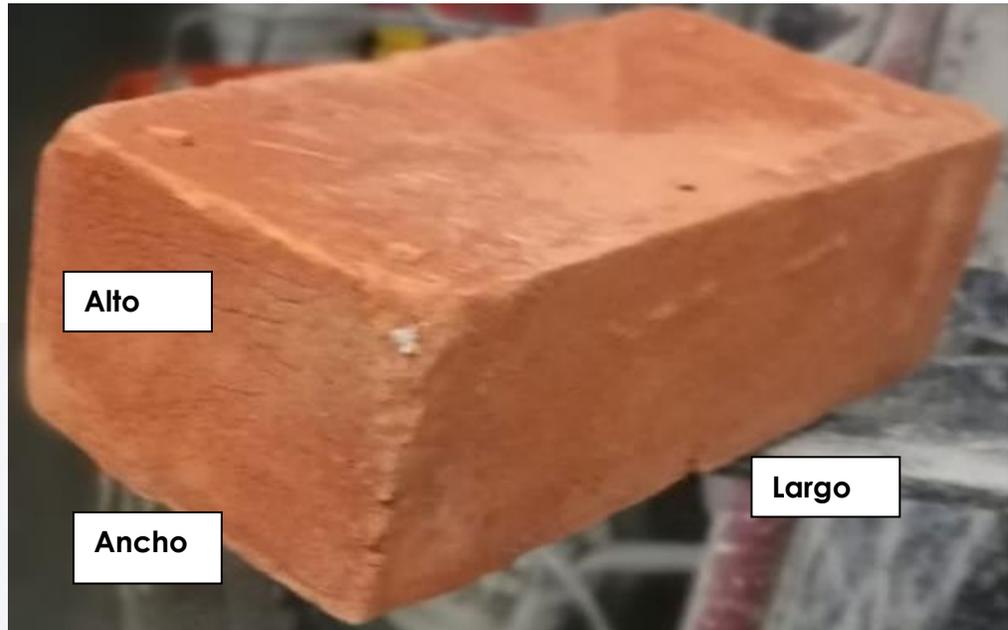


Figura 51. Dimensionamiento de normativa.

De acuerdo con la norma es necesario realizar las medidas con una muestra mínima de 5 piezas de tabique rojo recocido que adecuado a las necesidades de la investigación serían las cuñas.

Para comenzar a medir es necesario colocar nuestras piezas sobre una superficie plana horizontal, retirándoles los excedentes de material o cualquier residuo propio de su manufactura que se encuentre en los bordes de los especímenes.

La manera adecuada para medir es en cada espécimen en tomar 3 medidas en el alto, 3 en lo ancho y tres en lo largo, realizando una en cada borde de la cara analizada y la tercera al centro de la cara en cuestión, por último, se obtienen los promedios en las 3 dimensiones y esa es la medida oficial.



Figura 52. Medición de cuñas.

De esta prueba se obtienen las siguientes medidas:

Tabla 6. Medidas obtenidas de cuña.

Medida en cm	
Alto	5.48
Ancho	8.57
Largo	18.04

5.3.1.2 Determinación de la densidad en base a la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013

La densidad es una propiedad de los cuerpos que consiste en la relación entre masa y volumen o bien la cantidad de masa existente por unidad de volumen en un material determinado.

Para entender este proceso es necesario recordar el enunciado del principio de Arquímedes que nos dice que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje (fuerza) vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

El proceso consiste en obtener varios pesos en distintas condiciones del elemento.

El primero que se registra es el peso del espécimen seco (m) después de haber estado en horno para que no cuente con humedad ambiental, se registra el peso del cuerpo saturado en condiciones SSD arriba descritas y se registra W_a .



Figura 53. Cuñas dentro del horno para obtener su registro en seco.



Figura 54. Cuña en proceso de saturación.

Una vez estando saturado el cuerpo y en condición SSD es necesario obtener el peso sumergido que deberá ser forzosamente menor por el enunciado de Arquímedes arriba citado y se registrara como W_s , otro dato necesario es obtener de tablas la densidad del agua para la temperatura ambiente correspondiente al día de la prueba. En este caso la temperatura es de 22° y la densidad es de 0.998 g/cm^3 y la formula usada es la siguiente.

$$D = \frac{m * D_w}{W_a - W_s}$$

Dónde:

M= Peso seco

Dw= Densidad agua

Wa= Peso en condición SSD

Ws= Peso sumergido

Se tomaron 3 muestras por cada lote de cuña y se analizaron obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7. Densidad obtenida de cuñas.

	No Cuña	M (g) Peso seco	Wa (g) Peso ssd	Ws (g) Peso sumergido	Densidad (kg/m ³)
Lote 1	1.1	1372	1586	726	1592.16
	1.2	1341	1529	694	1602.78
	1.3	1350	1533	689	1596.33
				Promedio	1597.09
Lote 2	2.1	1200	1450	620	1442.89
	2.2	1198	1444	616	1443.97
	2.3	1198	1452	617	1431.86
				Promedio	1439.57

Con los datos anteriores se puede obtener el volumen de las piezas de cuñas, así como los promedios de estas.

Tabla 8. Volúmenes obtenidos de cuñas.

	No Cuña	Peso seco	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Volumen (L)
Lote 1	1.1	1372	1592.16	0.00086	0.86
	1.2	1341	1602.78	0.00084	0.84
	1.3	1350	1596.33	0.00085	0.85
		Promedio	1597.09	0.00085	0.85
Lote 2	2.1	1200	1442.89	0.00083	0.83
	2.2	1198	1443.97	0.00083	0.83
	2.3	1198	1431.86	0.00084	0.84
		Promedio	1439.57	0.00083	0.83

5.3.1.3 Determinación de la absorción total en base a la norma NMX-C-037- ONNCCE-2013

La norma establece un método de ensaye para la obtención del agua que absorben las piezas de mampostería, esta aplica para todo tipo de tabiques, ladrillos o piezas de barro recocidas.

Para el cumplimiento de esta norma se realiza la prueba en 3 especímenes de cada lote analizado, ya que de acuerdo con la misma con eso se pueden obtener los datos necesarios para la caracterización de los elementos.

Absorción total en 24 horas

- Se introdujeron las 3 cuñas de cada lote en el horno de secado a una temperatura promedio de 100°C durante al menos 24 horas. Después se registró el peso de cada una de ellas usando la báscula con precisión .01 gramo.
- Posteriormente se procede a la colocación de las probetas dentro de una cubeta de agua limpia a temperatura ambiente, misma que oscilaba entre 18°C y 24°C, este proceso se realiza por un periodo mínimo de 24 horas.
- Finalizado el periodo de inmersión se extraen los especímenes de la cubeta y para continuar registrando el peso es necesario dejar los especímenes en condiciones SSD, saturado y superficialmente seco por sus siglas en inglés, para realizar esta operación se retira el exceso de humedad en cada una de las piezas con un trapo húmedo de modo que cada probeta contenga únicamente el agua absorbida durante el tiempo indicado.

Tabla 9. Absorción de agua de cuñas.

	No Cuña	Peso seco(g)	Peso SSD(g)	Absorción 24 hrs (ml)
Lote 1	1.1	1372	1586	214
	1.2	1341	1529	188
	1.3	1350	1533	183
	Promedio			195
Lote 2	2.1	1200	1450	250
	2.2	1198	1444	246
	2.3	1198	1452	254
	Promedio			250

5.3.1.4 Determinación de la Resistencia a la compresión en base a la norma NMX-C-036- ONNCCE-2013

Esta norma rigió el método de ensayo para obtener los valores de resistencia a la compresión de los tabiques de barro recocido, por la semejanza de la cuña se decide adecuar estos procedimientos para el análisis de las piezas.

- El tamaño de la muestra mínimo establecido por la norma es de 5 piezas de tabique de barro rojo recocido, para fines prácticos y para el enriquecimiento de la prueba se decidió analizar 6 muestras o cuñas por cada una de las tabiqueras con la que se decidió trabajar en esta investigación.
- Para poder ensayar las cuñas es necesario realizar un cabeceo, apegándonos a la norma se le aplica una capa de yeso en la cara posterior y anterior de las piezas, que son las caras que tendrán contacto con la prensa universal que ensayara la resistencia a la compresión, el espesor de la pasta de yeso debe ser no mayor a 5 mm, este cabeceo tiene la función de poder generar una distribución uniforme de la carga durante el ensayo, de no ser cabeceadas las piezas fallarían inmediatamente se comenzara la carga al aplicarse la carga única y exclusivamente en las imperfecciones e irregularidades de las piezas.

Existen métodos para poder enyesar las piezas dentro de laboratorio, mismos que sugieren el uso de una placa, para fines de esta investigación y con la intención de acelerar procesos se solicita apoyo a yeseros que realizaran el cabeceo dejando las piezas dentro de las condiciones requeridas por norma.



Figura 55. Cuñas cabeceadas previo a ensayo de compresión.

- Es necesario esperar un tiempo para dejar que la pasta de yeso seque completamente, en este caso se le dieron 2 días a partir de la colocación del mismo.

Ensayo de compresión:

Se colocan los especímenes en la prensa universal de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, es necesario medir las piezas en el sentido A y B de estas e introducirlas en el software de la prensa para que en función a la fuerza de esta y el área ingresada pueda arrojar el valor de resistencia a la compresión.



Figura 56. Ensayo de compresión en cuñas.

Se colocan placas de acero por debajo y encima de la pieza para garantizar una distribución uniforme de la carga a lo largo de toda la pieza.

Tabla 10. Características de ensaye de compresión en cuñas.

Características de ensaye		
Velocidad	1	kg/cm2/s
Sensibilidad	2.5	ton

Tabla 11. Valores de resistencia a compresión de cuñas.

	Resistencia compresión			
	No cuña	lado a (cm)	Lado b(cm)	resistencia
Lote 1	1.1	18.2	8.4	152.53
	1.2	17.9	8.3	161.12
	1.3	18.3	8.7	162.24
	1.4	17.9	8.5	165.5
	1.5	18.2	8.6	154.99
	1.6	18	8.6	168.69
		18.08	8.52	160.85 Promedios
Lote 2	2.1	18.2	8.6	119.02
	2.2	18.1	8.6	104.1
	2.3	18.3	8.5	122.53
	2.4	17.9	8.4	132.09
	2.5	18	8.5	84.76
	2.6	18.2	8.6	117.32
		18.12	8.53	113.30 Promedios

5.3.1.5 Análisis de las granulometrías del material de las cuñas.

Determinar la granulometría nos permite conocer las proporciones relativas de los diferentes tamaños de las partículas en una masa de suelo.

Se realizó la prueba de granulometría (Figura 58) mediante la vía seca, la cual consiste en realizar una criba a través de una torre de mallas para suelos finos.

Es necesario llevar a cabo el cuarteo, se mezcla con pala y se busca homogenizarlo, después con reglas o tablas, se parte el material por 4 partes y se desechan 3, se procede a trabajar con la porción restante.



Figura 57. Ejecución de prueba de granulometría.

El material se colocó en una charola y se dejó aproximadamente 2 días al sol para que perdiera los excesos de humedad propios del banco, pasado ese tiempo el material se disgregó de modo manual con un mazo, golpeando y disgregando para poder trabajarlo en las cribas.

Se hace pasar el material por las cribas introduciéndolo por las de mayor apertura, las demás se coloca de manera descendente con respecto a la separación que tiene la malla y por debajo una de otra.



Figura 58. Cribado del material.

Para lograr el paso del material a través de las cribas es necesario vibrarlo durante 5 minutos y de este modo se logra separar de acuerdo a lo retenido en cada malla, se pesan y se obtiene el peso de malla + material retenido, de modo previo se obtuvo el peso de malla sola y limpia, posteriormente se registra el diferencial de peso, así se pudo obtener el porcentaje de masa retenida, en esta tesis se utilizaron las mallas de #4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200.



Figura 59. Material retenido en cada malla.

Tabla 12. Valores obtenidos de prueba granulométrica.

Tamiz	W tamiz (g)	Abertura (mm)	Tamiz + muestra (g)	W muestra	% retenido	% retenido acum.	% que pasa
#4	567.20	4.750	576.73	9.53	1.92	1.92	98.08
#10	524.12	2.000	566.63	42.51	8.54	10.46	89.54
#20	477.91	0.841	546.55	68.64	13.80	24.25	75.75
#40	427.80	0.420	491.48	63.68	12.80	37.05	62.95
#60	410.08	0.250	463.28	53.20	10.69	47.75	52.25
#100	400.90	0.149	453.78	52.88	10.63	58.37	41.63
#200	392.67	0.074	465.42	72.75	14.62	73.00	27.00
Charola	463.59		597.95	134.36	27.00	M.F.=	2.53
Suma			4161.82	497.55	100.00		

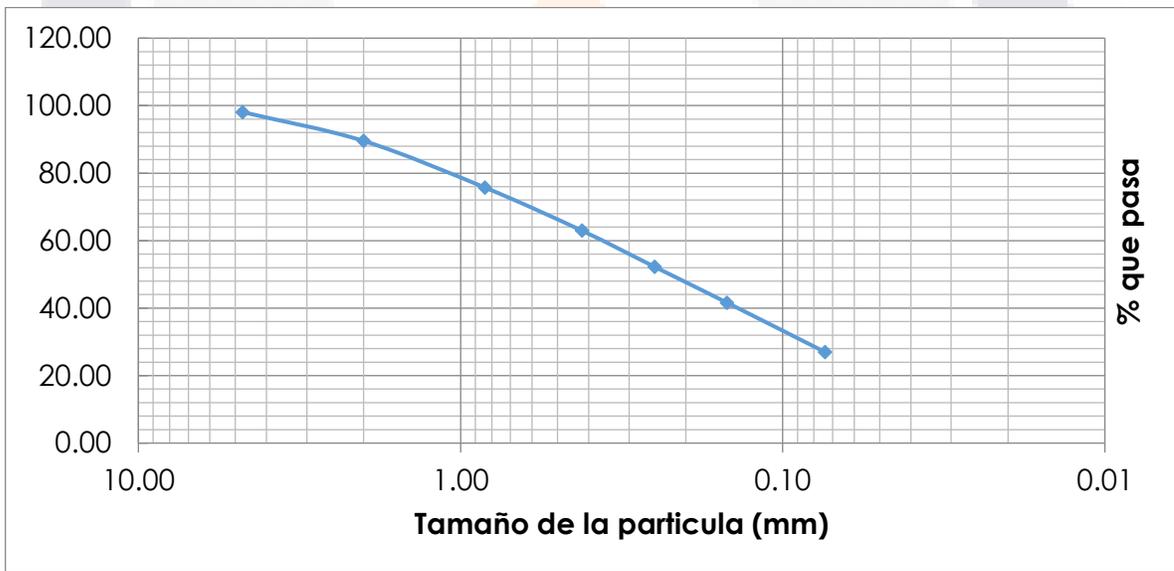


Figura 60. Gráfica de granulometría.

5.3.2 Mortero

Se analiza el mortero utilizado en el junteo de las piezas de cuña, se realizan cubos de 5 cm para poder ensayar a compresión.

5.3.2.1 Resistencia a la compresión de acuerdo con la norma española UNE EN 1015-11, AENOR, 2000-2007

Tabla 13. Resistencia a la compresión de mortero.

Días	No Cubo	A (cm)	B (cm)	C (cm)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	kg/cm ²
7	1.1	4.977	4.933	4.963	198.88	1632.180	68.89
	1.2	4.952	4.999	4.969	201.97	1641.928	65.43
	1.3	4.951	5.014	5.047	197.34	1575.087	64.08
	Promedio	4.96	4.982	4.993	199.397	1616.398	66.133
14	2.1	4.938	4.972	5.016	200.3	1626.452	75.2
	2.2	4.913	4.985	4.95	198.3	1635.707	77.25
	2.3	4.958	4.926	4.89	201.3	1685.520	74.3
	Promedio	4.936	4.961	4.952	199.967	1649.226	75.583
28	3.1	4.916	4.958	4.91	202.9	1695.439	87.44
	3.2	4.992	4.733	4.913	198.05	1706.149	89.01
	3.3	5.045	4.932	4.888	207.36	1704.942	86.01
	Promedio	4.984	4.874	4.904	202.770	1702.177	87.487

5.4 Análisis de geometrías

Se modelaron las siguientes bóvedas mediante fotogrametría digital a corto rango en el municipio de Lagos de Moreno Jalisco:

1. Consorcio Nu3

Es un conjunto de 5 bóvedas en el camino rumbo al Ojuelo, comunidad rural, se encuentran en la parte externa de la forrajera y fueron utilizadas como estacionamiento, pese a su buen estado hoy día se encuentran en desuso.

2. Casa Josefina Hernández González

Es una bóveda que se encuentra dentro de la casa de la señora Josefina y que cumple la función de cubierta en el doble piso ubicado en la sala de la misma, se localiza en la colonia el Refugio ubicada en la cabecera municipal.

3. Rancho Alfonso Mena

Dentro del Rancho la esperanza, propiedad del señor Alfonso Mena, se encuentra el casco o la casa de la hacienda, misma que al paso de los años ha recibido algunas restauraciones y demás trabajos de mantenimiento debido a los cuales se

encuentran dentro de ella 5 bóvedas en perfectas condiciones que aquí serán analizadas geoméricamente

4. Casa Lucía G.H.

Dentro de la casa habitación de Lucía hay dos bóvedas que se estudiaron con fotogrametría, una cumple la función de cubierta de las escaleras y la otra en la recámara principal.

5. Restaurante la cabaña del Tío Chon

En la carretera 45 libre Lagos de Moreno – León de los Aldama se encuentra pasando la ermita el restaurante de mariscos el Tío Chon, el cual al contar con un estilo rústico tiene la mayor parte de cubierta solucionada con un sistema de bóvedas, de las cuales obtuvimos 6 bóvedas cuadradas y 5 Rectangulares.

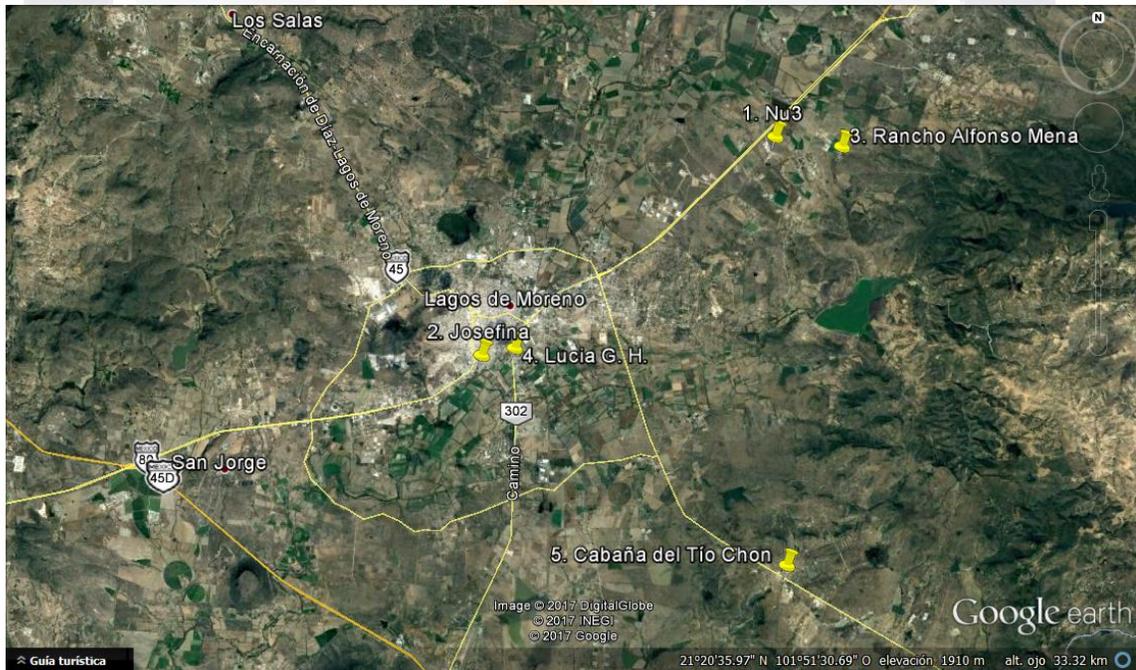


Figura 61. Locación de bóvedas estudiadas.

Los parámetros utilizados para el modelado de las bóvedas dentro del software Agisoft PhotoScan son los siguientes, se optó por una orientación de 50,000 puntos por foto, una nube densa baja, malla a 100,000 polígonos ya que algunas bóvedas tienen áreas de hasta 50m² y solo con esta cantidad de polígonos se logra obtener

un modelado representativo de los objetos, ya que a mayor tamaño de los mismos cada polígono representa un área mayor, si se eligen menos polígonos se pierden muchos detalles y el ultimo parámetro del proceso nos permite elegir una textura que admite corrección de color.

Posteriormente se importaban los modelos 3D de las bóvedas de Agisoft PhotoScan a SketchUp para hacer los cortes mediante una plantilla en la que los ejes de los cortes A y B quedaban siempre fijos y los corte D y D2 se giraban para hacerse coincidir en las esquinas de las bóvedas y obtener así cortes diagonales de las mismas.

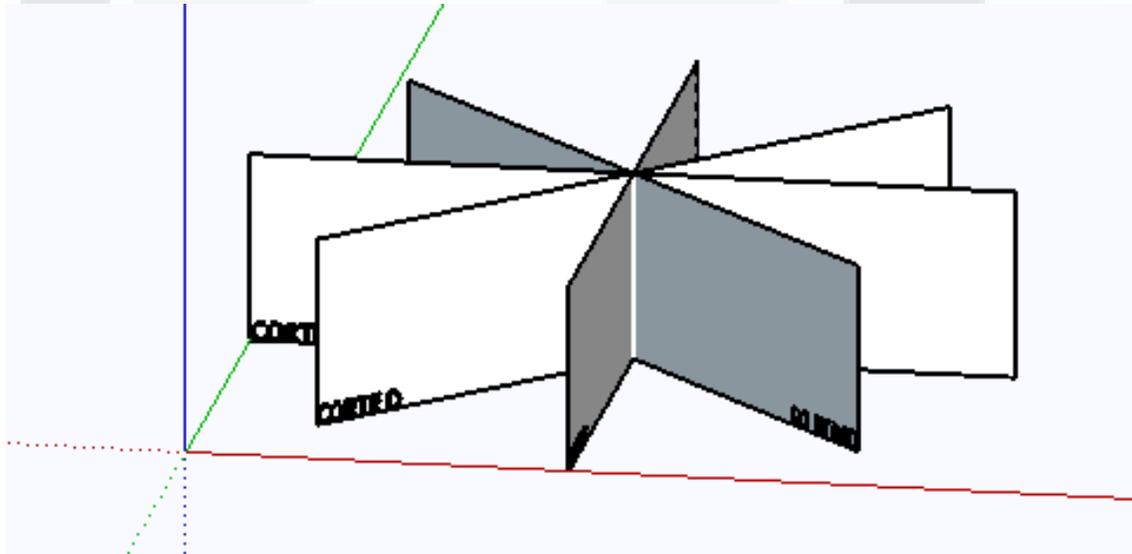


Figura 62. Plantilla SketchUp para cortes en 3D.

La plantilla se automatizó para que realizara la función de visualizar todo lo que intersecta y es así representa la curva de los cortes, en este caso de las bóvedas. Es una función propia del software llamada componentes, donde cada modificación que suceda en cada componente será replicada en el resto, aquí se utilizaron 4 llamados Corte A, Corte B, Corte D y Corte D2 respectivamente, se colocan de modo tal que intersecten la bóveda en 3D y se replican de modo que puedan ser visualizados en 2D.

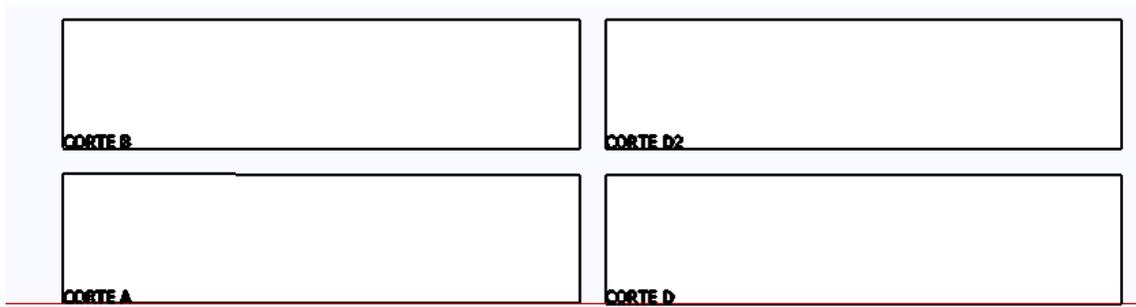


Figura 63. Plantilla SketchUp para cortes en 2D.

En la siguiente secuencia de imágenes se muestra la sobre posición de una bóveda cualquiera en la platilla 3D y la obtención y visualización de curvas en los componentes 2D.

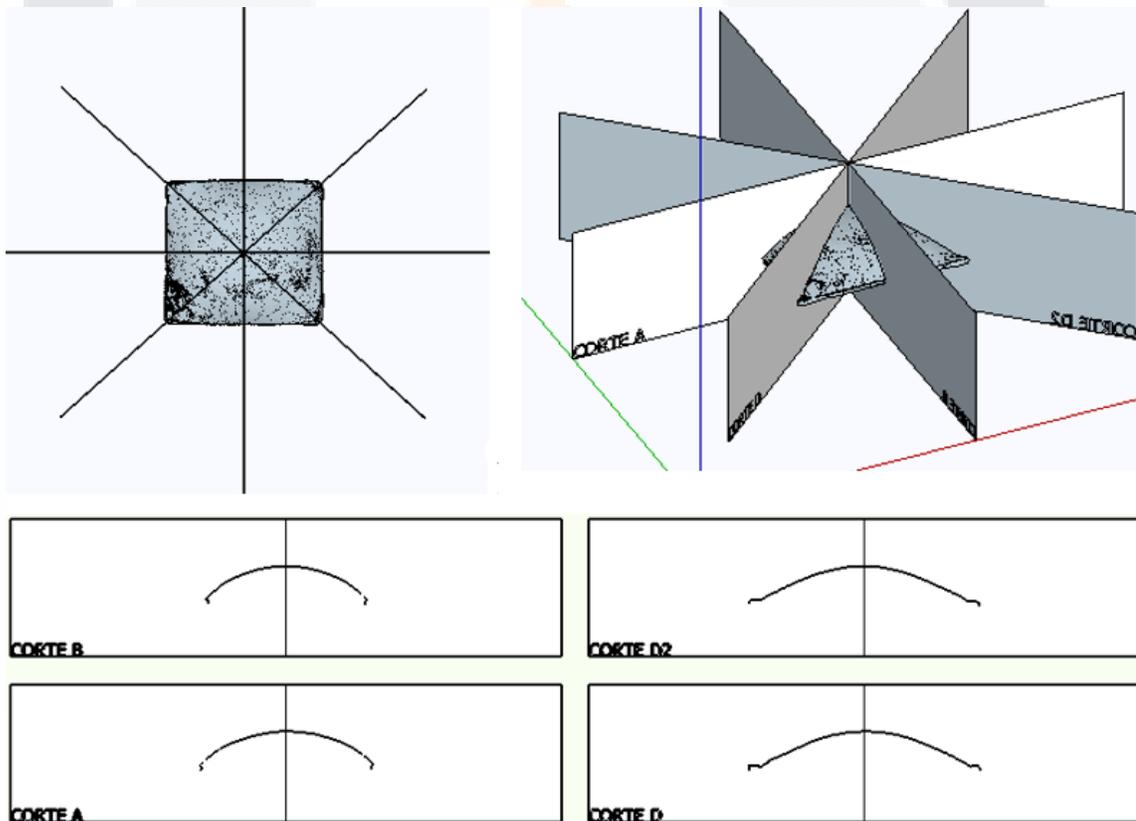


Figura 64. Obtención de curvas con Sketchup.

Posteriormente se exporta esta visualización a AutoCAD para poder obtener información relevante de las curvas como ángulos y elevaciones.

En cada bóveda se tiene Corte A que es en el sentido del lado menor, Corte B en el sentido del lado largo de la bóveda y los Cortes D y D2 que se refieren a las diagonales existentes entre los vértices de la misma, estas siempre se traslapan en Autocad debido que presentan comportamientos semejantes, en las bóvedas cuadradas como algunas de las que existen el Restaurant la cabaña del tío Chon se invalida el corte B debido a que ambos lados son iguales, entonces se realiza un traslape de los cortes de los lados al igual que con las diagonales.

5.4.1 Consorcio Nu3

Se tomaron un total de 520 fotografías para modelar las 5 bóvedas agrupadas, mismas que cuentan con las siguientes medidas.

Tabla 14. Dimensiones de bóvedas del Consorcio Nu3.

Consorcio Nu3 (m)	
1	6.00 x 5.70
2	6.00 x 5.70
3	6.00 x 5.70
4	6.15 x 5.70
5	6.15 x 5.70

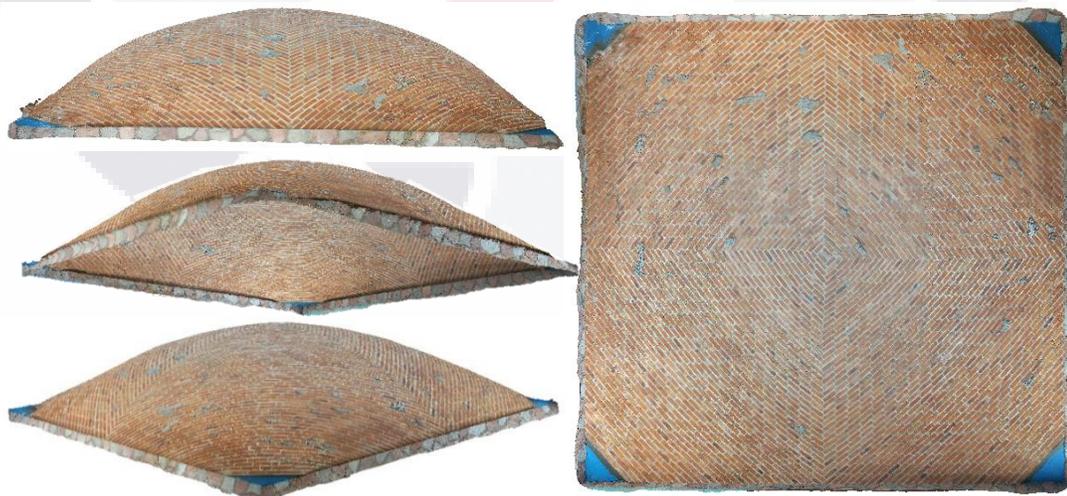


Figura 65. Modelo fotogramétrico de Bóveda de Consorcio Nu3.

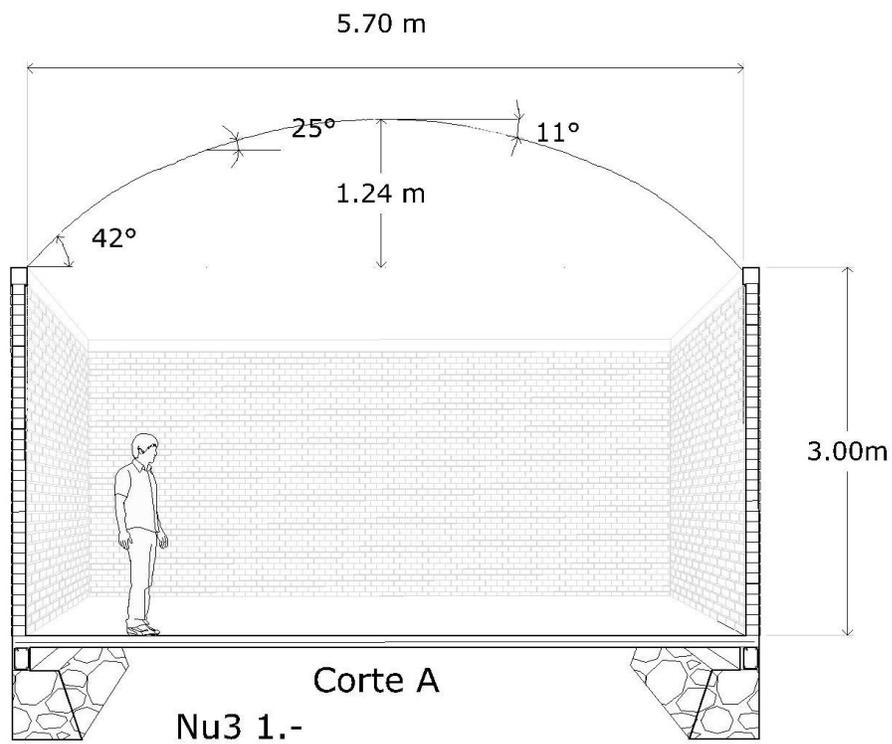


Figura 66. Corte A de Bóveda 1 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

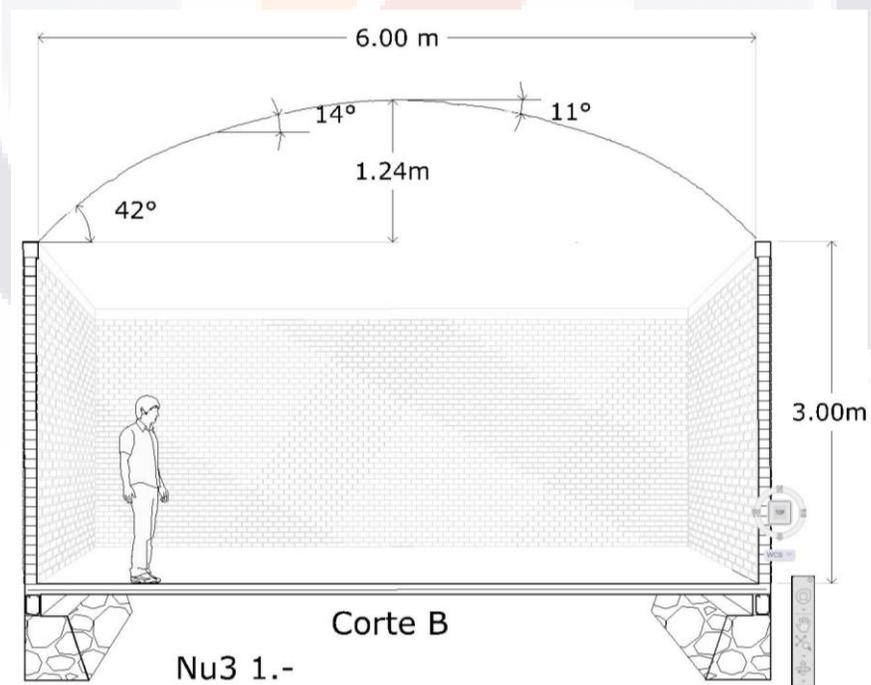


Figura 67. Corte B de Bóveda 1 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

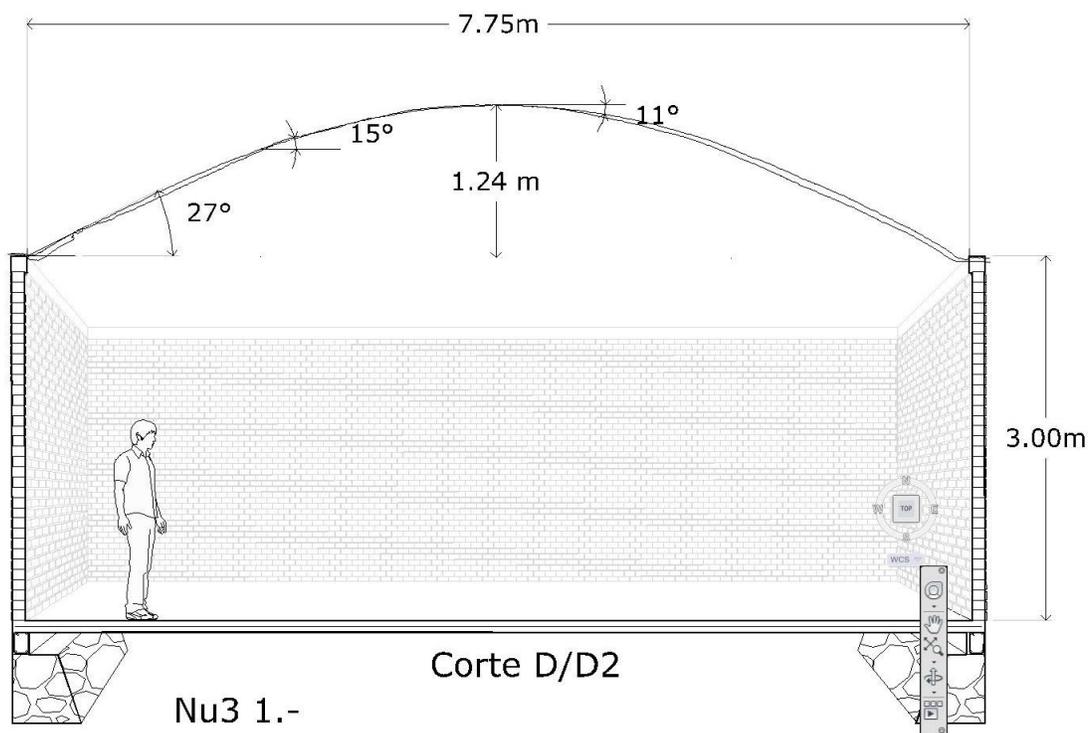


Figura 68. Corte D/D2 de Bóveda 1 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

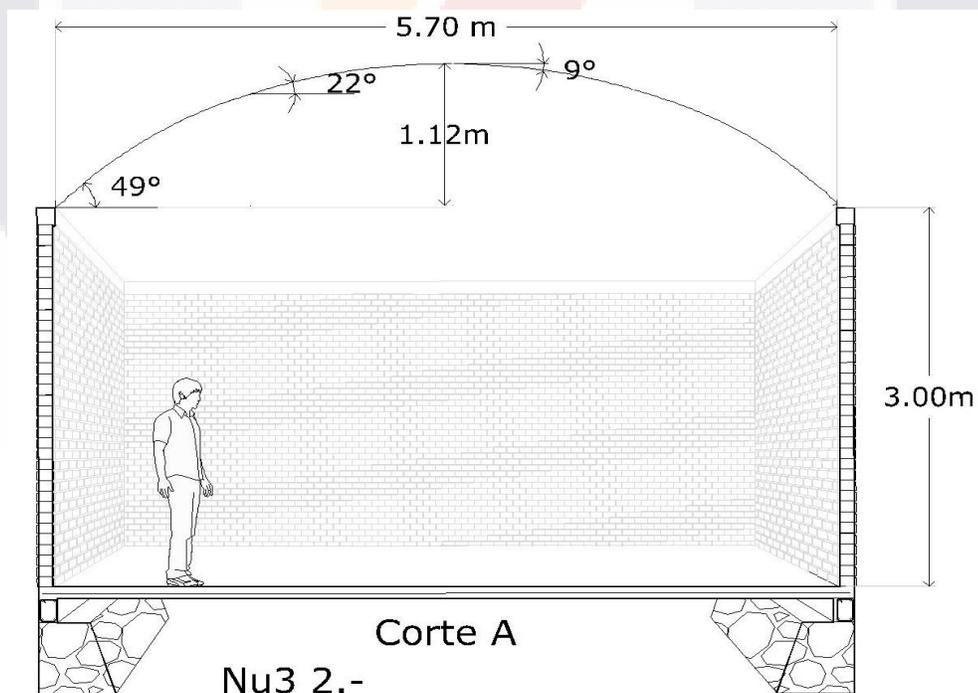


Figura 69. Corte A de Bóveda 2 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

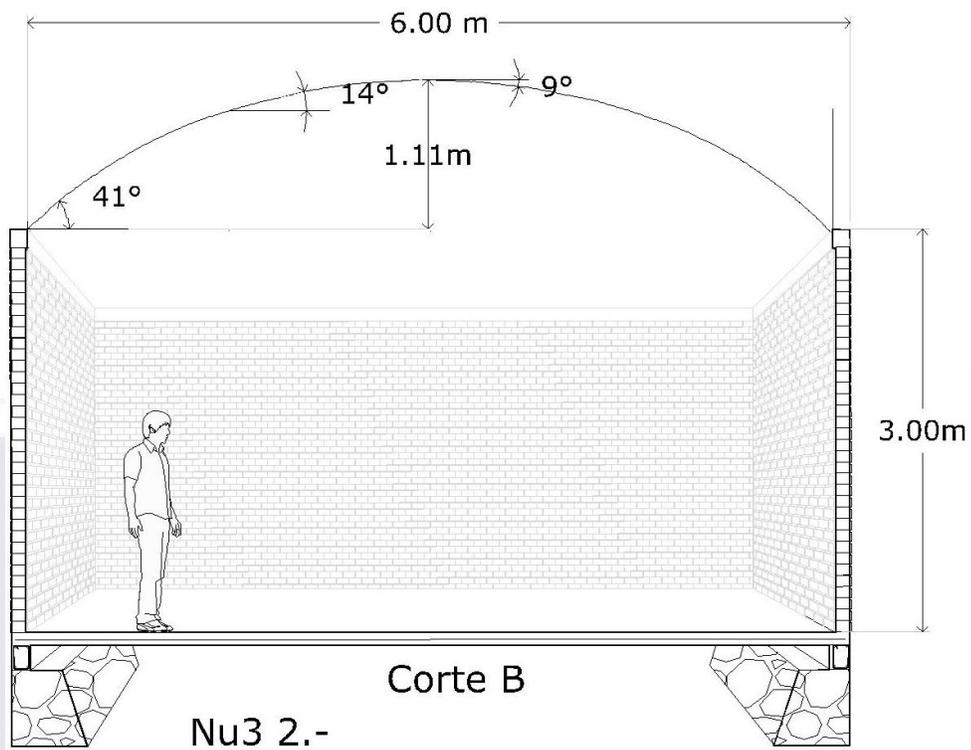


Figura 70. Corte B de Bóveda 2 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

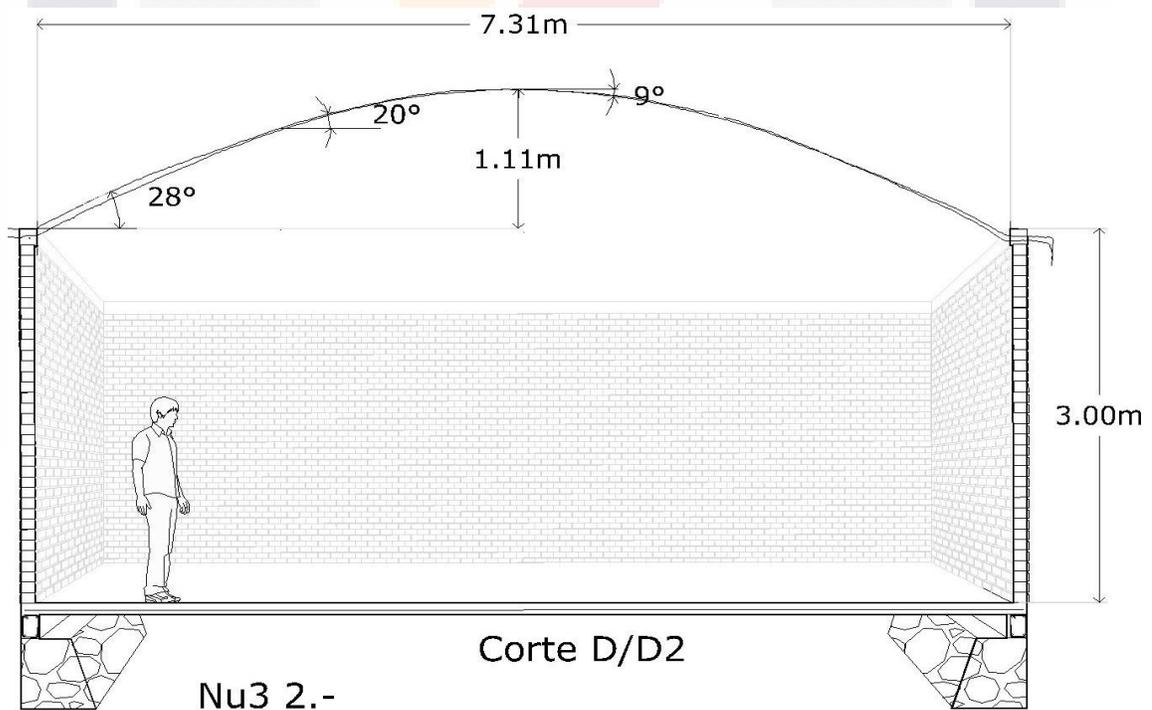


Figura 71. Corte D/D2 de Bóveda 2 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

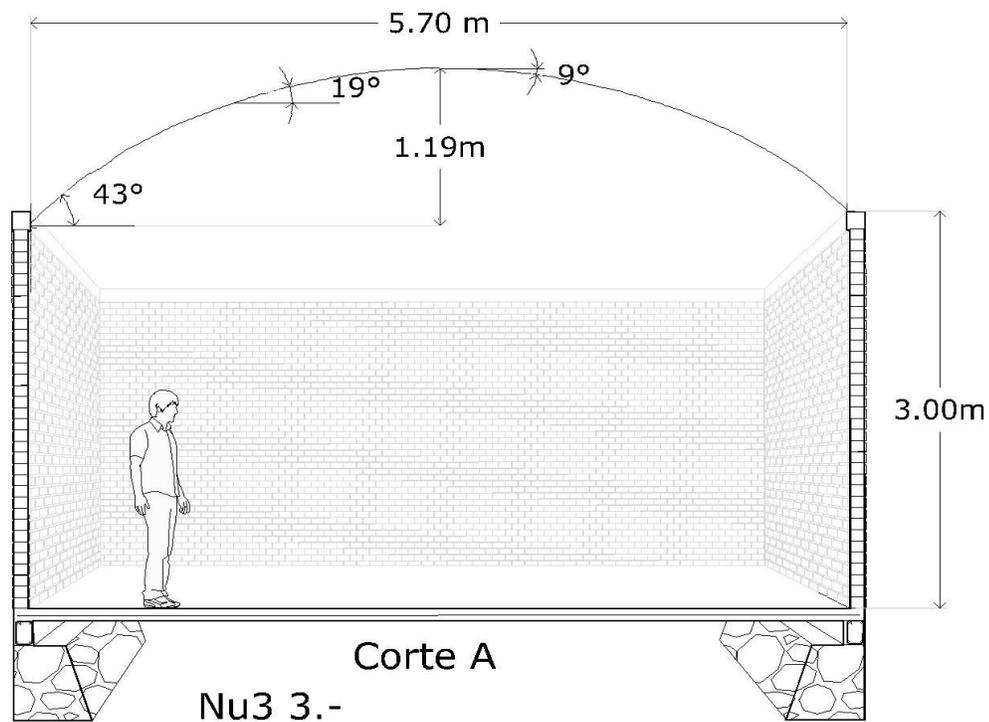


Figura 72. Corte A de Bóveda 3 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

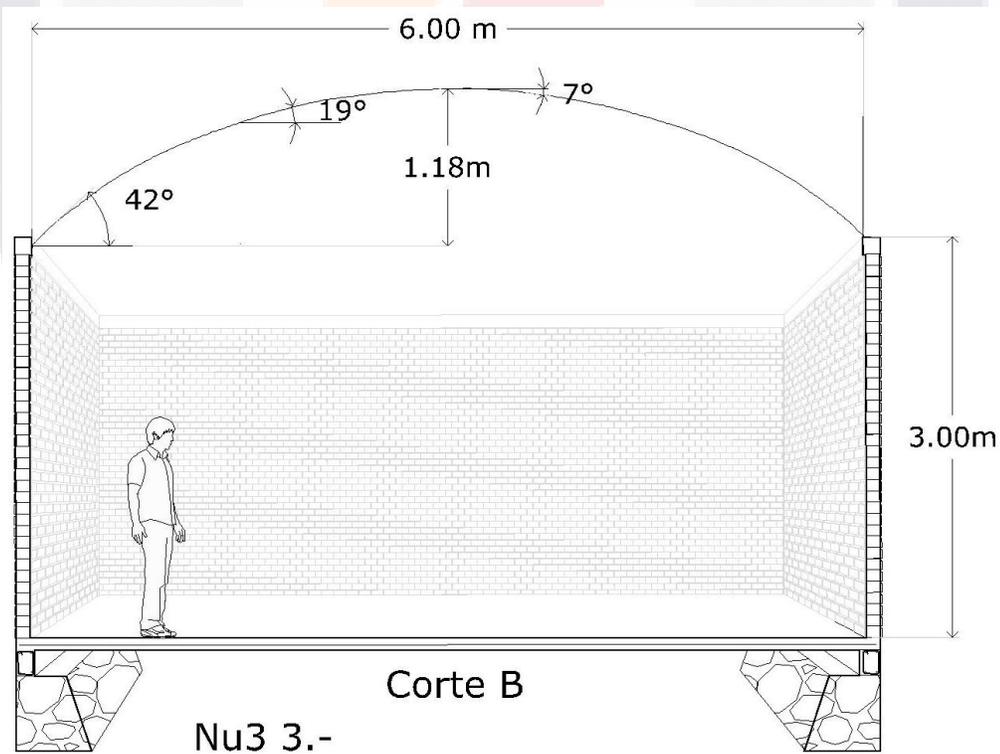


Figura 73. Corte B de Bóveda 3 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

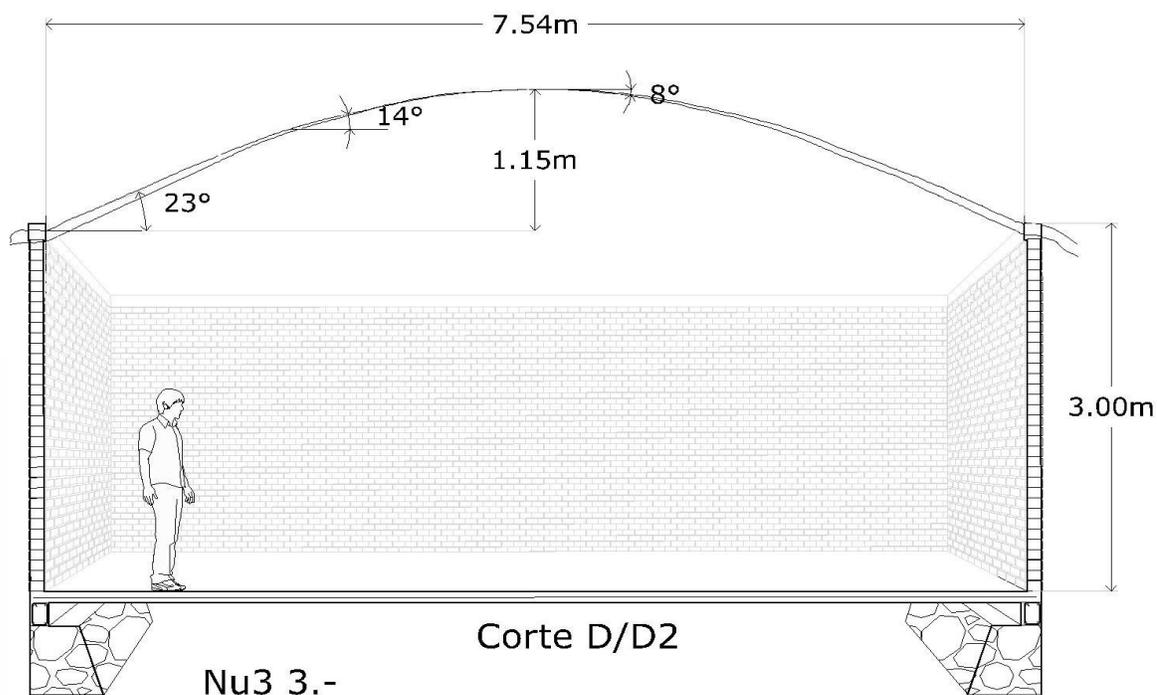


Figura 74. Corte D/D2 de Bóveda 3 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.00m x 5.70m.

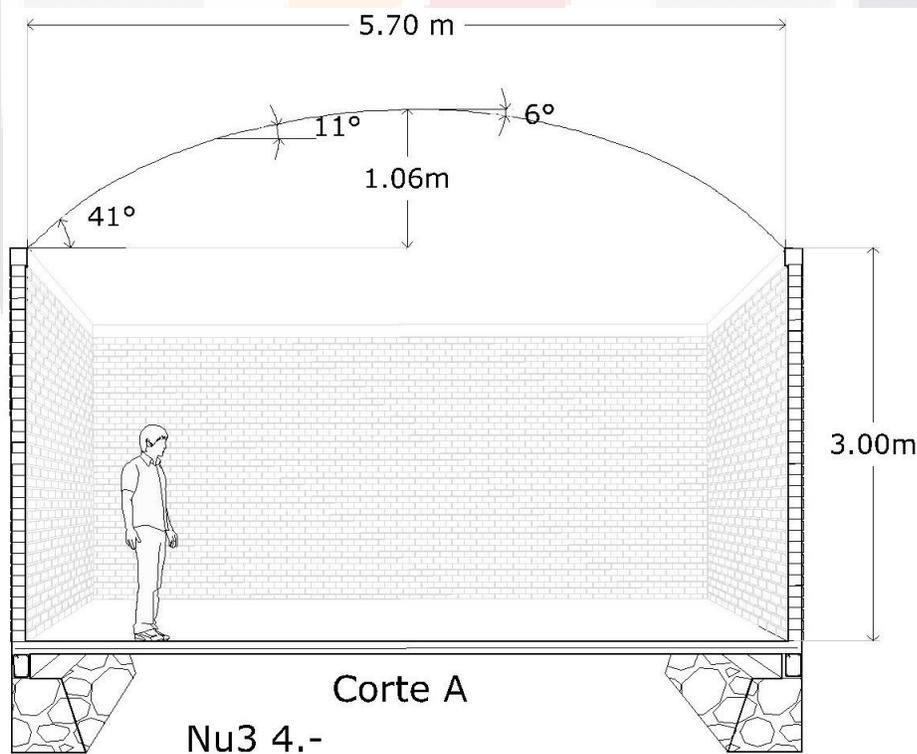


Figura 75. Corte A de Bóveda 4 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.

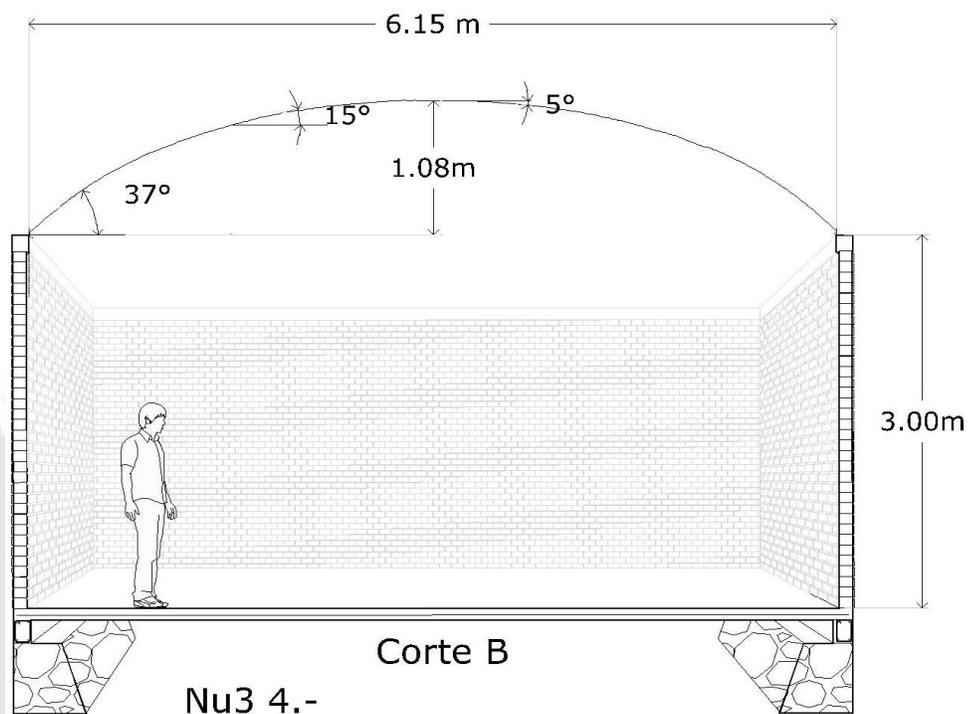


Figura 76. Corte B de Bóveda 4 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.

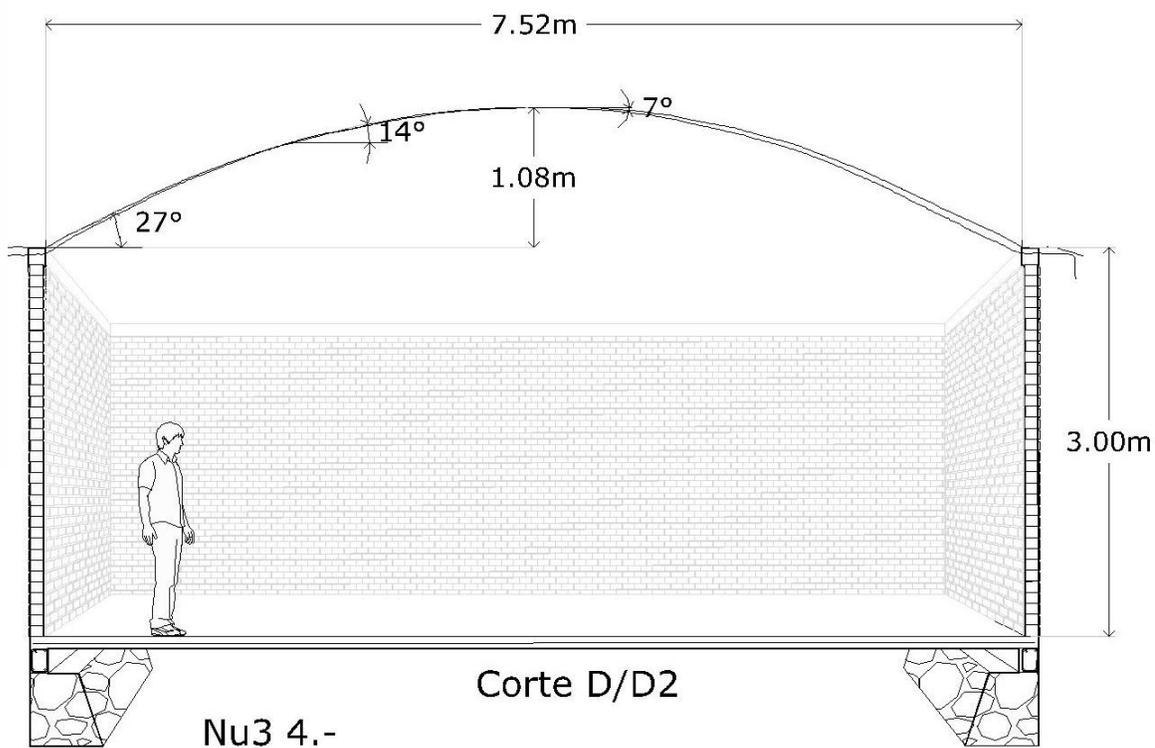


Figura 77. Corte D/D2 de Bóveda 4 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.

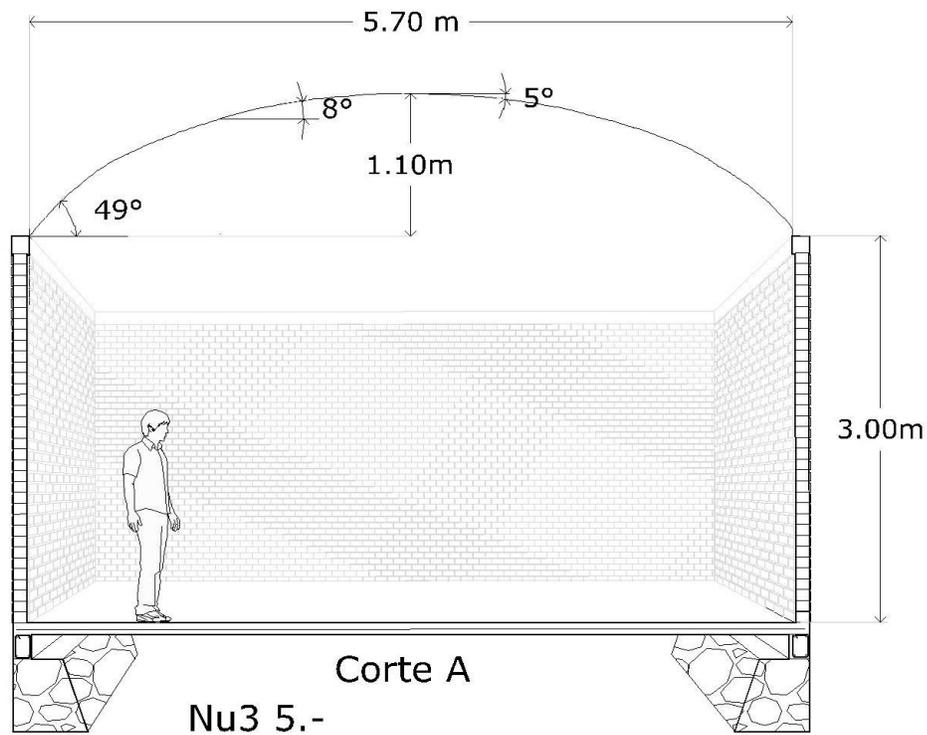


Figura 78. Corte A de Bóveda 5 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.

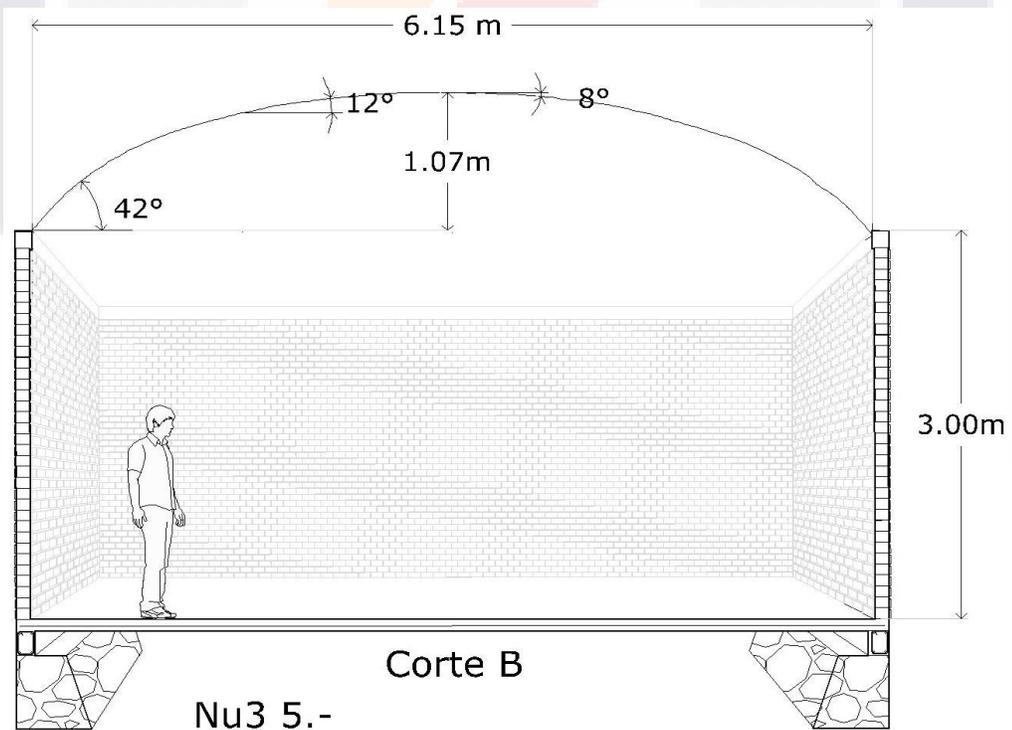


Figura 79. Corte B de Bóveda 5 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.

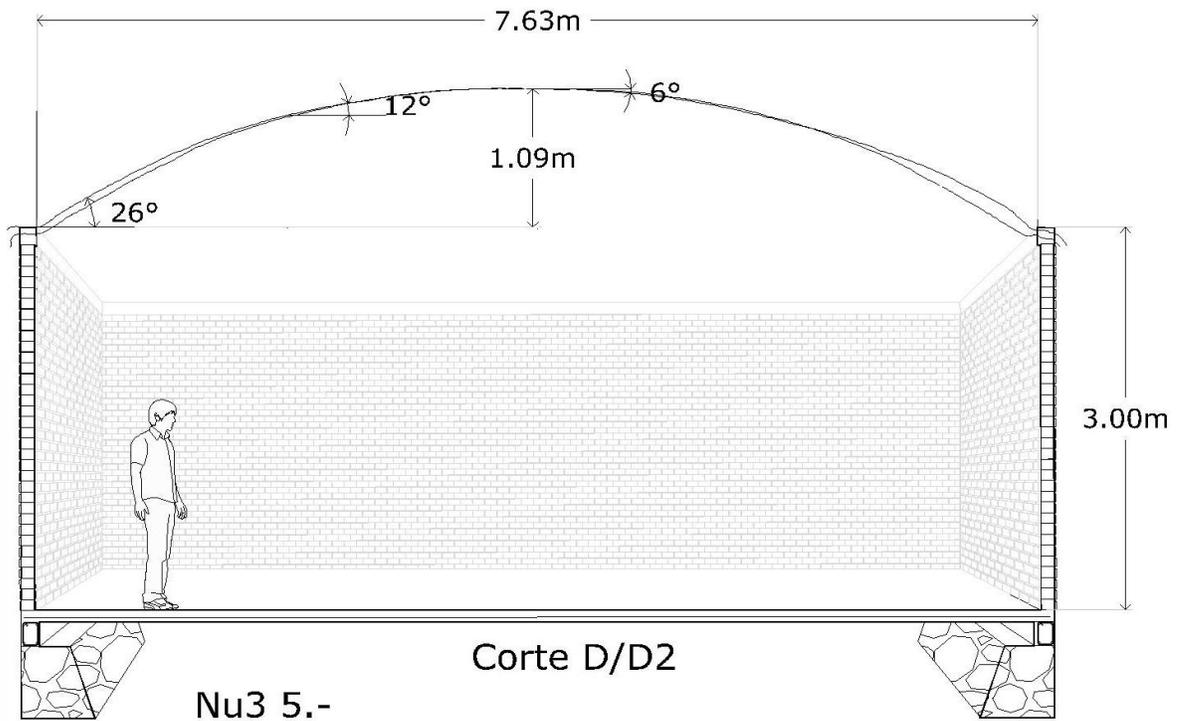


Figura 80. Corte D/D2 de Bóveda 5 de Consorcio Nu3, con dimensiones de 6.15m x 5.70m.

5.4.2 Casa Josefina Hernández González

Se tomaron un total de 169 fotografías, esto debido a que entraba un exceso de luminosidad por uno de los vitrales y saturaba de luz algunas imágenes, además de que cuenta con un candelabro enorme al centro que dificultaba las operaciones, requiriendo más fotografías para asegurar que todas las áreas quedaran cubiertas una vez librado el adorno para modelar la bóveda de la sala de la casa misma que cuenta con las siguientes medidas.

Tabla 15. Dimensiones de bóveda de la casa de Josefina Hernández.

Casa Josefina (m)	
Sala	4.20 x 4.00



Figura 81. Modelo fotogramétrico de Bóveda de la casa de Josefina Hernández.

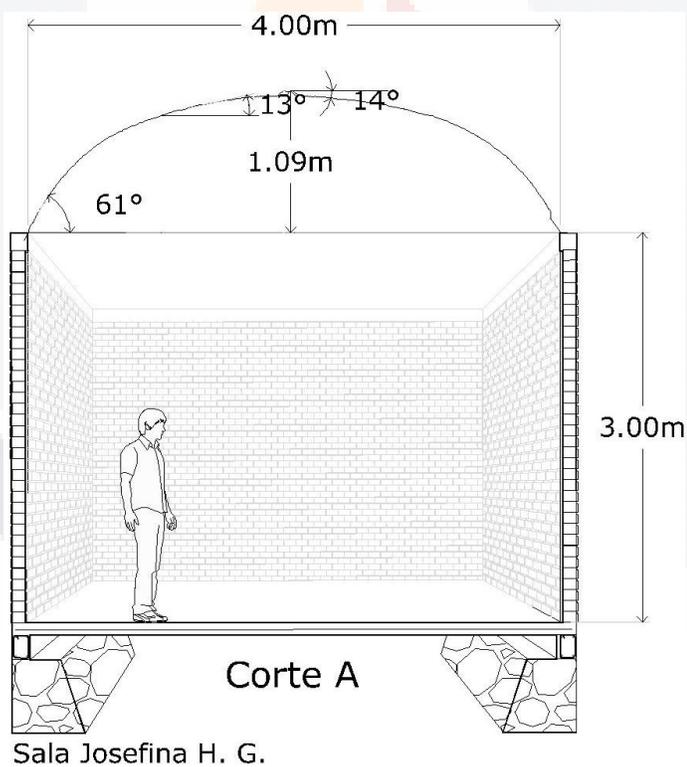


Figura 82. Corte A de Bóveda en sala de Josefina Hernández, con dimensiones de 4.20m x 4.00m.

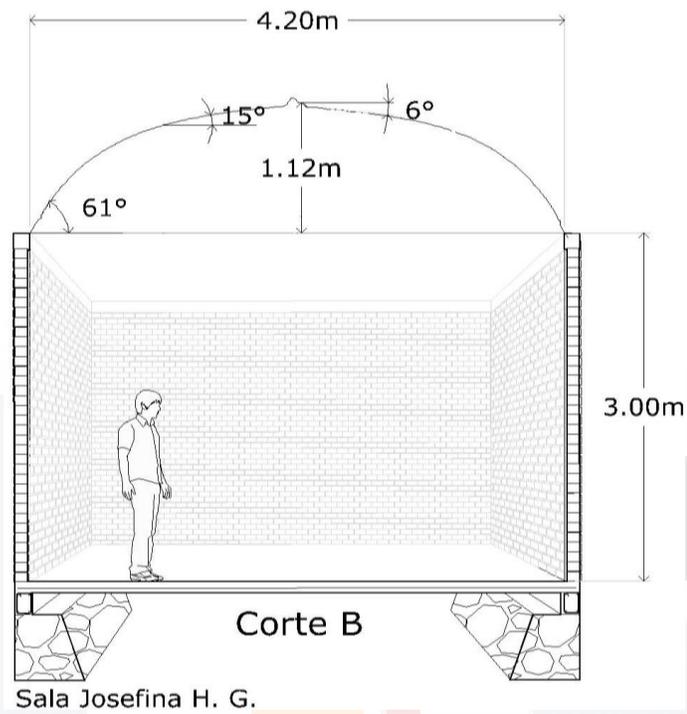


Figura 83. Corte B de Bóveda en sala de Josefina Hernández, con dimensiones de 4.20m x 4.00m.

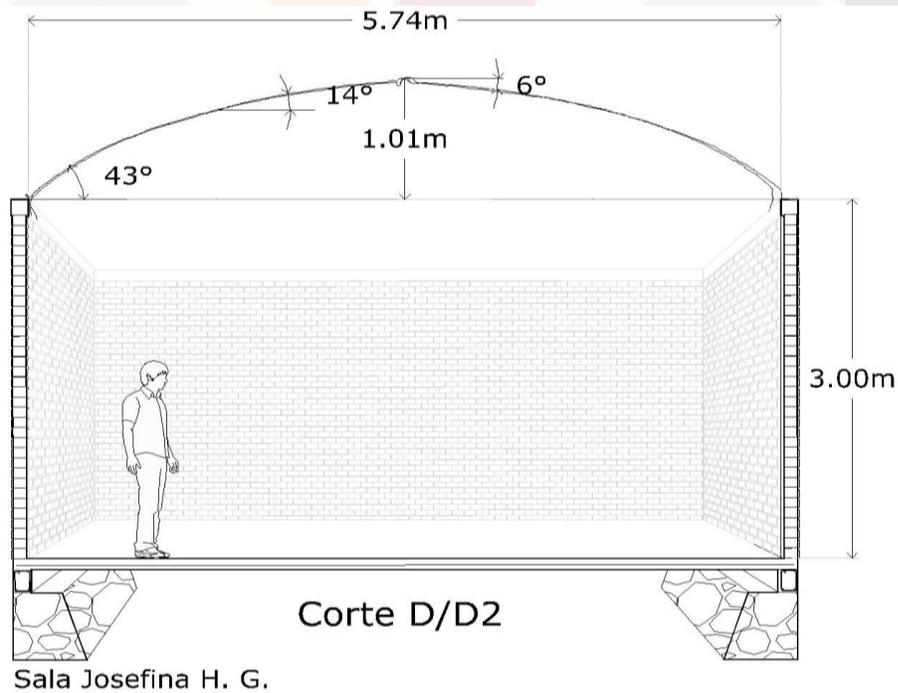


Figura 84. Corte D/D2 de Bóveda en sala de Josefina Hernández, con dimensiones de 4.20m x 4.00m.

5.4.3 Rancho Alfonso Mena

Se tomaron aproximadamente 85 fotografías para modelar cada una de las 5 bóvedas estudiadas y localizadas dentro de la casa del rancho mismas que cuentan con las siguientes medidas.

Tabla 16. Dimensiones de bóvedas en el Rancho Alfonso Mena

Alfonso Mena		
Cocina	4.65	x 4.40
Habitación 1	5.60	x 4.40
Habitación 2	5.10	x 4.40
Pasillo	4.40	x 2.55
Sala	4.40	x 3.10



Figura 85. Modelo fotogramétrico de Bóveda en la cocina del rancho Alfonso Mena.

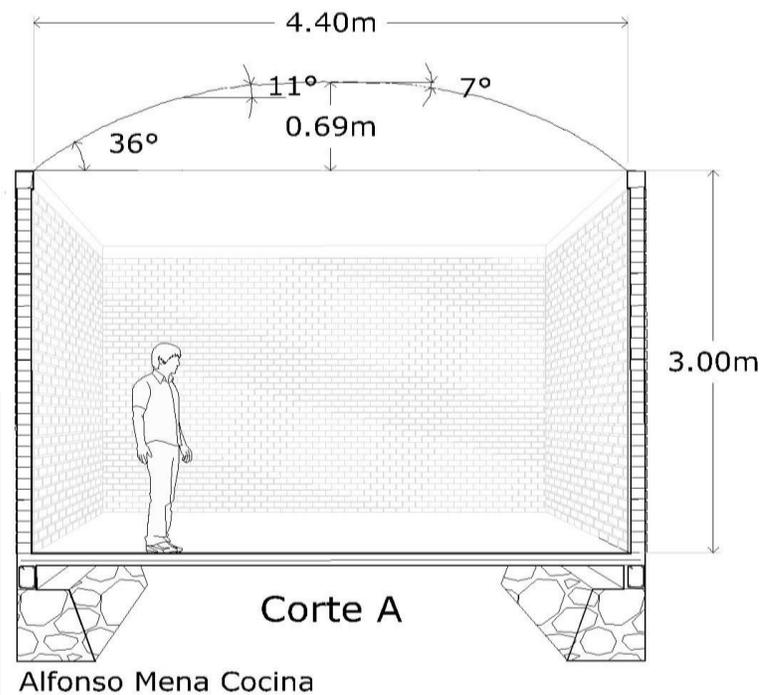


Figura 86. Corte A de Bóveda en la cocina del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.65m x 4.40m.

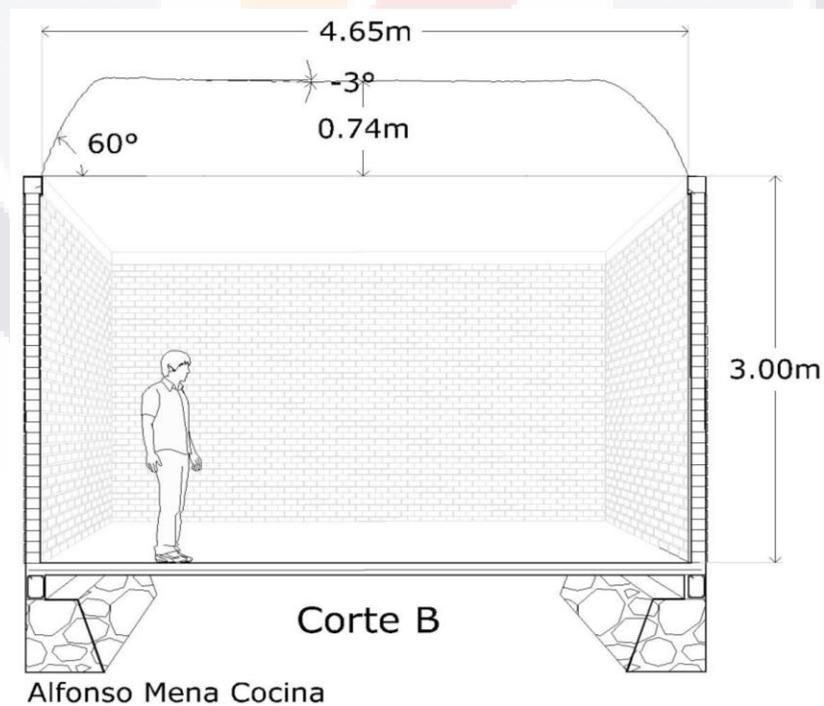
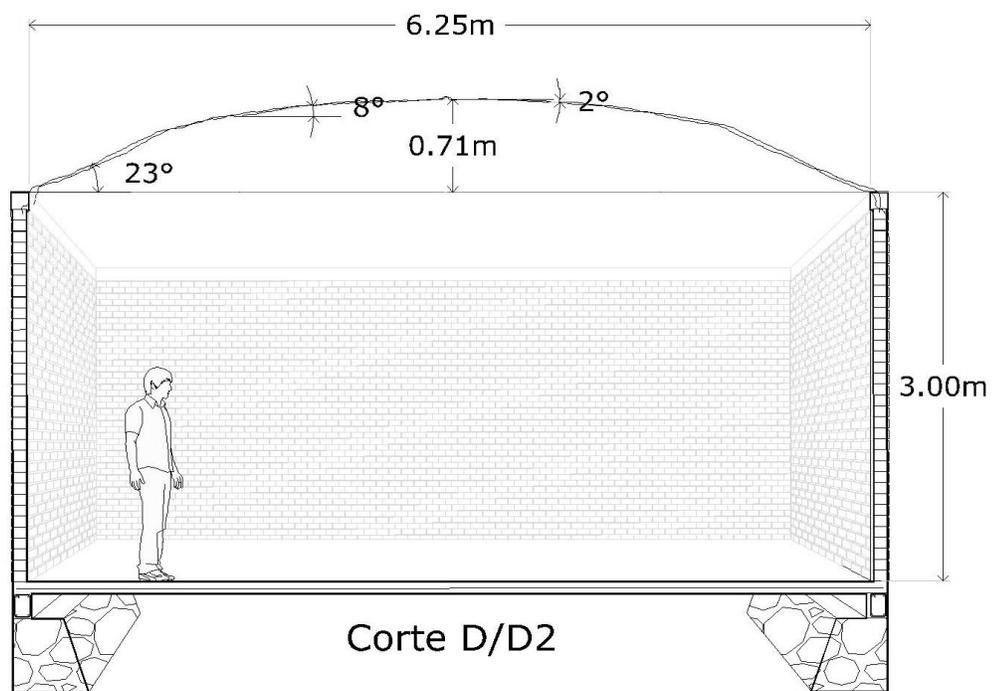


Figura 87. Corte B de Bóveda en la cocina del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.65m x 4.40m.



Alfonso Mena Cocina

Figura 88. Corte D/D2 de Bóveda en la cocina del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.65m x 4.40m.

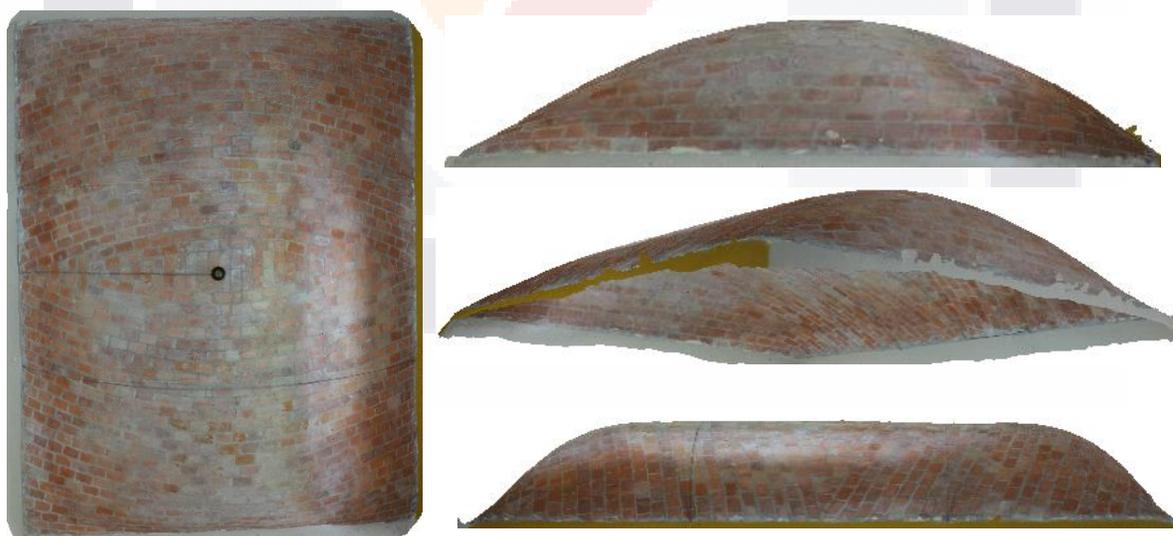


Figura 89. Modelo fotogramétrico de Bóveda en la habitación 1 del rancho Alfonso Mena.

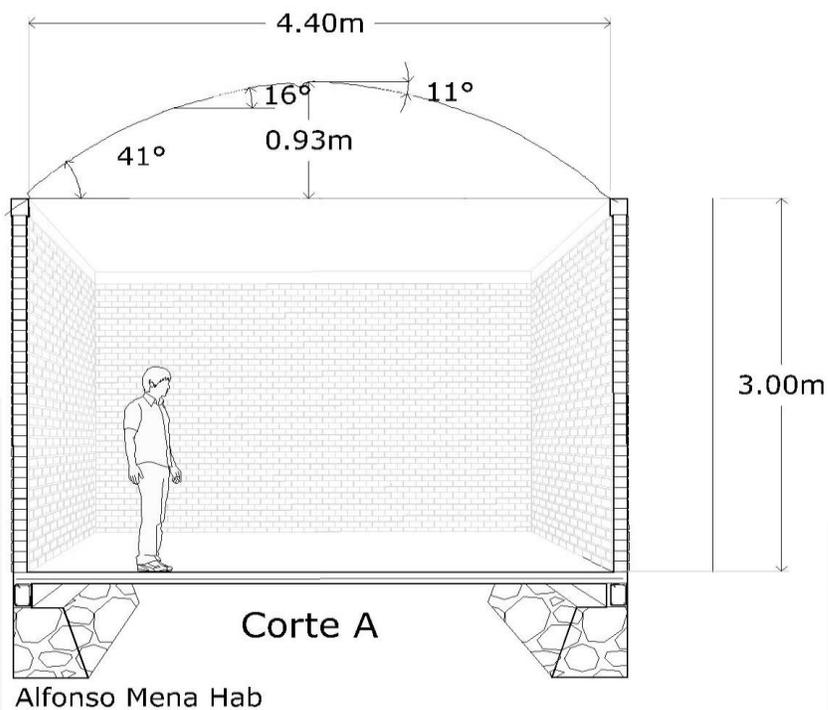


Figura 90. Corte A de Bóveda en la habitación 1 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.60m x 4.40m.

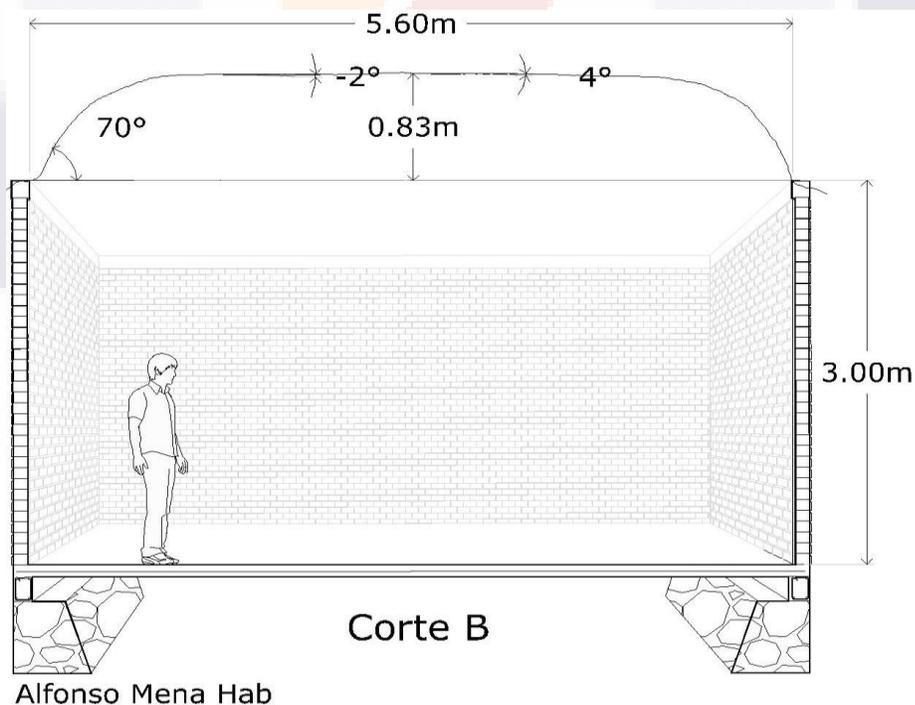


Figura 91. Corte B de Bóveda en la habitación 1 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.60m x 4.40m.

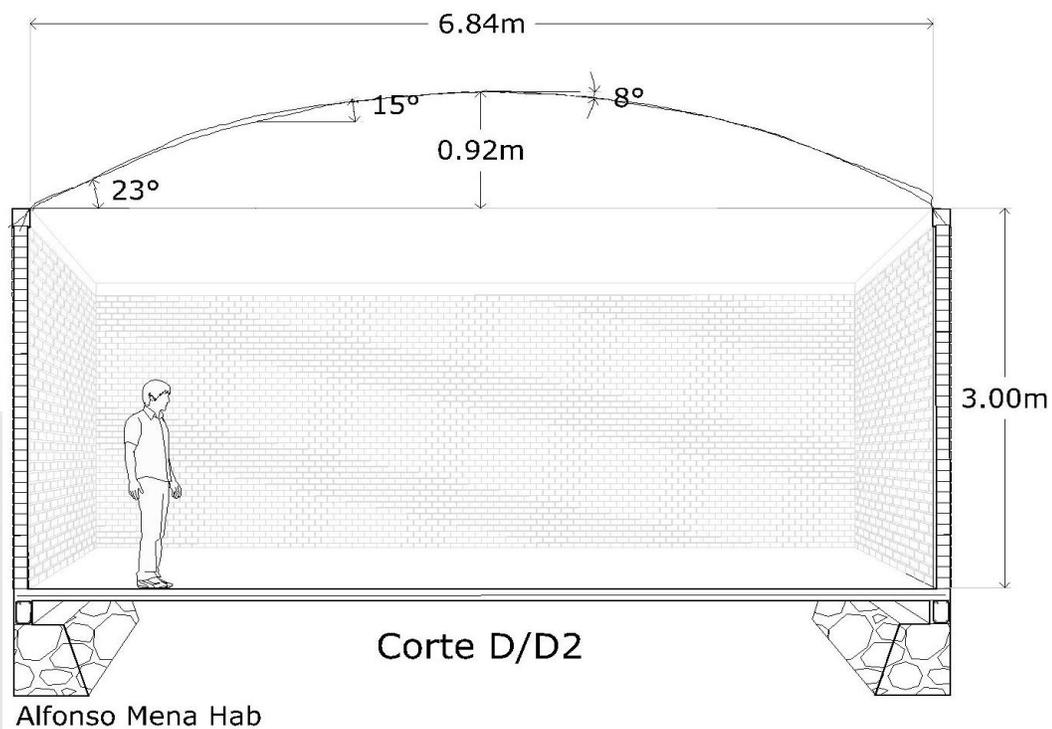


Figura 92. Corte D/D2 de Bóveda en la habitación 1 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.60m x 4.40m.



Figura 93. Modelo fotogramétrico de Bóveda en la habitación 2 del rancho Alfonso Mena.

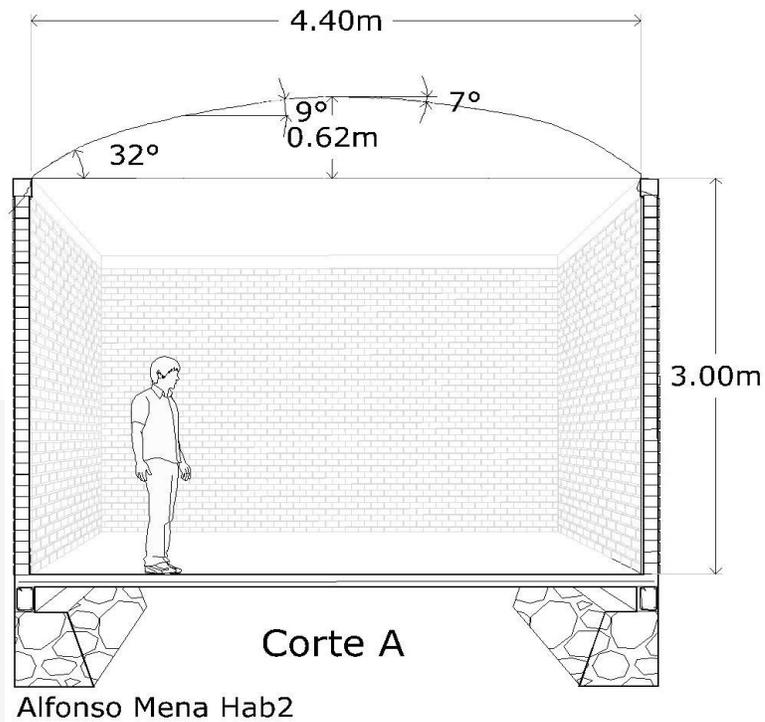


Figura 94. Corte A de Bóveda en la habitación 2 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.10m x 4.40m.

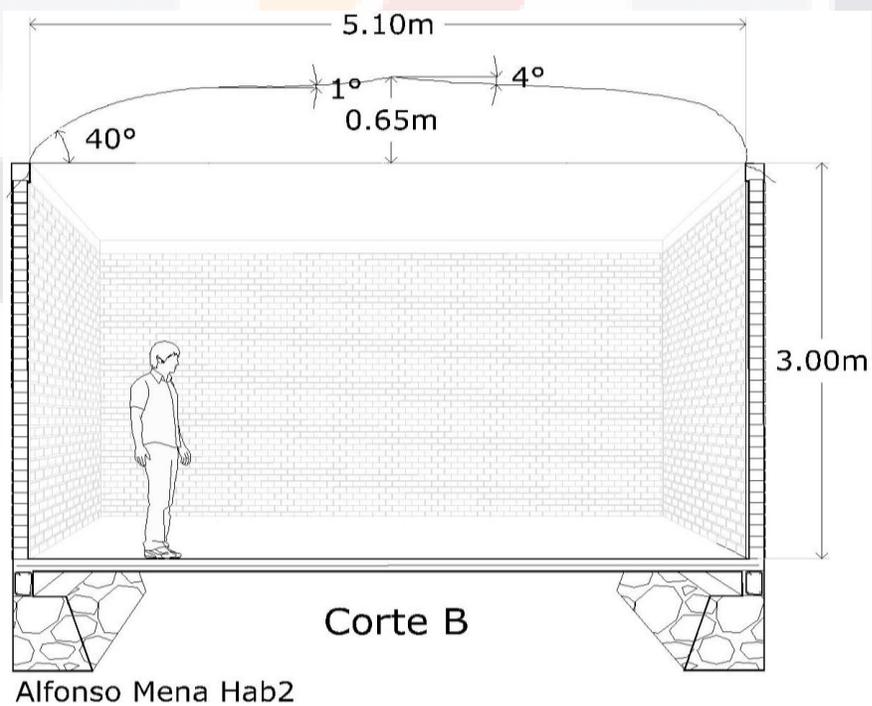


Figura 95. Corte B de Bóveda en la habitación 2 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.10m x 4.40m.

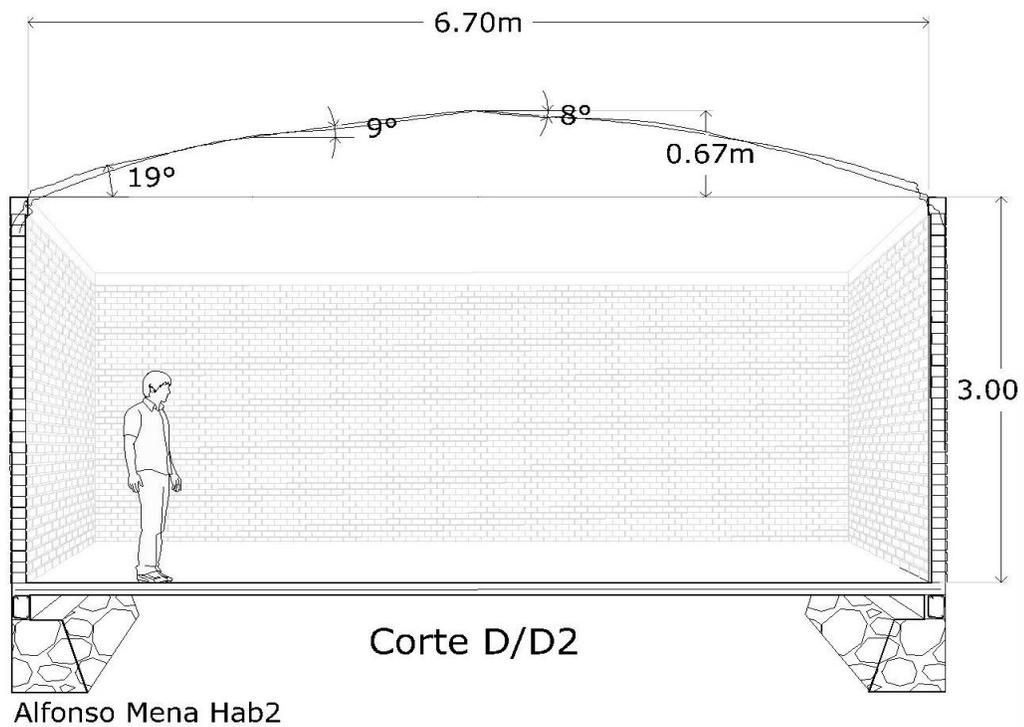


Figura 96. Corte D/D2 de Bóveda en la habitación 2 del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 5.10m x 4.40m.

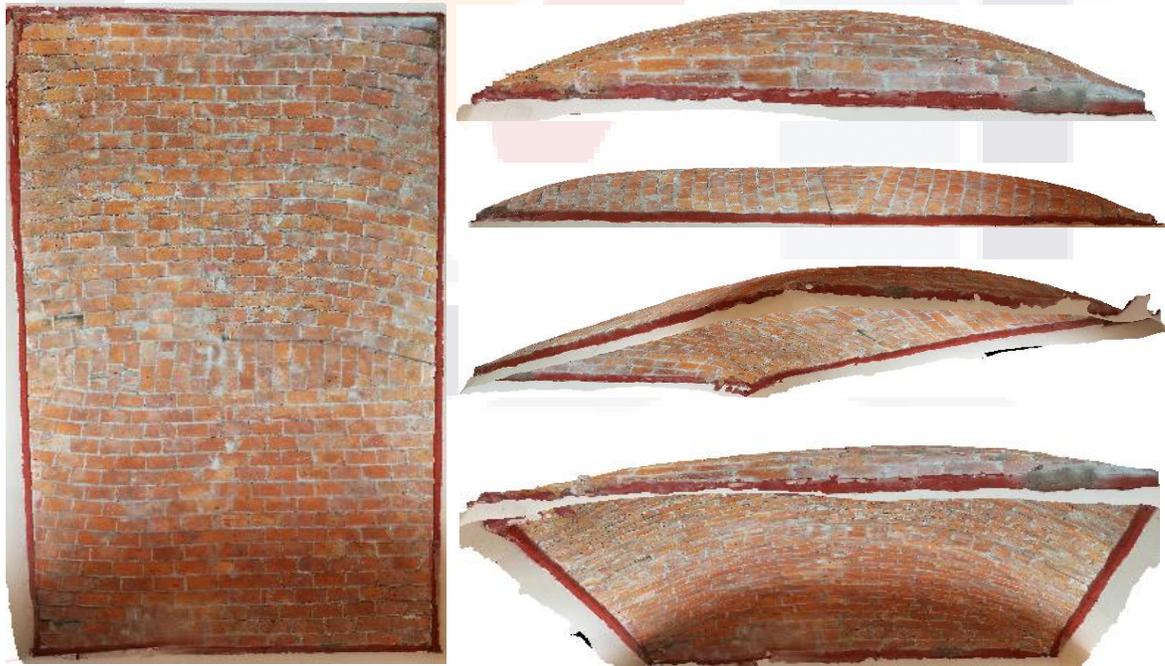


Figura 97. Modelo fotogramétrico de Bóveda en pasillo del rancho Alfonso Mena.

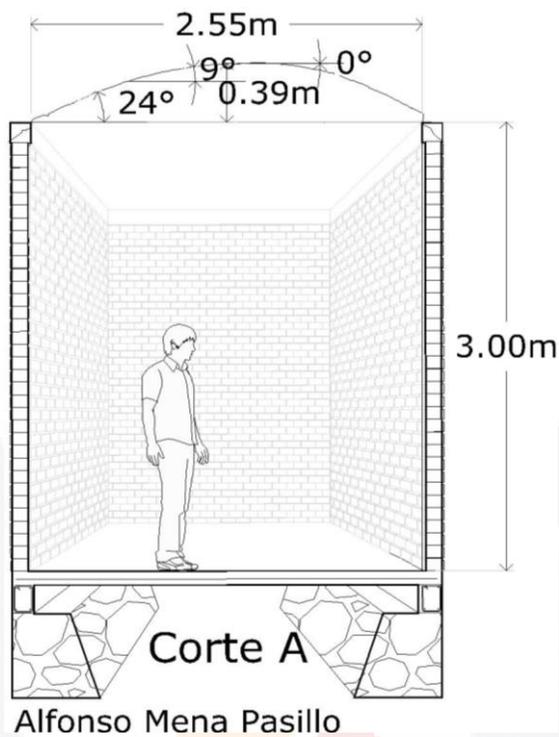


Figura 98. Corte A de Bóveda en pasillo del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 2.55m.

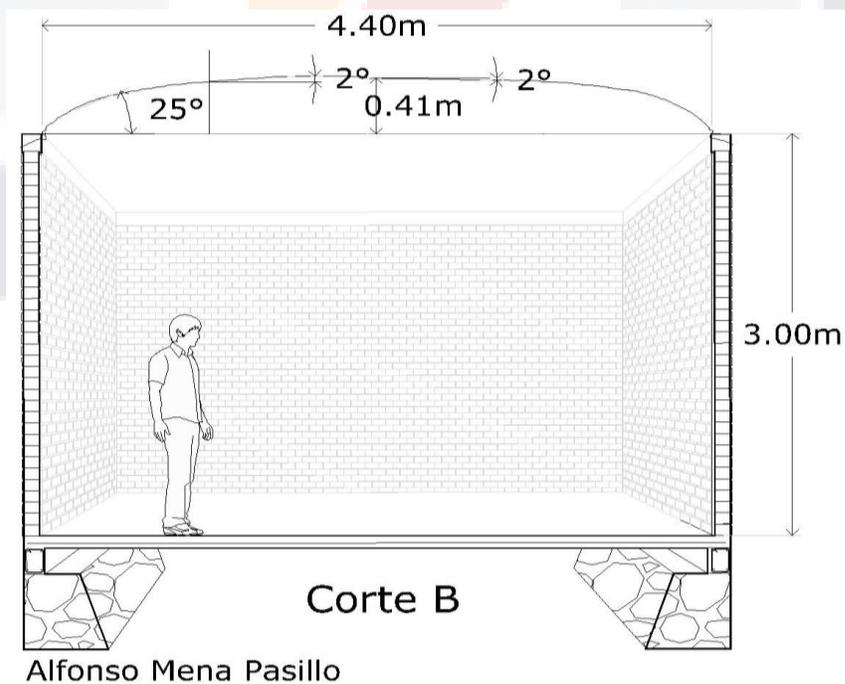
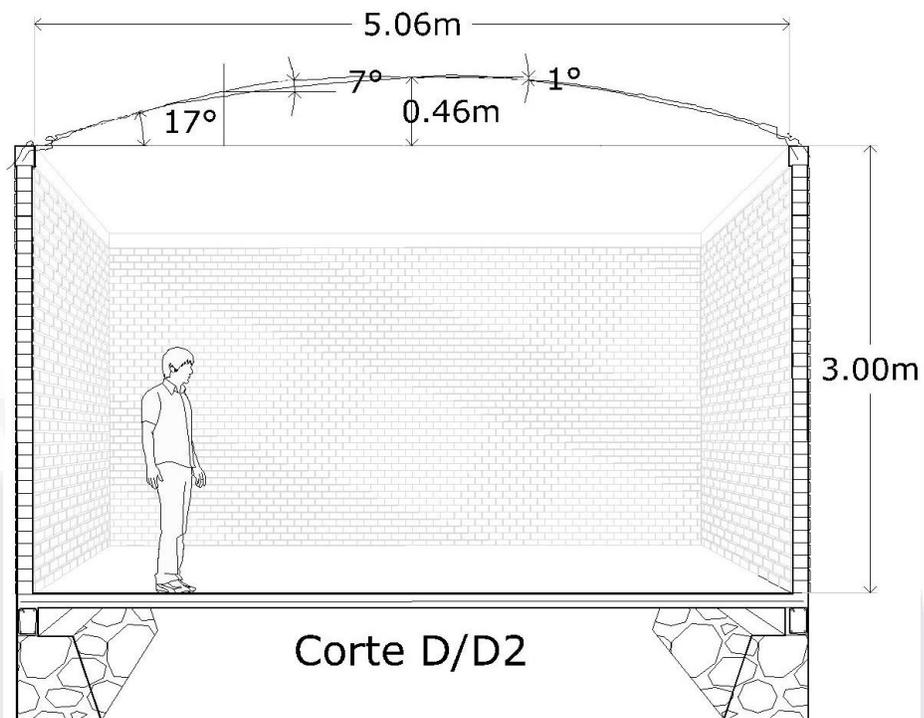


Figura 99. Corte B de Bóveda en pasillo del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 2.55m.

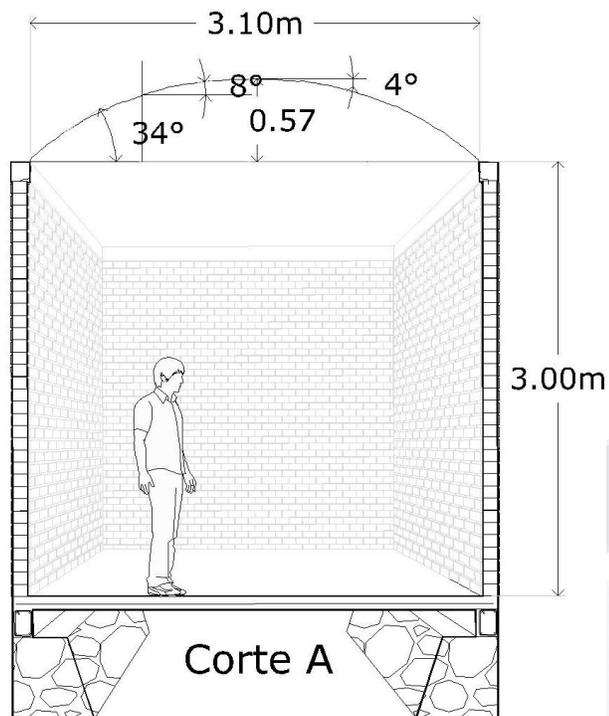


Alfonso Mena Pasillo

Figura 100. Corte D/D2 de Bóveda en pasillo del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 2.55m.

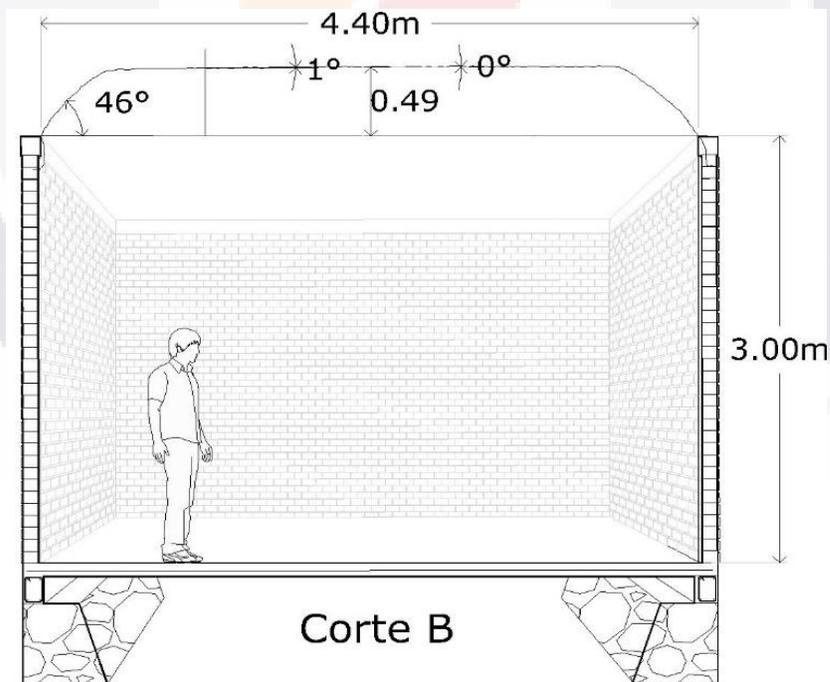


Figura 101. Modelo fotogramétrico de Bóveda en sala del rancho Alfonso Mena.



Alfonso Mena Sala

Figura 102. Corte A de Bóveda en sala del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 3.10m.



Alfonso Mena Sala

Figura 103. Corte B de Bóveda en sala del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 3.10m.

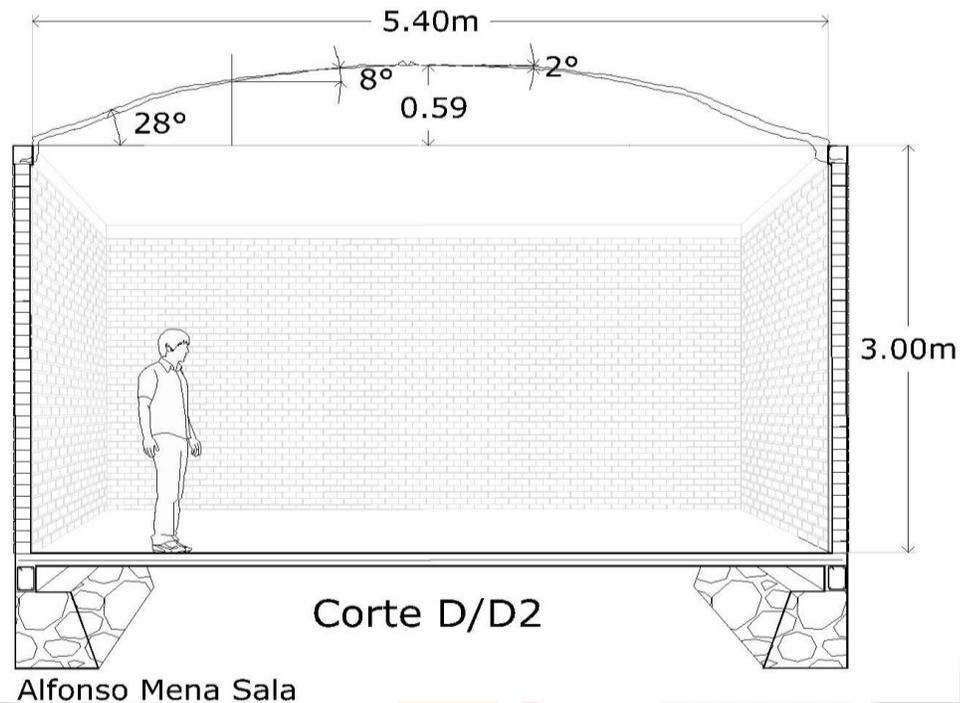


Figura 104. Corte D/D2 de Bóveda en sala del Rancho de Alfonso Mena, con dimensiones de 4.40m x 3.10m.

5.4.4 Casa Lucía G.H

Al interior de la vivienda de Lucía G.H. hay dos bóvedas que se estudiaron con fotogrametría, una cubre las escaleras de la casa y la otra de mayores dimensiones es la cubierta de la habitación principal de la casa habitación, La primera requirió poco más de 30 fotos por su reducida área, la otra un total de 73 fotografías.

Tabla 17 Dimensiones de bóvedas en la casa de Lucía G.H.

Restaurante Lucía G.H (m)			
Escaleras	3.30	x	2.15
Recamara	4.90	x	4.10

La bóveda localizada en la escalera al modelarse en Agisoft resulta visualmente deficiente debido a la complejidad que represento tomar fotos variando las alturas, esta situación es provocada al buscar tomas que garanticen cubrir todos los ángulos, y al tener una escalera debajo es forzoso este cambio de alturas además

de contar con un paso de luz natural al centro mismo que daña muchas de las imágenes, si bien el modelado no se encuentra con la calidad de las otras bóvedas trabajadas no se ha desechado porque cumple con los fines requeridos en el análisis de geometrías, arrojándonos la información necesaria como los ángulos y peralte.



Figura 105 Escalera Lucía G.H.

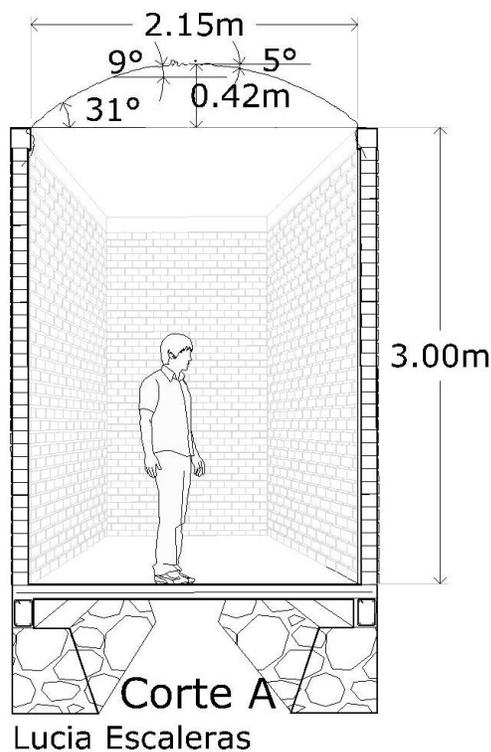


Figura 106. Corte A de Bóveda en escalera de Lucia G.H. con dimensiones de 3.30 m x 2.15m.

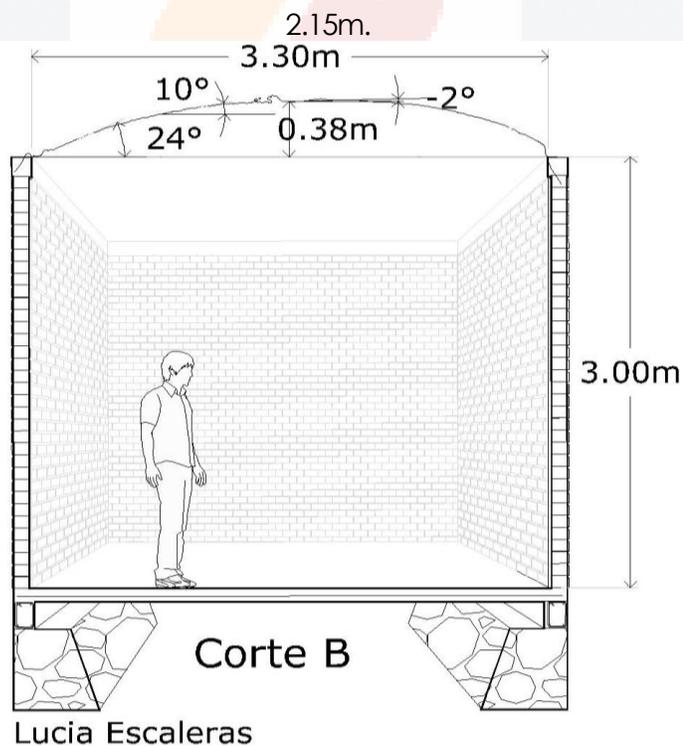


Figura 107. Corte B de Bóveda en escalera de Lucia G.H. con dimensiones de 3.30 m x 2.15m.

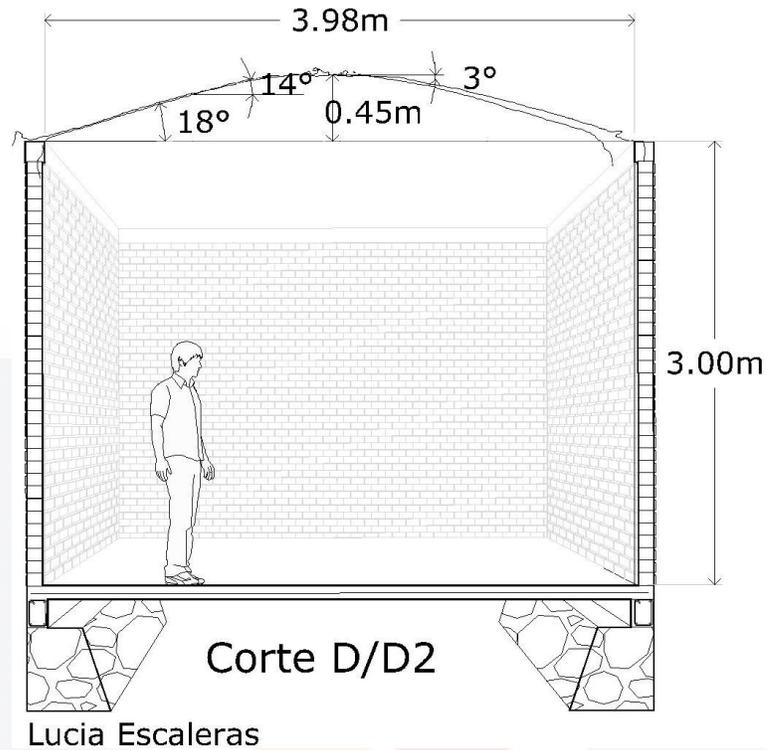


Figura 108. Corte D/D2 de Bóveda en escalera de Lucia G.H. con dimensiones de 3.30 m x 2.15m.

5.4.5 Restaurante la Cabaña del Tío Chon

Aquí se tuvo la oportunidad de levantar mediante fotogrametría un total de 11 bóvedas, mismas que se agrupan en 3 tamaños diferentes de acuerdo con el área que cubren, para las cuales fue necesario realizar entre 50 y 60 capturas para su modelado a excepción de las cubiertas de mayor área en las cuales se realizaron entre 90 y 110 imágenes, las medidas de las bóvedas se enuncian en tabla 17.

Tabla 18. Dimensiones de bóvedas en el Restaurante del Tío Chon.

Restaurante Tío Chon (m)		
Pasillo 1	3.85	x 1.85
Pasillo 2	3.85	x 1.85
Cuadrada 1	5.00	x 5.00
Cuadrada 2	5.00	x 5.00
Cuadrada 3	5.00	x 5.00
Cuadrada 4	5.00	x 5.00
Cuadrada 5	5.00	x 5.00
Cuadrada 6	5.00	x 5.00
Rectangular 1	10.00	x 5.00
Rectangular 2	10.00	x 5.00
Rectangular 3	10.00	x 5.00

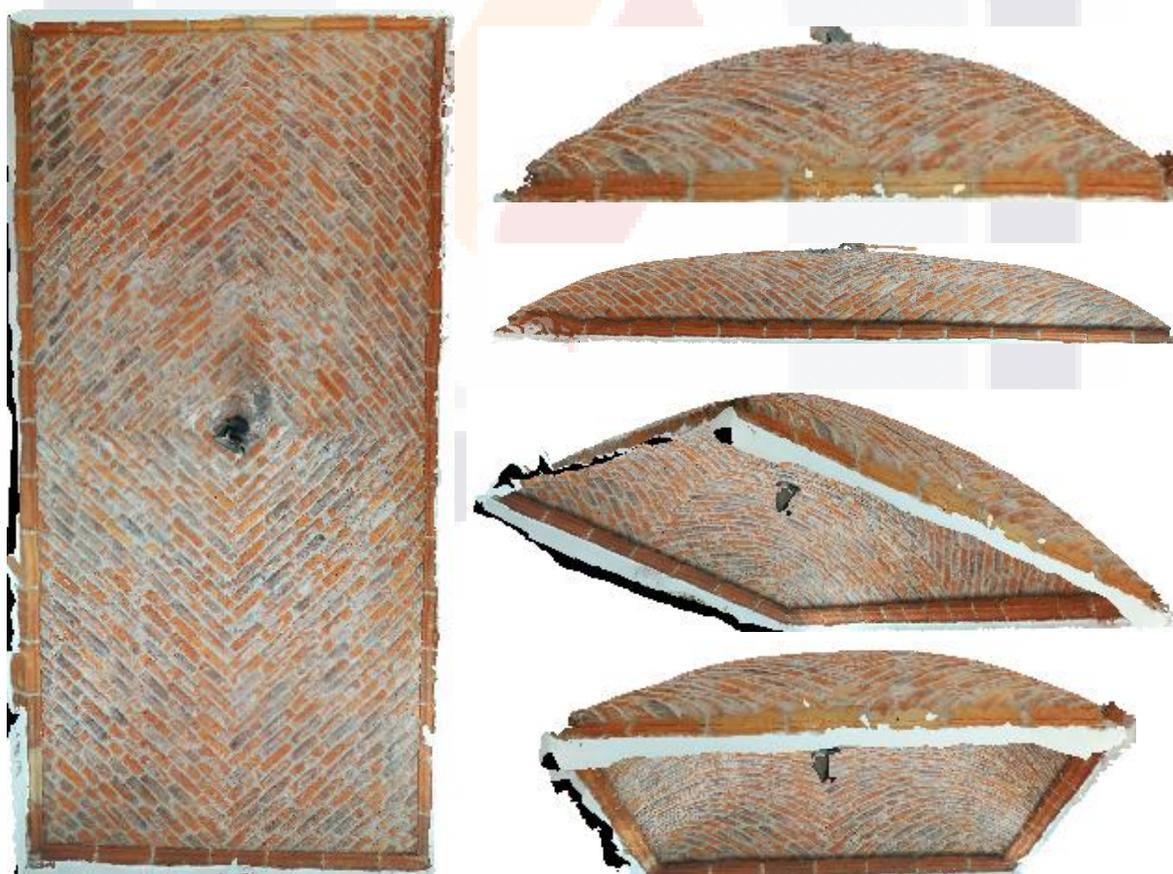


Figura 109. Modelo fotogramétrico del pasillo del restaurante Tío Chon.

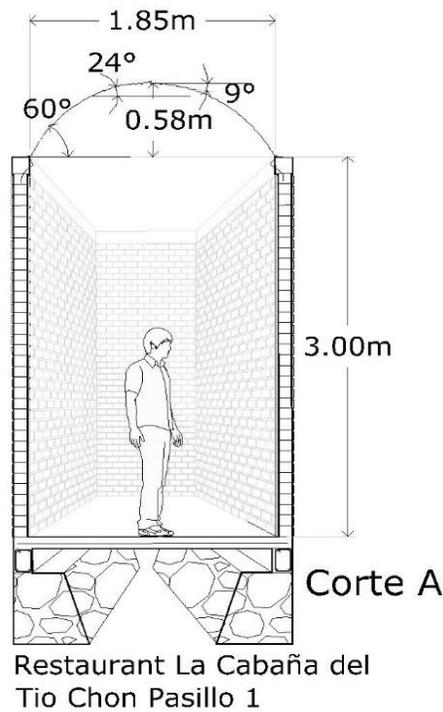


Figura 110. Corte A de Bóveda en pasillo 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 3.85m x 1.85m.

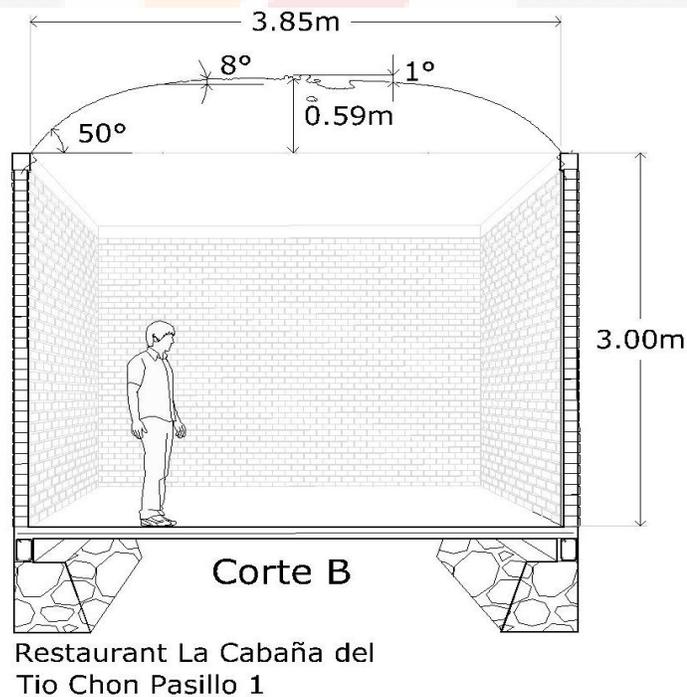


Figura 111. Corte B de Bóveda en pasillo 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 3.85m x 1.85m.

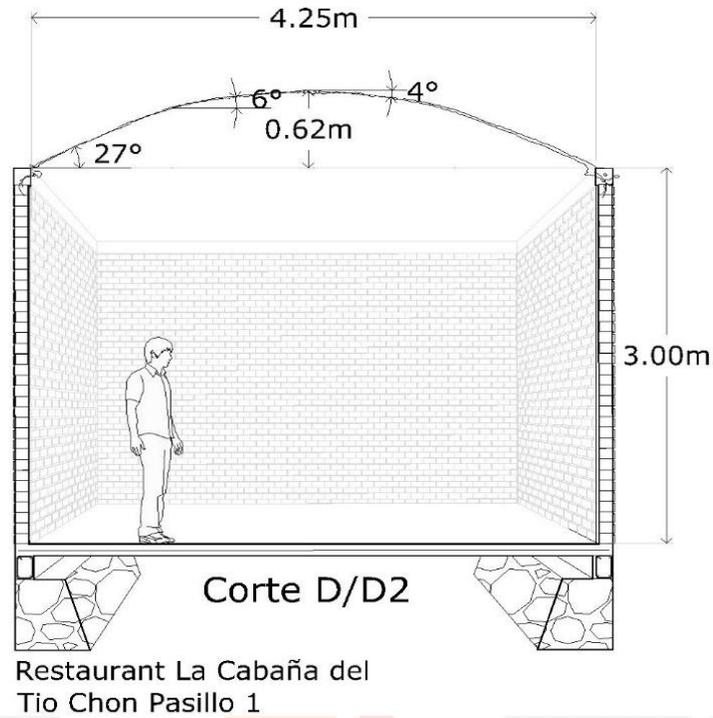


Figura 112. Corte D/D2 de Bóveda en pasillo 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 3.85m x 1.85m.

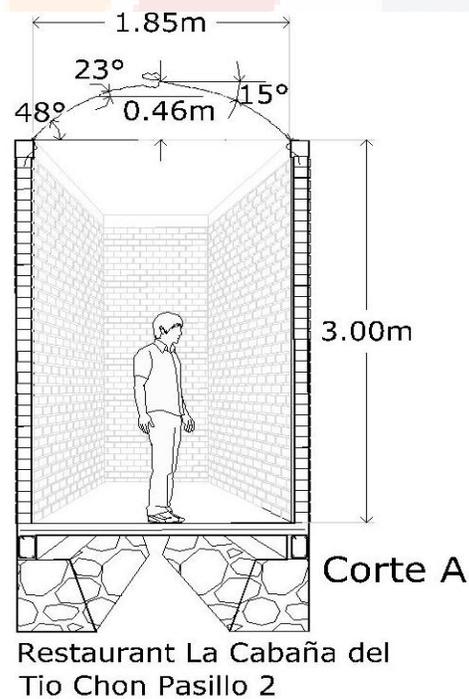


Figura 113. Corte A de Bóveda en pasillo 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 3.85m x 1.85m.

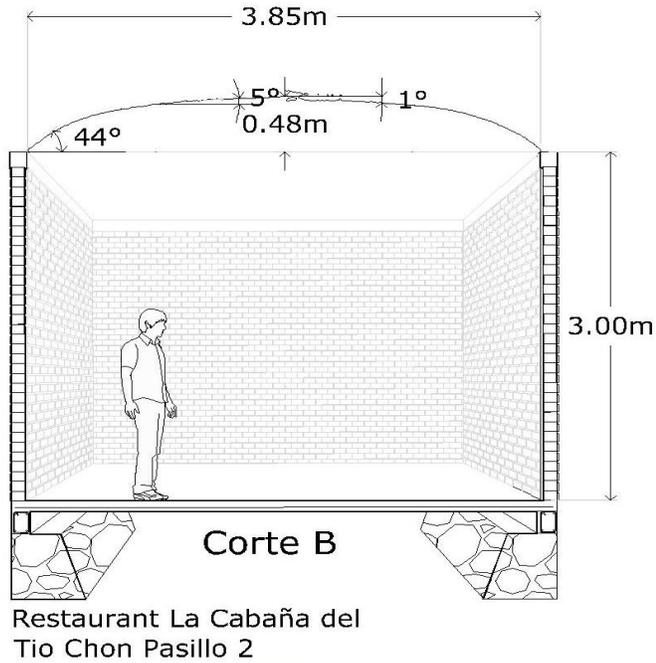


Figura 114. Corte B de Bóveda en pasillo 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 3.85m x 1.85m.

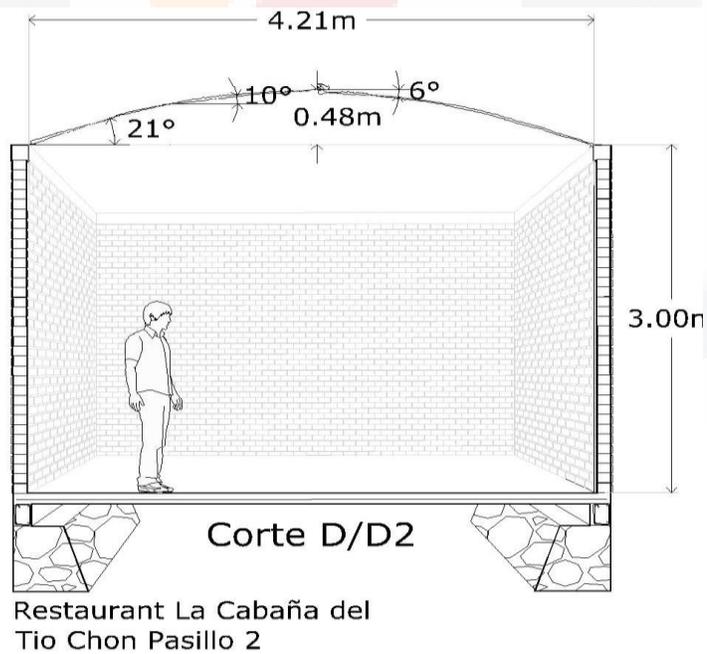


Figura 115. Corte D/D2 de Bóveda en pasillo 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 3.85m x 1.85m.

Se insertan capturas de un solo modelo fotogramétrico representativo de las bóvedas cuadradas del restaurant, ya que no es necesario poner de cada uno puesto que tiene las mismas medidas, los cortes si se agregarán de cada bóveda ya que presentan ciertas variaciones geométricas, variando ángulos y alturas.

En los cortes se traslapa A y B ya que ambos tienen 5 metros de claro, además de que permite visualizar y evidencia las variaciones en la geometría de las mismas, ambos cortes diagonales se representan empalmados como se ha venido manejando en las anteriores bóvedas con las mismas intenciones.



Figura 116. Modelo fotogramétrico de Bóveda cuadrada del restaurante Tío Chon.

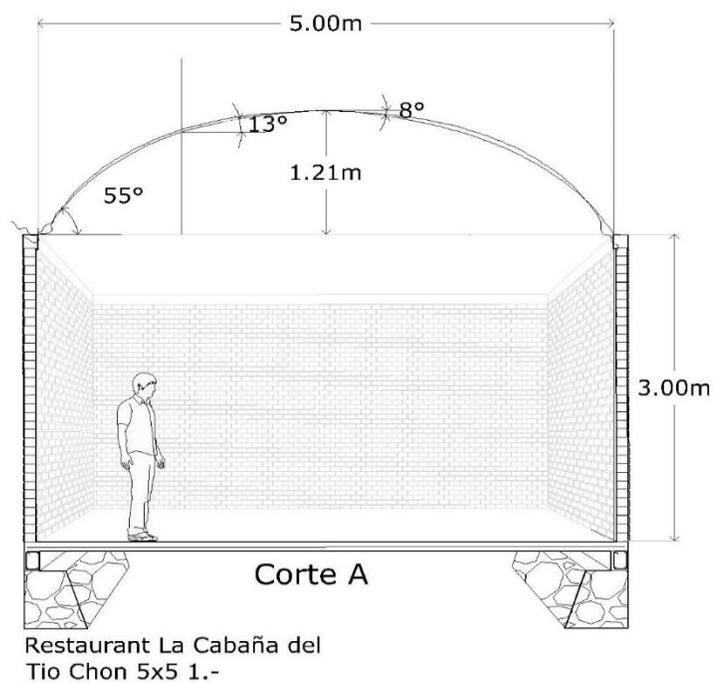


Figura 117. Corte A de Bóveda cuadrada 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

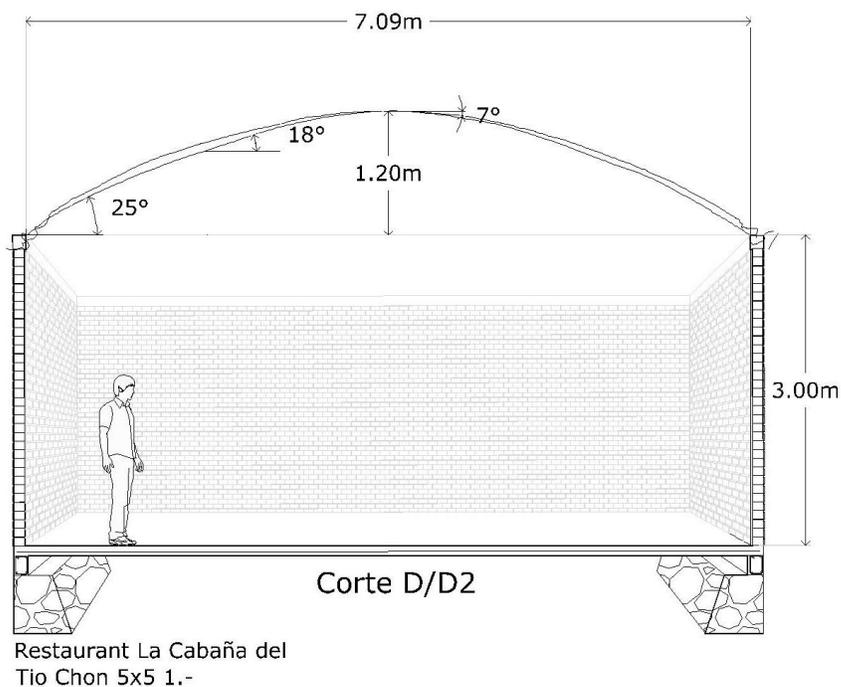
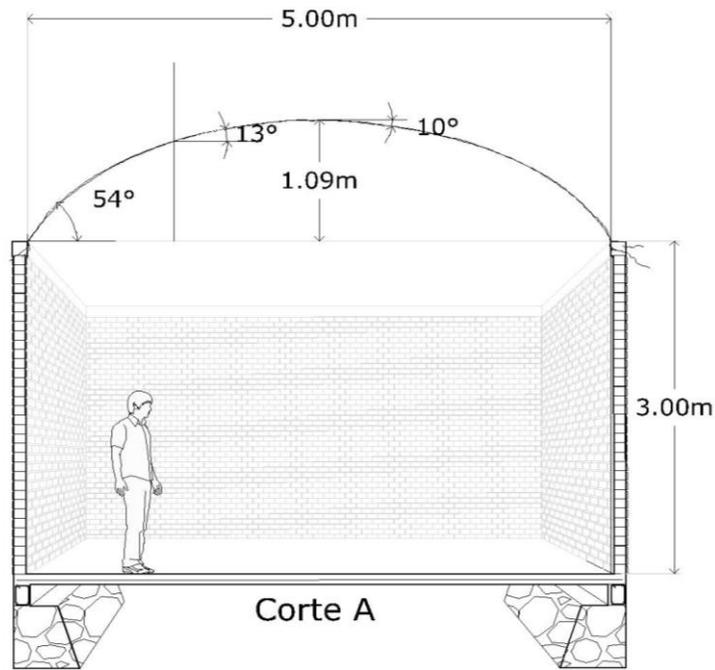
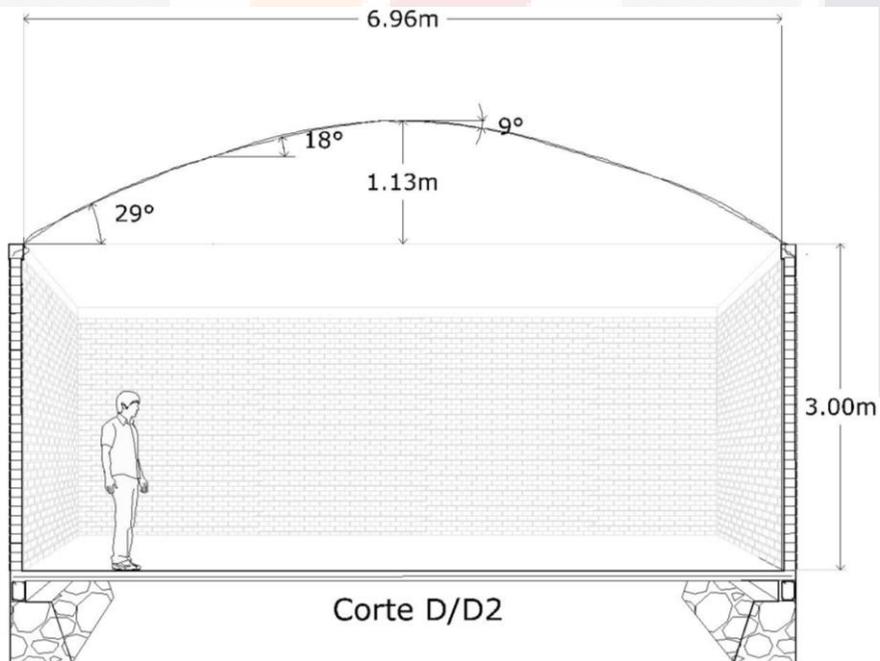


Figura 118. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m



Restaurant La Cabaña del Tío Chon 5x5 2.-

Figura 119. Corte A de Bóveda cuadrada 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m



Restaurant La Cabaña del Tío Chon 5x5 2.-

Figura 120. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

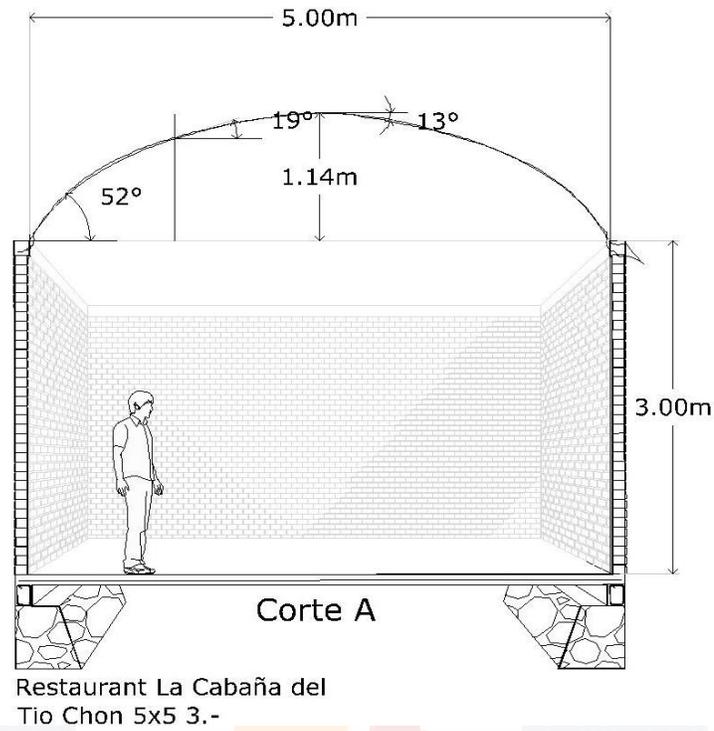


Figura 121. Corte A de Bóveda cuadrada 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

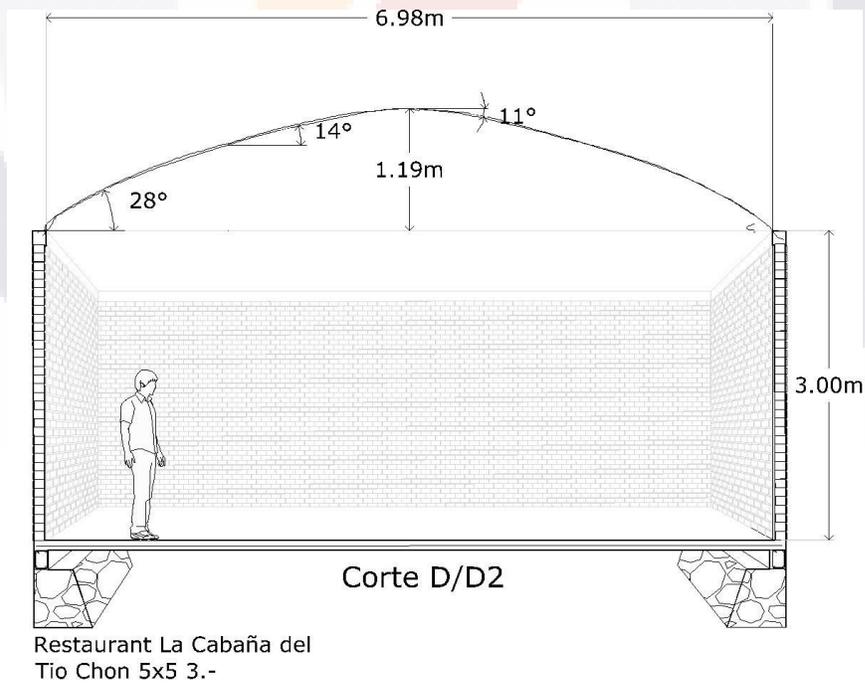


Figura 122. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

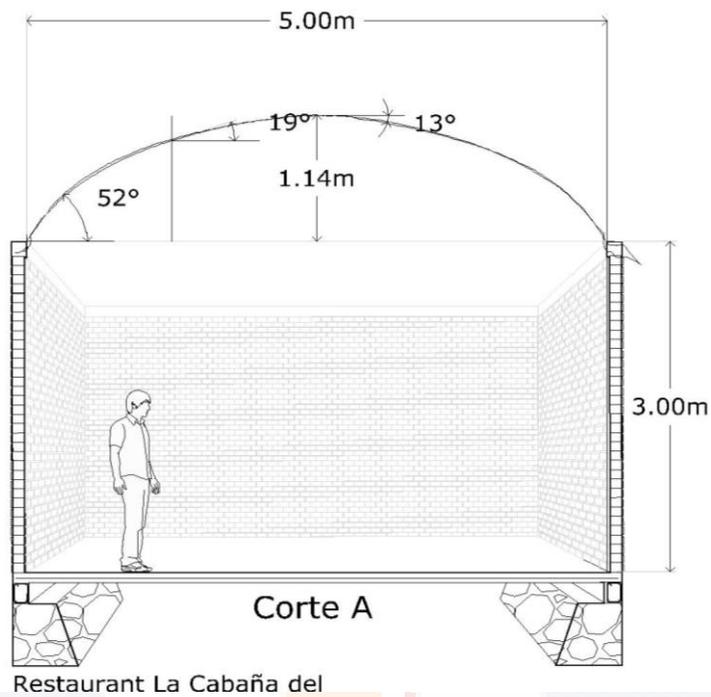


Figura 123. Corte A de Bóveda cuadrada 4 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

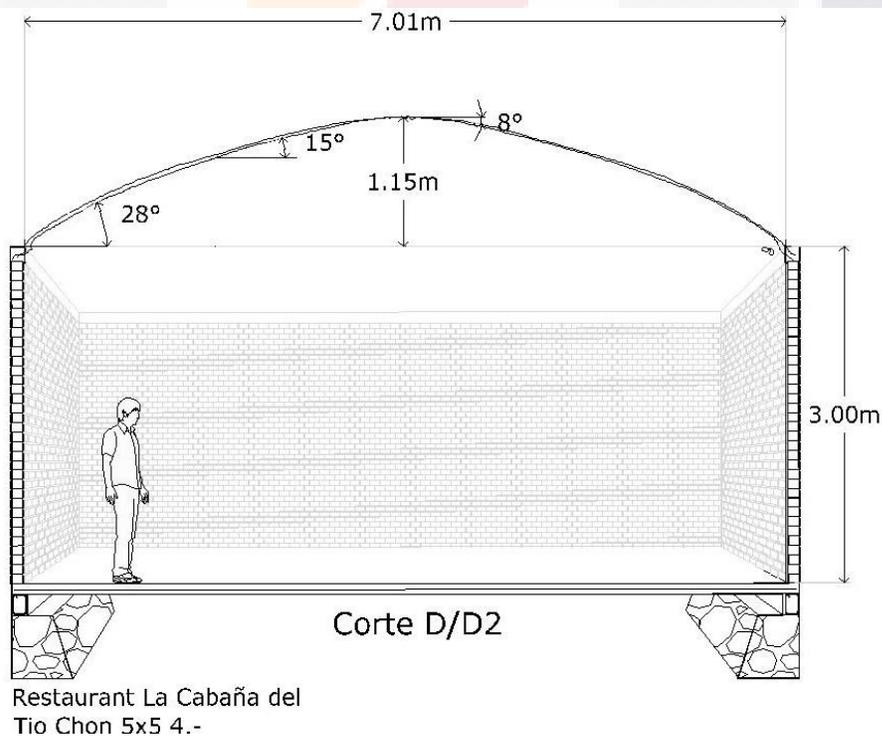


Figura 124. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 4 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

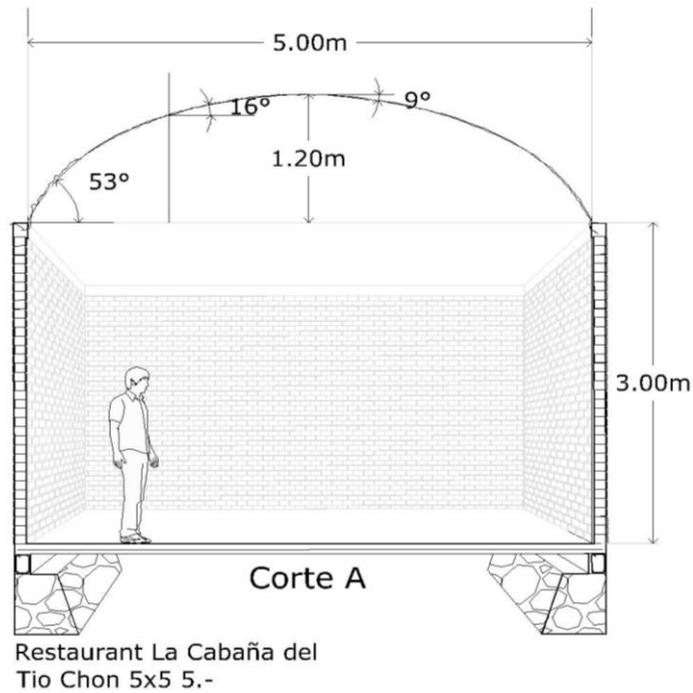


Figura 125. Corte A de Bóveda cuadrada 5 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

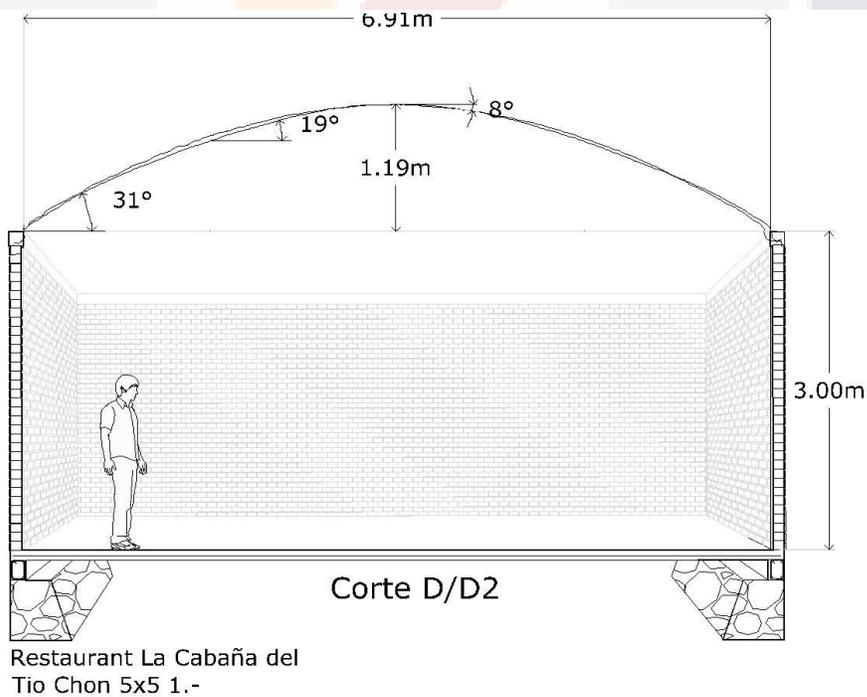


Figura 126. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 5 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

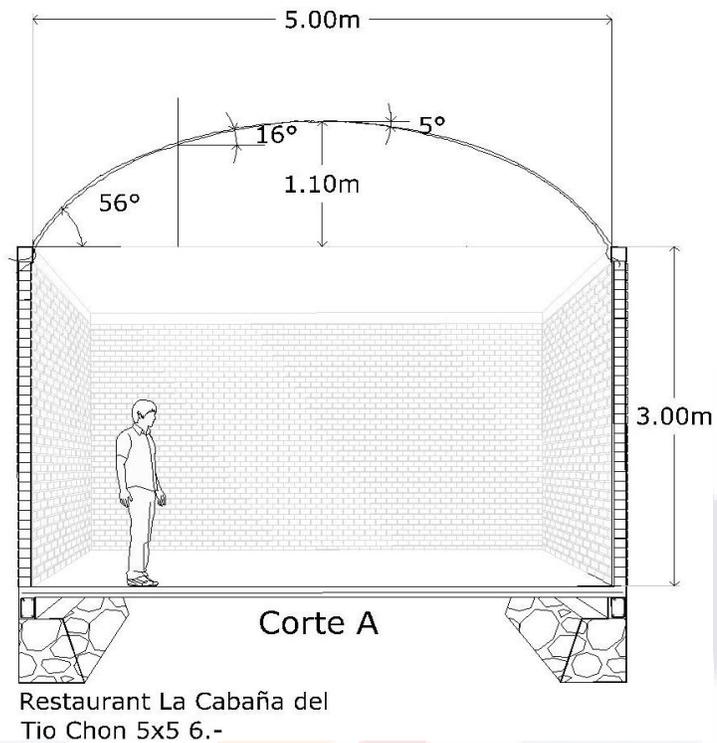


Figura 127. Corte A de Bóveda cuadrada 6 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

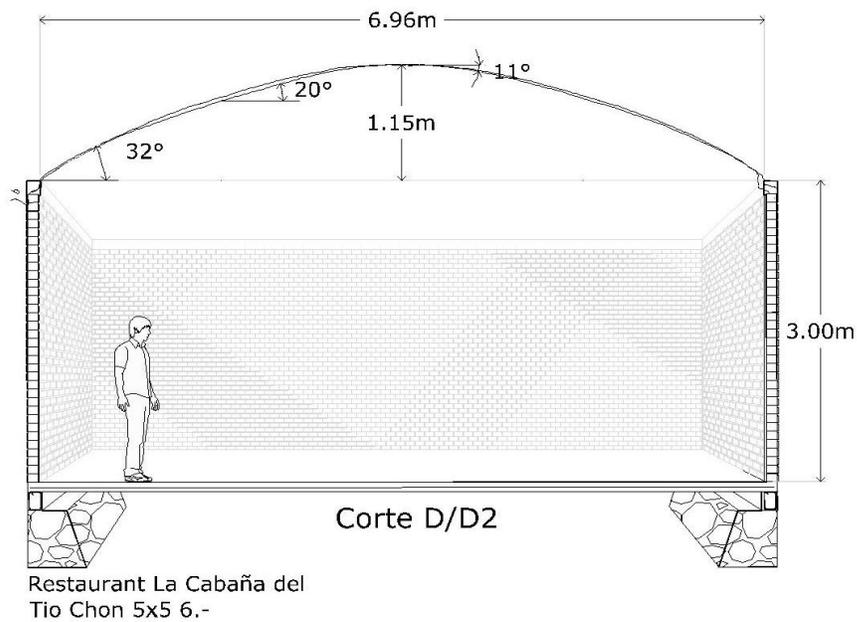


Figura 128. Corte D/D2 de Bóveda cuadrada 6 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00x5.00m

Del mismo modo que en las cuadradas se insertan capturas de un solo modelo fotogramétrico representativo de las bóvedas rectangulares del restaurante, ya que no es necesario poner de cada uno puesto que tiene las mismas medidas, los cortes si se agregarán de cada bóveda ya que presentan ciertas variaciones geométricas, variando ángulos y alturas.

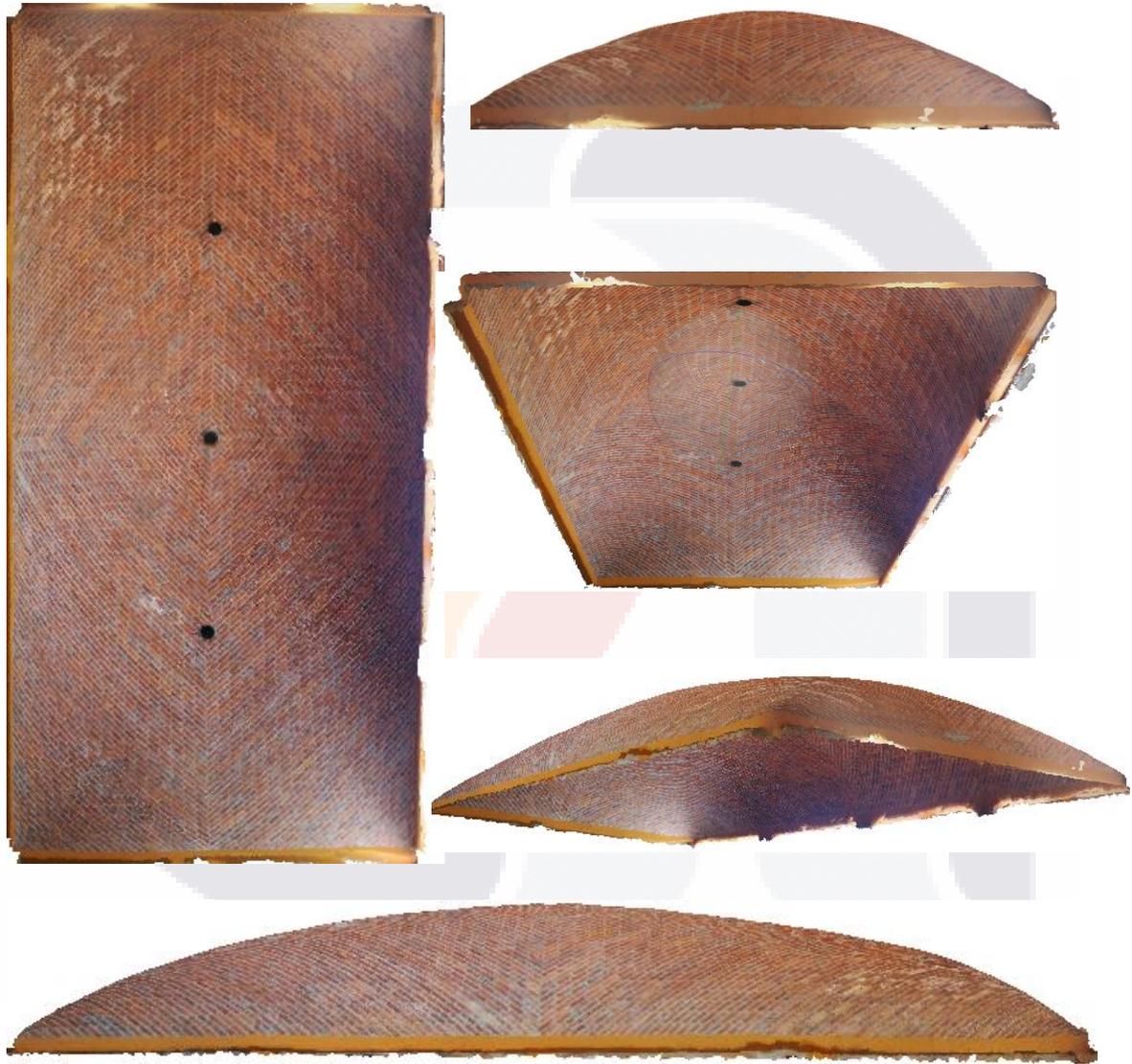


Figura 129. Modelo fotogramétrico de Bóveda rectangular del restaurante Tío Chon.

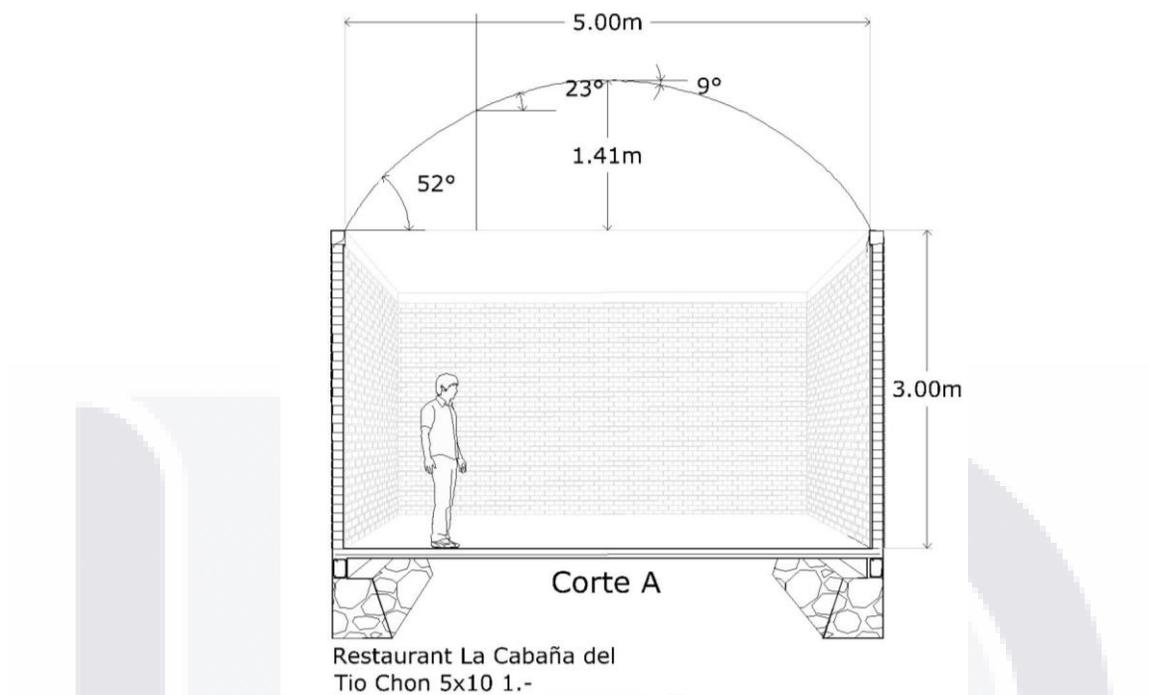


Figura 130. Corte A de Bóveda rectangular 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m

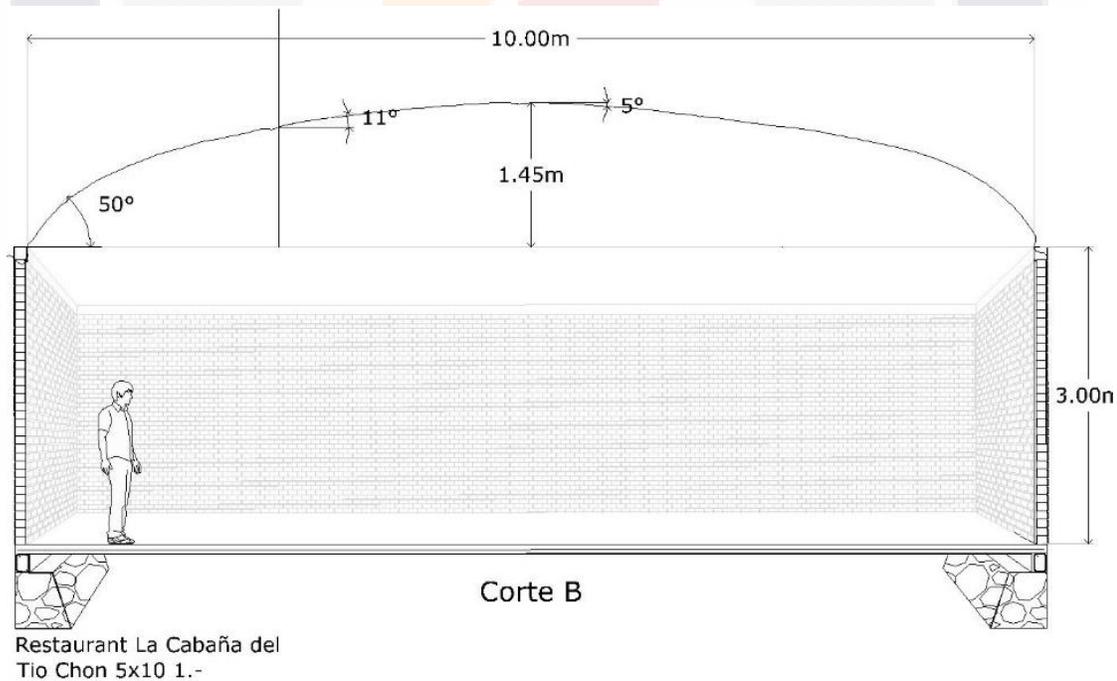


Figura 131. Corte B de Bóveda rectangular 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m

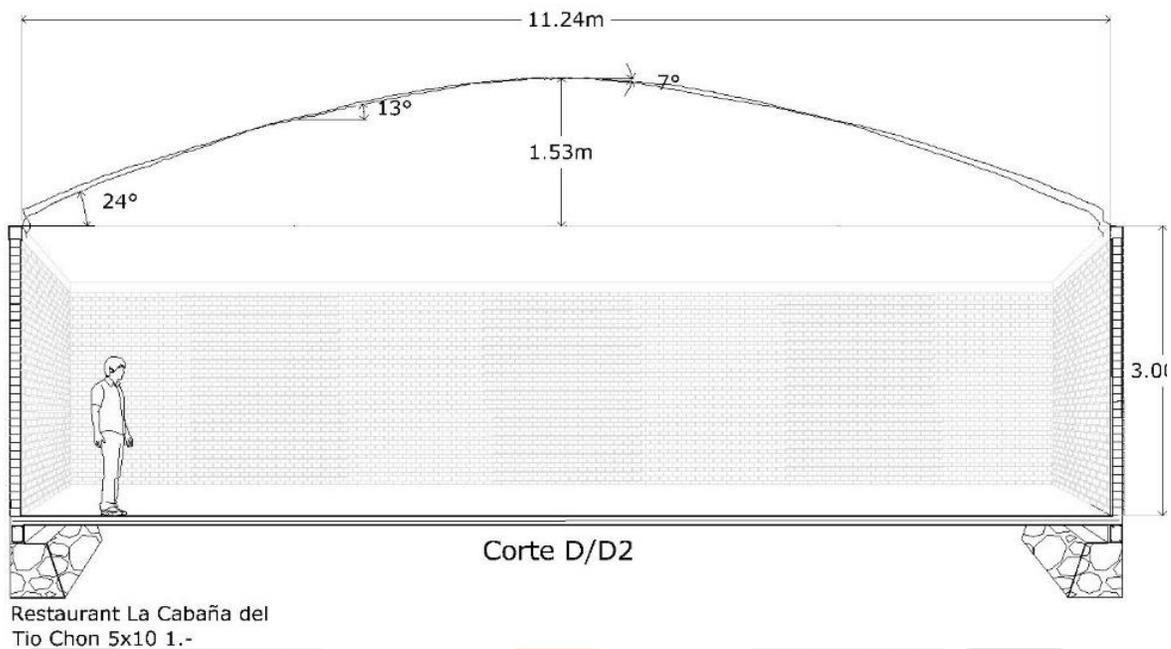


Figura 132. Corte D/D2 de Bóveda rectangular 1 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m

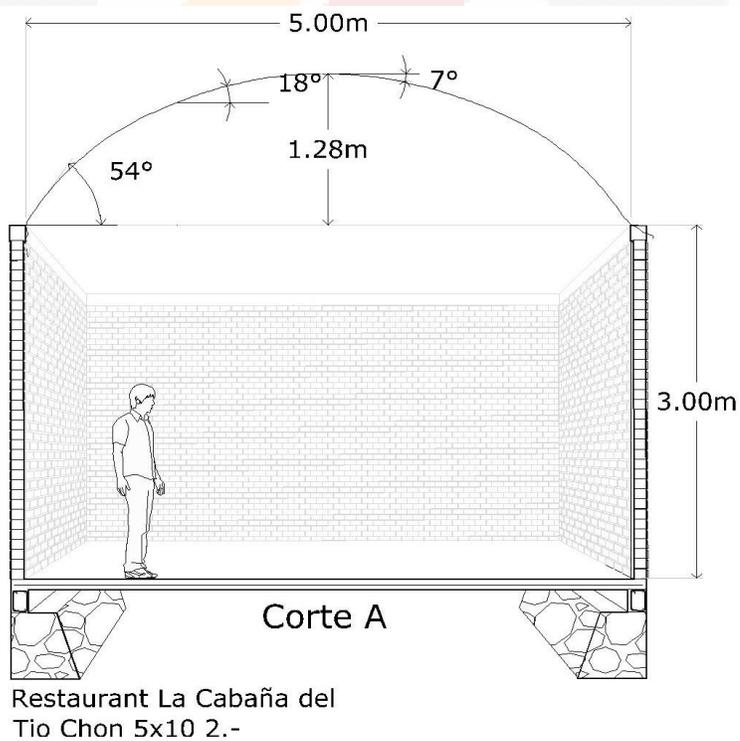
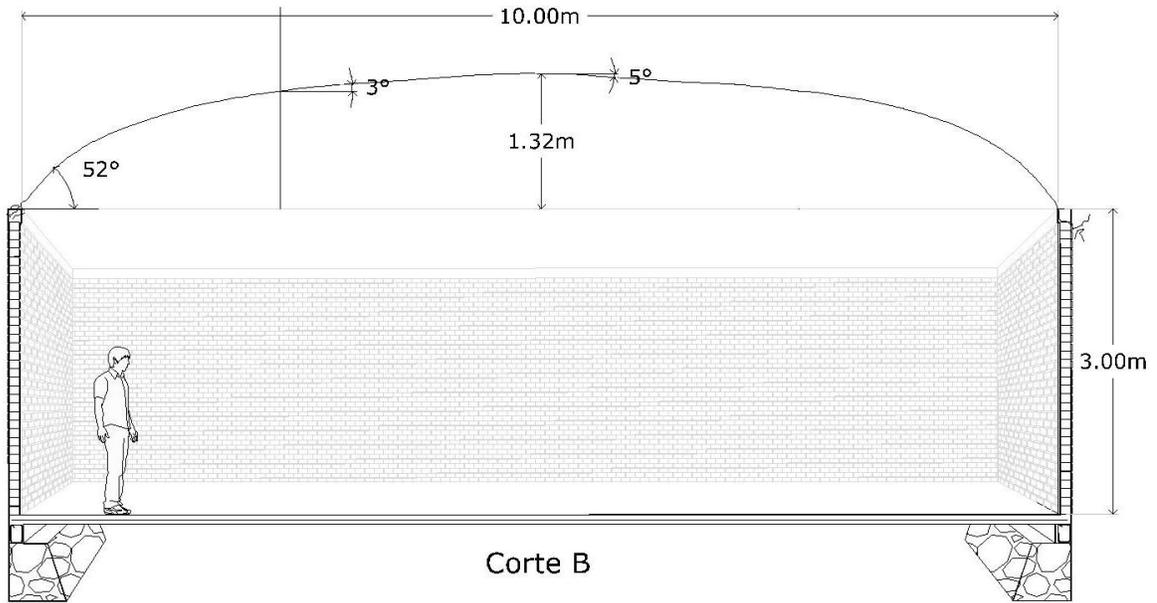
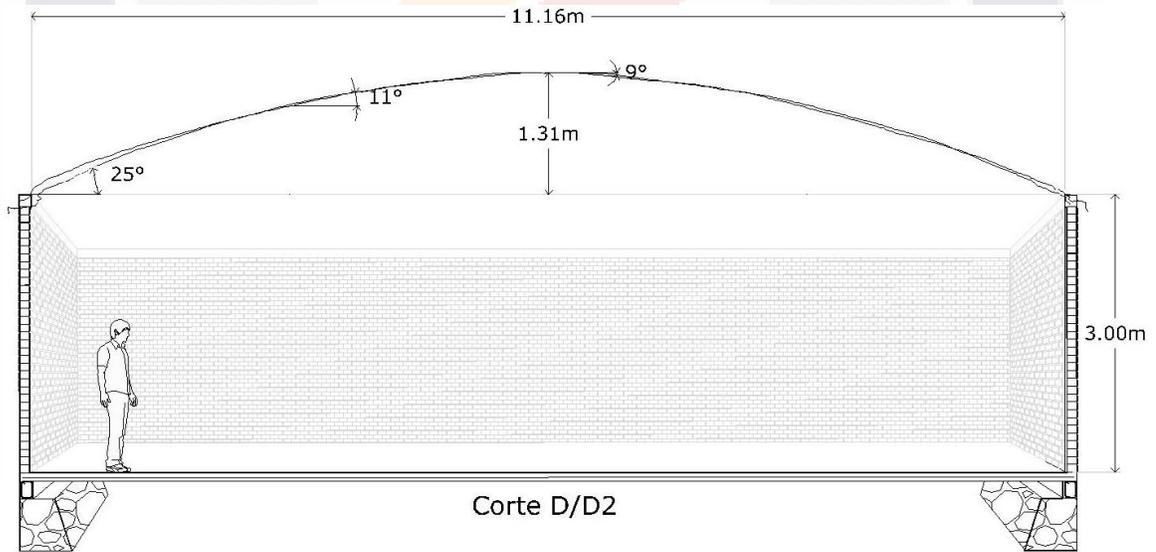


Figura 133. Corte A de Bóveda rectangular 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m



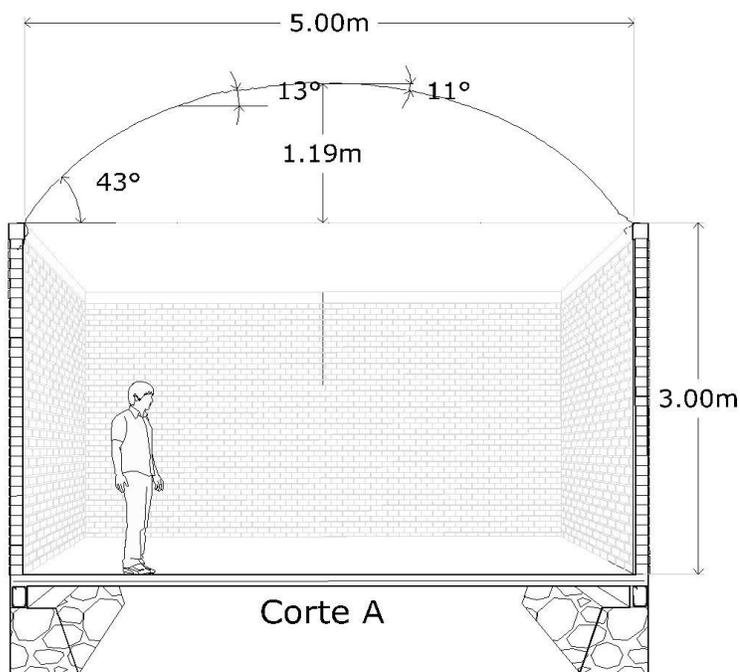
Restaurant La Cabaña del Tío Chon 5x10 2.-

Figura 134. Corte B de Bóveda rectangular 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m



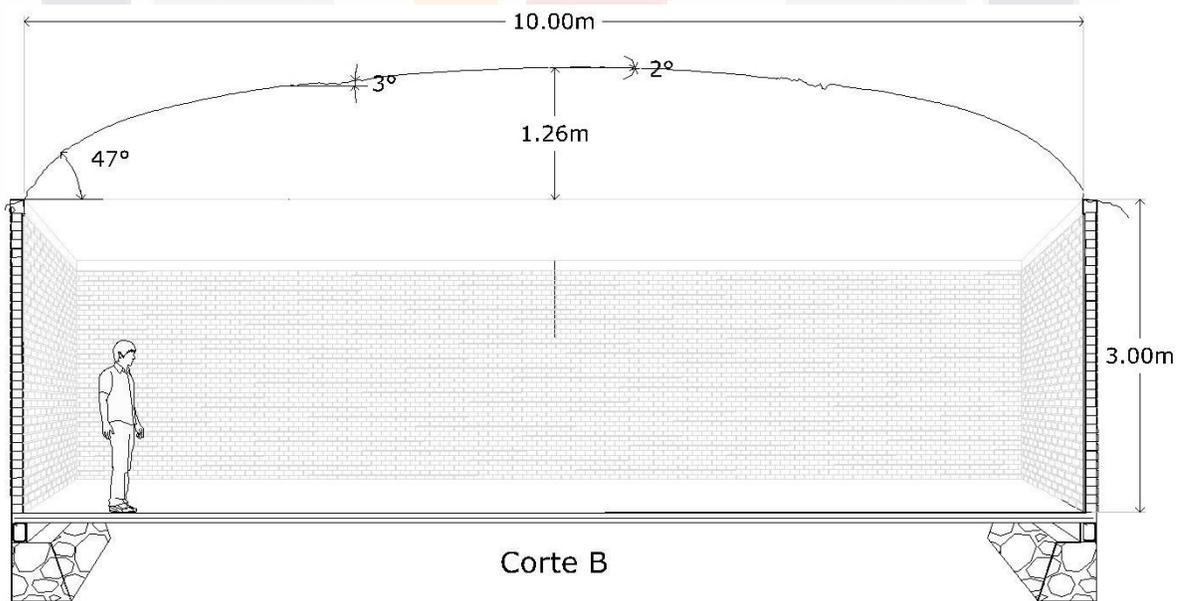
Restaurant La Cabaña del Tío Chon 5x10 2.-

Figura 135. Corte D/D2 de Bóveda rectangular 2 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m



Restaurant La Cabaña del Tío Chon 5x10 3.-

Figura 136. Corte A de Bóveda rectangular 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m



Restaurant La Cabaña del Tío Chon 5x10 3.-

Figura 137. Corte B de Bóveda rectangular 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m

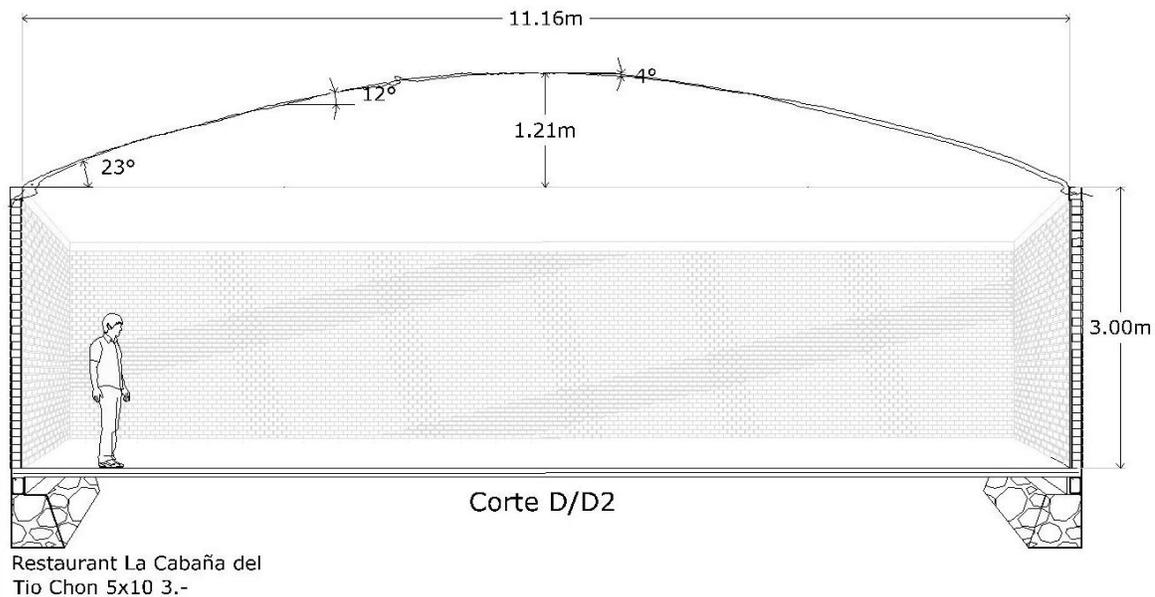


Figura 138. Corte D/D2 de Bóveda rectangular 3 del restaurante Tío Chon, con dimensiones de 5.00X10.00m

5.5 Relación de la geometría y adherencia de materiales con ángulos controlados

Se diseñó un prototipo para poder colocar cuñas a un ángulo deseado que garantizara la rigidez de estas sin dañarlas para poder reproducir la mezcla de mortero obtenida de las entrevistas a profundidad de los especialistas de la materia para juntar cuñas y observar la adherencia variando ángulos en un entorno controlado.



Figura 139. Prototipo diseñado y fabricado para observar adherencias en juntas de cuñas.



Figura 140. Cuñas juntadas en ángulo inferior a la horizontal.

CAPÍTULO

VI

**DISCUSIÓN DE
RESULTADOS**

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Entrevista en profundidad

Los integrantes que conforman el padrón con el que se trabajó durante esta tesis tienen varias cosas en común, mencionan tener entre 51 y 65 años, de modo que al menos con la gente que se tuvo el acercamiento son bovederos experimentados, en general también dicen haber empezado a trabajar en esta técnica constructiva a muy temprana edad teniendo el menor 14 años y el mayor 18, ya que este es un oficio que en su mayoría copian las nuevas generaciones de las cabezas de familia. Al obtener ese dato tan sencillo podemos darnos una idea del porque la mano de obra es tan cotizada y escasa, ya que no se ve que se esté continuando con esta línea generacional para garantizar la preservación de dicha tradición, en un apartado de la entrevista se les cuestiona si alguien más joven de la misma familia decide trabajar en este oficio, a lo cual dos responden que sí y uno dice que nadie le ha dado continuidad.

Los entrevistados en general, algunos con mayor apertura que otros externaron que el trazo de la bóveda carece de la validación de elementos geométricos, asegurando con sus propias palabras que esto se realiza a ojo o bien a sentimiento.

La herramienta requerida para la construcción de las bóvedas incluye únicamente lo básico, martillo de goma, cepillo, cuchara, palas, botes, cribas.

Se hizo énfasis con el uso del criba, ya que mencionaron que sin él no se puede trabajar ya que el espesor de las juntas sería irregular, más que necesitar un criba con una apertura en mm específica, la idea es que el material tenga siempre las mismas características.

También se dijo que la nivelación del andamiaje es clave y que cualquier alteración les genera problemas con la construcción de las bóvedas.

Mencionan haber construido bóvedas por todo el país repitiendo mayormente el modelo de esquinas, y otro que arranca en las orillas y cierra al centro, de lados le llaman, cubriendo claros que en su mayoría oscilan entre 4 y 6 metros, aunque

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

también mencionaron haber construido en alguna ocasión una bóveda de 22 m x 12m, siendo esta anterior la más grande mencionada por los entrevistados.

Con el fin de enriquecer más la investigación, aún y cuando los costos quedan fuera de los alcances de esta investigación, se les pregunto respecto a su manera de cobrar su trabajo, ellos manejan sus cotizaciones por un monto por bóveda o bien le ponen un precio al m² del elemento, dónde de manera arbitraria y a su criterio estipulan lo que consideran un precio justo evaluando diferentes variables como, el riesgo que la altura de la bóveda represente y la distancia de su hogar, a mayor distancia mayor costo.

6.2 Seguimiento a bóveda

A través del seguimiento a la bóveda en construcción a cargo del especialista Juan Ortega se pudo constatar efectivamente que la bóveda se construye en base a la experiencia adquirida por el bovedero, ya que se realizaron varias visitas sin previo aviso y jamás fue visto un elemento de trazo. Se apreció que es un trabajo que se ejecuta fuera de presiones o de programas de obra y que la gente, particularmente el bovedero tiene que estar agusto, en algunas ocasiones las visitas se realizaron sin la presencia de Juan Ortega (bovedero a cargo) debido a que el clima resultaba no ser favorable para realizar su labor o simplemente decidió que ese día no estaba de humor, siempre mencionó que cuando no trabaja cómodo las bóvedas no le cierran bien, entonces evita las situaciones de estrés

Esta bóveda es conocida como bóveda de esquinas, que como su nombre lo dice toma las 4 esquinas para irse trabajando, teniendo entonces 4 orígenes y un cierre al centro

Proceso de construcción de bóveda observado.

Se coloca la primera cuña en la esquina con un poco de inclinación, el ángulo lo determina el especialista en la materia de acuerdo con su experiencia, no se rige en ningún instrumento de precisión para el arranque.

La colocación de los andamios se realiza en el sentido corto de la bóveda para que permita pegar cuña en dos de las 4 esquinas.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Después se continúa con la colocación de las siguientes hiladas que, en un inicio, cada hilada tiene su origen en el cerramiento mismo o estructura donde se apoya a bóveda.

En las hiladas siguientes, al dar avance en cada esquina comenzarán a rematarse a las hiladas en con las mismas de la otra esquina, sucede primero esto en lado corto y eventualmente en el lado largo.

Durante el proceso de la construcción de la bóveda es necesario mover los andamios para trabajar ambas esquinas sin que se vayan atrasando, es decir, se coloca el andamio en lado corto y se trabajan dos esquinas por 2 o 3 días, y después se recorre al otro extremo para realizar la misma operación.

Juan ortega menciona que realiza así el trabajo para no pasarse la mitad de la bóveda en los ejes largos ya que debe empatar justo en la mitad, estas fueron las únicas señas que se vieron sobre los cerramientos, indicando el para su trazo la mitad en cada uno de los 4 lados, siendo la referencia de donde va a cerrando.

Cada que movía los andamios se tomaba muy en serio la tarea de dejarlos bien nivelados me comentó en reiteradas ocasiones que si no está a nivel el andamio toda su perspectiva cambia y la bóveda no le queda, mencionó que hace muchos años en sus inicios una esquina no le daba y era porque precisamente estaba mal el piso y sus andamios quedaban mal, arrastrando esos errores al trazo de la bóveda, la tumbo 2 veces y a la tercera ocasión resulto esa esquina de su agrado.

Se equipo de trabajo fue muy simple, dos auxiliares y él, lo apoyaban con hacer la mezcla del mortero y con la elevación de los materiales, además de que cuando Juan ortega cambiaba de esquina era tarea de los auxiliares chulear la boquilla de dándole un acabado estético.

6.3 Caracterización de materiales

6.3.1 Cuñas

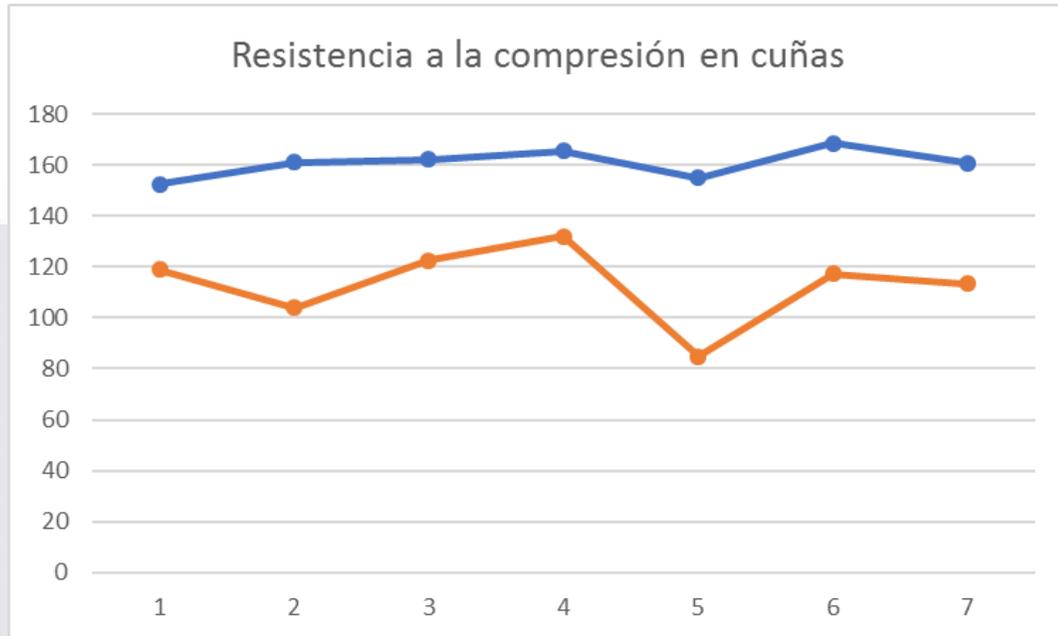


Figura 141 Resistencia ala compresión

Se analizaron dos lotes de cuñas elaboradas en unas tabiqueras en San miguel del Cuarenta, es una ranchería perteneciente al municipio de Lagos de Moreno Jalisco, se puede observar como el lote representado en la gráfica con la línea azul presenta una mayor uniformidad además de una resistencia más alta promediando 160.85 kg/cm².

6.3.2 Mortero

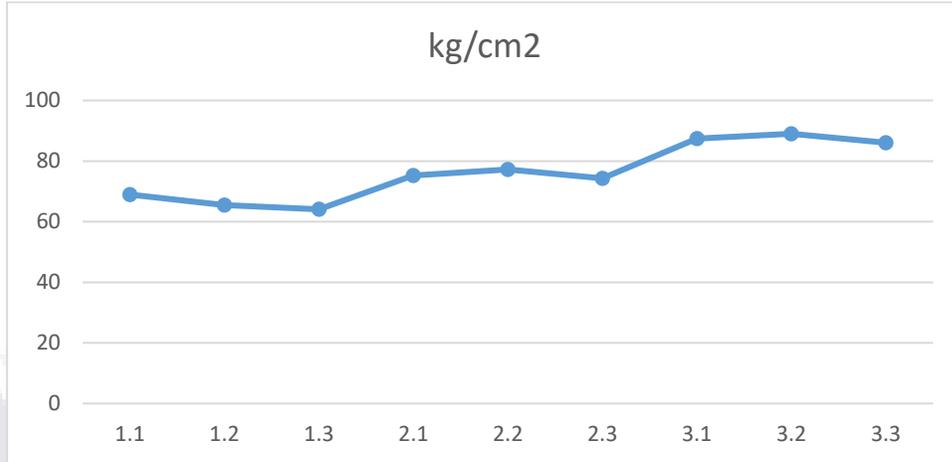


Figura 142 Resistencia a la compresión mortero

Se llevaron a campo los moldes para hacer los cubos de 5 cm que sirvieron como probetas para analizar la resistencia del mortero a 7, 14 y 28 días obteniendo de esta prueba la resistencia a compresión que resulta del promedio de los 3 especímenes ensayados en las fechas anteriormente mencionadas, siendo 66.13 kg/cm² a 7 días, 75.58 kg/cm² a 14 días y 87.49 kg/cm² a 28 días.

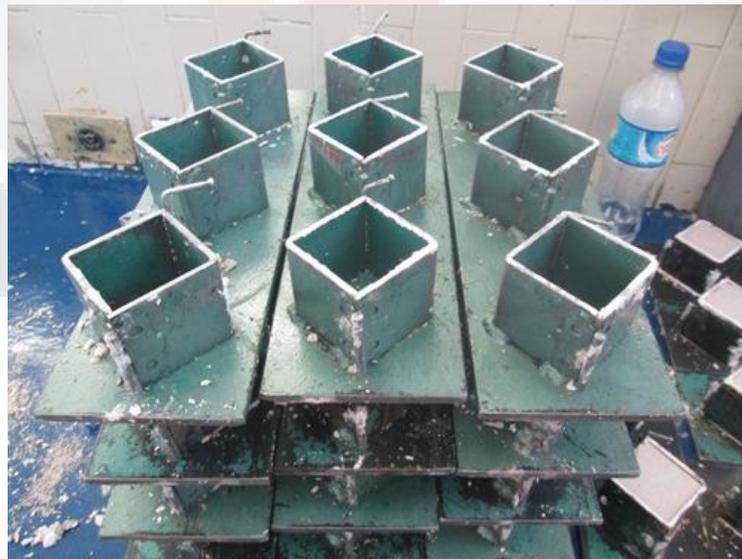


Figura 143 Moldes utilizados para el ensaye de cubos de mortero

6.4 Fotogrametría

Tabla 19 Datos geométricos obtenidos mediante fotogrametría digital a corto rango

	1						
	No. de corte	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
	1	A	5.7	1.24	42°	25°	11°
	2	B	6	1.24	42°	14°	11°
3	D	7.75	1.24	27°	15°	11°	
Consortio Nu3	2						
	No. de corte	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
	4	A	5.7	1.12	49°	22°	9°
	5	B	6	1.11	41°	14°	9°
	6	D	7.31	1.11	28°	20°	9°
	3						
	No. de corte	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
	7	A	5.7	1.19	43°	19°	9°
	8	B	6	1.18	42°	19°	7°
	9	D	7.54	1.15	23°	14°	8°
	4						
	No. de corte	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
	10	A	5.7	1.06	41°	11°	6°
11	B	6.15	1.08	37°	15°	5°	
12	D	7.52	1.08	27°	14°	7°	
5							
No. de corte	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
13	A	5.7	1.1	49°	8°	5°	
14	B	6.15	1.07	42°	12°	8°	
15	D	7.63	1.09	26°	12°	6°	
Josefina	SALA						
	No. de corte	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
	16	A	4	1.09	61°	13°	14°
	17	B	4.2	1.12	61°	15°	6°
18	D	5.74	1.01	43°	14°	6°	
Alfons o Mena	SALA						
	No. de corte	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3

Lucía G.H.	19	A	3.1	0.57	34°	8°	4°	
	20	B	4.4	0.49	46°	1°	0°	
	21	D	5.4	0.59	28°	8°	2°	
	No. de corte COCINA							
		CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
	22	A	4.4	0.69	36°	11°	7°	
	23	B	4.65	0.74	60°	-3°	0°	
	24	D	6.25	0.71	23°	8°	2°	
	No. de corte HABITACIÓN							
		CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
	25	A	4.4	0.93	41°	16°	11°	
	26	B	5.6	0.83	70°	-2°	4°	
	27	D	6.84	0.92	23°	15°	8°	
	No. de corte HABITACION 2							
		CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
	28	A	4.4	0.62	32°	9°	7°	
	29	B	5.1	0.65	40°	1°	4°	
	30	D	6.7	0.67	19°	9°	8°	
	No. de corte PASILLO							
		CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
	31	A	2.55	0.39	24°	9°	0°	
	32	B	4.4	0.41	25°	2°	2°	
	33	D	5.06	0.46	17°	7°	1°	
	No. de corte ESCALERAS							
		CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
	34	A	2.15	0.42	31°	9°	5°	
	35	B	3.3	0.38	24°	10°	-2°	
	36	D	3.98	0.45	18°	14°	3°	
	No. de corte RECAMARA							
		CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
	37	A	4.1	1.1	63°	9°	-4°	
38	B	4.9	1.13	62°	6°	1°		
39	D	6.28	1.09	44°	13°	-4°		
Chon nt Tio Restaura	No. de corte 1- (CUADRADA)							
		CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3	
40	A	5	1.21	55°	13°	8°		

41	D	7.09	1.2	25°	18°	7°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
42	A	5	1.09	54°	13°	10°
43	D	6.96	1.13	29°	18°	9°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
44	A	5	1.14	52°	19°	13°
45	D	6.98	1.19	28°	14°	11°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
46	A	5	1.14	52°	19°	13°
47	D	7.01	1.15	28°	15°	8°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
48	A	5	1.2	53°	16°	9°
49	D	6.91	1.19	31°	19°	8°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
50	A	5	1.1	56°	16°	5°
51	D	6.96	1.15	32°	20°	11°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
52	A	1.85	0.58	60°	24°	9°
53	B	3.85	0.59	50°	8°	1°
54	D	4.25	0.62	27°	6°	4°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
55	A	1.85	0.46	48°	23°	15°
56	B	3.85	0.48	44°	5°	1°
57	D	4.21	0.48	21°	10°	6°
No. de corte						
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
58	A	5	1.41	52°	23°	9°
59	B	10	1.45	50°	11°	5°
60	D	11.24	1.53	24°	13	7°

No. de corte		RECAMARA 2				
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
61	A	5	1.28	54°	18°	7°
62	B	10	1.32	52°	3°	5°
63	D	11.16	1.31	25°	11°	9°
No. de corte		RECAMARA 3				
	CORTE	CLARO	PERALTE	α_1	α_2	α_3
64	A	5	1.19	43°	13°	11°
65	B	10	1.26	47°	3°	2°
66	D	11.16	1.21	23°	12°	4°

Para poder realizar comparaciones se ha tomado el valor máximo de cada criterio y se ha dado una nueva ponderación, el máximo toma el valor de 1 y se va dividiendo el valor de la tabla entre el máximo, siendo entonces los nuevos valores una fracción del valor más alto en cada criterio, esto es debido a que no se pudo observar una correlación en ninguna de las características si se dejan los valores obtenidos, por tomar un ejemplo, al realizar un gráfico comparativo entre el peralte, cuyos valores oscilan entre 0.38 m y 1.53 m, y el área de las bóvedas con valores de entre 7.1 m² y 50 m², entonces se grafican fracciones del valor máximo obtenido en la campaña de fotogrametría. Para la correcta interpretación de las gráficas se han enumerado los cortes en la tabla anterior.

6.4.1 Comparación Peralte en función del área de la bóveda

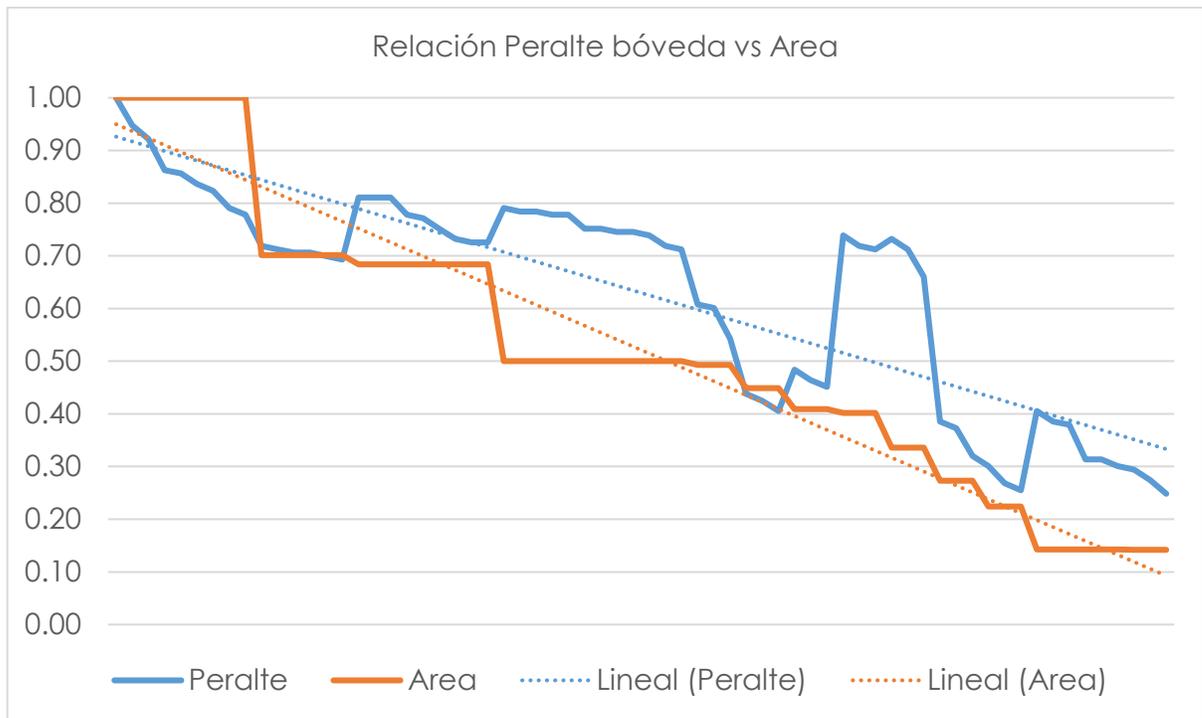


Figura 144 Peralte vs Área

6.4.2 Comparación Peralte en función del área de la bóveda agrupado por mano de obra

Algunas bóvedas analizadas fueron construidas por la misma mano de obra, las que ese encuentran en el rancho de Alfonso Mena son de hace muchos años, pero se cree fueron elaboradas por una misma cuadrilla, el conjunto de bóvedas que se encuentran en el Consorcio Nu3 fue confirmado que se elaboraron por una misma mano de obra, y por último la techumbre del restaurant de mariscos Tío Chon cuenta con un total de 11 bóvedas de construcción reciente, fueron edificadas entre 2007 y 2009 por una misma cuadrilla. Es por eso por lo que se realiza esta comparativa que permite visualizar la uniformidad de la mano de obra.

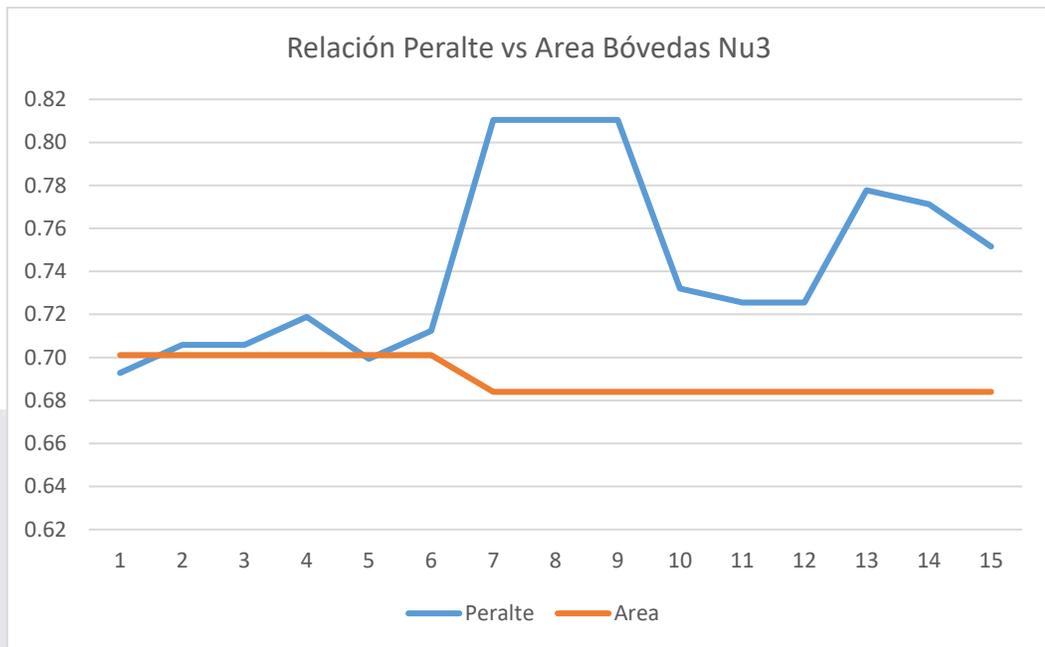


Figura 145 Peralte vs Área Consorcio Nu3

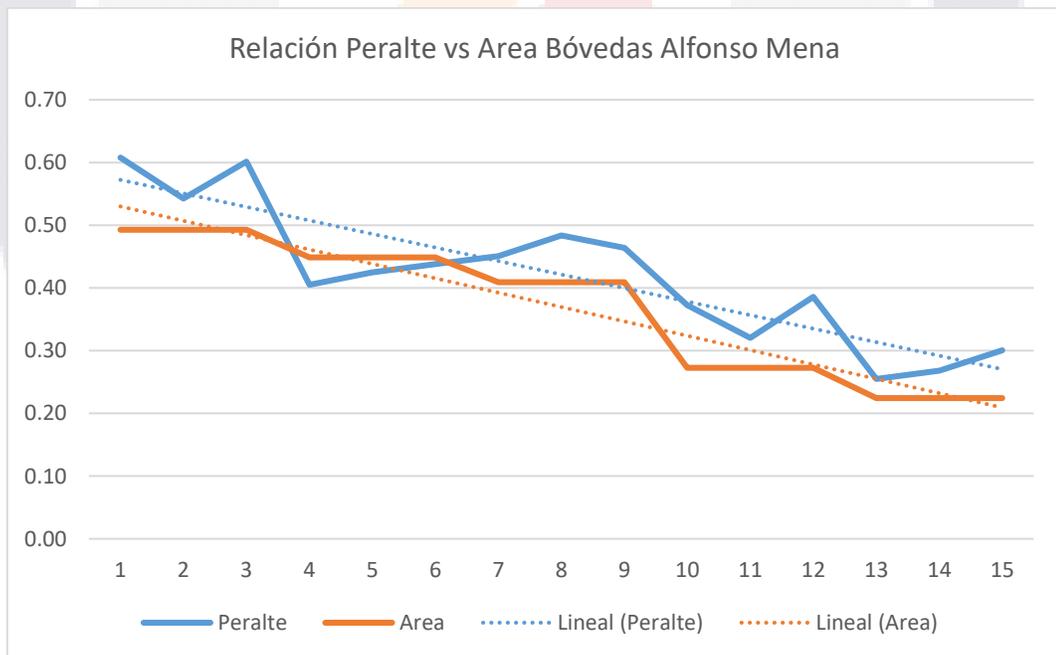


Figura 146 Peralte vs Área Alfonso Mena

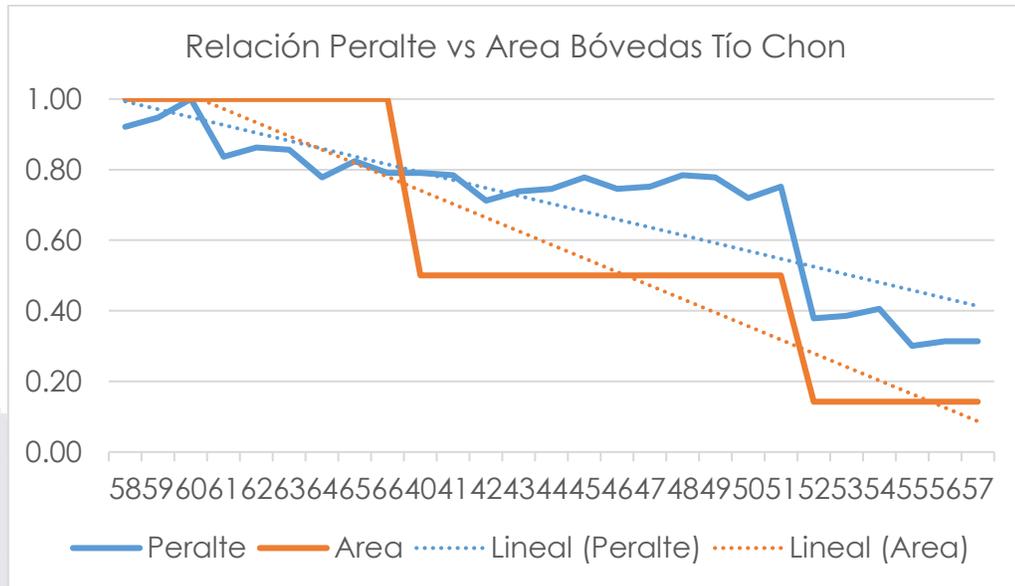


Figura 147 Peralte vs Área Tío Chon

Se puede observar en el gráfico de las bóvedas del consorcio Nu3 no hay una relación entre el área y el peralte, es decir el peralte fluctúa entre bóveda y bóveda de manera independiente aún y cuando algunas conservan la misma área no comparten peralte, por tanto no hay una relación, caso diferente a lo que se puede apreciar en las gráficas de las bóvedas del Tío Chon que si bien no son unas paralelas, las líneas de tendencia nos dejan ver que a mayor área mayor peralte, mientras que en el grupo de bóvedas que se encuentran dentro del casco de la hacienda de Alfonso Mena las líneas de tendencia que arrojan los datos dejan ver prácticamente unas paralelas, siendo estas las bóvedas más antiguas analizadas dentro de esta investigación, aun así mantienen un criterio más uniforme.

6.4.3 Comparación Peralte en función del ángulo

6.4.3.1 Comparación en función con el Angulo de arranque

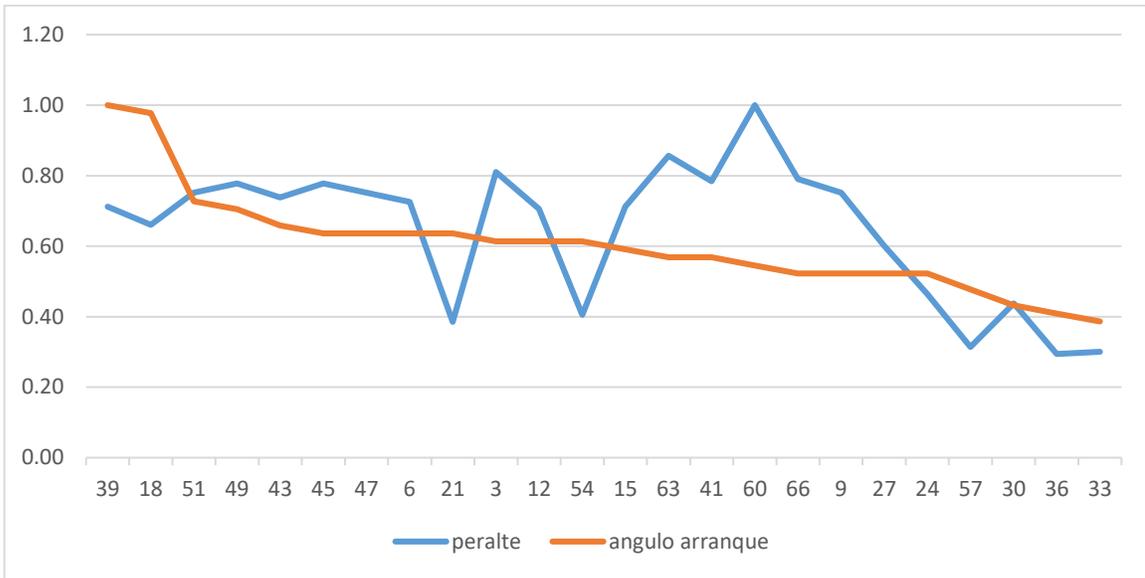


Figura 148 Peralte en función al ángulo [LMHG1] de arranque

6.4.3.2 Comparación Peralte en función del ángulo medio

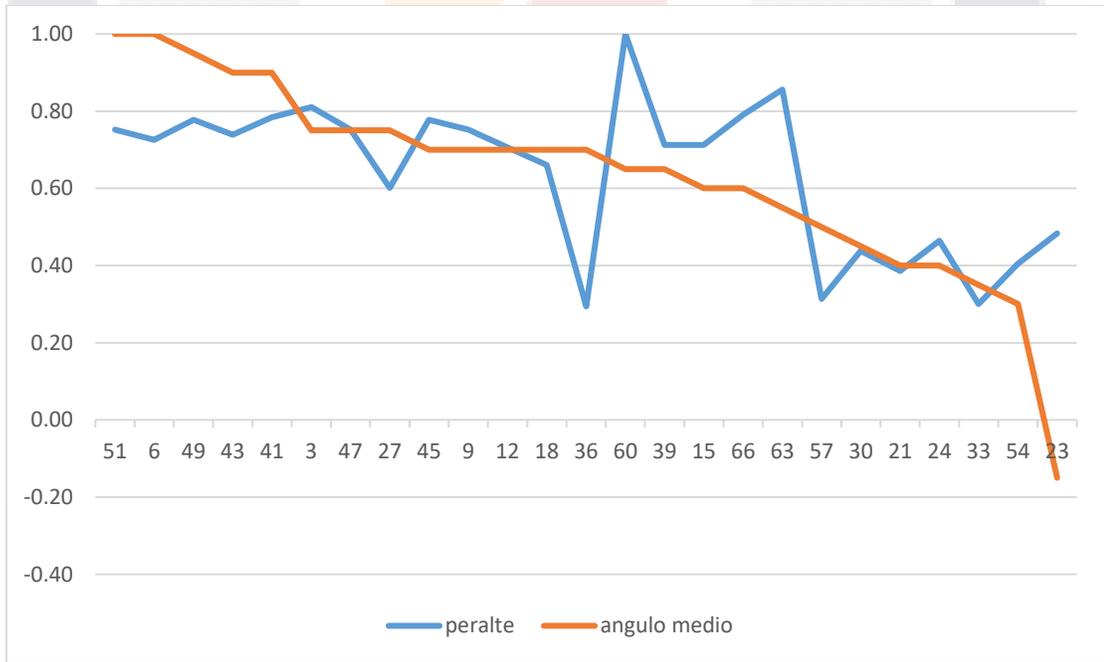


Figura 149 Peralte en función Angulo medio

6.4.3.3 Comparación Peralte en función del ángulo de cierre

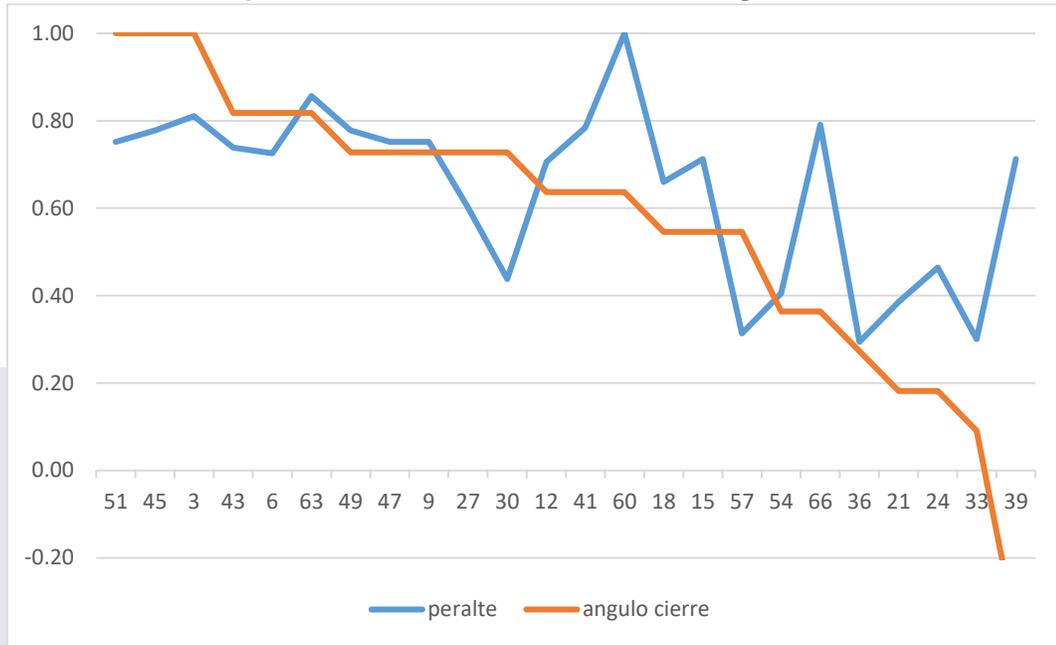


Figura 150 Peralte en función del ángulo de cierre

Se realizaron las tablas comparativas con los datos obtenidos por fotogrametrías para ver si apreciaba una correlación entre el peralte de la bóveda y sus ángulos de inclinación, la comparativa se realizó graficando Peralte en función de los ángulos tanto de arranque, como medio y de cierre y no se encontró un comportamiento que los vinculo, parece ser que son dos variables independientes,

6.5 Relación de la geometría y adherencia de materiales con ángulos controlados

La prueba se hace para vincular la información obtenida con la fotogrametría, y la parte de la caracterización de los materiales, se replica la dosificación de mortero indicada por los especialistas durante las entrevistas a profundidad, misma que fue verificada durante el seguimiento de la bóveda seleccionada a cargo de Juan Ortega.

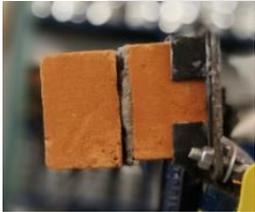
Se colocó el artefacto y se fueron variando los ángulos con respecto a la horizontal, haciéndolos cada iteración más críticos. En la siguiente tabla se describen ángulos ensayados y la cantidad de piezas que se juntaron, en algunos casos se pegaban

3 para provocar fallo, se le daban unos minutos para juntar la tercera pieza después de la segunda. Cabe aclarar que nunca falló.

Tabla 20 Variación en ángulos para prueba

Ángulo con respecto a la horizontal	Cantidad de piezas pegadas	Resistió
51	2	X
49	2	X
31	2	X
22	3	X
12	2	X
2	3	X
-5	3	X

Tabla 21 Variación de ángulos máximos

Modelo	Ángulo	Modelo	Ángulo
	51°		-5°
	41°		-5°
	2°		
	2°		

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS



CAPÍTULO

VII

CONCLUSIONES

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

CAPITULO VII: CONCLUSIONES

7.1 Conclusión General

En la presente tesis se caracterizaron los procesos constructivos de las bóvedas particularmente de dos acciones propias de la campaña experimental, la primera es las entrevistas a profundidad dónde los integrantes del padrón de especialistas de la materia acceden amablemente a tener una amplia conversación con respecto a su oficio, en un inicio se pretendió entrevistar bovederos de toda la región Altos Norte Jalisco, esto fue modificado al ir avanzando la investigación ya que la mano de obra se encuentra mayormente aunque no de manera exclusiva en Lagos de Moreno, incluso algunos que radican en otros municipios cercanos reconocen tener un origen ascendente en el municipio.

De esta manera también se procedió a caracterizar los materiales recurriendo a los bancos mencionados por los expertos en la materia, aclarando que su capacidad constructiva no se ve limitada a este tipo de piezas de mampostería ya que durante su trayectoria y de manera esporádica han construido algunas con otro tipo de material por ejemplo cántaro de barro.

Para las geometrías de las bóvedas se ejecutó la técnica de fotogrametría digital a corto rango ya que en un inicio se incorporaría solo para ver que tan bien funcionaba en este tipo de techumbres, pero al ejecutar los primeros modelos se observó que era la técnica más adecuada para su análisis geométrico y así se procedió. Con la información generada se puede dar de manera futura origen a una reglamentación que proteja la tradición constructiva evitando su pérdida en el tiempo.

7.2 Conclusiones Particulares

- A. Al realizar la investigación del estado del arte se pudo observar que, si existe información de las bóvedas, pero en lo general se encontró su documentación a lo largo de la historia y cómo van variando, se encontró descripciones de las formas de las bóvedas y de los elementos que las conforman, pero de la bóveda Laguenses de manera particular no se

encontró nada de información, así como tampoco se vio ningún análisis o recopilación de características geométricas.

- B. Se conformó un padrón de mano de obra especializada el cual fue medular en la investigación, ya que de una u otra manera fueron guiando la investigación con la información que brindaban, compartiendo conocimiento sus proveedores de materiales, dosificaciones de mortero y vivencias en relación con su oficio.,
- C. Se logró caracterizar a la perfección los materiales en laboratorio, realizando pruebas de absorción, resistencia a compresión, densidad, entre otras en cuñas y el análisis de la resistencia en los morteros utilizados en el junteo de las piezas de mampostería, tomando muestras representativas de campo con material que en su momento se estaba utilizando para pegar cuña.
- D. Se analizó la geometría de las bóvedas mediante fotogrametría, en un inicio se planteó analizar bóvedas ejecutadas personalmente por los elementos que conformaban el padrón, conforme se fue avanzando en la investigación se decidió tomar conjuntos de bóvedas elaboradas por la misma mano de obra, para poder realizar comparaciones entre ellas, ya que el hecho de analizar bóvedas aisladas no permite generar criterios en sus geometrías.
- E. No fué posible elaborar un manual de recomendaciones técnicas ya que los elementos o creiterios de trazo se basan en la experiencia de los especialistas en la materia y no parten de un criterio propiamente geométrico. Para poder lograr un manual probablemente sea necesario crear una base de datos más extensa y generarlo a partir d estadística

7.3 Nichos de Investigación

- A. Se deberá realizar una investigación relativa que incluya exclusivamente el análisis geométrico de bóvedas permitiendo crear una base de datos mucho más amplia para dar pie a la creación de un manual de

recomendaciones técnicas y posteriormente poder crear una normativa o reglamentación

- B. El análisis estructural y el comportamiento de las bóvedas sometidas a cargas quedaron fuera de los alcances de investigación permitiendo un trabajo posterior complementario enfocado al análisis de fuerzas.



BIBLIOGRAFÍA

- Adell, J. M. (2005). Luis Moya y las bóvedas tabicadas en la posguerra española. *Informes de construcción*, 25-29.
- Arnaldos Montaner, A. (2014). Antonio Bonet Castellana, Le Corbusier y la bóveda catalana: forma y orden. *Revista de Arquitectura / Journal of Architecture*, 122-135.
- C. N., & Faria, O. B. (2011). *Técnicas de constriccion con tierra*.
- Cardenal Escarcena, J., Mata de Castro, E., Pérez García, J. L., Mozas Calvache, A., Fernández del Castillo, T., Delgado García, J., & Ureña Cámara, M. (2010). TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS Y DE ESCÁNER LÁSER vTERRESTRE APLICADAS A LA DOCUMENTACIÓN Y VALORACIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO. *1st International Congress on Unified and Multipurpose Cadastre*, (pág. 12).
- Carmona Barrero, J. D. (2005). Normalización del proceso constructivo de la bóveda tabicada extremeña. *I JORNADAS DE INVESTIGACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN*, 1-15.
- Carmona Barrero, J. D. (2011). *LA CASA ABOVEDADA. Evolución de los espacios domésticos tradicionales en la Baja Extremadura*. Consejo Regional de Investigación y Divulgación.
- Carmona, J. (2003). Influencia das técnicas construtivas tradicionais portuguesas na. *Tercer Encontro sobre conservação e reabilitação de edificios. Vol 2.*, 867-874.
- Contreras, M. S. (2016). El sistema Guastavino en México: las obras de un empresario moderno de la construcción en tiempos porfirianos. *Boletín de monumentos históricos*, 77-96.
- Figueroa, M. A. (2016). *Evaluación y calibración de las técnicas de fotogrametría*. Aguascalientes, Mexico.

- García Gómez, N. (2012). Trazo de las bóvedas de nervaduras mexicanas del siglo XVI. *Revista de Arquitectura [en línea]*, 106-115.
- García Muñoz, J., & Beltrán Fernández, M. d. (2014). La prefabricación de bóvedas de ladrillo. Una utopía. *Rita_*, Vol 1, 92-99.
- González, Luis, J., Casals, A., Sanmartí, C., & Onecha, B. (2011). Los sistemas de estribado de las bóvedas tabicadas del hospital de Sant Pau Barcelona: tirantes, zunchos y pórticos. *Actas del séptimo congreso internacional de historia de la construcción*, (págs. 583-592). Barcelona.
- Guerrero B, L. (2007). *Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hanke, K. O. (2002). An Example for the Restitution and Visualization of Cultural Heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 530-533. .
- Huerta Fernández, S. (2001). La mecánica de las bóvedas tabicadas en su contexto histórico la aportación de los Guastavino. En S. Huerta Fernández, *Las bóvedas de Guastavino en América* (págs. 87-112). Madrid.
- Huerta Fernández, S. (2001). MECANICA DE LAS BÓVEDAS DE LA CATEDRAL DE GERONA . 179-204.
- Huerta, S. (2004). *Arcos bóvedas y cupulas, Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- López López, D. (2012). *Análisis estructural de bóvedas tabicadas: Estudio histórico, analítico y experimental para la determinación de la influencia en la resistencia y estabilidad de bóvedas tabicadas de diferentes variables constructivas*. Cataluña: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
- Moseley, H. (1843). *The theory, practice and architecture of bridges*. London: J. Weale, 1-72.
- Moya Blanco, L. (1947). *Bóvedas tabicadas*. Madrid.

- Navarro Fajardo, J. C. (2004). *Bóvedas valencianas de crucería de los siglos XIV al XVI. Traza y monte*. Valencia: Servei de Publicacions.
- Pavón Maldonado, B. (s.f.). *BÓVEDAS Y CÚPULAS EN LA ARQUITECTURA ÁRABE DE OCCIDENTE. INVENTARIO Y REIVINDICACIÓN*. madrid.
- Pizarro Juanas, M. J., & Rueda Jiménez, Ó. (2013). Una nueva expresividad de las bóvedas tabicadas. *Las Escuelas Nacionales de Arte de La Habana. Arquitectura y Urbanismo*, 73-86.
- Ponce, A. R. (2014). Cubiertas de ladrillo recargado. *Arquitectura propia*.
- Rodríguez Haro, E. (2016). *Caracterización del comportamiento físico-mecánico de morteros de cal hidratada dosificados con aditivos orgánicos*. Aguascalientes: Universidad Autonoma de Aguascalientes.
- TAYLOR, S., & BOGDAN, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: La búsqueda de significados*. Paidós Básica.
- Torres Balbás, L. (1946). Bóvedas romanas sobre arcos de resalto. *Archivo Español de arqueología*, 173-208.
- Turismo, S. d. (03 de Noviembre de 2014). *SECRETARÍA DE TURISMO*. Obtenido de <http://www.sectur.gob.mx>
- Vázquez de la Torre, G. M., & Cardenas, R. M. (2013). EL TURISMO RELIGIOSO EN LOS ALTOS DE JALISCO, MÉXICO, COMO ALTERNATIVA PARA SU DESARROLLO: UN ANÁLISIS FODA. *TURyDES Revista de investigación en turismo y desarrollo social*.