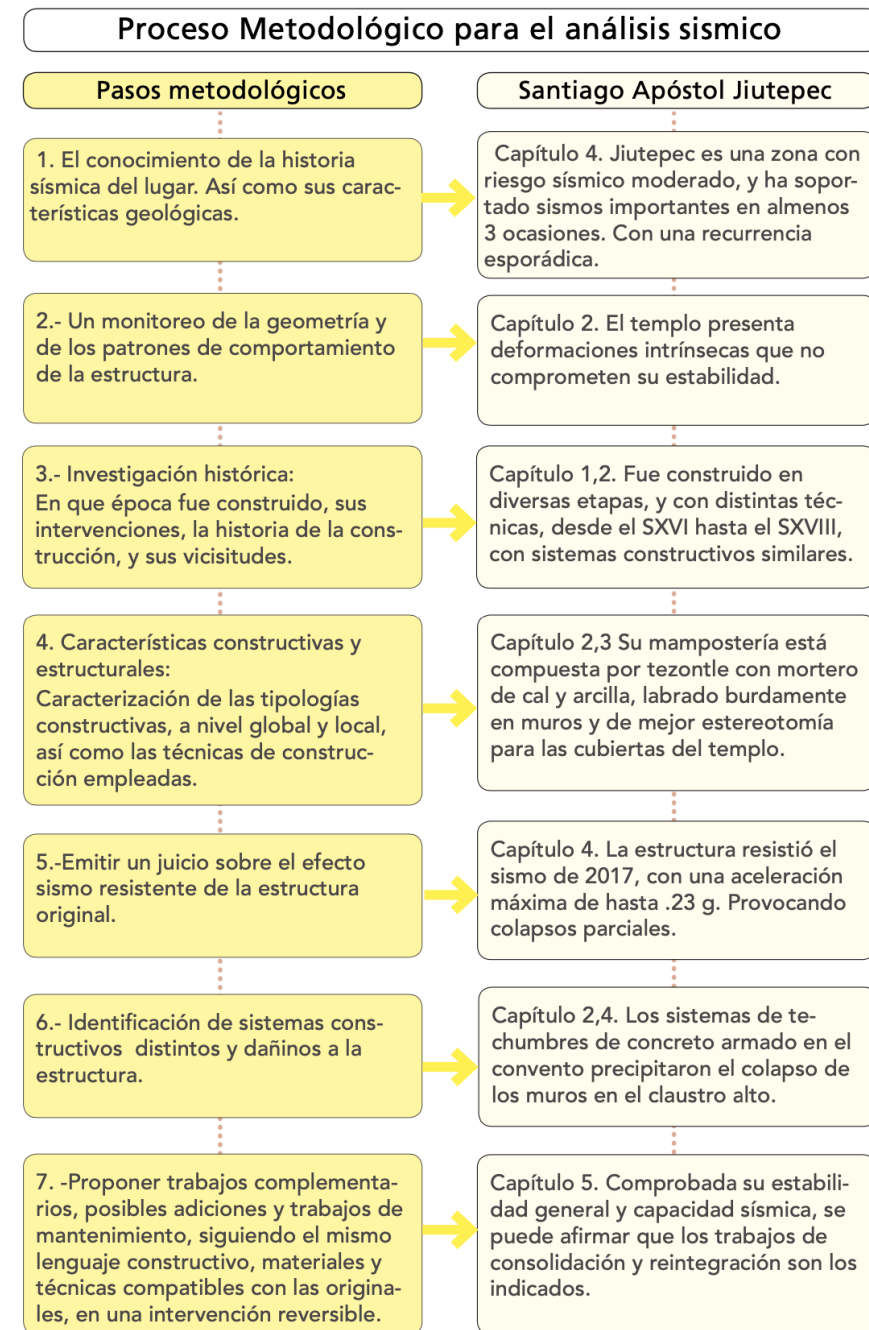
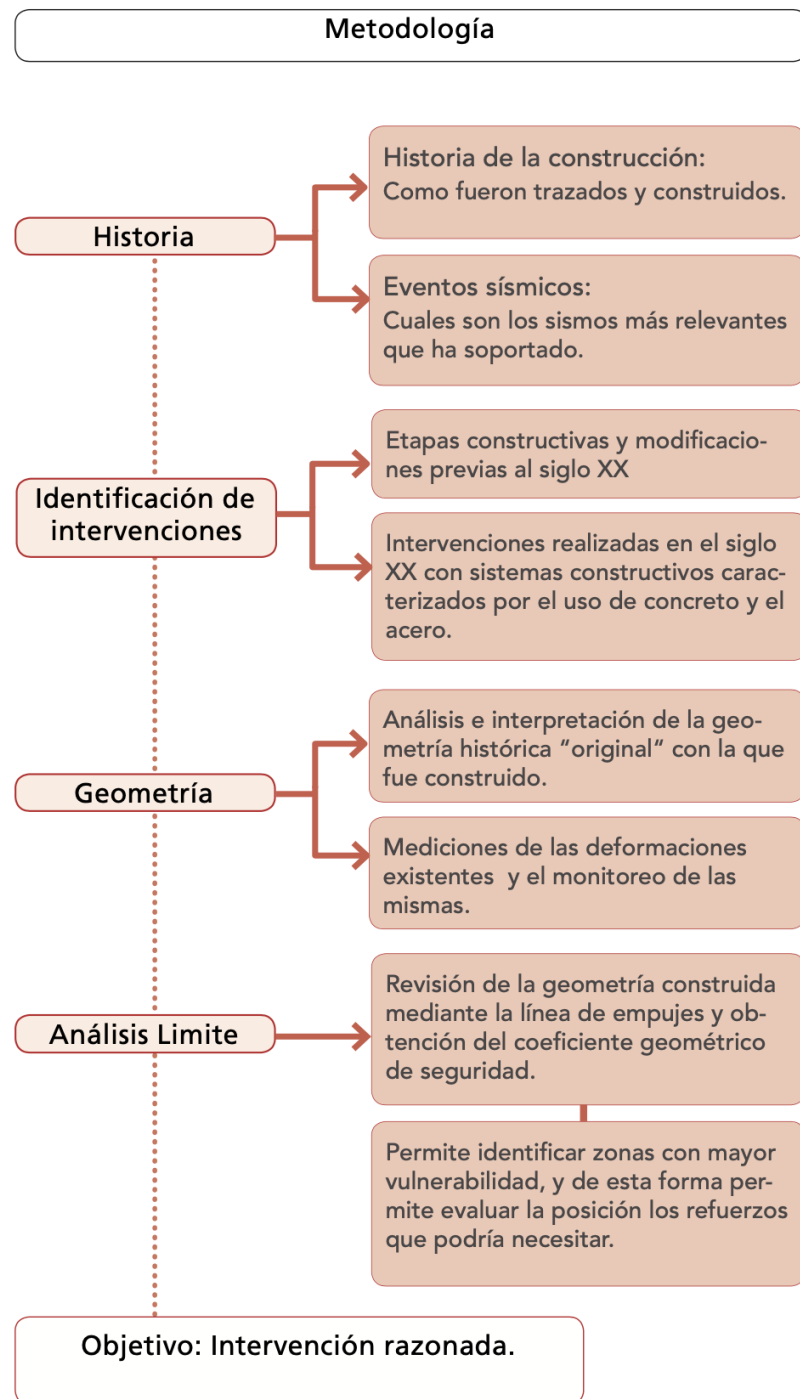


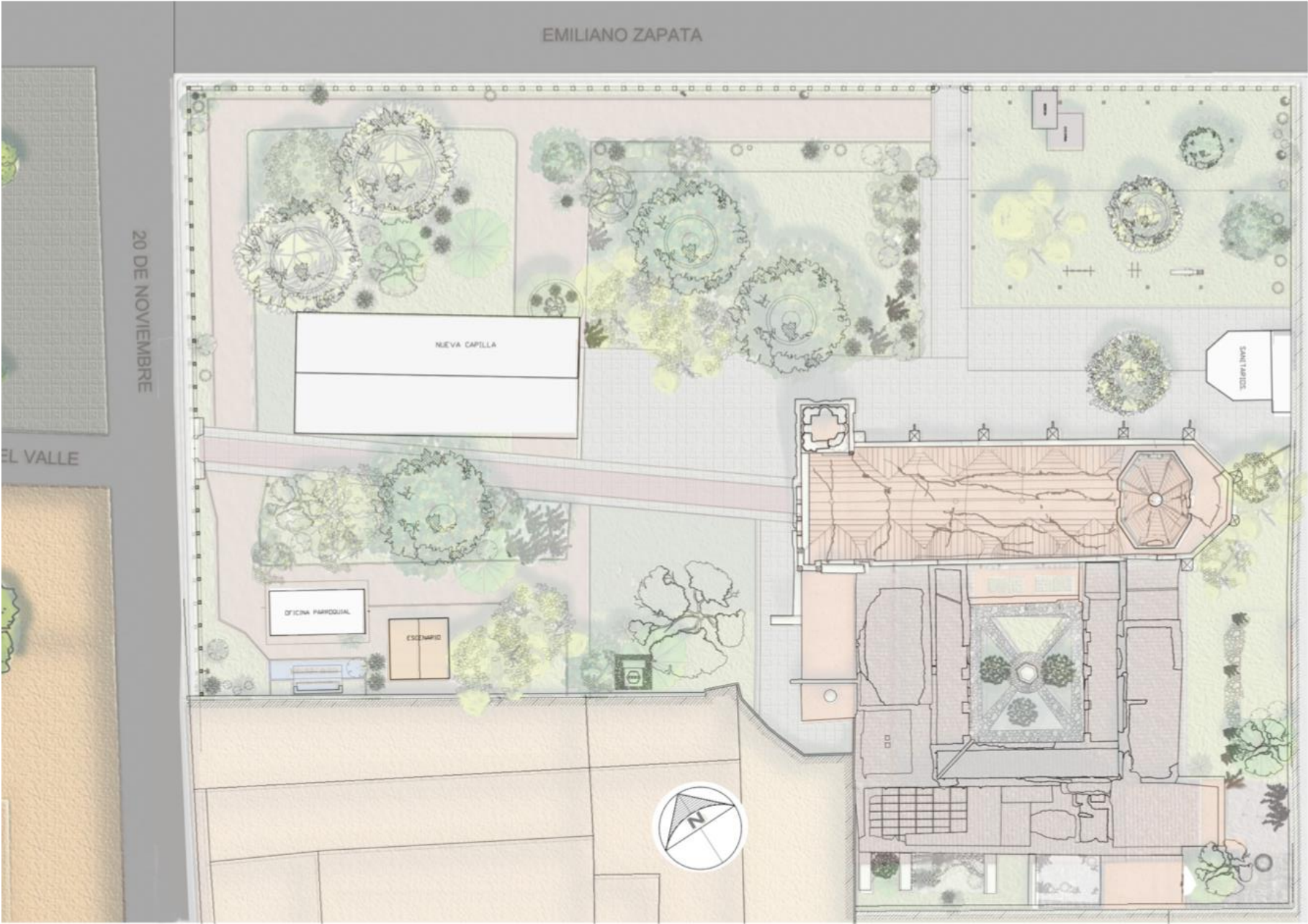


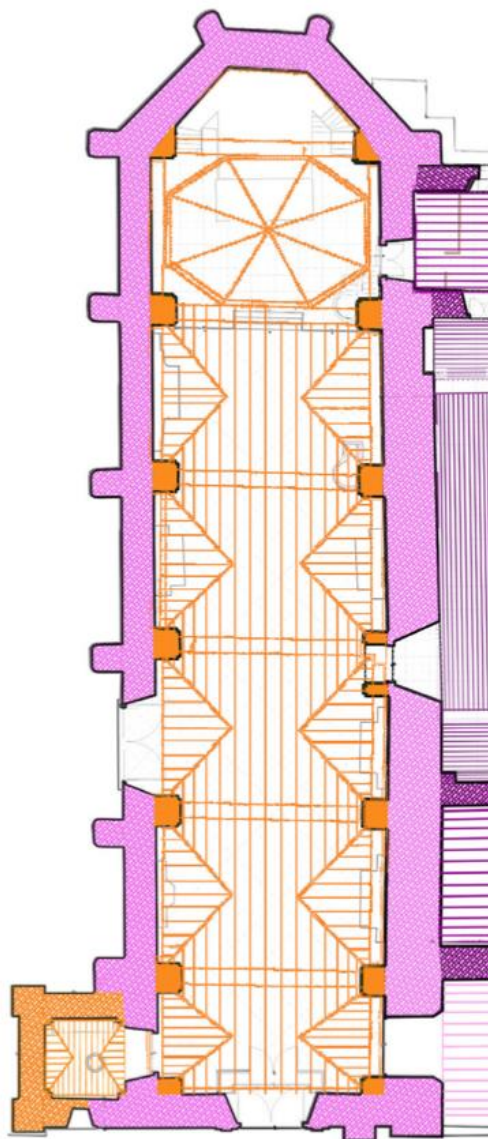
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE BÓVEDAS Y
CÚPULAS ANTE LOS SISMOS.

MTRO. FABIAN BERNAL OROZCO BARRERA







 SIGLO XVI	 SIGLO XVIII
 SIGLO XVII	 SIGLO XIX

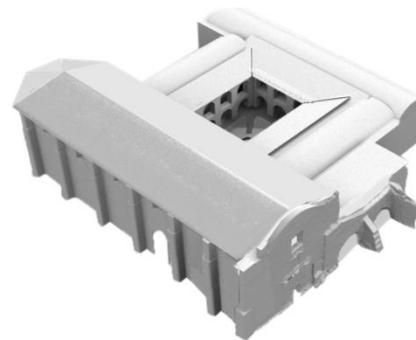


Fig. 2.5 Hipótesis de techumbre de madera a dos aguas durante el siglo XVII, esquema de elaboración propia.

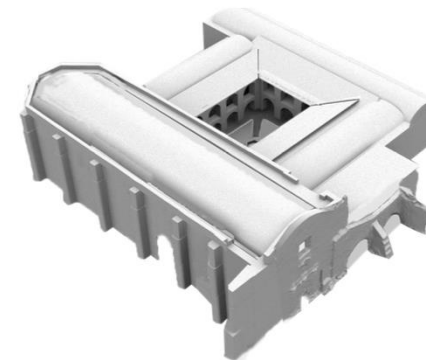


Fig. 2.6 Hipótesis de bóveda de cañon sobre el templo siglo XVII. Esquema de elaboración propia.

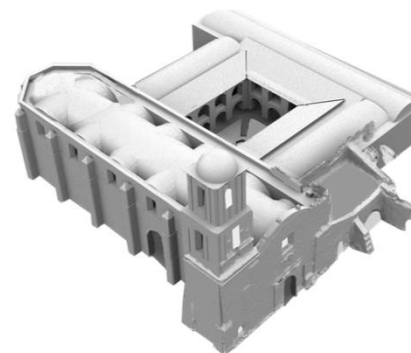


Fig. 2.7 Hipótesis de bóvedas de pañuelo sobre el presbiterio y torre durante el siglo XVIII. Esquema de elaboración propia.

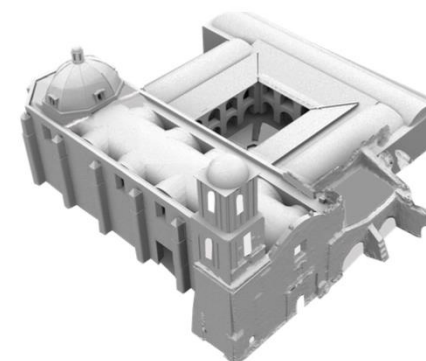


Fig. 2.8 Hipótesis de secuencia constructiva durante el siglo XVIII. Esquema de elaboración propia

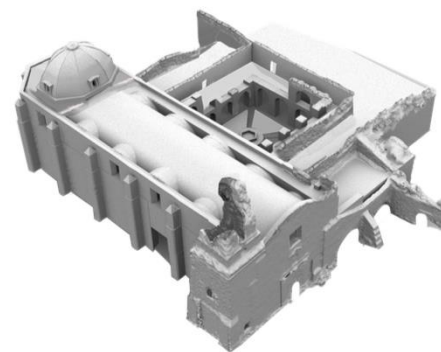


Fig. 2.9 Estado del conjunto posterior al sismo del 19 de Septiembre de 2017.

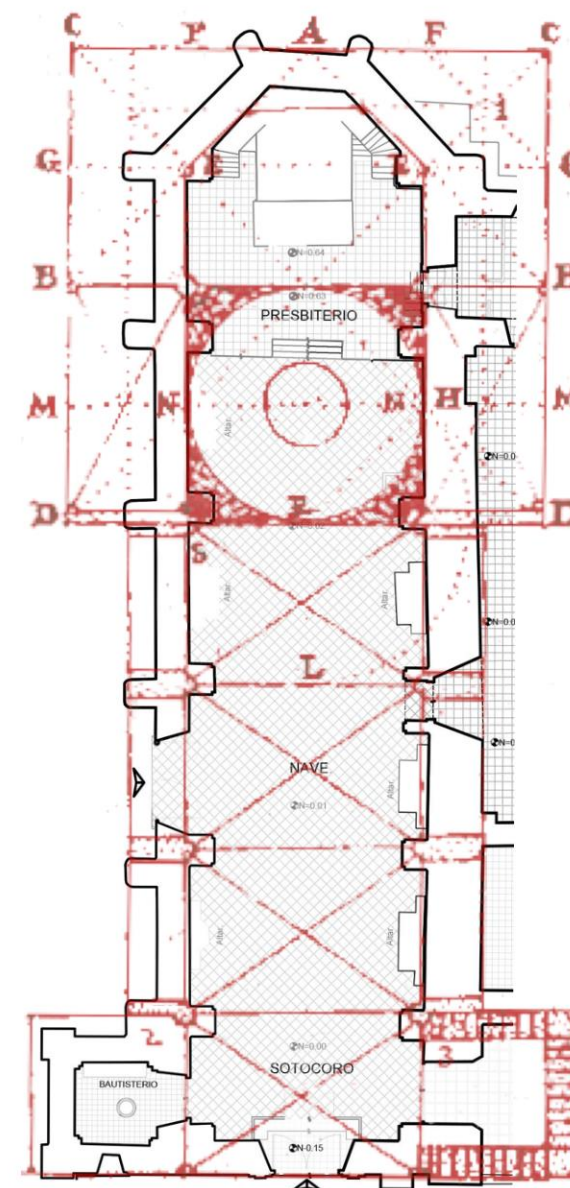
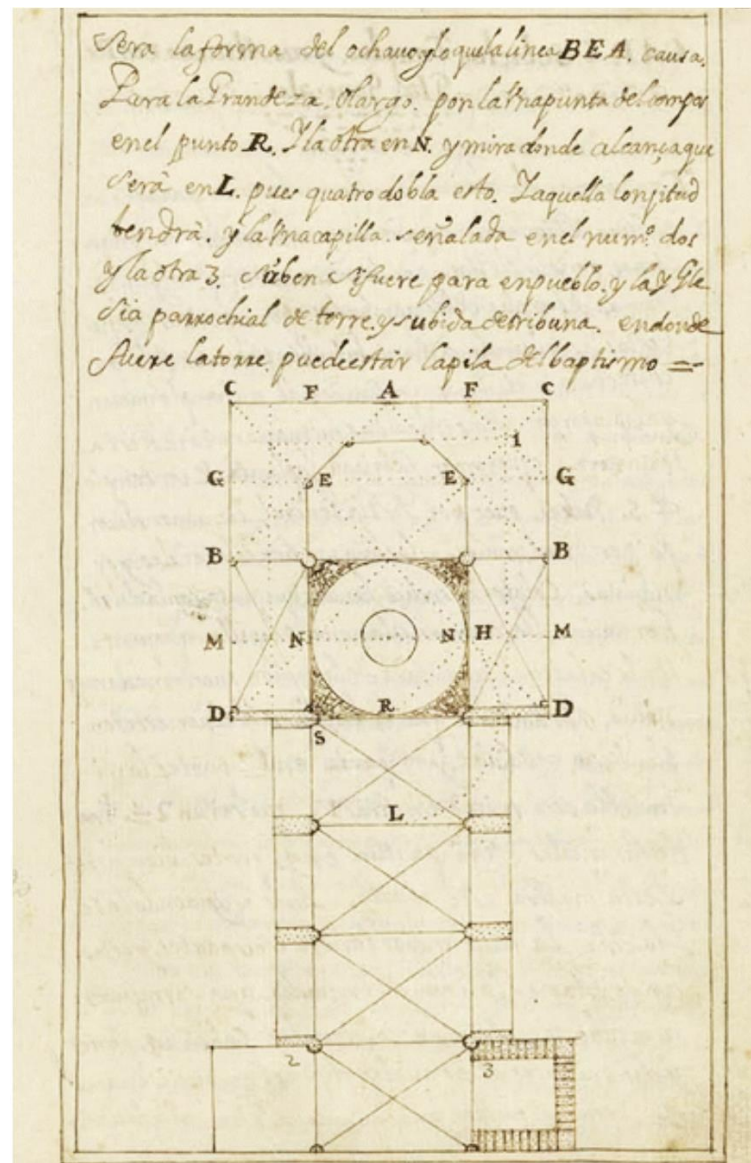
Fig. 2.10 Manuscrito, Compendio de arquitectura y simetría de los templos. Biblioteca Nacional de España, MSS/8884. García, Simón (fl. 1651-1681) Gil de Hontañón, Rodrigo (1500-1577) Publicado entre 1681 y 1683.

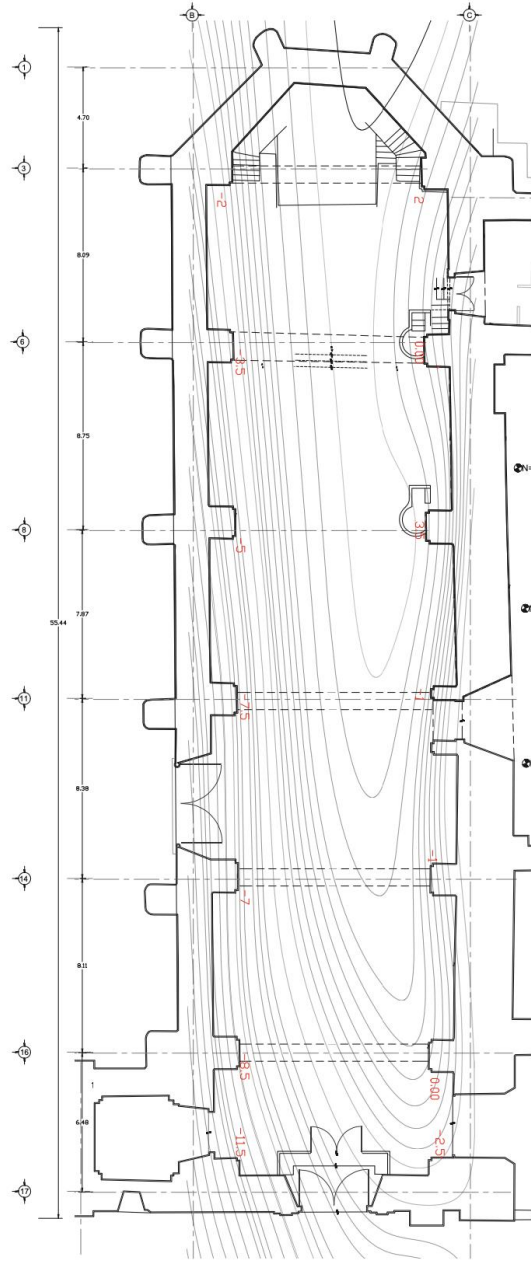
a) Portada

b) Templo con capillas. Folio 15r



a)



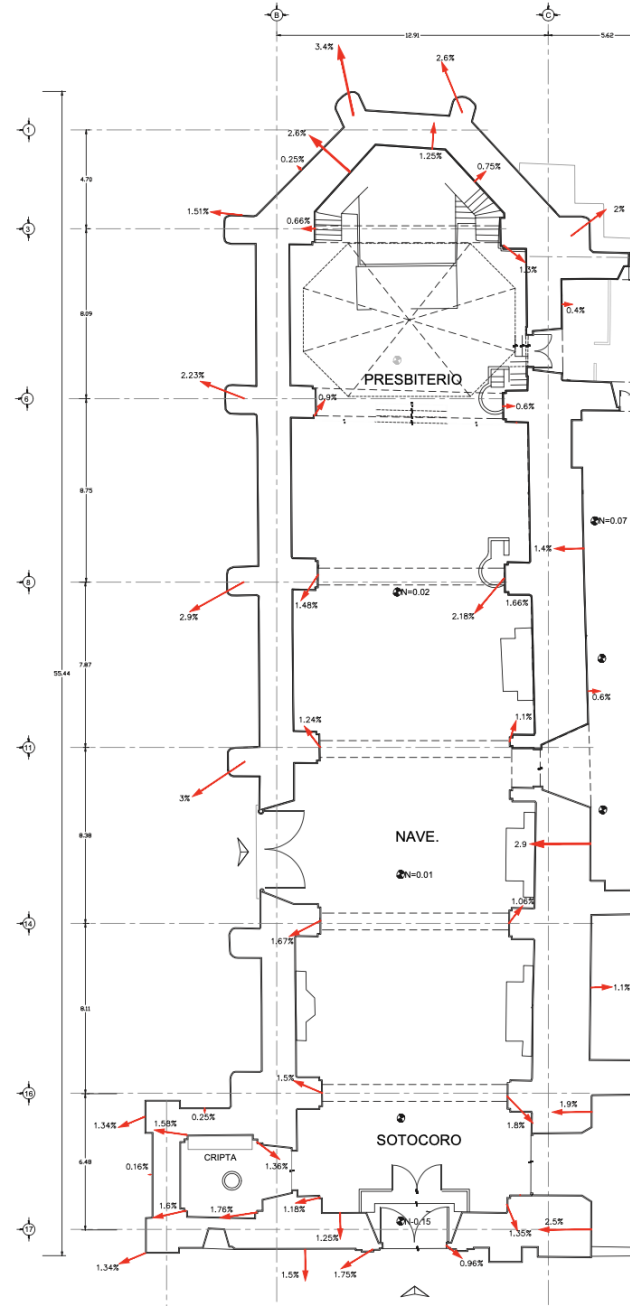


Notas:
0.00 relativo en punto "C-16".
Equidistancia a cada 1 cm.

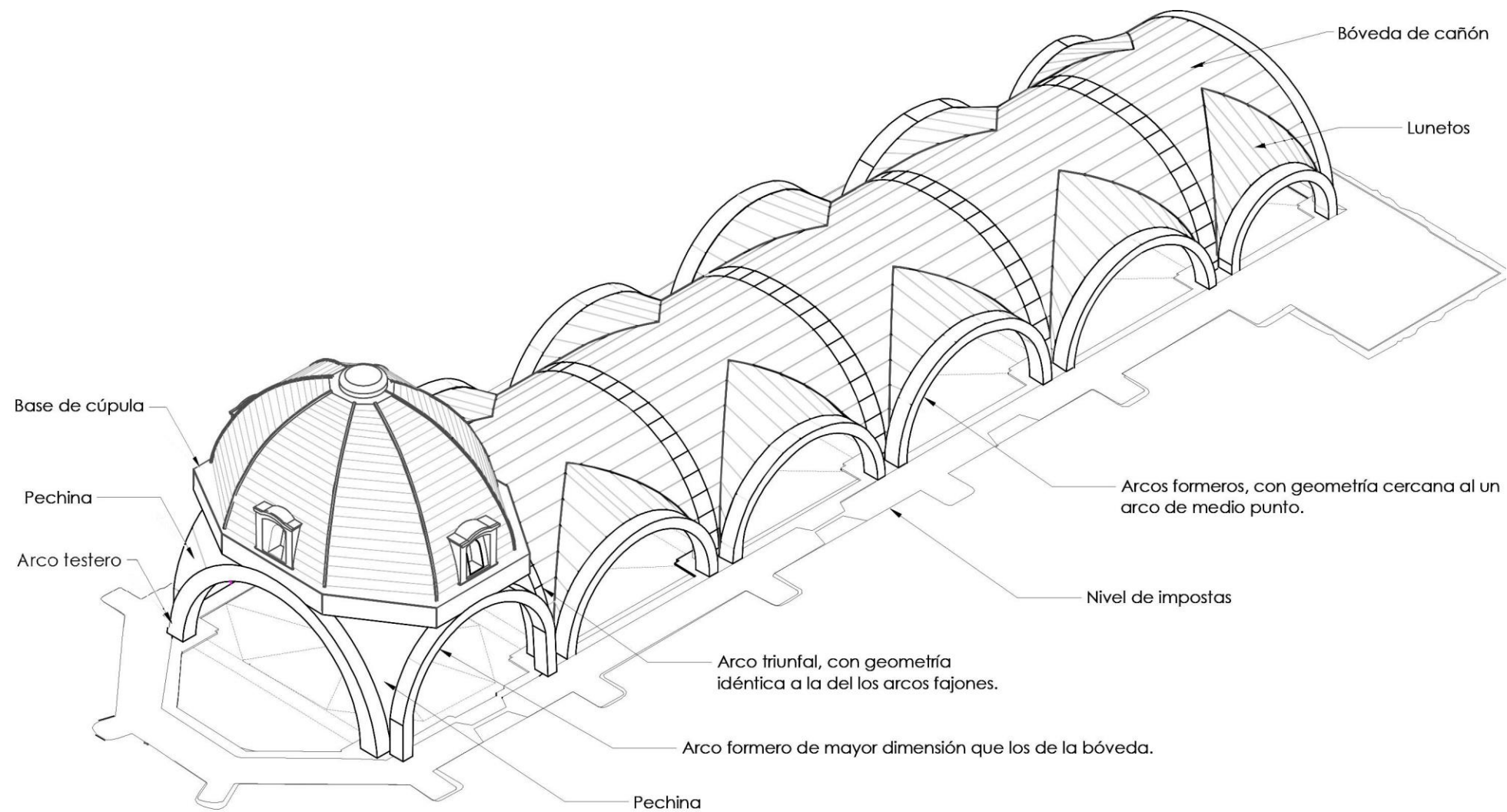
Obtención de niveles al nivel de plintos en pilastras al interior del templo, medidos el 21 de Febrero 2019



DECLARACIÓN DANOS Y DETEORIOS	D-02
CONTENIDO	
DESNIVELES	
FECHA	MAYO 2019
COPIAL	METROS
REGALA	ESC. 1:150

RESUMEN DE DESPLOSOS, RESULTANTES
MEDIDOS EL 21 FEBRERO 2019

D-01		
FECHA:	MAYO 2019	
LUGAR:	METROS	
ESCALA:	ESC. 1:150	
CONTENIDO: DAÑOS Y DETERIORES		
DESCRIPCION: DAÑOS Y DETERIORES		



BÓVEDAS

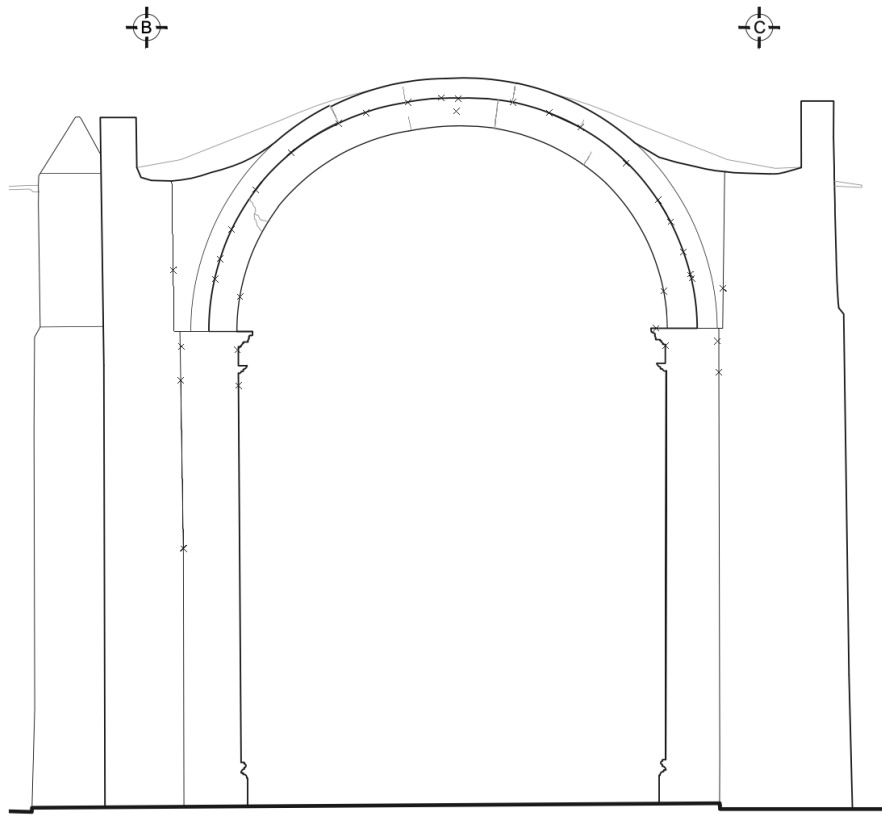


Fig. 3.9 Corte B-B. Medido 2018.

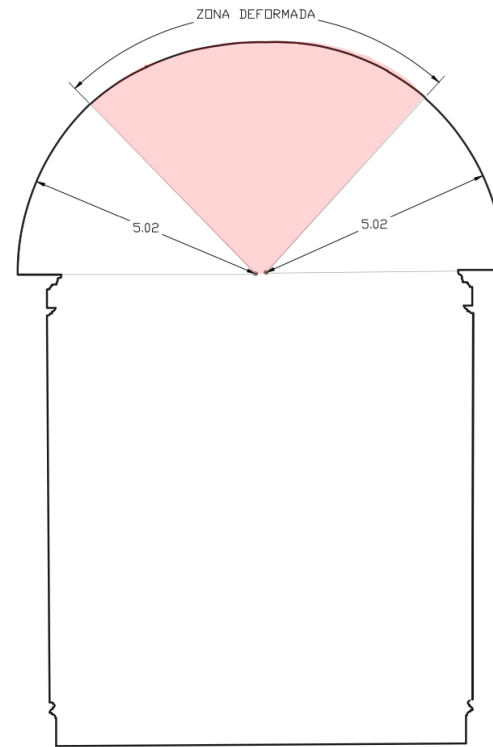


Fig. 3.10 Deformación de la bóveda por el intradós sin el arco fajón.

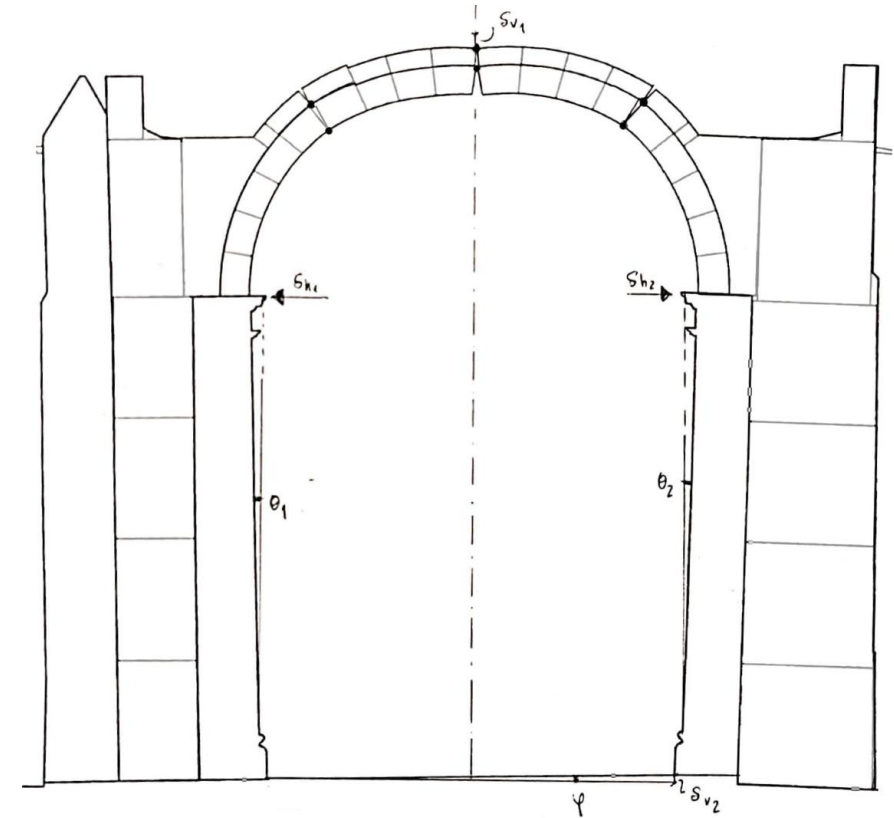


Fig. 3.15 Mecanismo de deformación exagerado, elaboración propia con ayuda de S. Huerta. En arcos superpuestos, las articulaciones se forman independientemente, mecanismo registrado por primera vez por Viollet-le-Duc 1866.

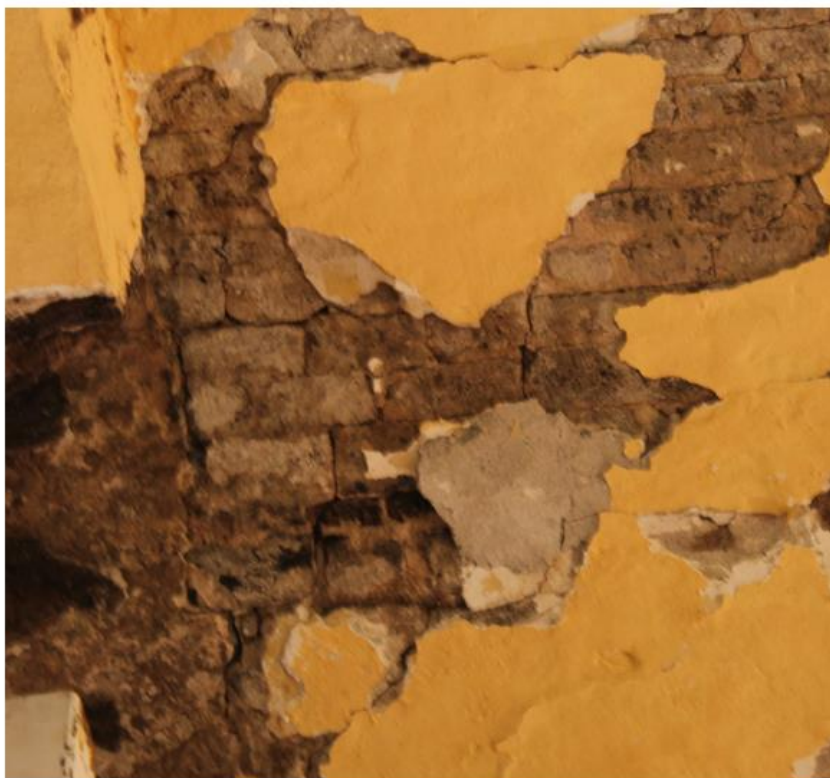


Fig 2.25 Sillarejos de tezontle del intradós de la bóveda 2018.



Fig 2.26. Dovelas comunes a bóveda y arco fajón, solo visibles por el colapso del mismo. Foto 2019 fotografía propia.

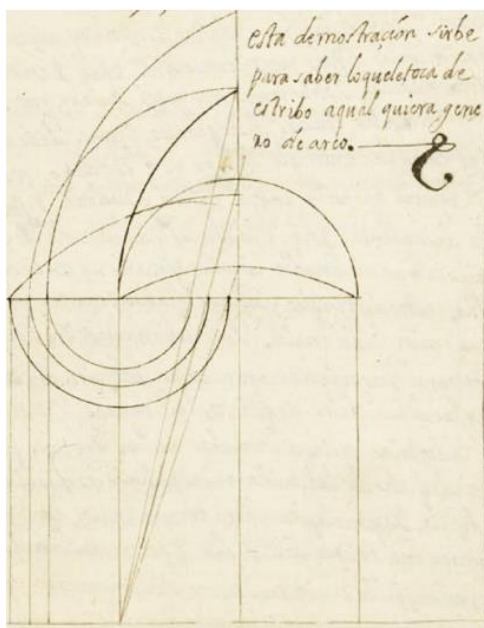


Fig. 2.13 Regla número cuatro Gil de Hontañol. fol. 59r del Compendio de arquitectura y simetría de los templos. El dibujo dice: "Esta demostración sirbe para saber lo que le toca de estribo a cualquier genero de arco".

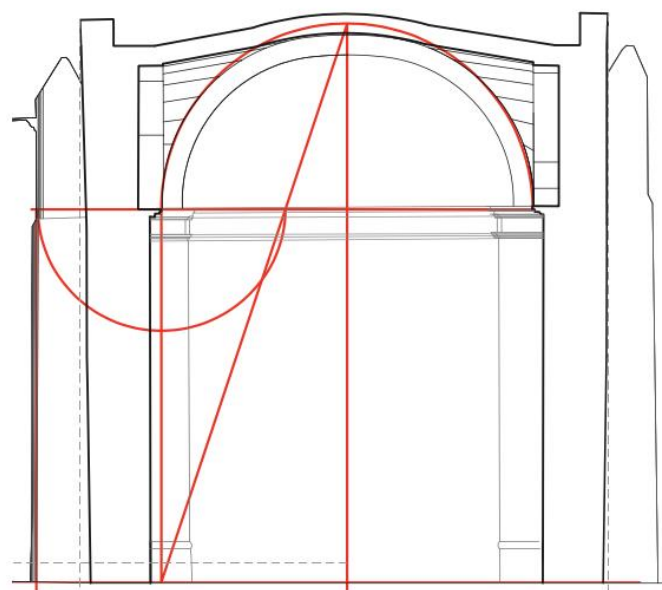


Fig. 2.14 Sección transversal del templo A-A, y sobre posición del Trazo de contrafuerte según la regla 4 de Hontañol. Esquema de elaboración propia.

Fig. 2.20. Comparación del perfil teórico de la cimbra de Fray Lorenzo (color rojo) y la geometría real en verdadera forma y magnitud de la arista del luneto.

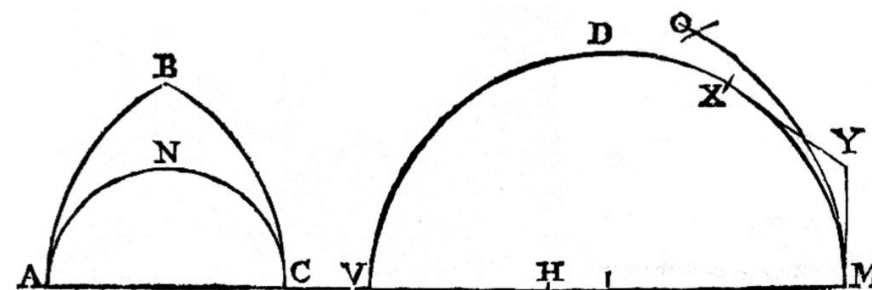
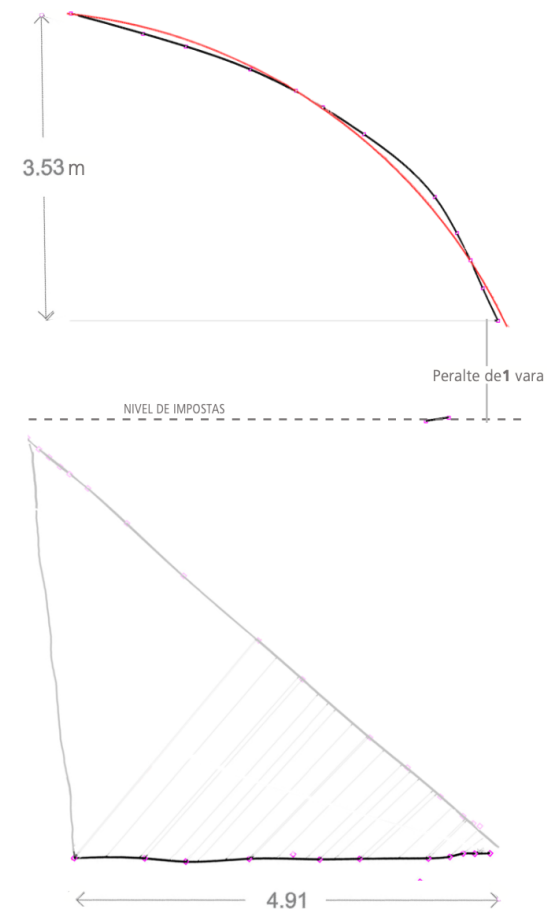
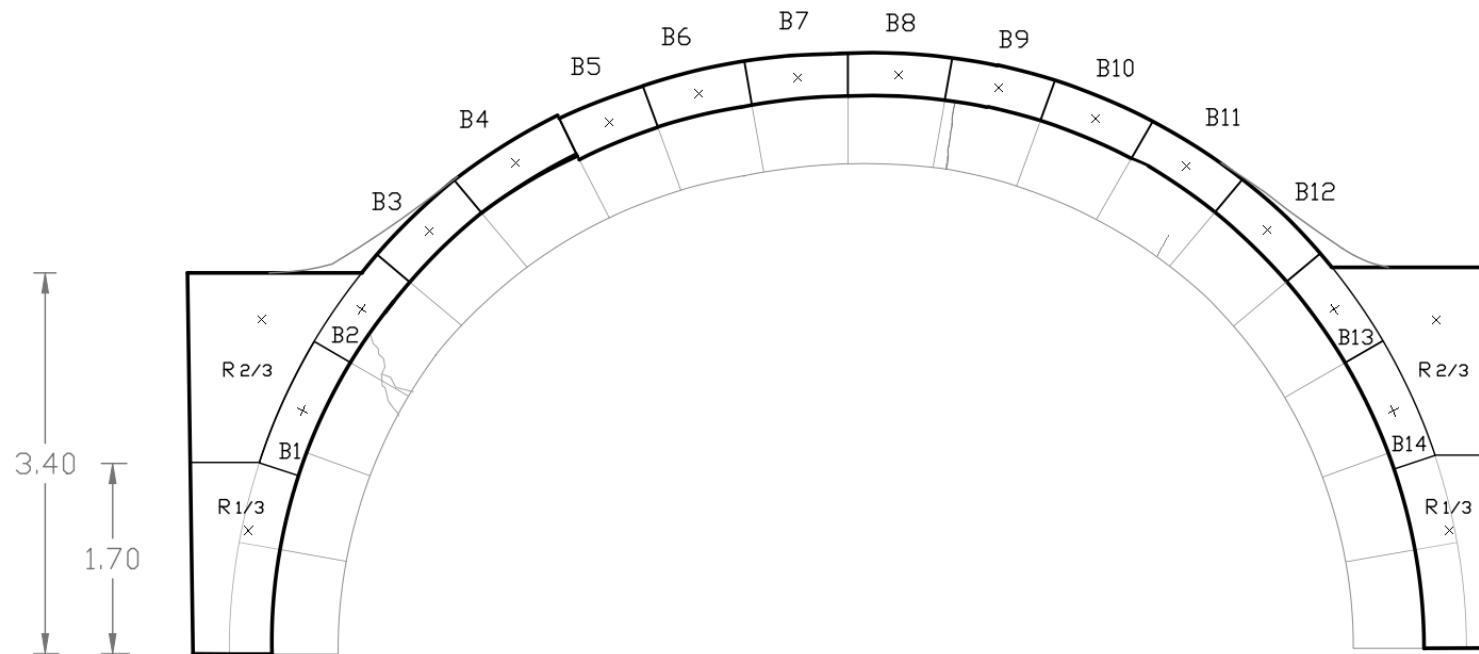
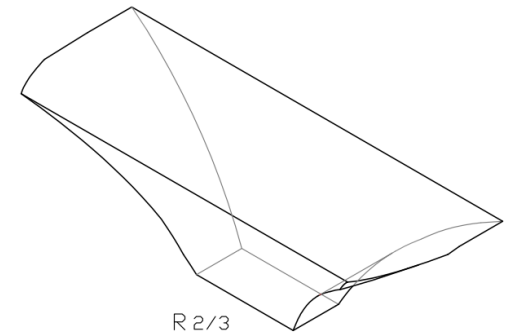


Fig. 2.17 Trazo de Fray Lorenzo de San Nicolás para describir la simplificación de la cimbra para lunetos. p.104r

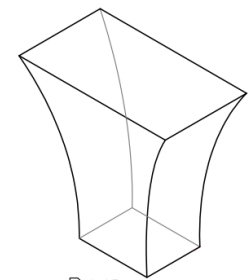


BÓVEDA

DOVELA"	Área m ²	L (m)	Volumen m ³	Peso kg	Peso (N)	Peso kN	Escala (m)
B1	0.423	1.6	0.68	1015.2	9,959.11	9.96	0.199
B2	0.35	3.4	1.19	1785	17,510.85	17.51	0.350
B3	0.35	4	1.40	2100	20,601.00	20.60	0.412
B4	0.39	5.71	2.23	3340.35	32,768.83	32.77	0.655
B5	0.3	7.59	2.28	3415.5	33,506.06	33.51	0.670
B6	0.35	8.49	2.97	4457.25	43,725.62	43.73	0.875
B7	0.35	8.49	2.97	4457.25	43,725.62	43.73	0.875
B8	0.34	8.49	2.89	4329.9	42,476.32	42.48	0.850
B9	0.35	8.49	2.97	4457.25	43,725.62	43.73	0.875
B10	0.35	7.06	2.47	3706.5	36,360.77	36.36	0.727
B11	0.35	5.26	1.84	2761.5	27,090.32	27.09	0.542
B12	0.35	3.68	1.29	1932	18,952.92	18.95	0.379
B13	0.35	3.4	1.19	1785	17,510.85	17.51	0.350
B14	0.423	1.6	0.68	1015.2	9,959.11	9.96	0.199

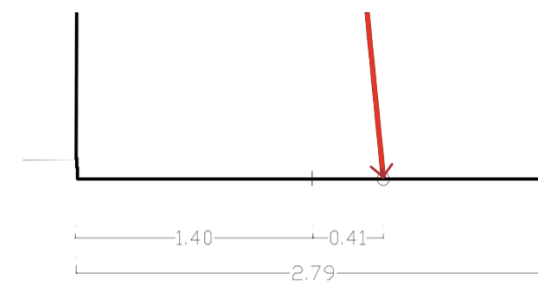
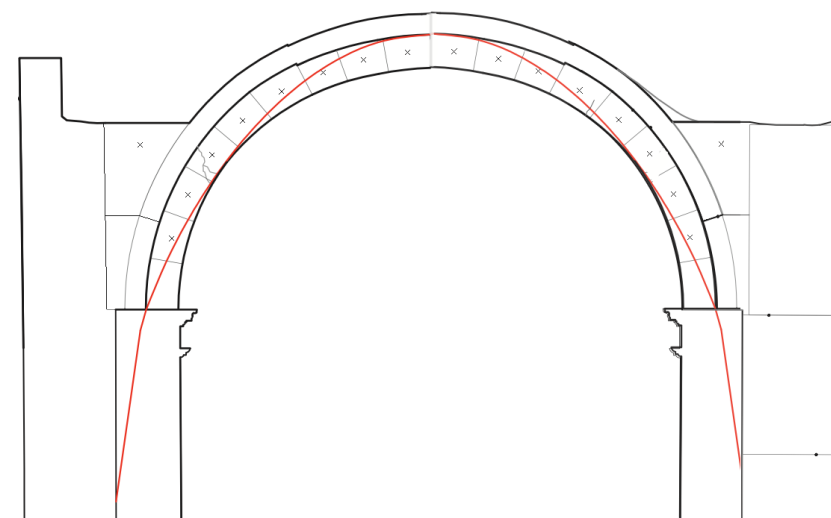
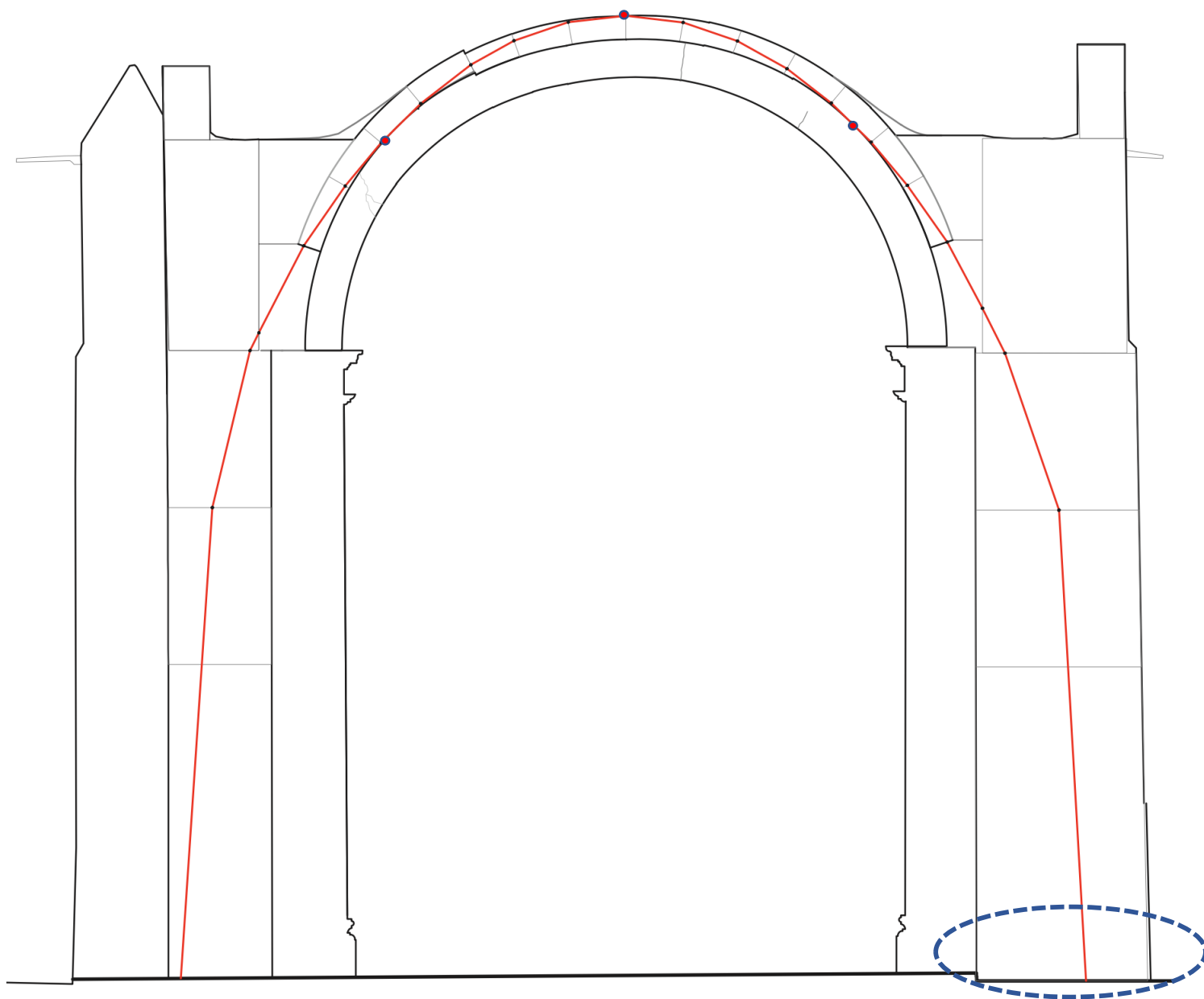


R 2/3



R 1/3

Fig. 3.16 Geometría de relleno R1/3 tiene función de enjarje de 1.25m³ Y enjuta con volumen de 5m³.



c.g.s de 3.41.

Fig. 3.19 Equilibrio global de las bóvedas y contrafuertes, cálculo resumido con la trayectoria de las cargas a través de la línea de empujes mínimo. Cálculo y esquema de elaboración propia.

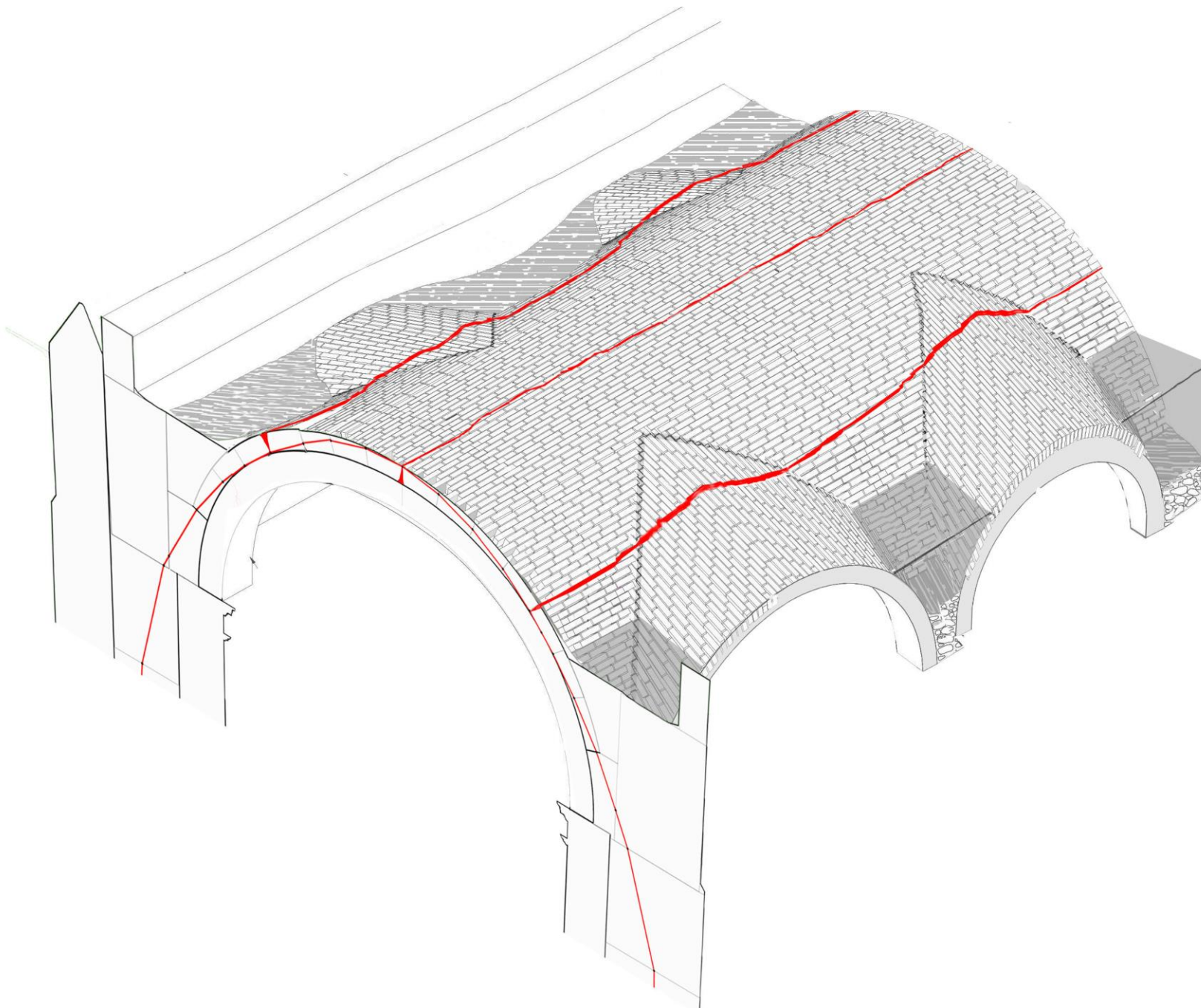
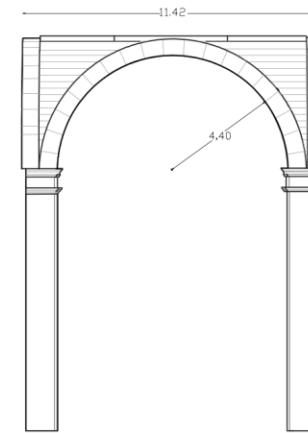
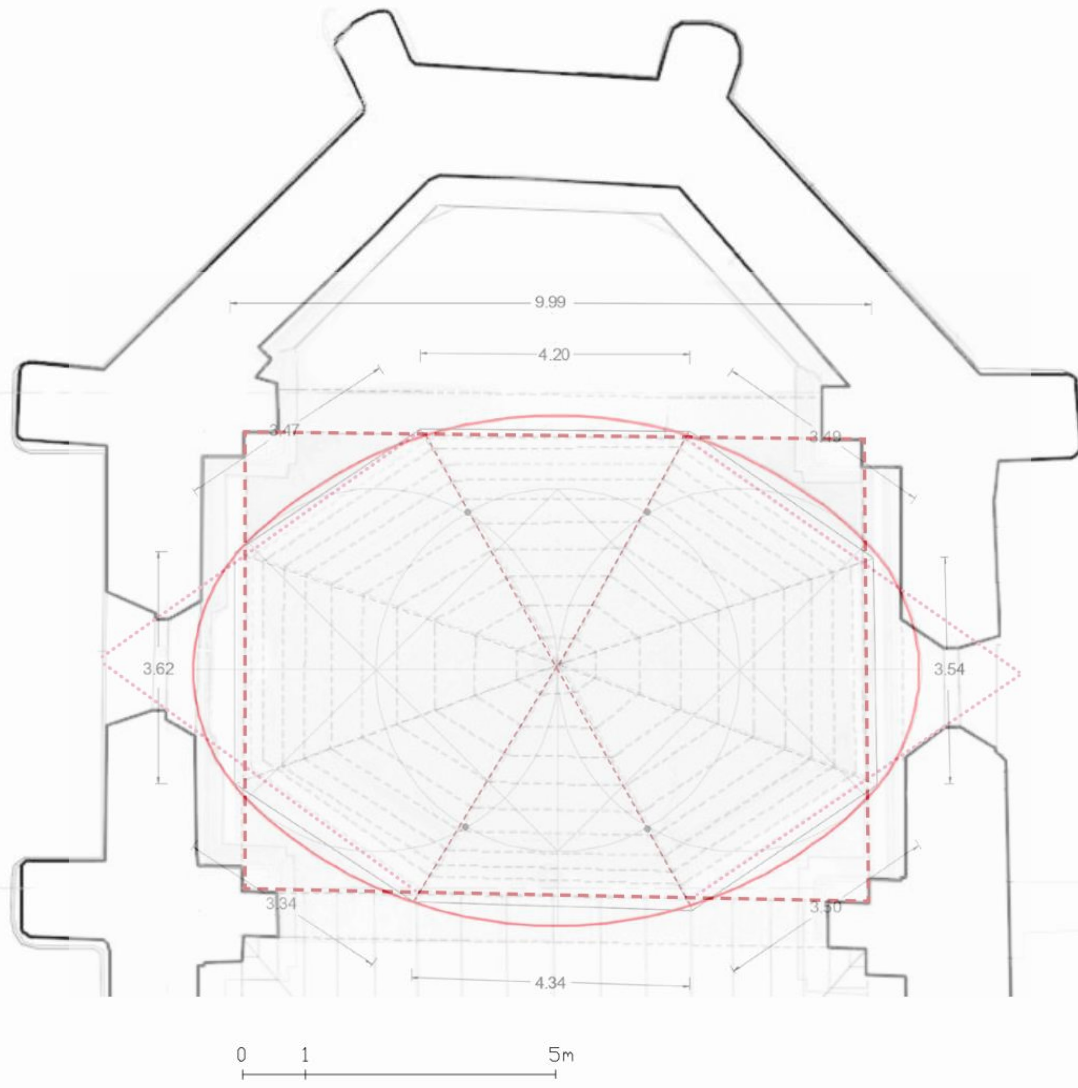
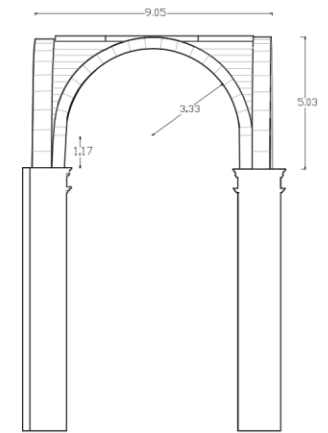


Fig. 3.22 Isometrico que muestra bóvedas de lunetos y sección transversal con análisis ilustrando las rotulas en 3 dimensiones. Esquema de elaboración propia, Inspirado en Holzer (2011).

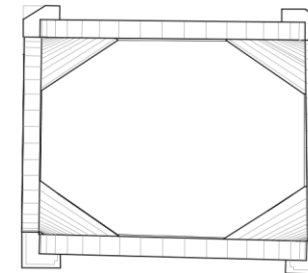
CÚPULA



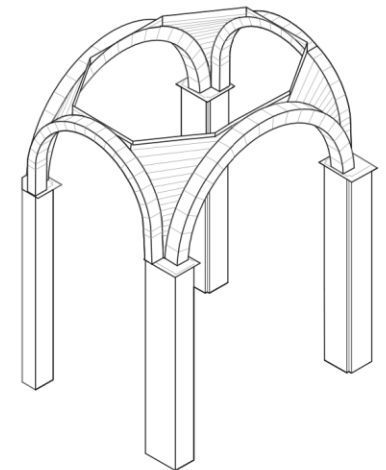
FRONTAL



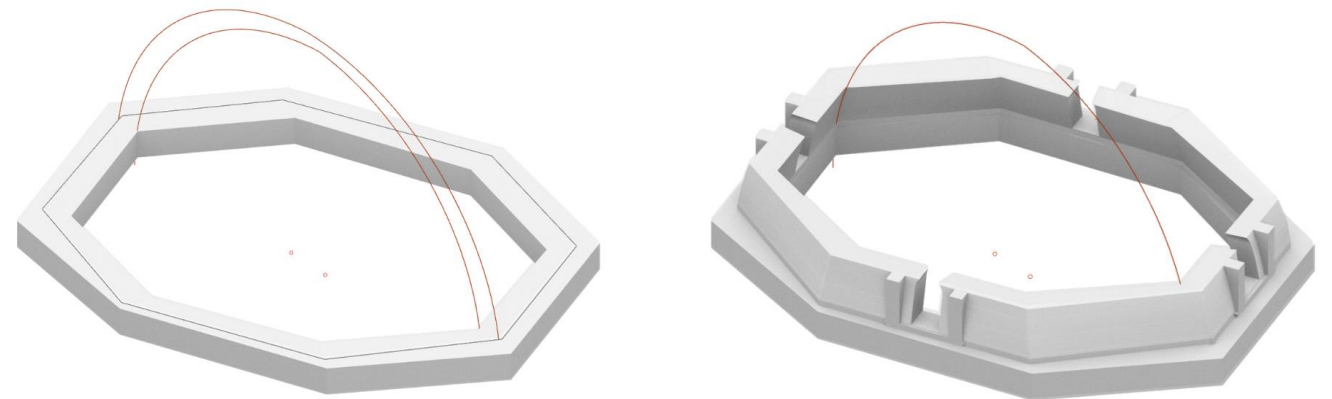
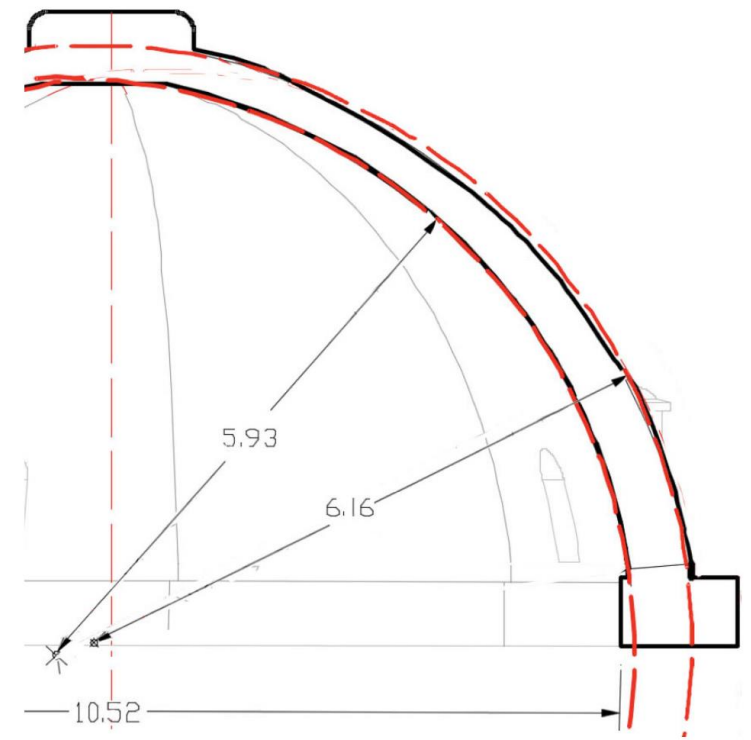
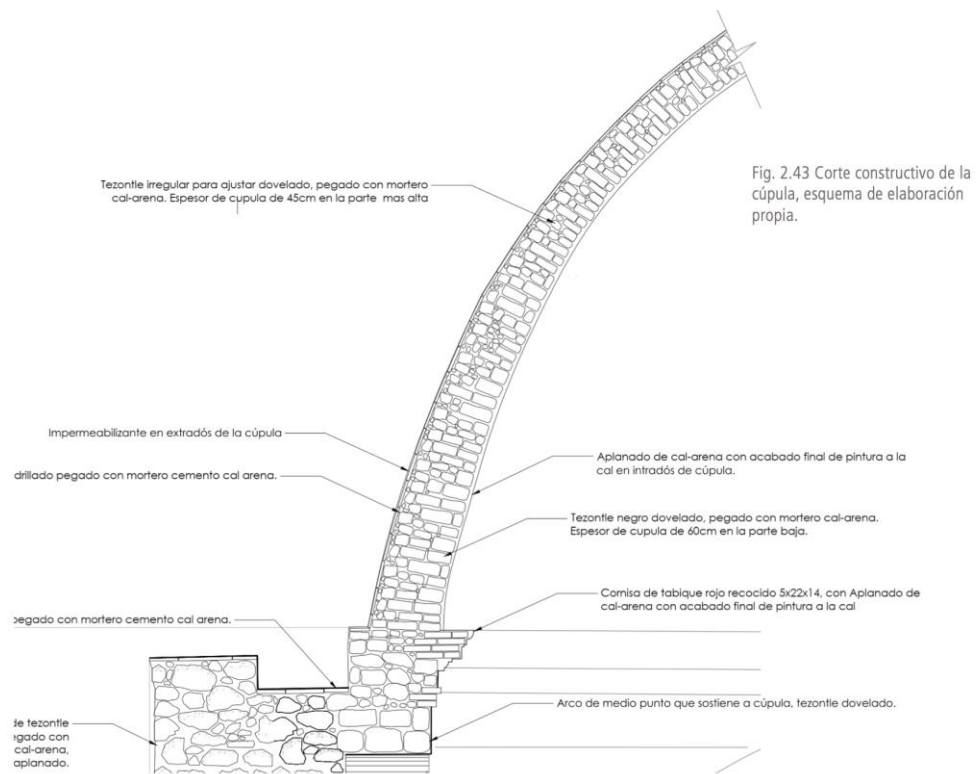
LATERAL



PLANTA



ISOMÉTRICO



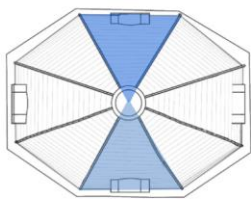


Fig. 3.24 Planta de cúpula, área tributaria considerada.

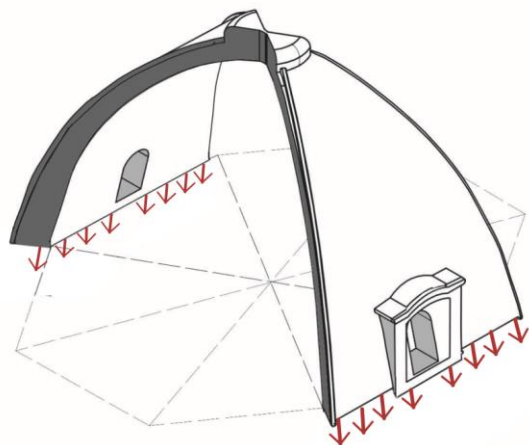
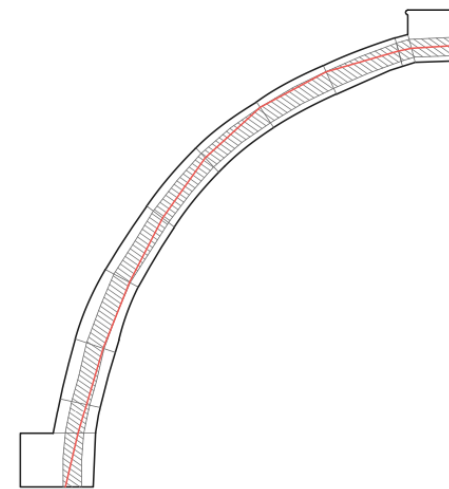
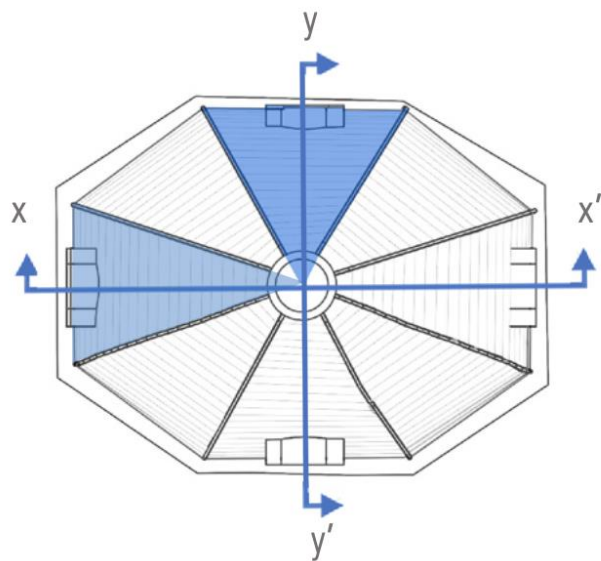


Fig. 3.25 Sectores de la cúpula (Gajos) para analizar equilibrio de cúpula, esquema propio.



x

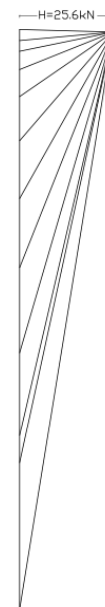
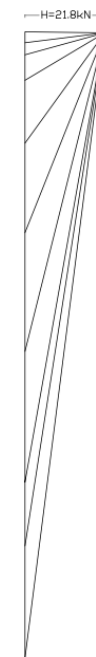
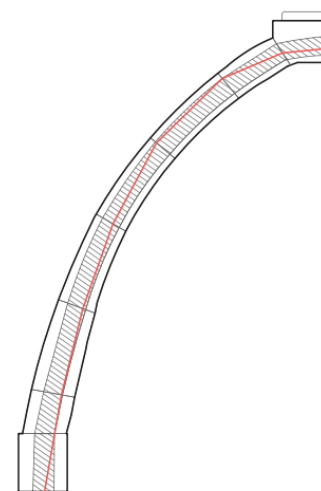


Fig. 3.29 Gajo x-x', línea de empujes que muestra gajo de espesor mínimo (achurado). La parte la parte baja tiene un CGS de 2.25 y en la parte alta 1.65.



3.30 Gajo y-y' de espesor mínimo, en la parte baja tiene un CGS de 2.25 y en la parte alta 1.7

0 1 5m

0 5 10 20 30 40kN

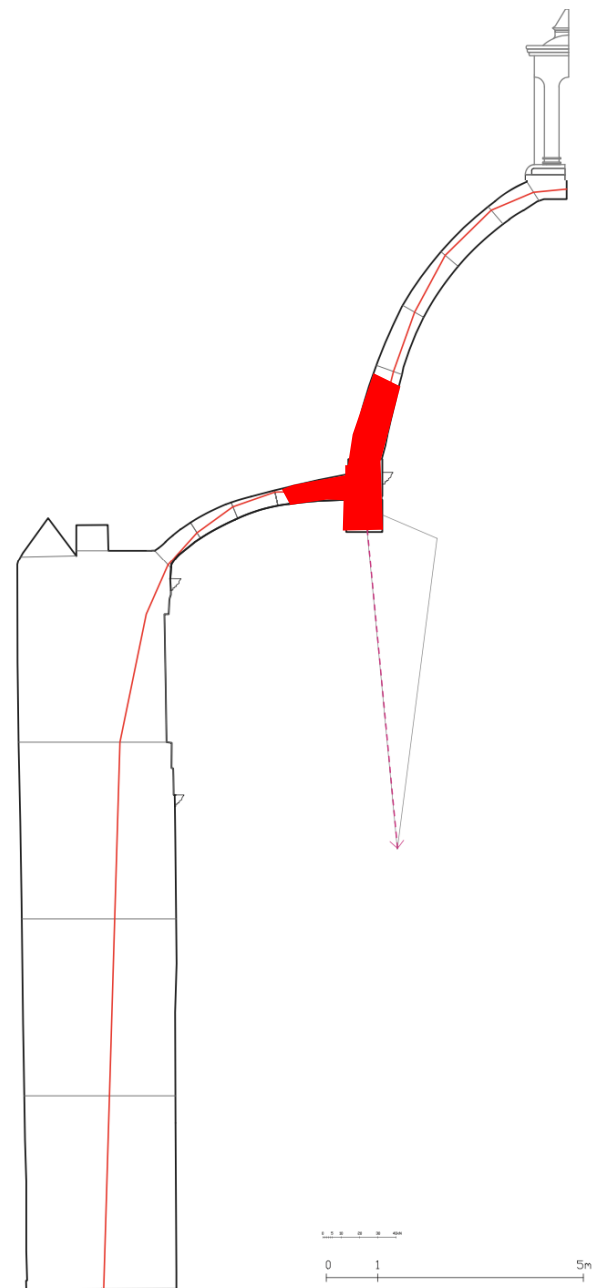
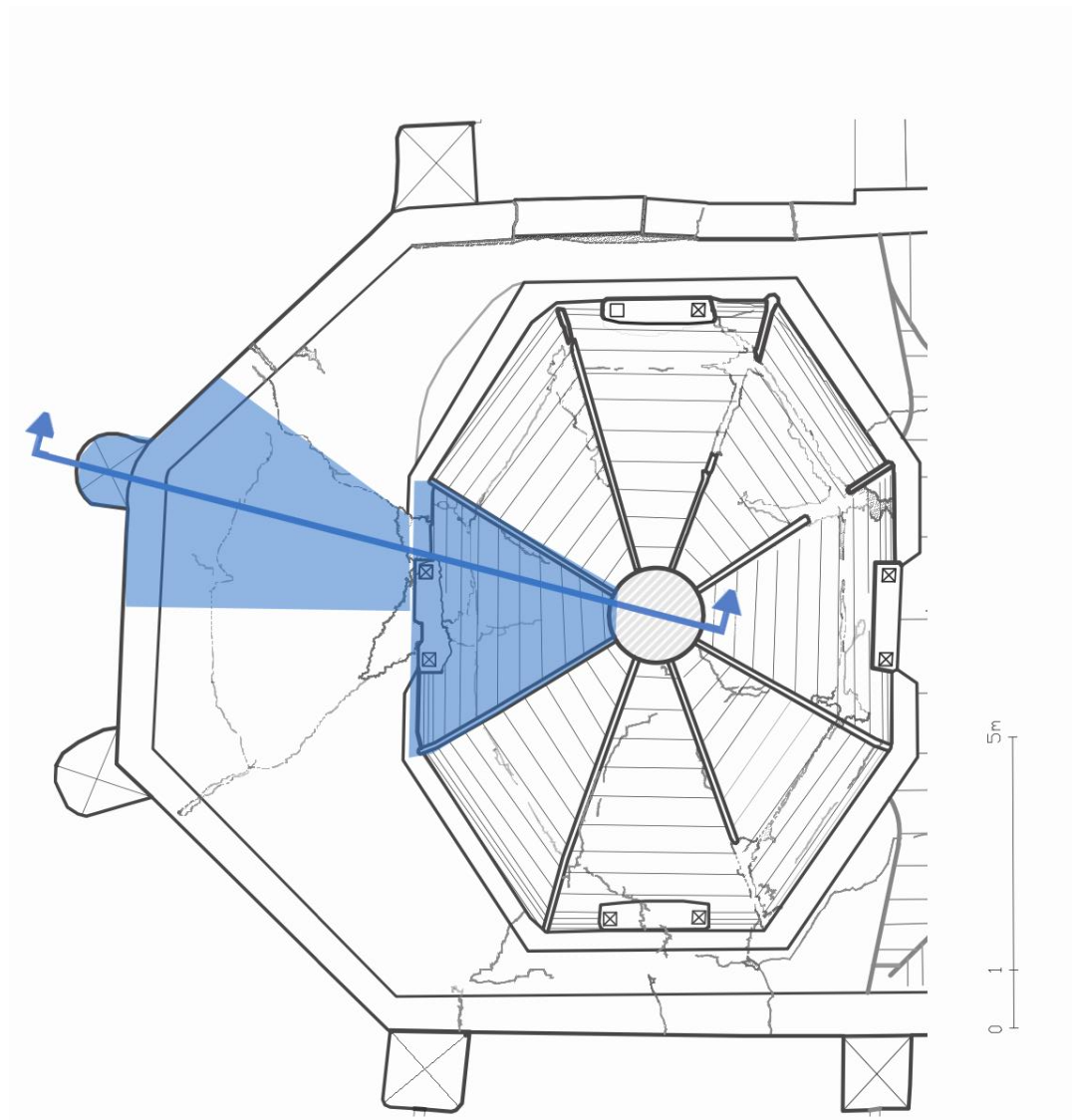
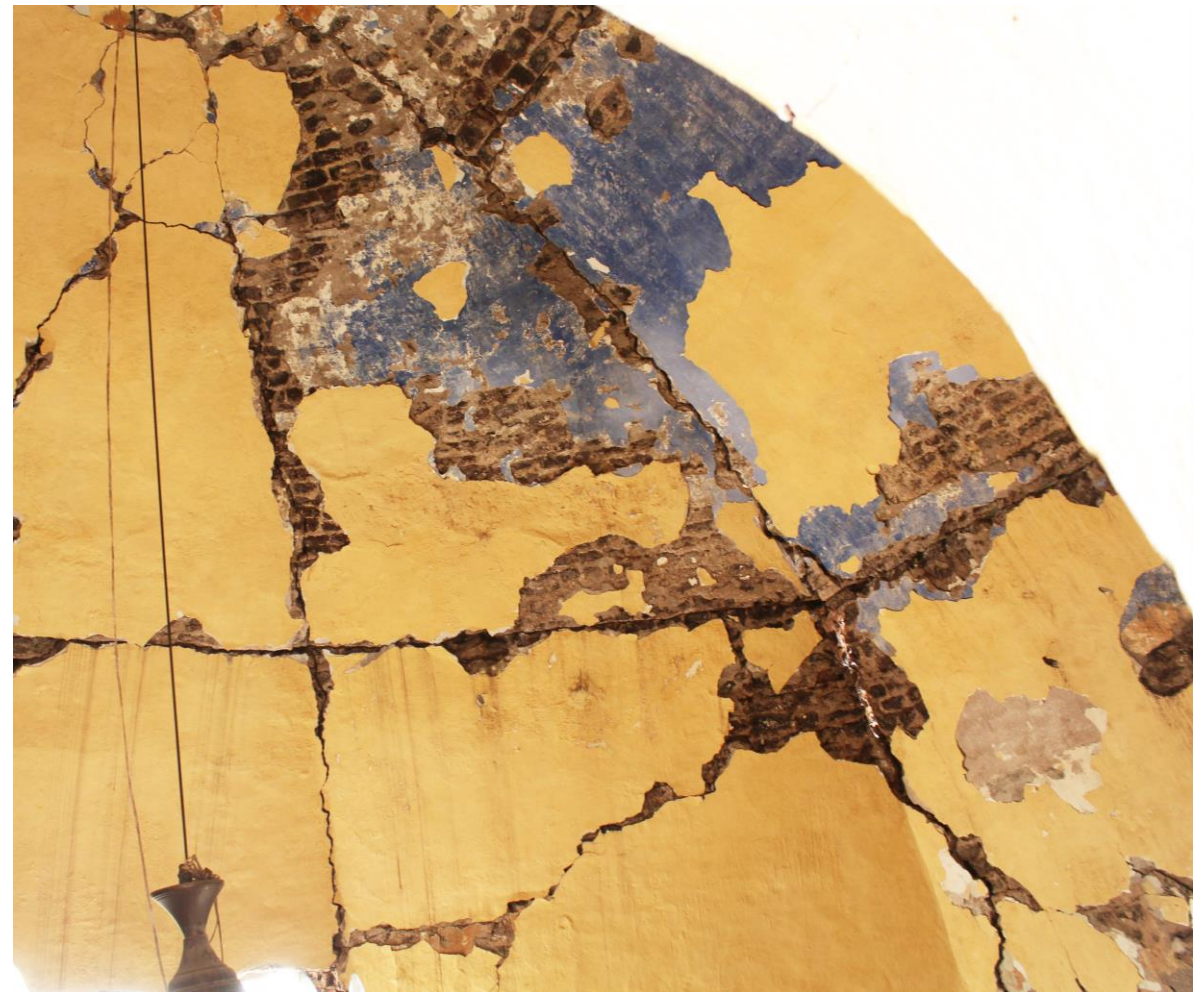
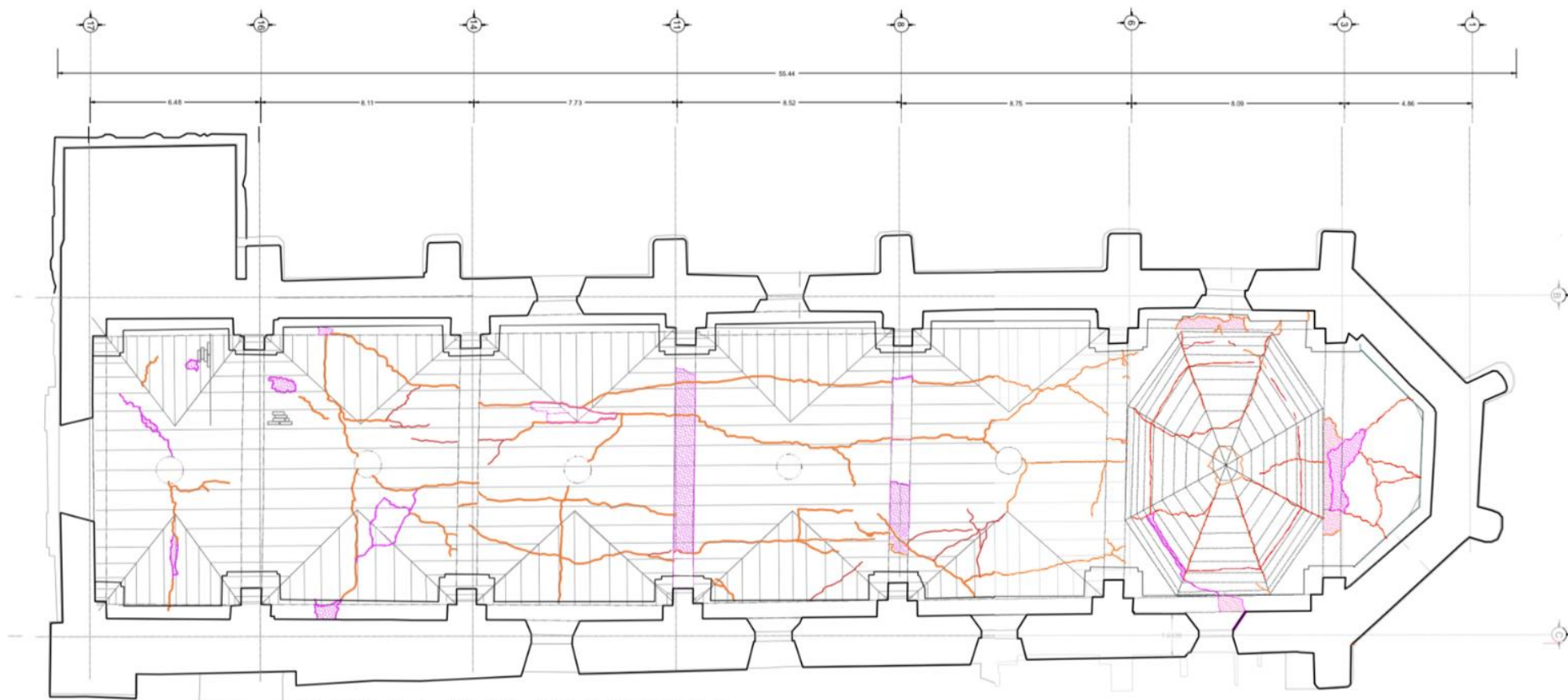


Fig. 3.34 Resumen del segundo ensayo de línea de empujes mínima en todo el sistema de semicúpula y contrafuertes.





PLANTA A NIVEL DE IMPOSTAS

COLAPSO DE ARCO FAJON EN LA NAVE



BÓVEDA VISTA DESDE PRESBITERIO.



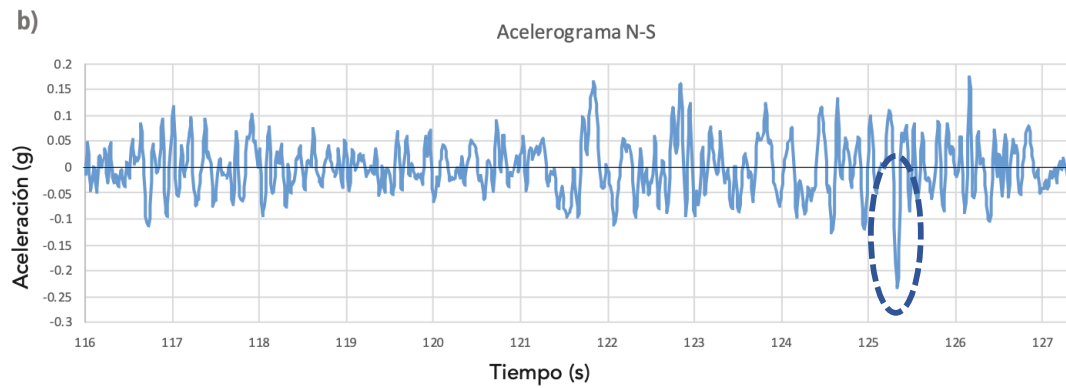
DAÑOS POR SISMO 195
FRACTURAS / DESPLAZAMIENTO DE
GRIETAS
PÉRDIDA DE MATERIAL CONSTITUTIVO



DEPENDENCIA
POSGRADO UNAM ARQUITECTURA
PROFECTO
ARQ. FABIAN BERNAL OROZCO BARRERA
PROYECTO
PARROQUIA DE SANTIAGO APÓSTOL
UBICACIÓN
MUNICIPIO DE JUTEPEC, ESTADO DE MORELOS

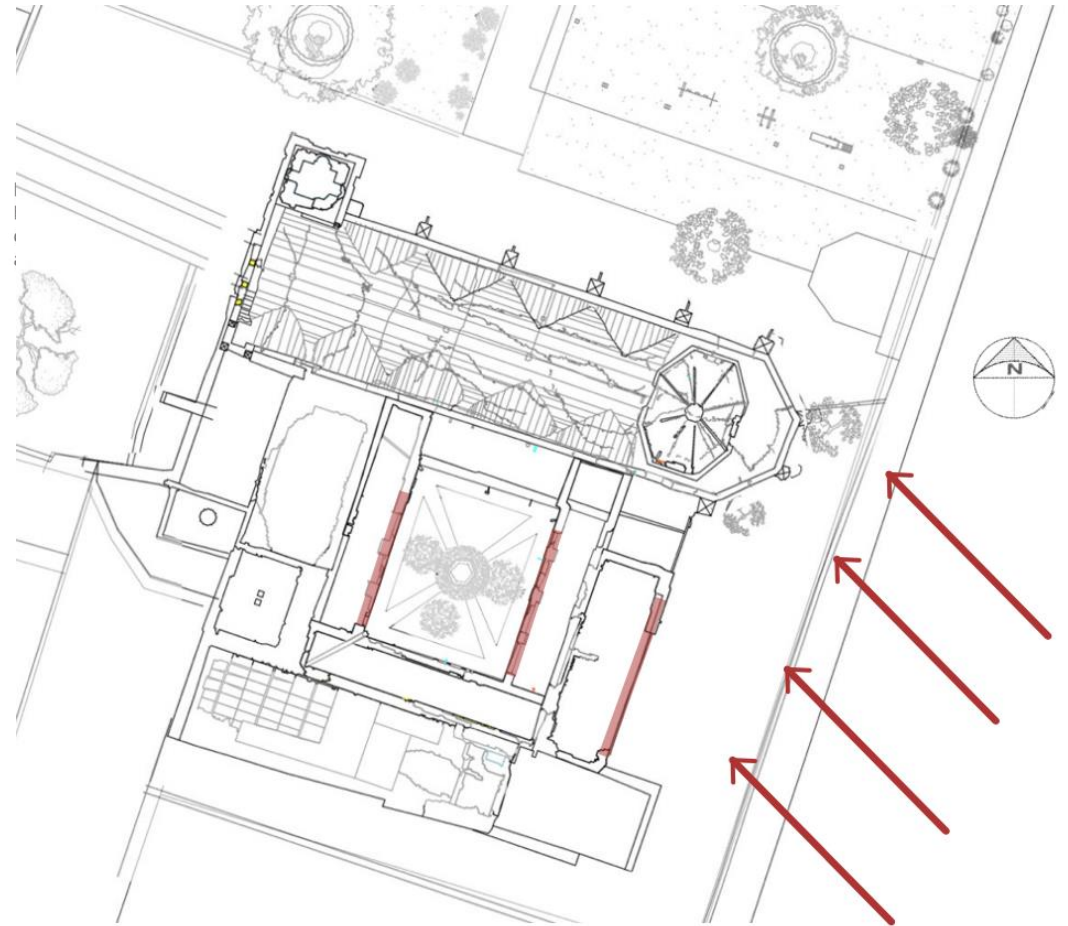
DESCRIPCIÓN
LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO
CONTENIDO
ARCOS POR INTRADÓS
FECHA:
MAYO 2019
COTAS:
METROS
ESCALA:
ESC. 1:200
NO. DE DIB.
D-05

SISMO



83

225 gals (0.229g)



MODELOS DE INCLINACIÓN

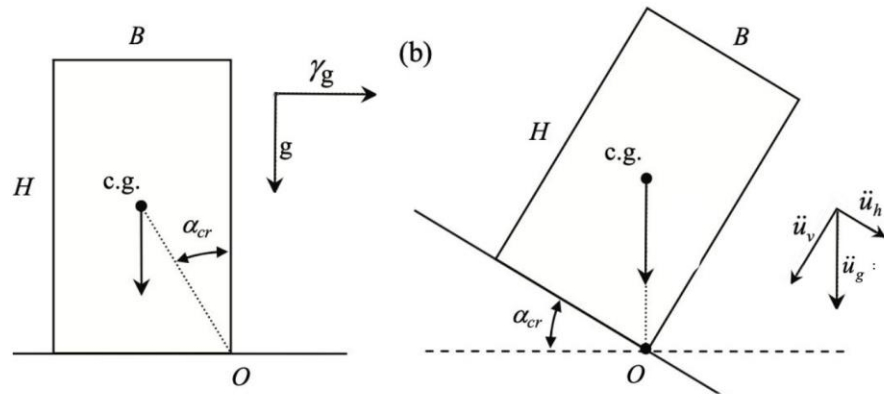


Figura. 4.20. Basado en DeJong (2009), Tilting thrust line analysis of a single block. Inspirado en Housner.

$$\gamma = \frac{\ddot{u}_h}{\ddot{u}_v} = \tan \alpha$$

\ddot{u}_h = aceleración horizontal

\ddot{u}_v = aceleración vertical

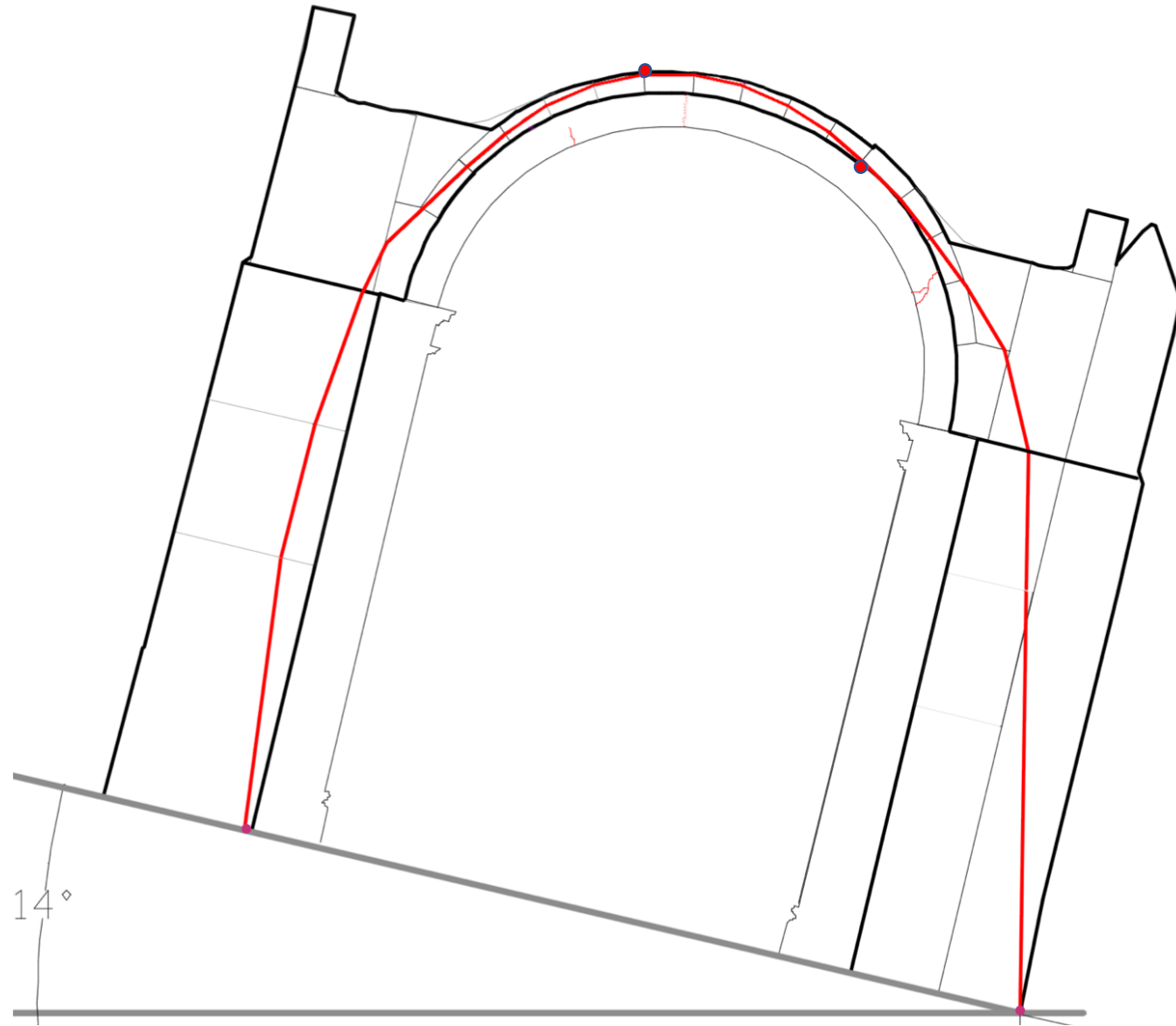
γ = Aceleración mínima que ocasiona el colapso (g)

Busca relacionar el ángulo de inclinación con un valor de fuerza horizontal constante mínima necesaria para desencadenar el mecanismo de colapso.

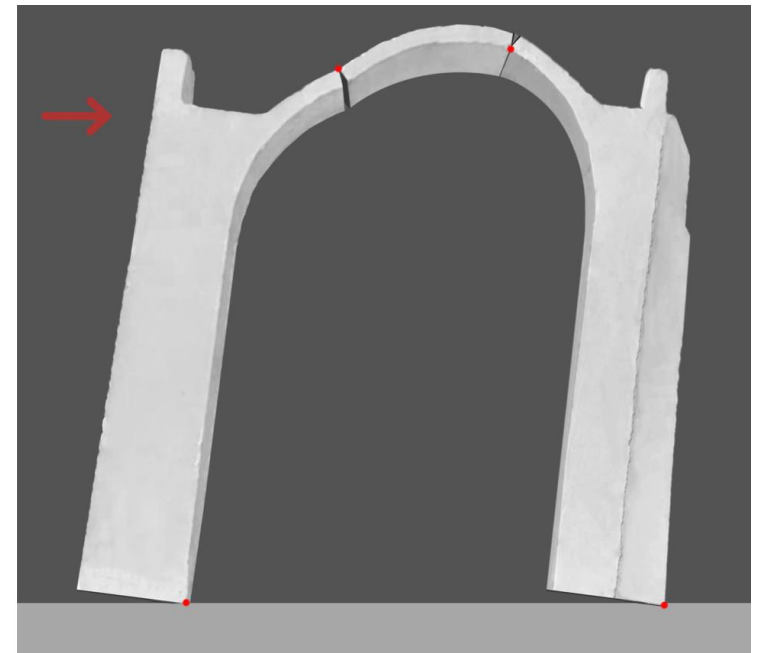


Fig. 4.21 Secuencia fotográfica durante la inclinación modelo de yeso para sección transversal del templo esc.1:30 prueba No 2. elaboración propia.

Una capacidad grande de resistir la inclinación indica una estabilidad grande y por tanto seguridad.



$$0.238g > (0.229g)$$



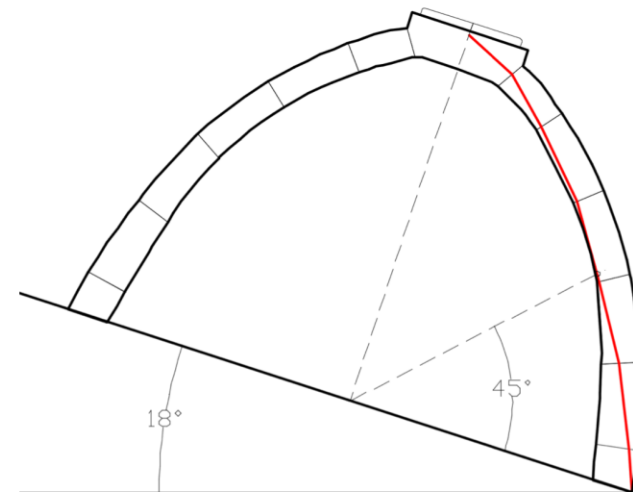
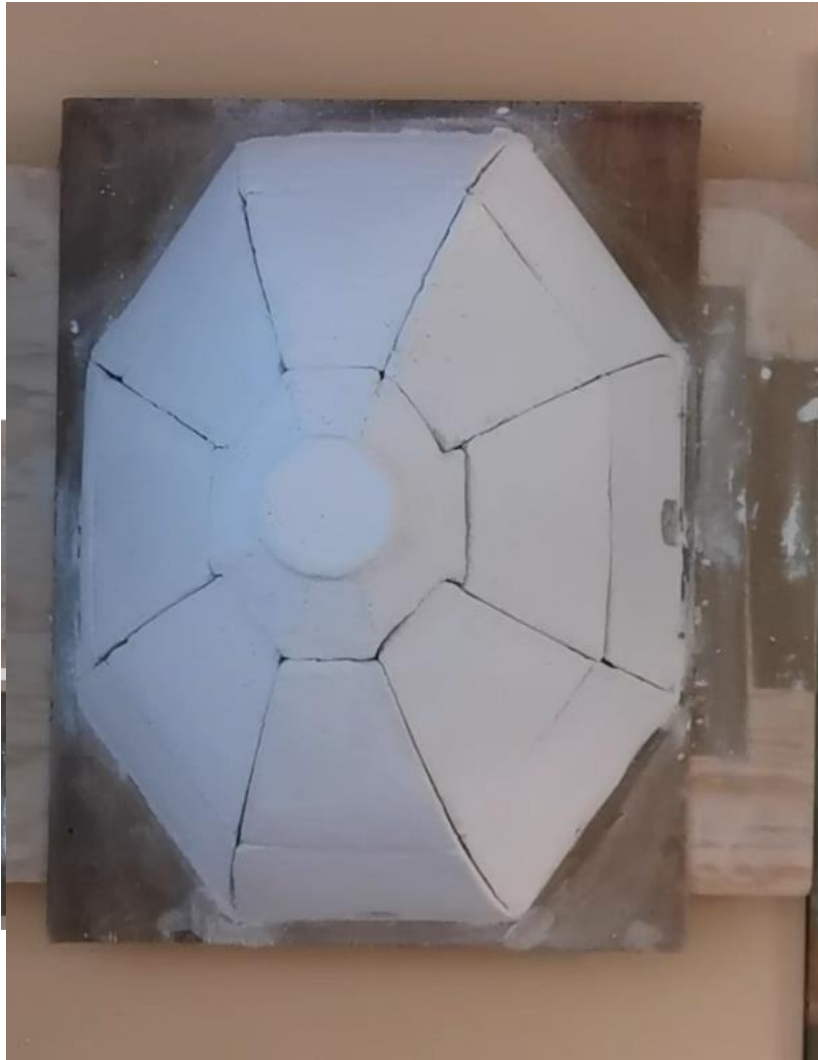


Fig. 4.26 Línea de empujes sobre sección de cúpula con inclinación de 18°. Elaboración propia.

Conclusiones

- Se puede afirmar que el inmueble ha soportado gran cantidad de episodios sísmicos y pese a los colapsos parciales ha subsistido.
- Las alteraciones y reconstrucciones con sistemas constructivos distintos a los que fue concebido han precipitado la pérdida de mayores porciones del conjunto. El sismo de 2017 lo dañó particularmente, fue el sismo más fuerte en la región en más de un siglo.
- Los episodios sísmicos nunca se repiten de la misma forma, inclusive podemos esperar un sismo de mayor intensidad en esta zona y no por ello necesariamente colapsará la estructura.
- Sin embargo, existe la posibilidad de que vuelva a ocurrir un evento de gran magnitud con una aceleración mayor a $0.15g$, cuyo periodo de retorno se estima en al menos 300 años.

¡Gracias por su atención!