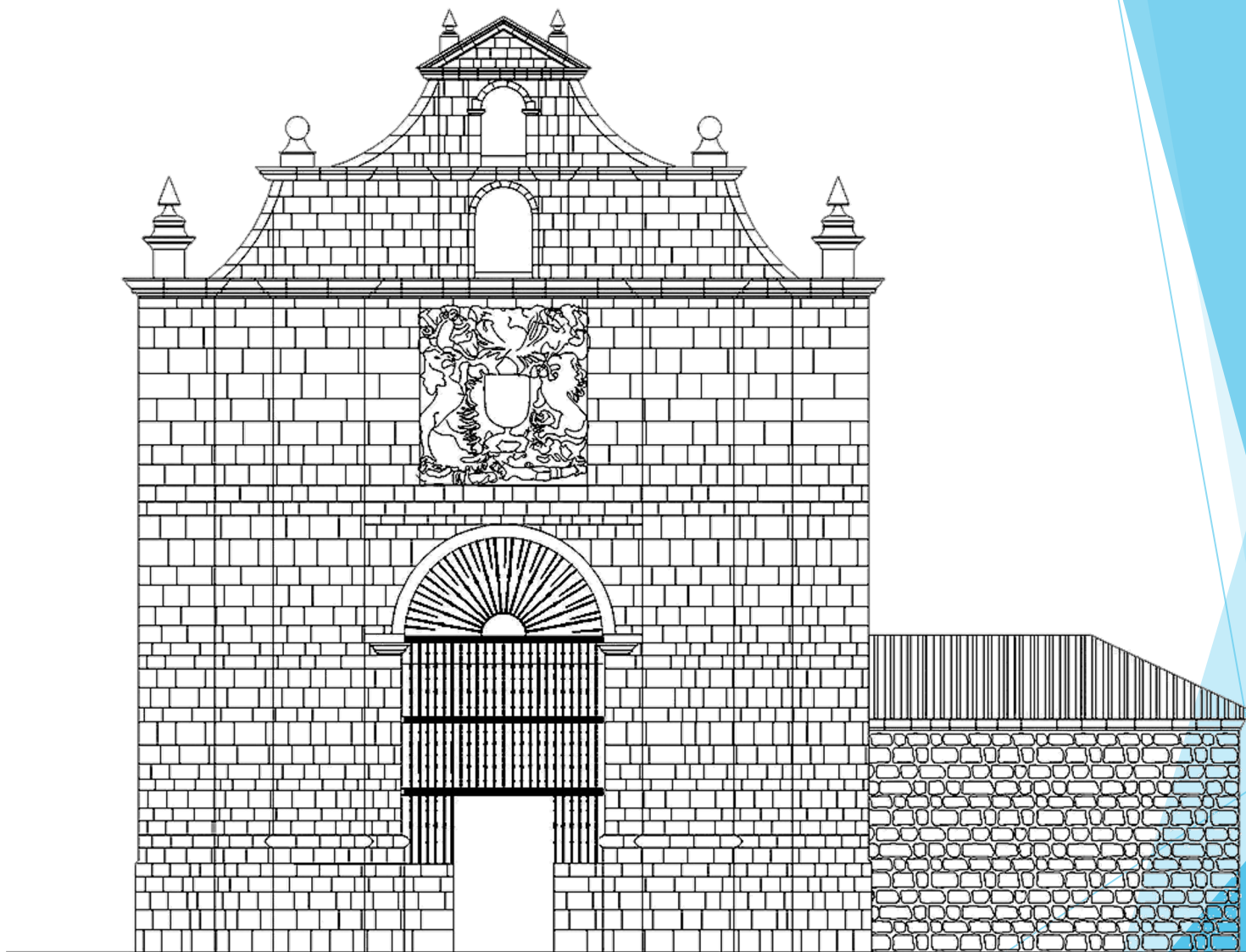


ZENBAKIEK KUPULA BATI EUTSI ZIOTEN

DE CÓMO LOS NÚMEROS SUJETARON UNA CÚPULA

ANNÍBAL GONZÁLEZ DE RIANCHO,
arkitektoa - arquitecto

JOSÉ LUIS R. DIEGO,
ingeniaria - ingeniero



CAPILLA DE LA FAMILIA URRUTIA. LA MELLA, ZALLA.











PATOLOGÍAS DE LA MADERA

Agentes **bióticos**

hongos

cromógenos
de pudrición

pudrición parda
pudrición blanca
pudrición blanda

insectos de ciclo larvario

líctidos (polilla)
curculiónidos (gorgojo)
anóbidos (carcoma)
cerambícidos (carcoma grande)

insectos sociales

reticulitermes lucifugus (termita)
criptotermis brevis (termita seca)

Agentes **abióticos**

agua
radiación solar

PATOLOGÍAS DE LA PIEDRA

DAÑOS OBSERVABLES:

- Modificación cromática
- Suciedad
- Excoriaciones
- Alveolización
- Arenización
- Fisuraciones y fragmentaciones
- Presencia de microorganismos



CAUSAS DEL DETERIORO

- Físico-mecánicas (agua, viento, hielo, temperatura...)
- Químicas ambientales (contaminación, salitres...)
- Biológicas (musgos, líquenes, bacterias...)
- Incompatibilidades (con morteros, metales...)
- Uso inadecuado (elección del tipo de piedra inadecuado)
- Deficiente conservación y/o restauración

PRINCIPAL ENEMIGO: ¡EL AGUA!

- Disolvente de los compuestos de la piedra
- Transporte de sales y otras sustancias
- Facilita la aparición de microorganismos
- Agua+viento=erosión (+bajas temperaturas)
- Humedades por capilaridad (eflorescencias, recristalización interior)
- Agua+Variaciones térmicas



UN POCO DE QUÍMICA

2,5% de humedad en peso sería ideal

Agua de lluvia+(CO, CO₂, SO_x, NO_x...)

SULFATACIÓN (cáncer de la piedra)



En este proceso además se libera CO₂ que junto con el atmosférico se disuelve fácilmente en agua dando ácido carbónico: CO₃H₂



Este bicarbonato cálcico recrystaliza en el interior provocando METEORIZACIÓN de la piedra

ATAQUES

BIOLÓGICOS

- Microorganismos
- Plantas
- Insectos, aves, perros...



MECÁNICOS-AMBIENTALES

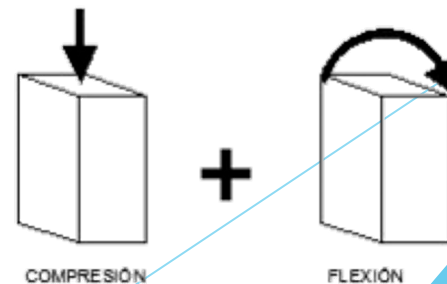
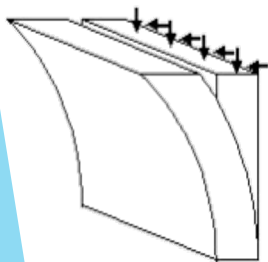
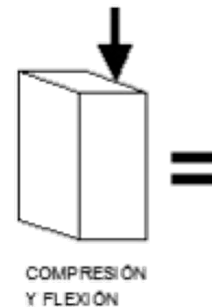
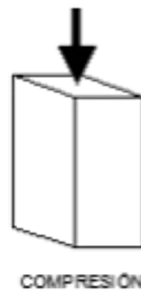
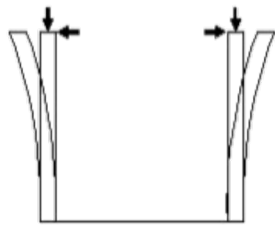
(grandes tensiones, defectos...)

HUMANOS

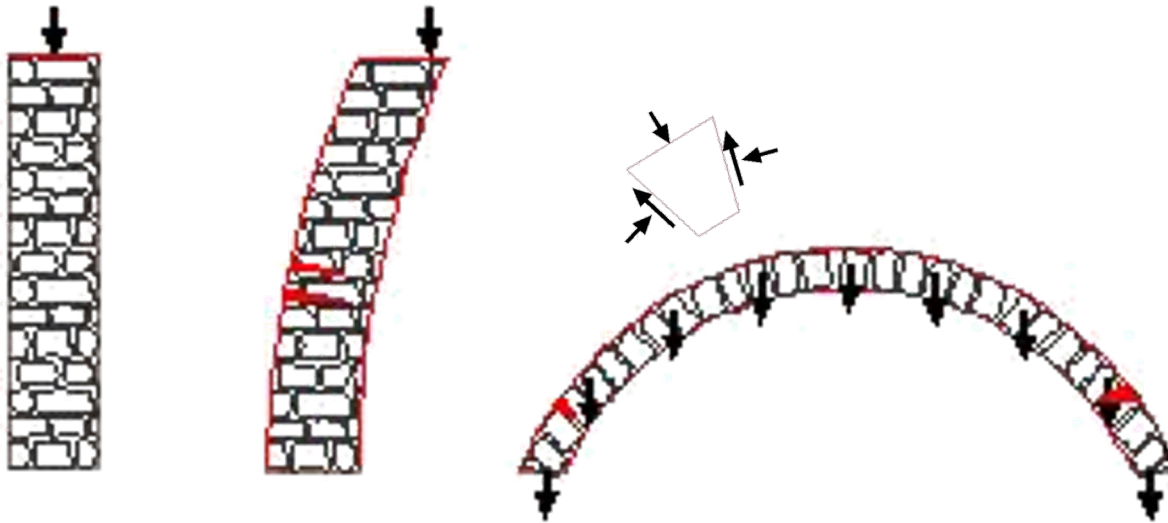


LA FÍSICA: ESTÁTICA Y DINAMICA

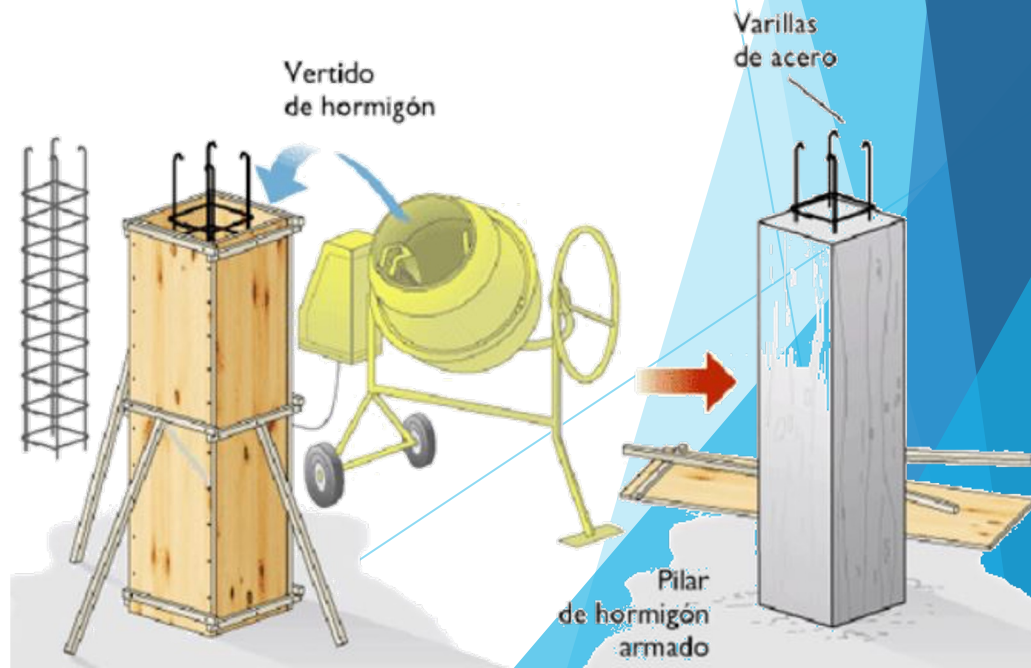
ACCIONES



RESISTENCIA DE MATERIALES-ESFUERZOS

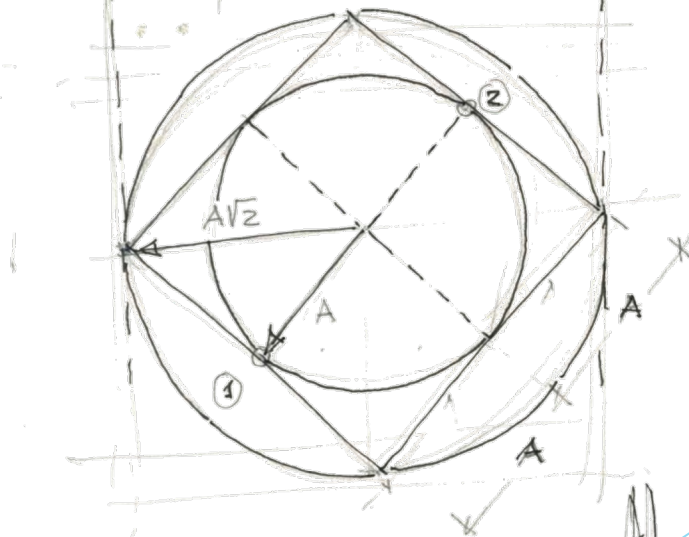
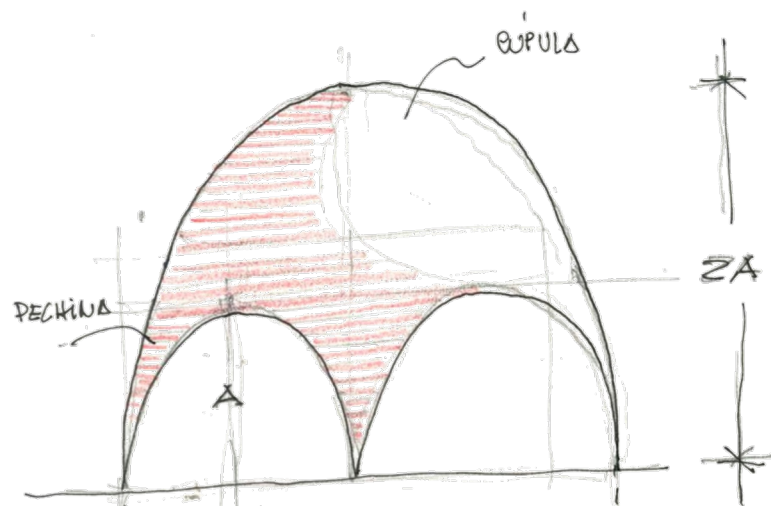
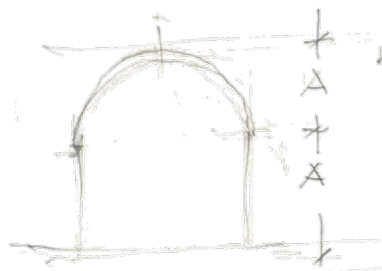
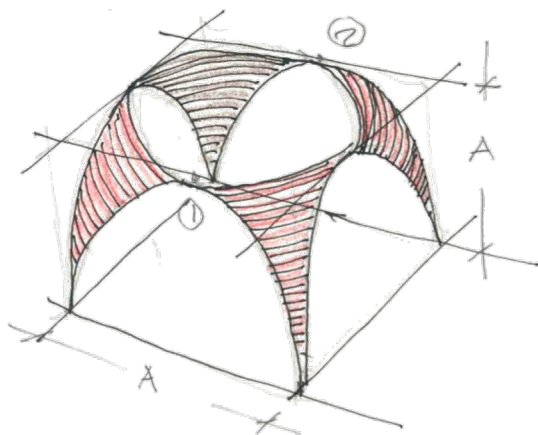


	DENSIDAD	RESISTENCIA
HORMIGÓN	2350 Kg/m ³	$\sigma_c = 150/500 \text{ Kg/cm}^2$ $\sigma_t = 15/50 \text{ Kg/cm}^2$
ACERO CORRUGADO	7850 Kg/m ³	$\sigma_c = 3500/5000 \text{ Kg/cm}^2$ $\sigma_t = 3500/5000 \text{ Kg/cm}^2$
ACERO INOXIDABLE	8000 Kg/m ³	$\sigma_t = 7000 \text{ Kg/cm}^2$
PIEDRA	2500 Kg/m ³	$\sigma_c = 150/2000 \text{ Kg/cm}^2$
HORMIGÓN ALIGERADO	1600 Kg/m ³	$\sigma_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$
MADERA	400/550 Kg/m ³	$\sigma_c = 160/230 \text{ Kg/cm}^2$ $\sigma_{\text{flexión}} = 140/300 \text{ Kg/cm}^2$

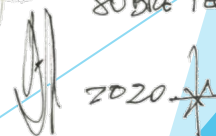


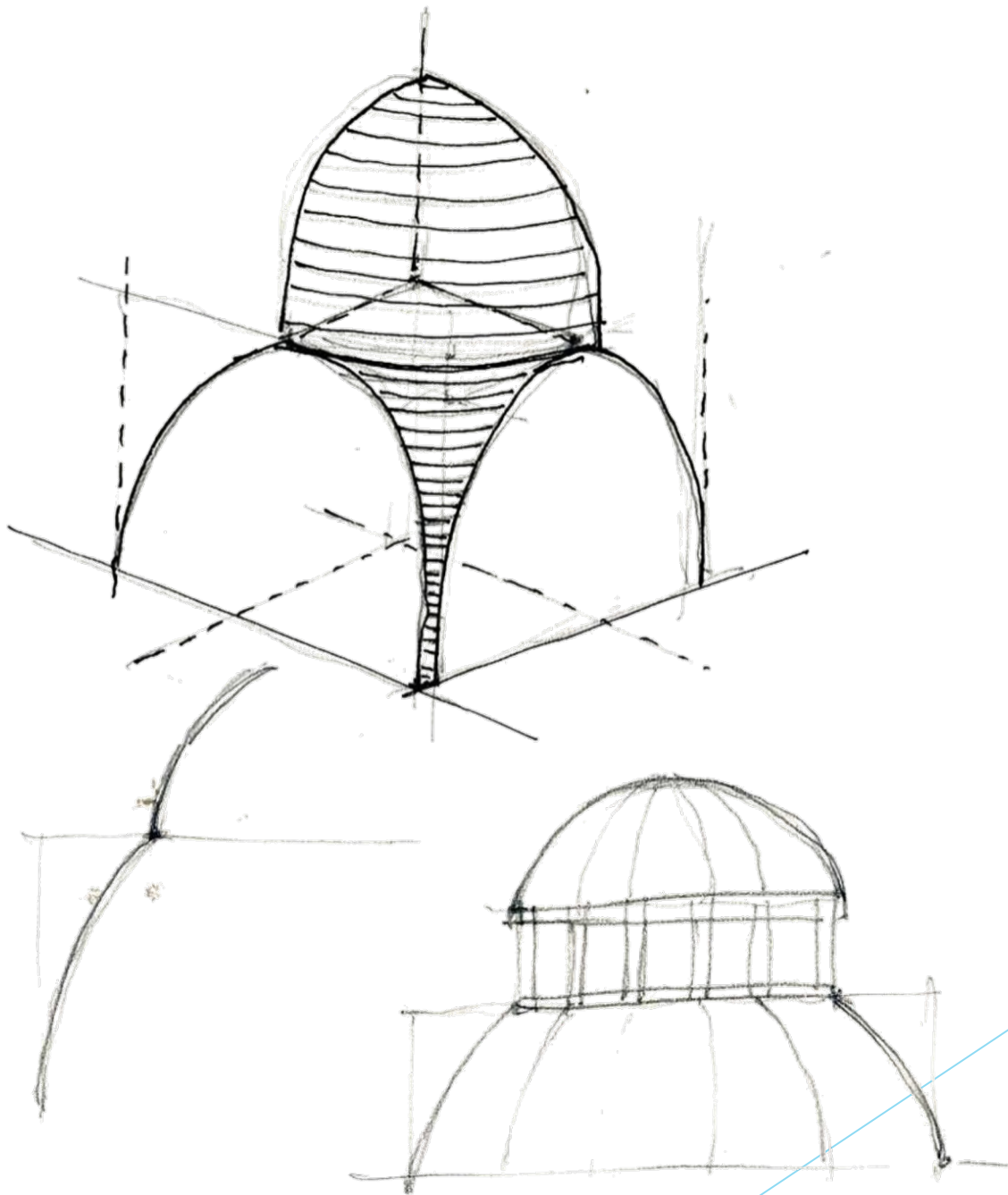






CÚPULA
SOBRE PECHINAS





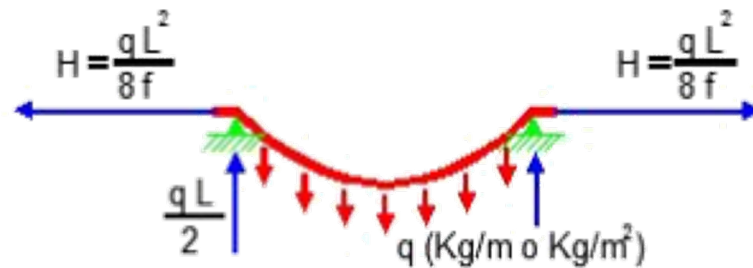
ESTÁTICA DE HILOS

Catenaria (Huygens, Leibniz, Bernouilli, 1690)=catena, cadena

CABLE SOMETIDO A SU PROPIO PESO

CATENARIA

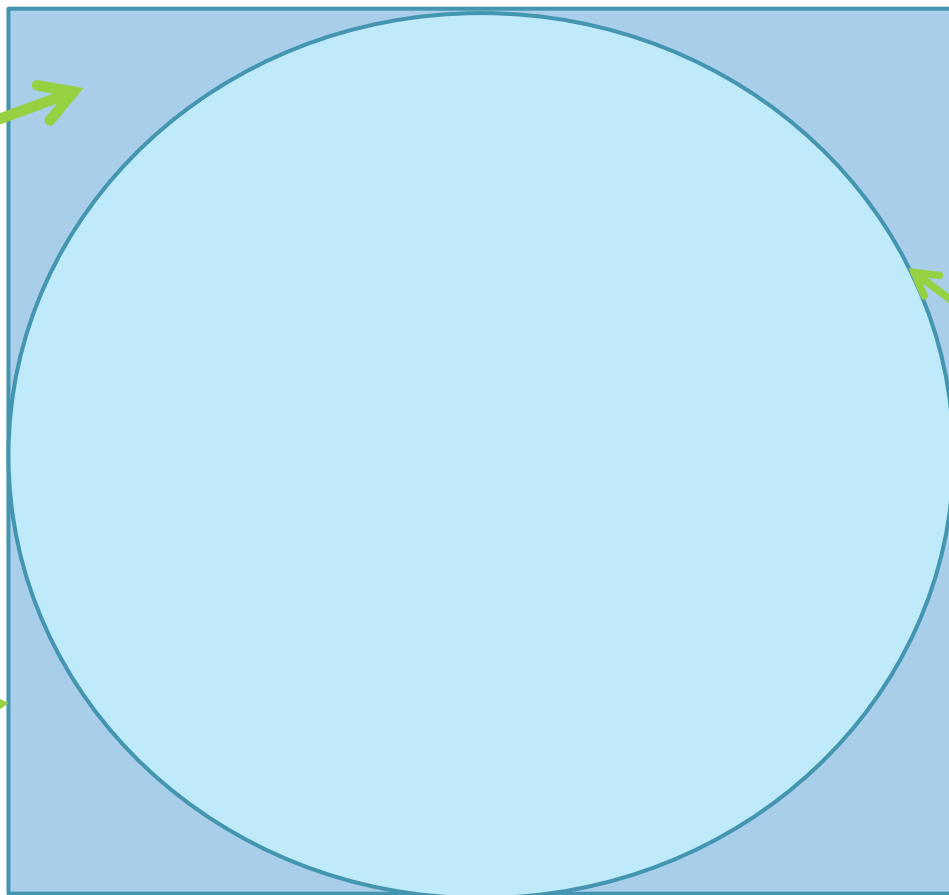
$$z = a \cosh \frac{x}{a}, \text{ donde } a = \frac{T_0}{q}$$



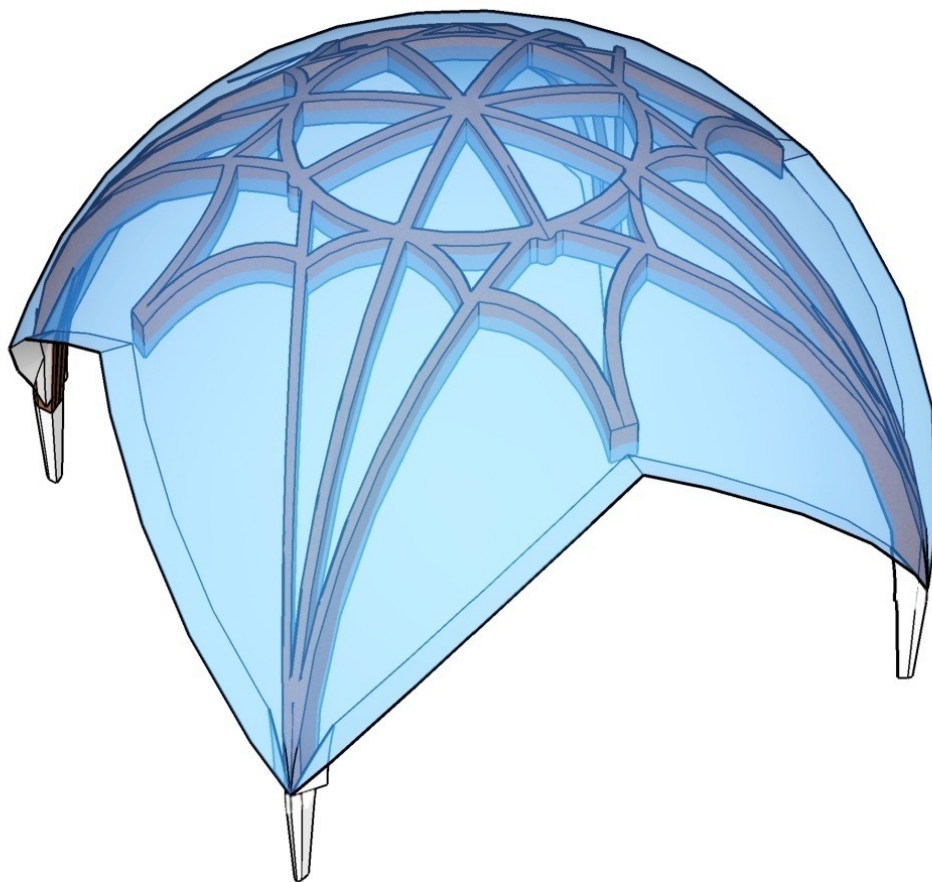
PECHINAS

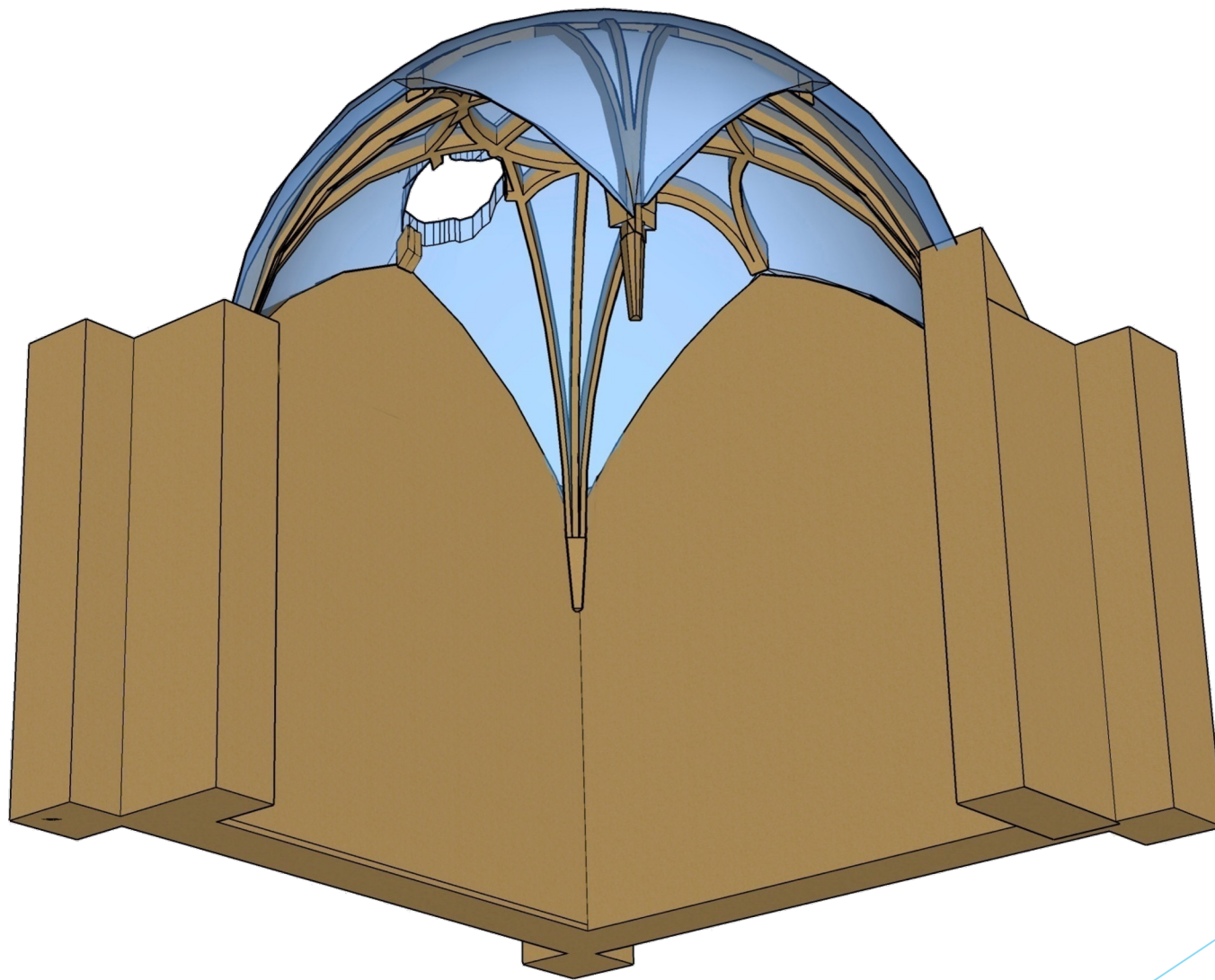
Cuadrado

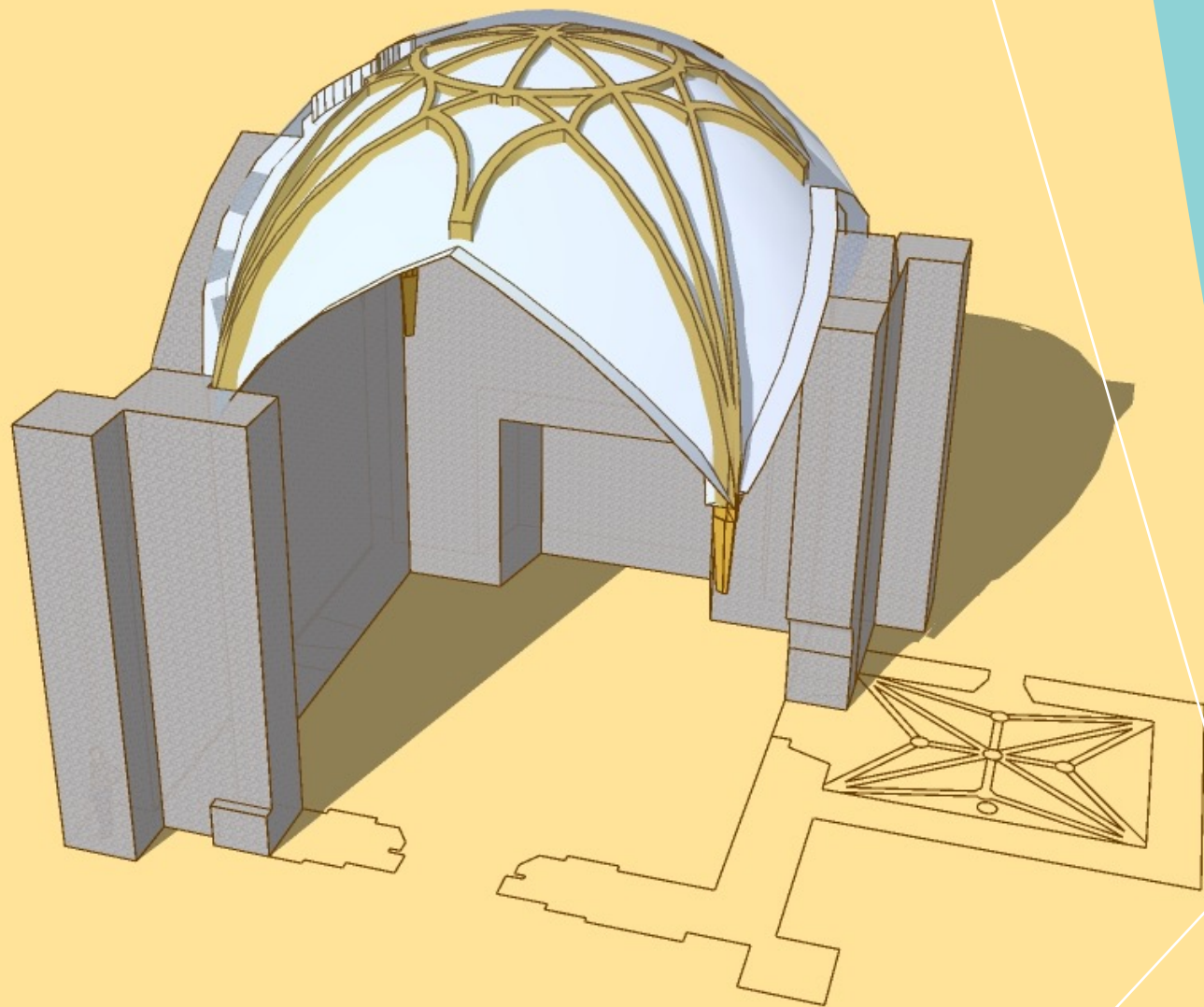
Círculo



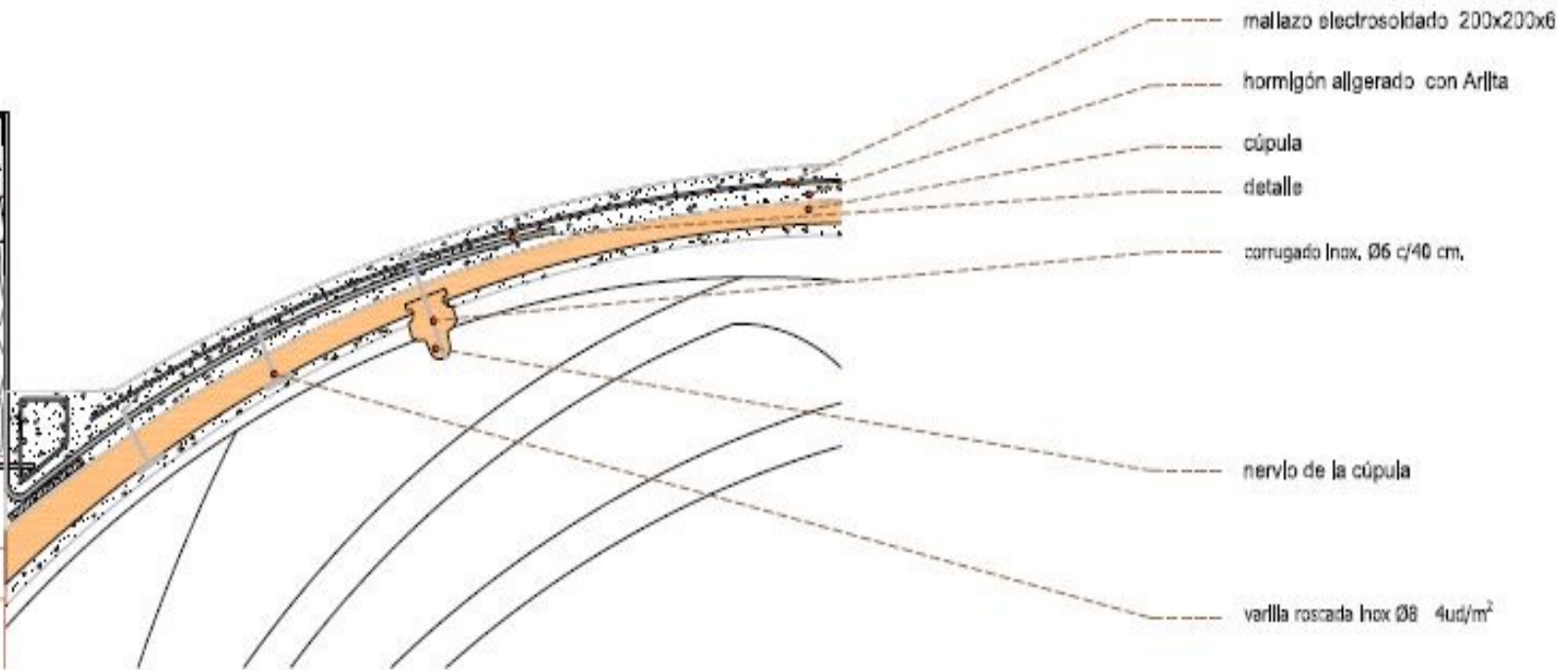
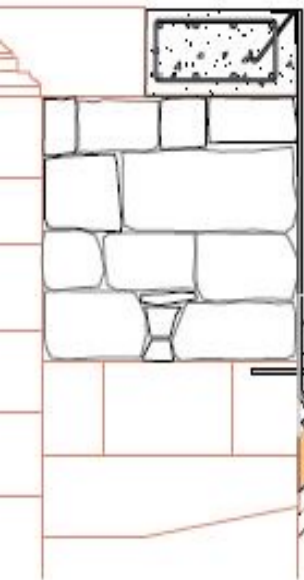




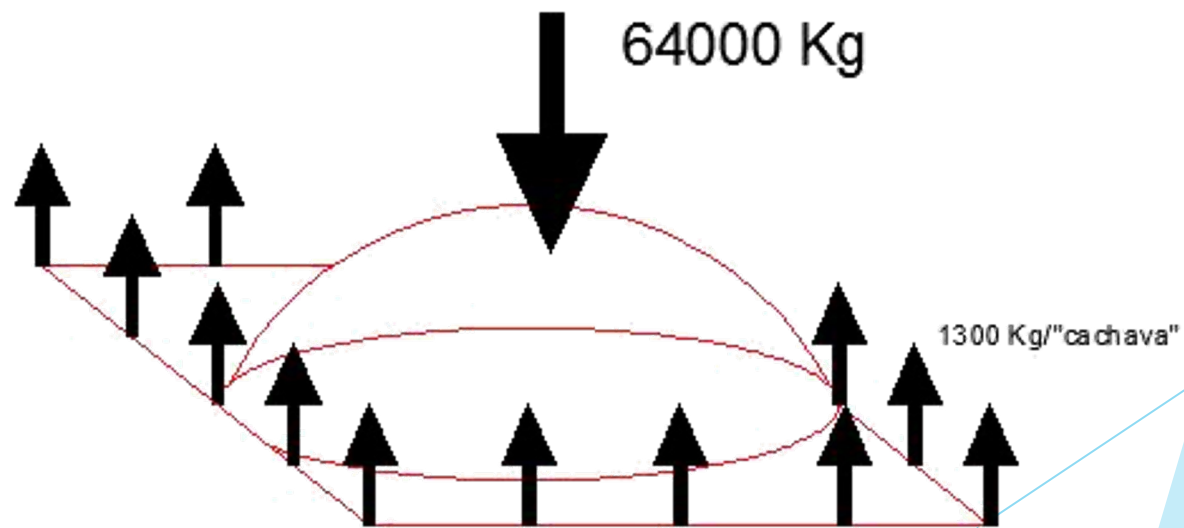




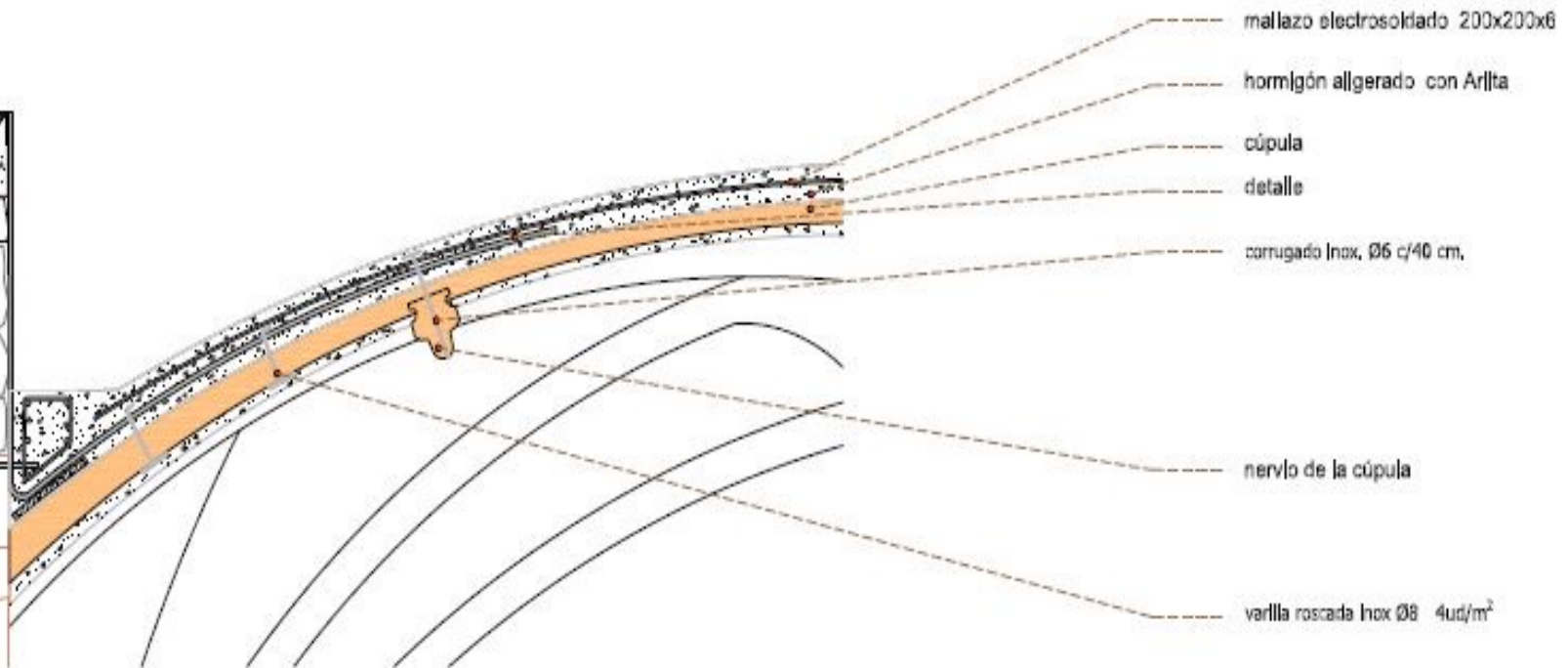
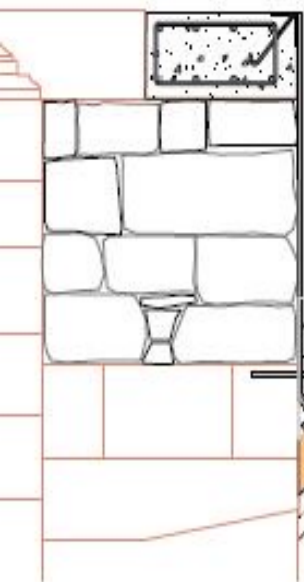
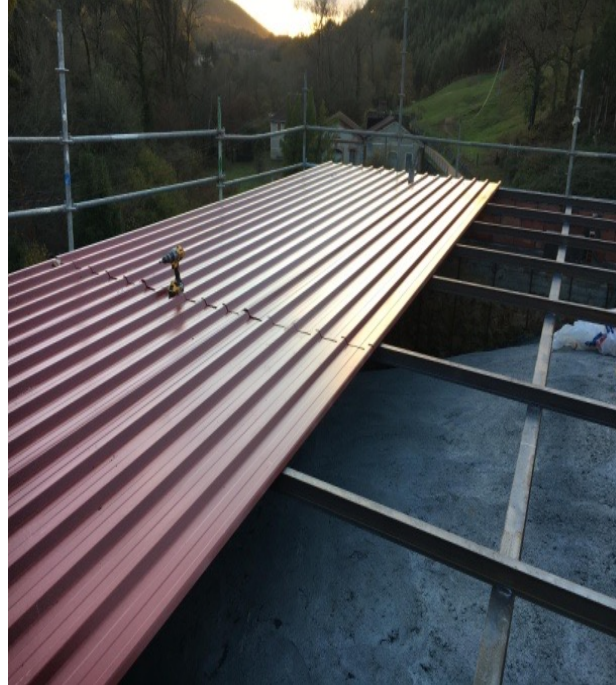




detalle del zuncho y de la cúpula 1/20



unas 50 "cachavas" de diámetro 16
cada "cachava" podría soportar unos 7000 Kg





Hemos sujetado la cúpula gracias a los números

Geometría

Física

Arqueología

Mecánica

Historia

Matemáticas

Historia del arte

Química

Resistencia de materiales

