

Introducción

Las bóvedas sin cimbra consisten en el empleo del ladrillo como pieza medular y en un mortero previamente dosificado; ambos materiales locales y de uso tradicional que permiten, a su vez, trabajar con mucha flexibilidad, formando arcos sometidos exclusivamente a su propio peso, de formas armónicas con una infinita variedad de texturas y calidad espacial incomparable.

Estas bóvedas son originarias de la República de México, específicamente de regiones como Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Tlaxcala, Puebla y Morelos. Tanto por sus prestaciones estructurales como por las libertades que brinda en el diseño de cubiertas que han denotado un amplio empleo de la técnica en gran parte del mundo, su proliferación se ha visto impulsada principalmente por el arquitecto y profesor de la Universidad de Oaxaca, México: Ramón Aguirre Morales. Este arte llega a Cuba a partir de 2005 con una serie de seminarios e incursiones realizadas por Ramón, con el objetivo de engrosar el espectro de técnicas y tecnologías de cubiertas para viviendas sociales y con tecnología convencional.

A continuación, se pone a disposición de los lectores un manual de procedimientos donde se describen los procesos técnicos constructivos referentes a las bóvedas de cañón y las bóvedas de pechina, dos de los estilos pertenecientes a la amplia gama de formas logradas con las bóvedas sin cimbra.

El presente manual se produjo como resultado de un proyecto de colaboración con fondos de la Federación de Rusia en Santiago de Cuba tras el paso del huracán Sandy (2015), y se publica en esta oportunidad como parte de los proyectos de recuperación de Guantánamo, azotada por el huracán Matthew -categoría 4 en la escala Saffir-Simpson- en octubre de 2016, el cual ocasionó severos daños al fondo habitacional de la provincia.

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con apoyo del SURGE, la Unidad de Respuesta a Crisis (CRU) del PNUD; organizan un taller de entrenamiento práctico a operarios de Guantánamo para la construcción de bóvedas sin cimbras, a impartirse por el experto Ramón Aguirre en los meses de julio y agosto en la ciudad de Guantánamo y Baracoa.

“Reconstruyendo mejor Guantánamo, con techos seguros” agrupa varios proyectos de colaboración de la carpeta de Riesgo y desastres del PNUD en Cuba; que en esta oportunidad promueven . Esta iniciativa de cooperación se realiza con el apoyo de fondos propios de PNUD, la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE) y, más recientemente, con fondos de la Federación de Rusia para el fortalecimiento de las mini-industrias de producción local de materiales de la construcción. Siempre en estrecho vínculo con el gobierno local guantanamero y atendiendo al Plan de Acción de Naciones Unidas para la recuperación de viviendas tras el paso del huracán Matthew, bajo el principio de reconstruir mejor y elevar la resiliencia de las viviendas afectadas, las ciudades y la provincia de Guantánamo.

Los contenidos técnicos puestos a disposición a partir del presente texto tienen como objetivo lograr un mayor empleo de la técnica de construcción de bóvedas sin cimbra en las regiones afectadas, mediante la transferencia de conocimientos de soluciones de techos seguros para facilitar una recuperación temprana en Guantánamo; y extender el uso de esta técnica en el resto del país.

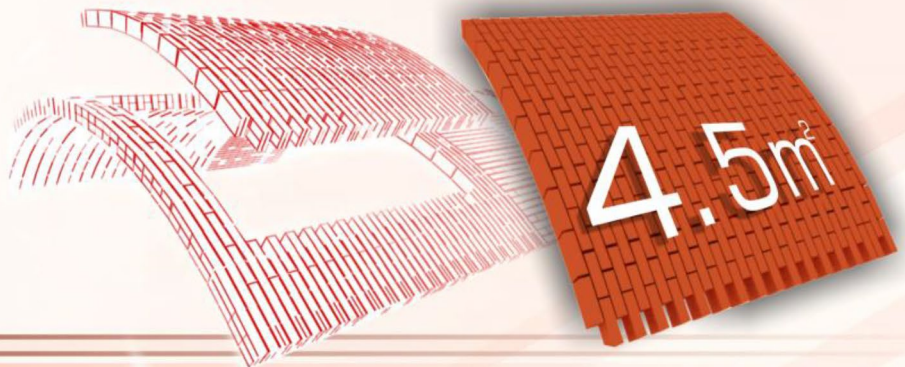
Cuba, 2017.



Construcción de bóvedas | mezcla-ladrillo

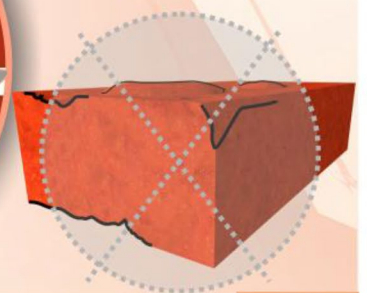
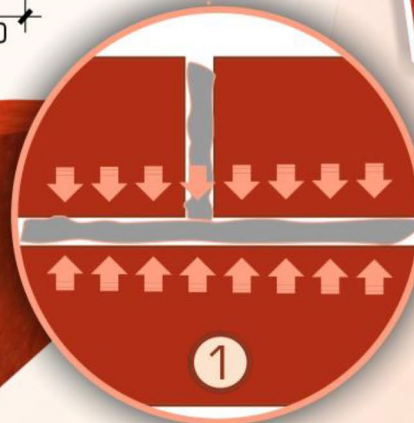
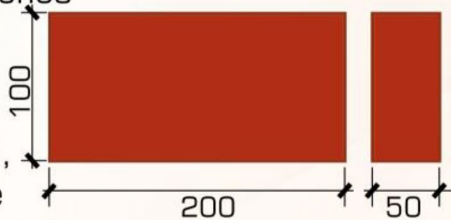
1 paso

La mezcla es similar a la que se usa para la construcción de muros de ladrillos mampuestos. Se prepara en proporciones de 1 saco de cemento de 50kg por dos sacos de cal de 25 kg y ocho botes de arena cernida, estas brindan un rendimiento de $4.5m^2$. Debe tener una consistencia viscosa y fluida.



2 paso

Las dimensiones del ladrillo a emplear serán de $10 \times 20 \times 5 \text{cm}$, la calidad de terminación debe ser la mejor posible ya que la uniformidad de las caras y aristas del mismo garantizan una mejor tensión superficial (1), principio de las bsc.

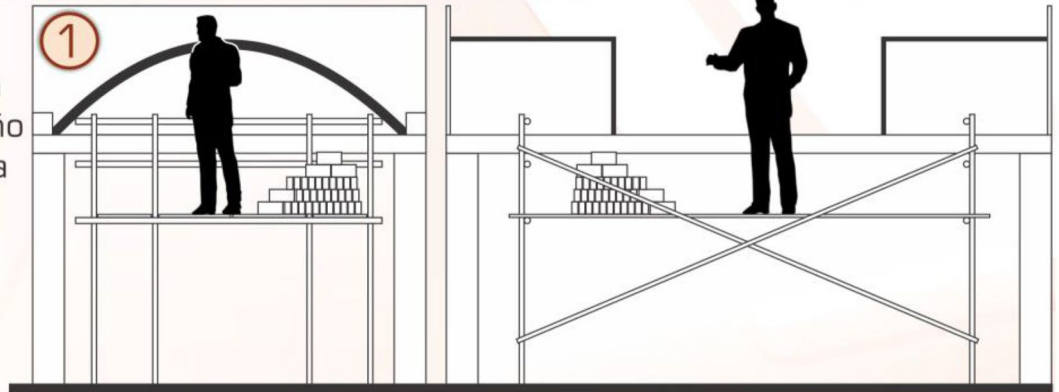




Construcción de bóvedas | andamio

1 paso

Los andamios a emplear se ubicarán de acuerdo al tamaño y altura de la bóveda ó pechina (1). Si es posibles se deben crear varias plataformas para facilitar las labores constructivas (2) y (3).



En caso de no poseer un andamio metálico se podrá implementar uno de madera como se indica en la imagen.



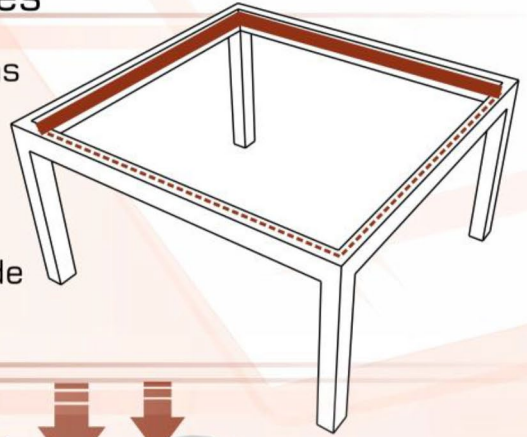
bóvedas sin cimbra

Bóveda de cañón

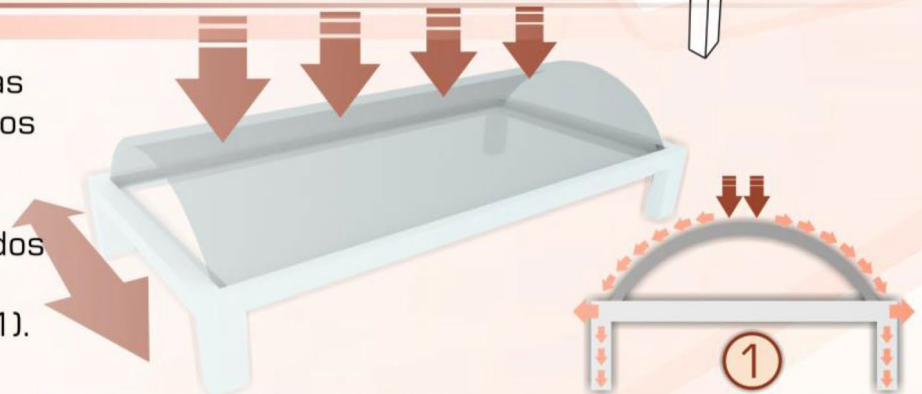
Estructura portante | trabes

La estructura portante va a estar dada tanto en las bóvedas estilo pechinas como en las de cañón por vigas de hormigón armado con ménsulas ó "patín", en algunos casos se pueden emplear perfiles metálicos.

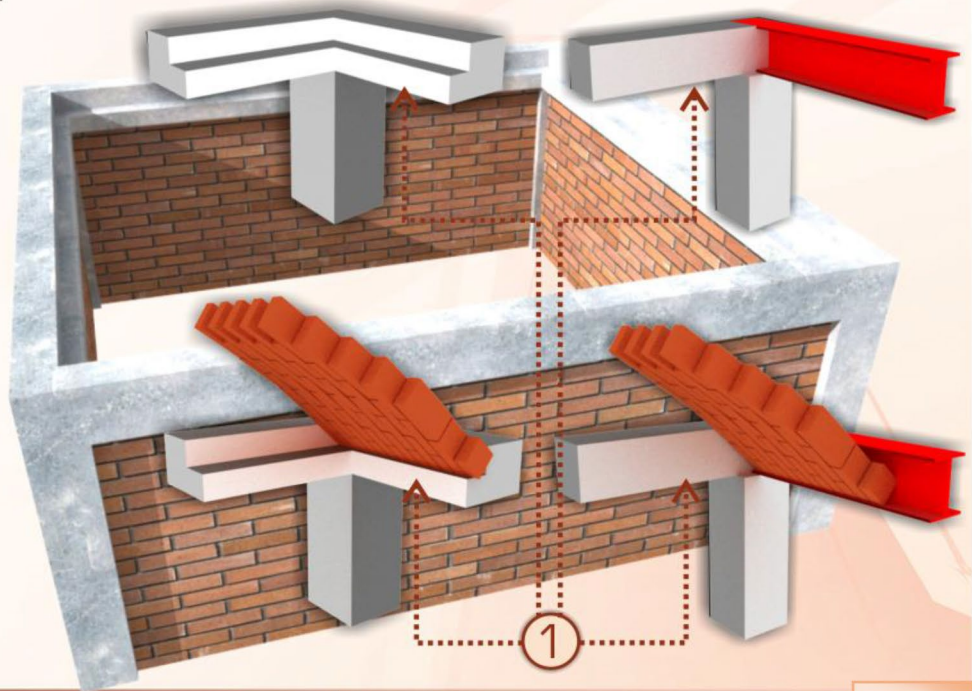
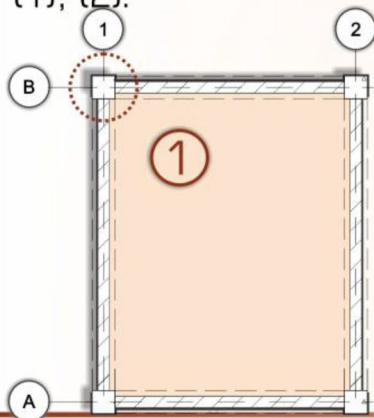
Las ménsulas se desarrollarán en toda la longitud de las vigas de la estructura portante



El objetivo de estas ménsulas es conformar los denominados "trabes" cuya función es transmitir los esfuerzos de empuje horizontales generados por las bóvedas hacia las vigas y columnas (1).



Los trabes se construyen de hormigón armado y en algunos casos podrán emplear perfiles metálicos (perfil I) combinados con los ya mencionados. (1), (2).

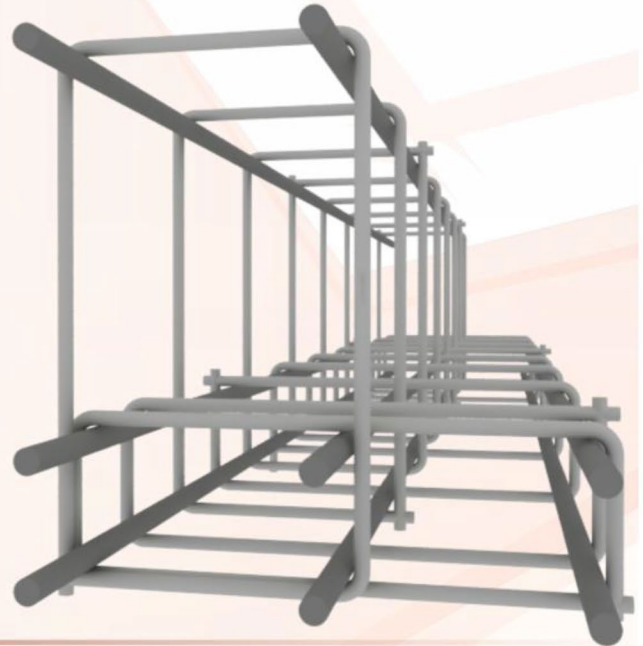
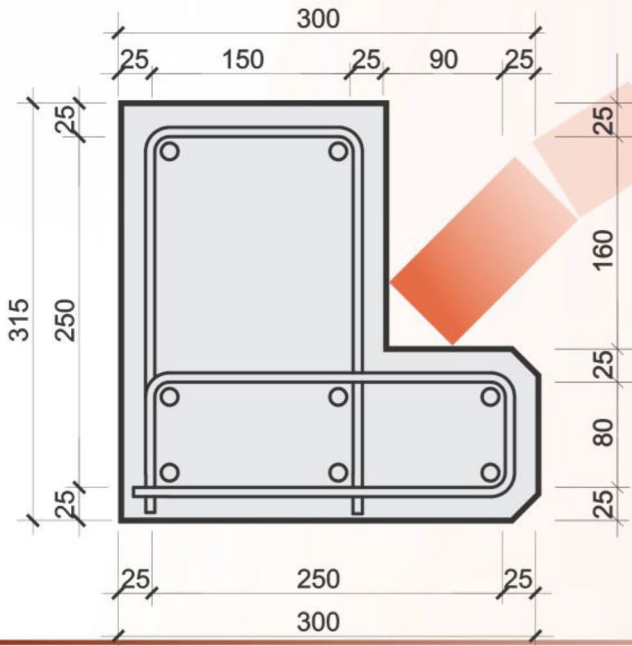


bóvedas sin cimbra



Estructura portante | construcción de trabes (simple)

Se dispondrán para cada viga 8 barras de acero G-40 de $\phi 1/2"$, los cercos serán elaborados con acero G-34 $\phi 3/8" @ 250\text{mm}$.



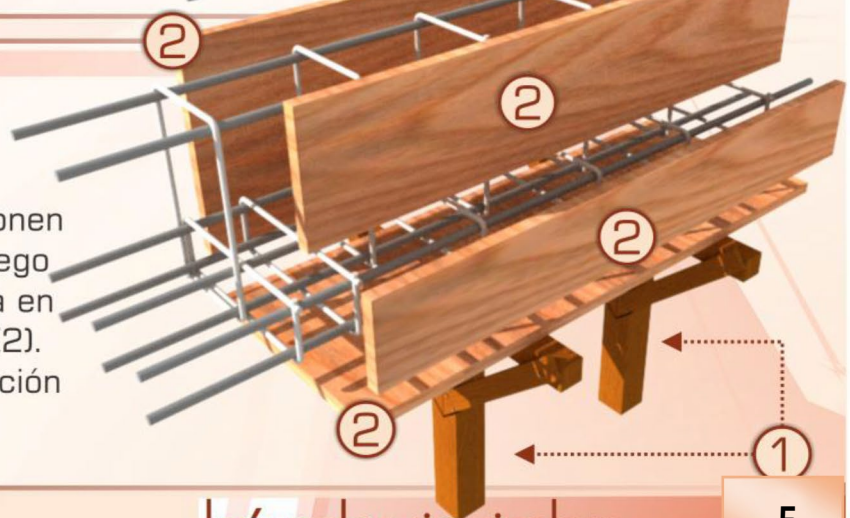
1 paso

Para la elaboración del refuerzo de acero se tendrán en cuenta la especificaciones del gráfico anterior y quedará conformado como se muestra en la imagen.



2 paso

Se comienza la confección del encofre. Primeramente se disponen las "muletas" o puntales (1), luego se ubicarán tablonces de madera en la parte inferior y los laterales (2). Se emplearan clavos para la fijación de los elementos de madera.

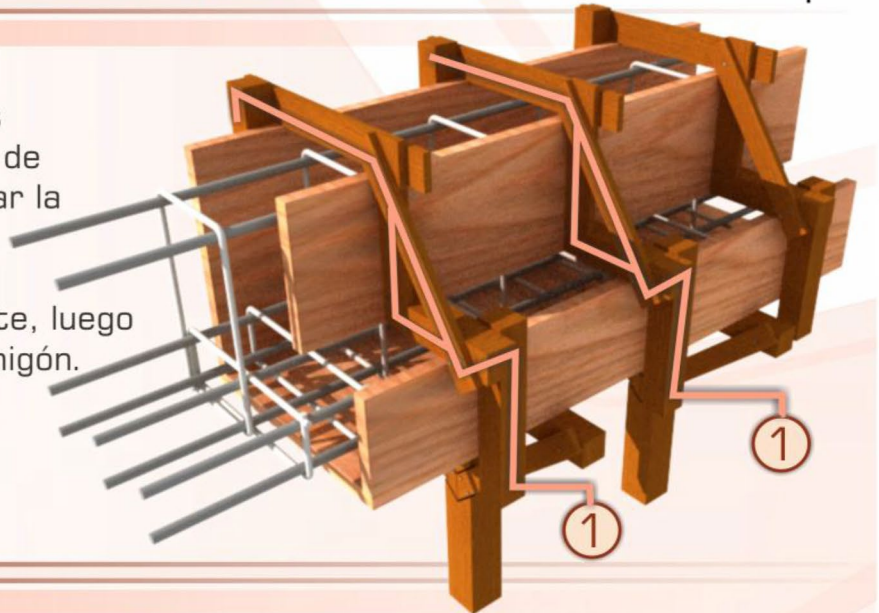




Estructura portante | construcción de traveses (simple)

3 paso

Posterior a la ubicación de los tablonces se añadirán listones de madera (1) para lograr rigidizar la estructura y fijar cada una de las piezas en las zonas que se indican respectivamente, luego se procede al vertido del hormigón.



4 paso

El hormigón se vertirá primero hasta la altura de la ménsula (1), se aplicará fija a la mezcla, y se continuará el llenado del encofre hasta llegar al peralte indicado (2).



5 paso

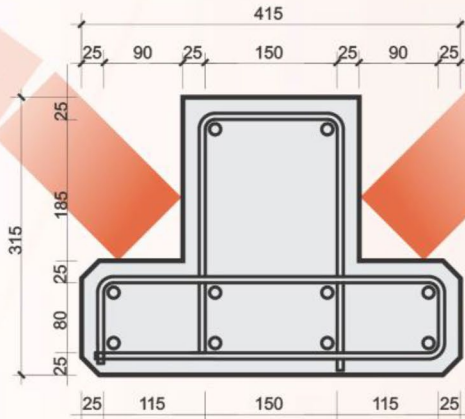
Luego de realizar el hormigonado se esperará el proceso de fraguado y posterior secado en el tiempo establecido de cada uno de estos, cuando el hormigón haya alcanzado la resistencia requerida se retira la estructura de madera.



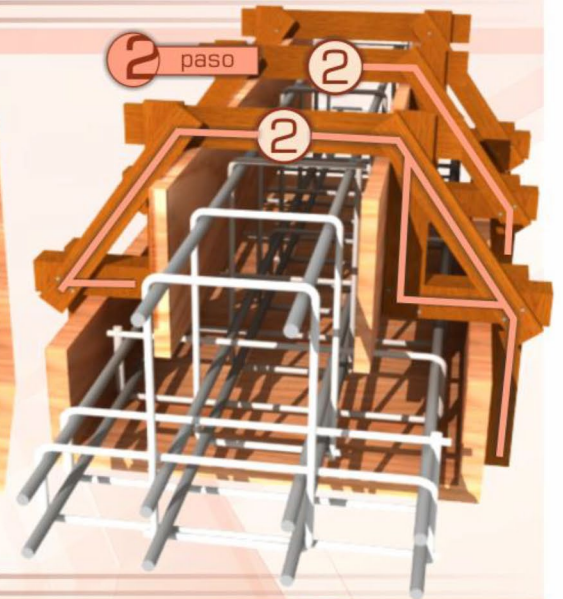
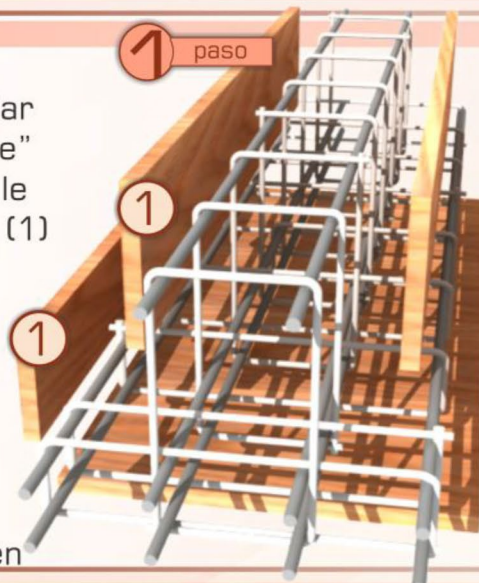


Estructura portante | construcción de traveses (doble)

En algunos casos la ubicación de una bóveda contigua a otra requiere de la implementación de una viga con dos traveses



La estructura del encofrado será similar a la del "trabe simple" sólo que en este se le añadirán 2 tablonces (1) de madera y los elementos rigidizadores de la estructura (2) también cambiarán su cantidad y ubicación como se muestra en la imagen



El proceso de hormigonado será similar al del "trabe simple"



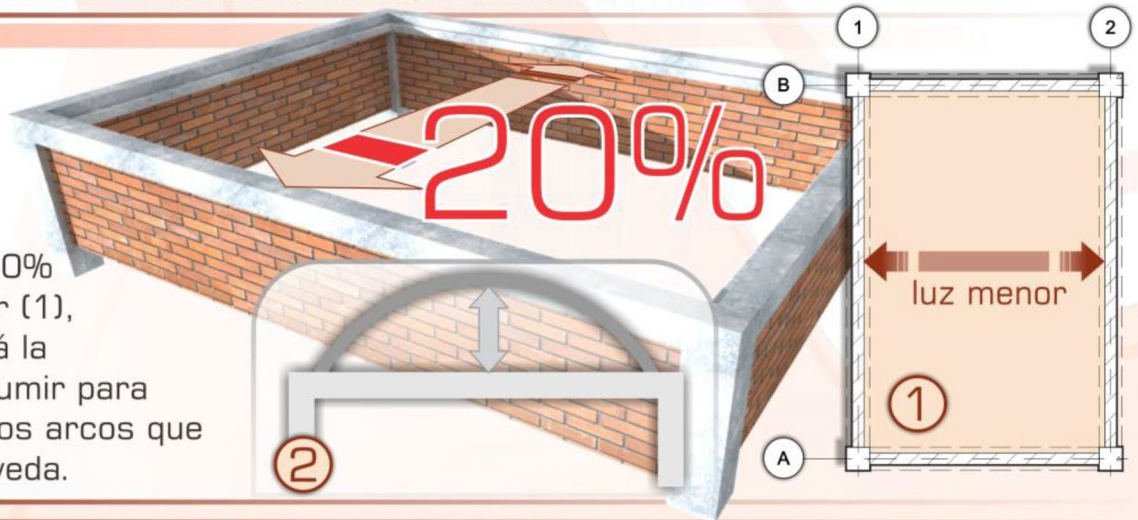
bóvedas sin cimbra



Trazado de bóvedas | bóveda de cañón

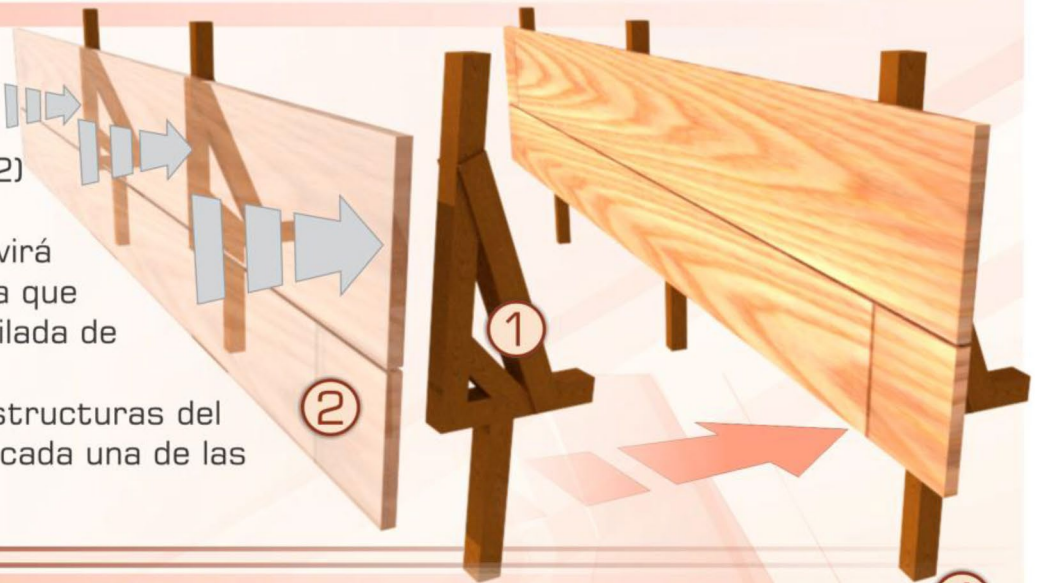
1 paso

Luego de construir la estructura portante se determina el 20% de la luz menor (1), este valor será la flecha (2) a asumir para el trazado de los arcos que definirán la bóveda.



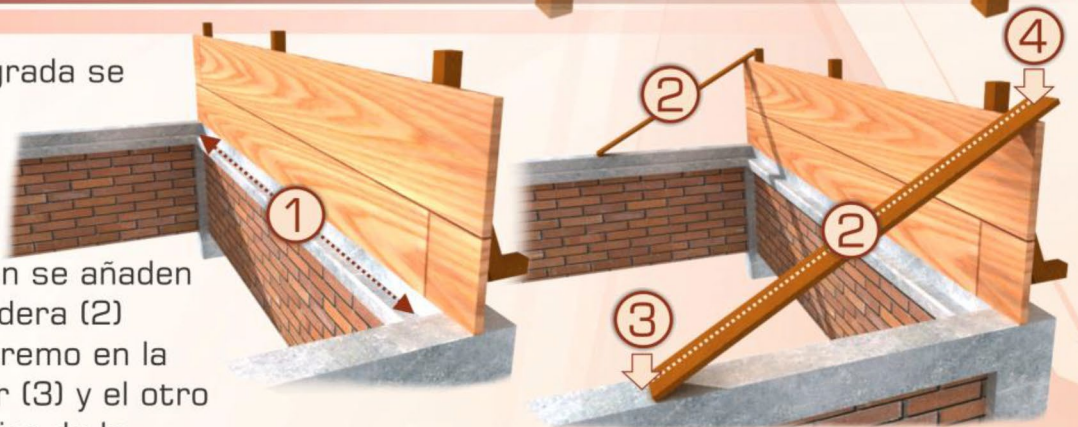
2 paso

Crear una estructura de madera con listones (1) y tablas (2) como se muestra en los gráficos, esta servirá para soportar la curva que denotará la primera hilada de ladrillos. Se construirán dos estructuras del mismo tipo (una para cada una de las vigas de luz menor).



3 paso

La estructura lograda se ubica sobre las vigas de luz menor (1), para concluir la correcta fijación se añaden dos tablas de madera (2) asentando un extremo en la viga perpendicular (3) y el otro en la parte superior de la estructura (4).

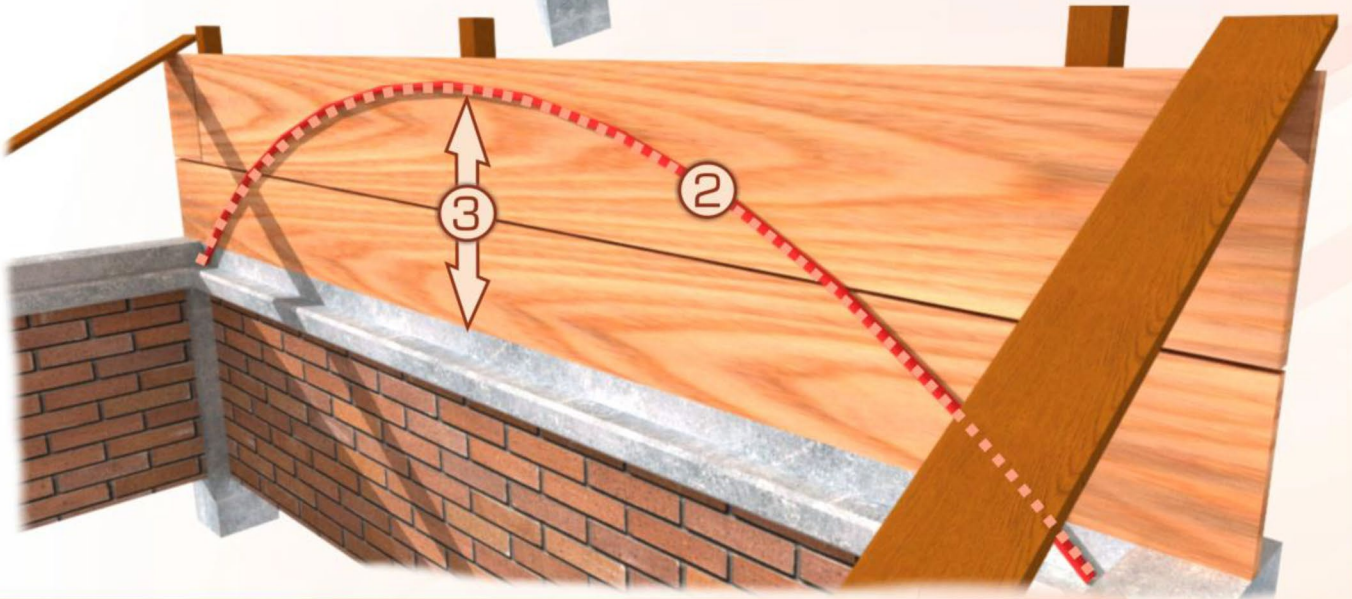




Trazado de bóvedas | bóveda de cañón

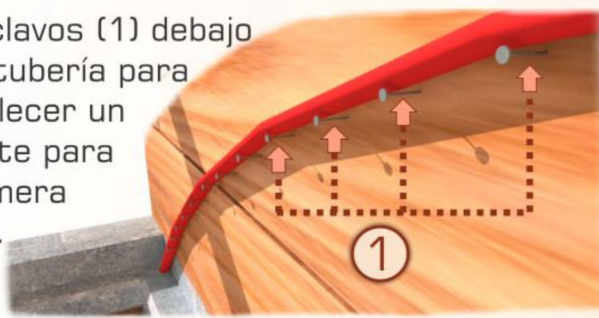
4 paso

Cuando se encuentren montadas las estructuras de soporte (1) se tomara un tubería plástica (2) lo suficientemente flexible para simular la curva deseada alcanzando la dimensión de la flecha (3) previamente calculada.



5 paso

Fijar clavos (1) debajo de la tubería para establecer un soporte para la primera hilada.



6 paso

Retirar la tubería y comenzar la primera hilada utilizando como guía la línea que describen los clavos (2).



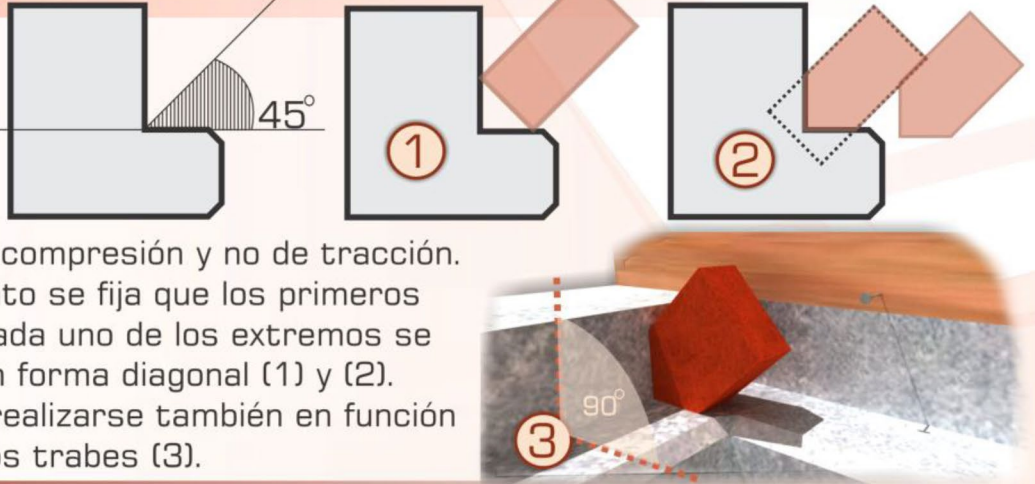
bóvedas sin cimbra



Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

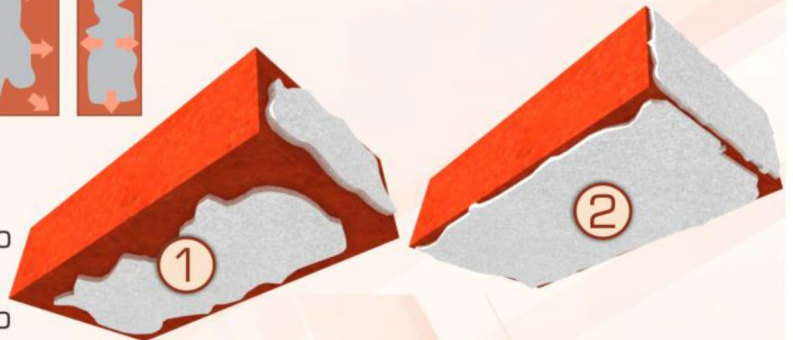
1 paso

El ladrillo debe tener una inclinación de 45° para lograr que los esfuerzos generados en la bóveda sean de compresión y no de tracción. Con este requerimiento se fija que los primeros ladrillos a poner en cada uno de los extremos se le aplicarán cortes en forma diagonal (1) y (2). Estos cortes deben realizarse también en función del ángulo recto de los traveses (3).



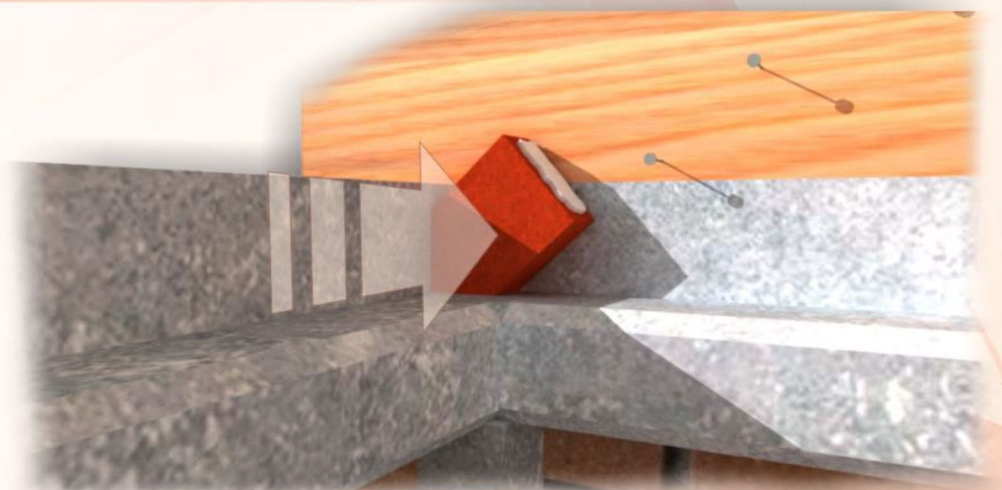
2 paso

La mezcla se le añade al ladrillo en la parte inferior y en uno de los laterales, esta no debe sobrepasar los bordes, sino que solo se aplicará de la forma que se indica en el gráfico (1) logrando que se expanda (2) al colocar un ladrillo sobre otro cuando se confeccionan las hiladas.



3 paso

Luego de seccionar el ladrillo y añadirle la mezcla se procede a ubicarlo en la zona previamente definida.

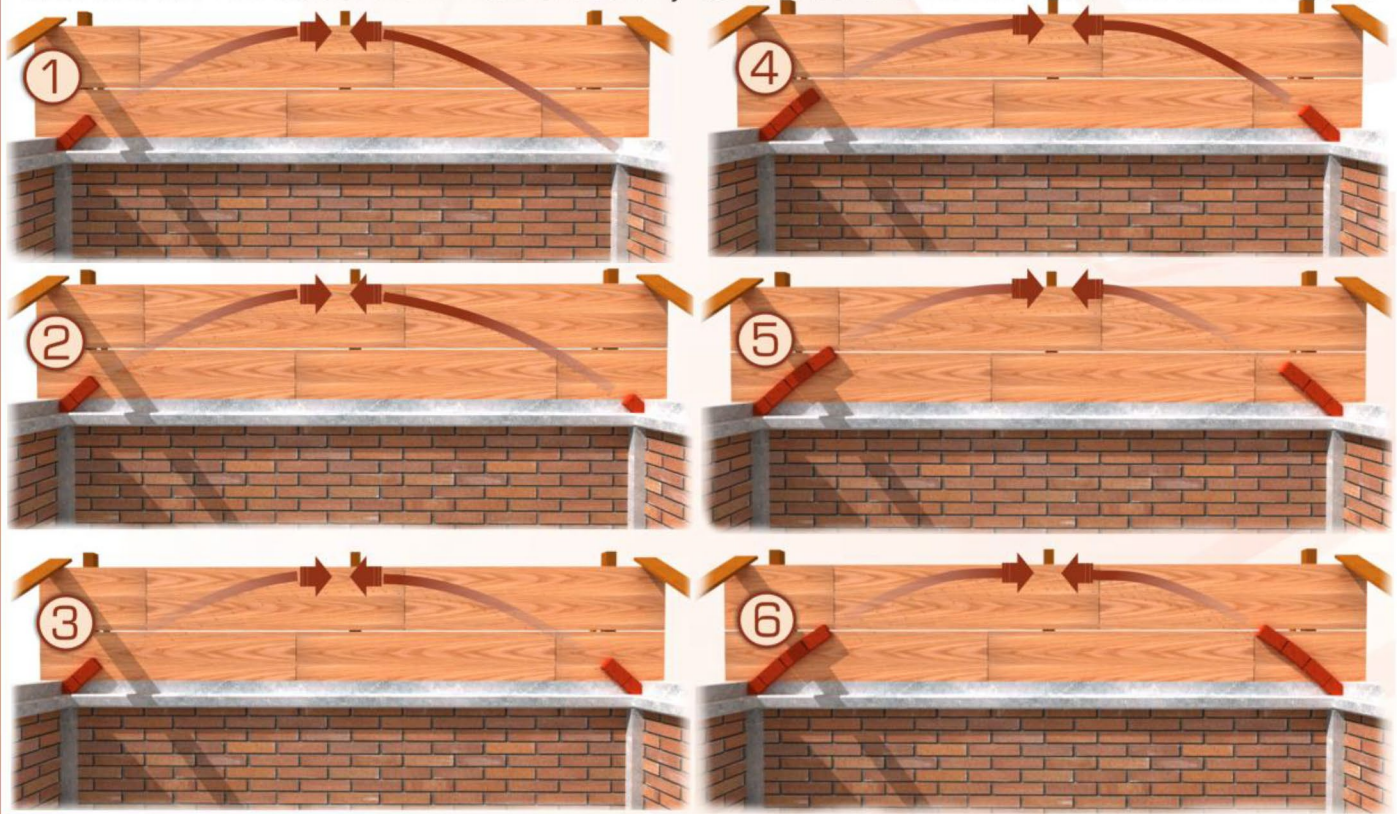




Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

4 paso

Los ladrillos se ubicaran de uno a la vez y de forma alterna en cada extremo (1)-(6).



5 paso

La técnica empleada en la ubicación de los ladrillos se mantendrá en todas las hiladas y en la completa composición de la bóveda

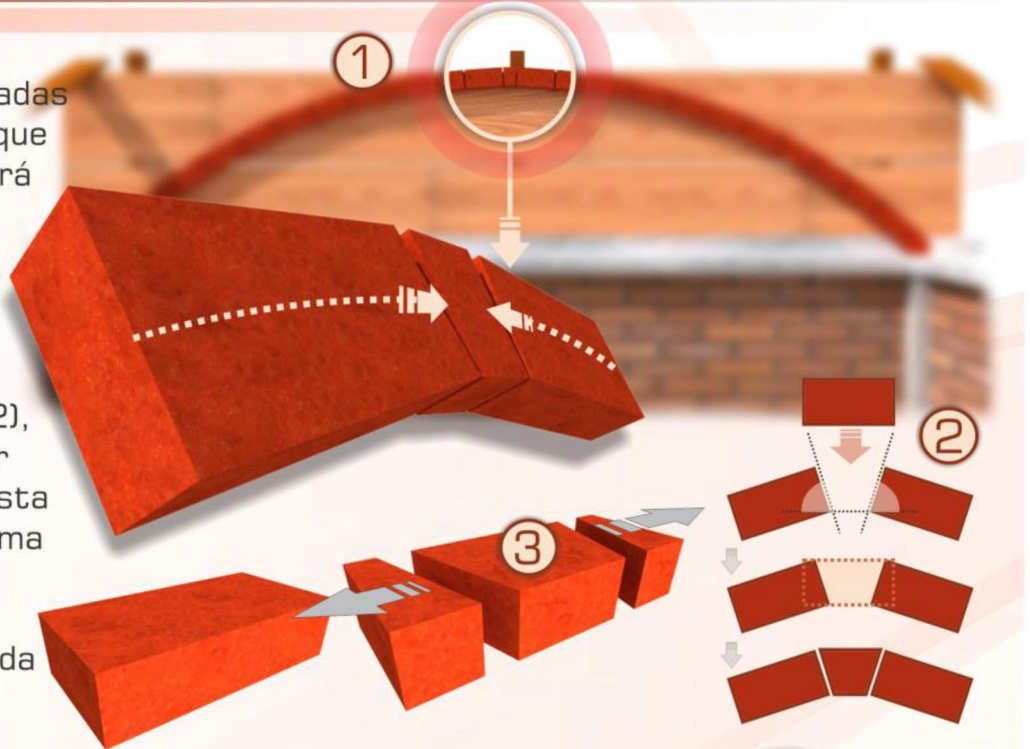




Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

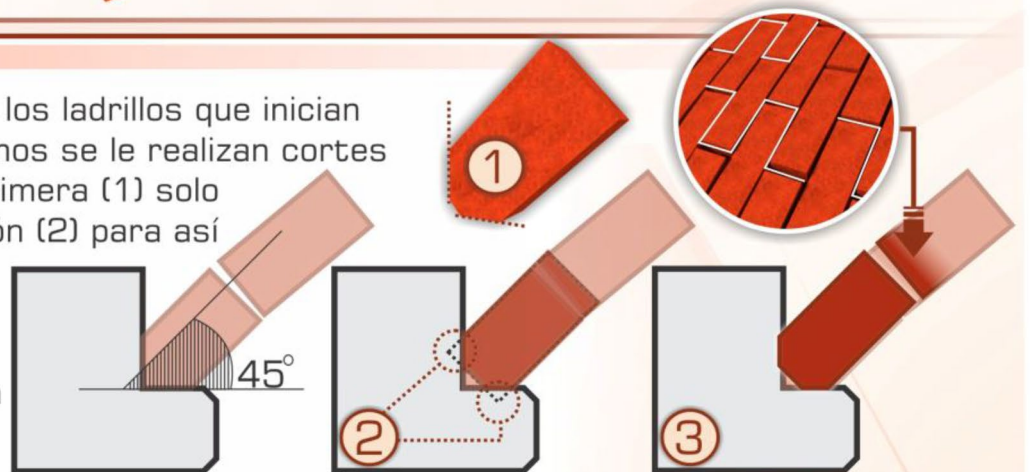
4 paso

El encuentro de las hiladas de ladrillo en el punto que se indica (1) se realizará teniendo en cuenta el ángulo de inclinación en los bordes de los ladrillos que se aproximan de cada uno de los extremos (2), el albañil debe efectuar cortes en el ladrillo hasta lograr ajustarlo a la forma necesaria (3). Posteriormente se comienza con la segunda hilada.



5 paso

Para la segunda hilada los ladrillos que inician cada uno de los extremos se le realizan cortes similares a los de la primera (1) solo que de menor dimensión (2) para así lograr que las hiladas vayan quedando a "matajuntas" (3). El ángulo de inclinación debe seguir siendo de 45° .



6 paso

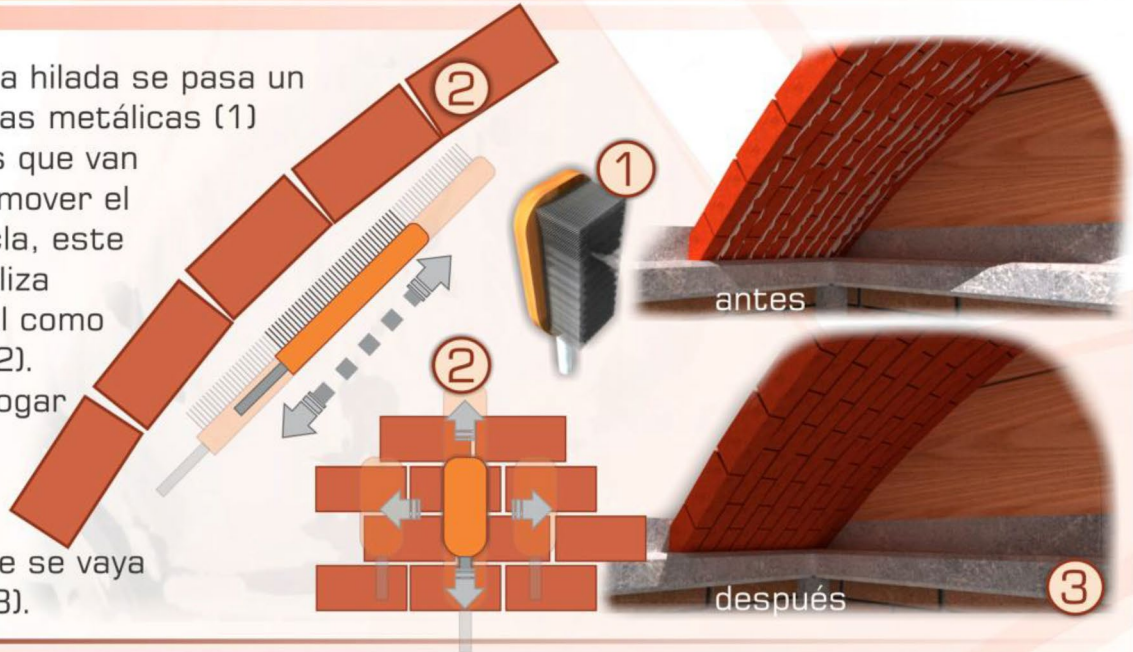




Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

7 paso

Al terminar cada hilada se pasa un cepillo con cerdas metálicas (1) entre las juntas que van quedando para mover el exceso de mezcla, este cepillado se realiza tanto horizontal como verticalmente (2). Su objetivo es lograr un agradable acabado del ladrillo a vista en la medida que se vaya construyendo (3).



8 paso

Con la ubicación contigua de los arcos de ladrillo se irá creando la bóveda (1).

La conformación de la bóveda se puede llevar a cabo por un albañil, empezando en un extremo y luego tomando el otro (2), ó por dos albañiles, comenzando ambos extremos a la vez (3).



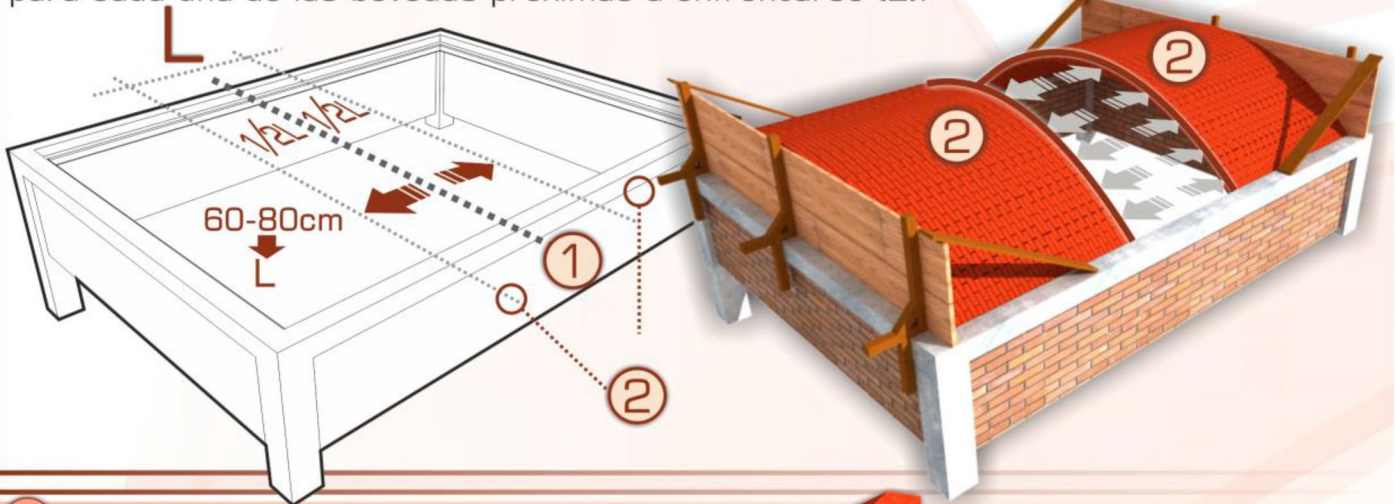
bóvedas sin cimbra



Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

9 paso

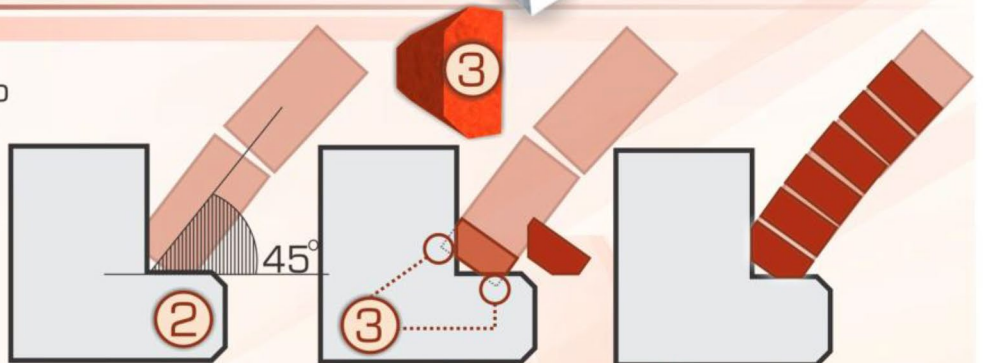
Para el cierre de la bóveda se asume la mitad de la luz mayor (1), a partir de esta se miden de 30 a 40cm en cada sentido, estableciendo un límite en ambos extremos para cada una de las bóvedas próximas a enfrentarse (2).



10 paso

A partir de este momento la dirección en las hiladas cambia, ubicándose perpendicularmente a las ya existentes en cada extremo (1). El ángulo de la primera hilada con respecto al trabe será de 45° (2).

Los ladrillos que comienzan cada extremo se le aplican cortes para lograr un mejor apoyo con el trabe (3).



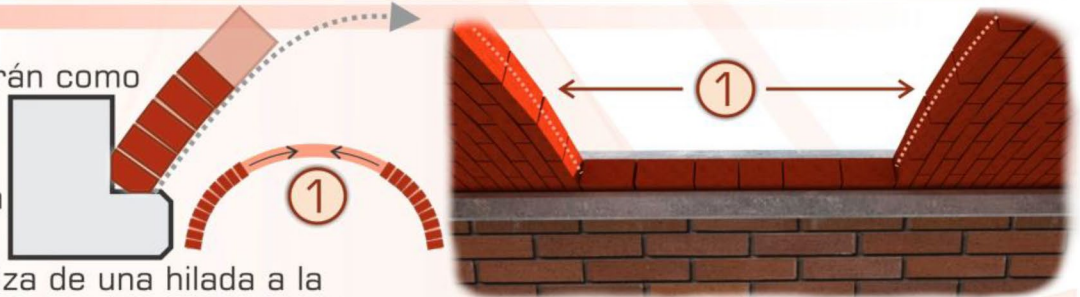


Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

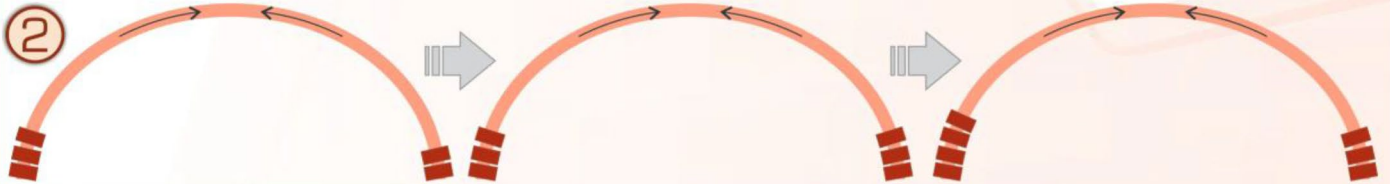
1 paso

Las hiladas emplearán como directriz el arco generado por las bóvedas próximas a encontrarse (1).

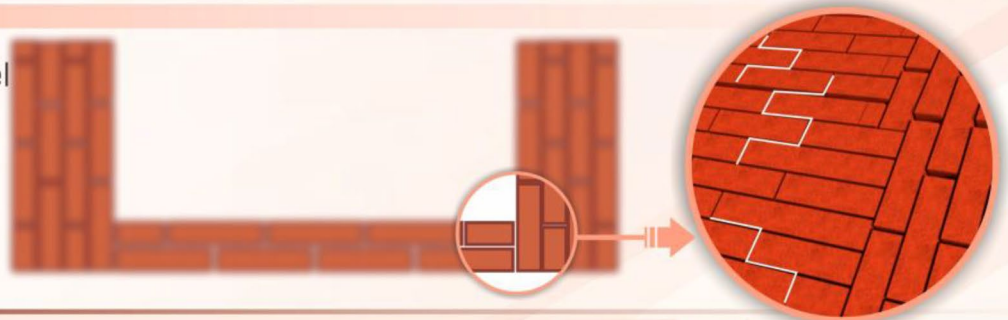
El arranque se realiza de una hilada a la vez en cada extremo respectivamente (2).



2

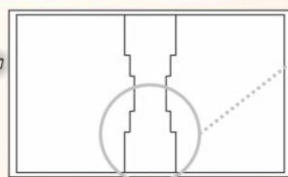
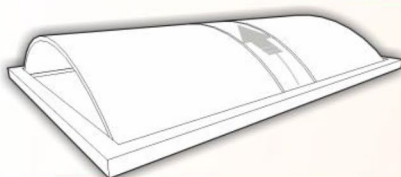
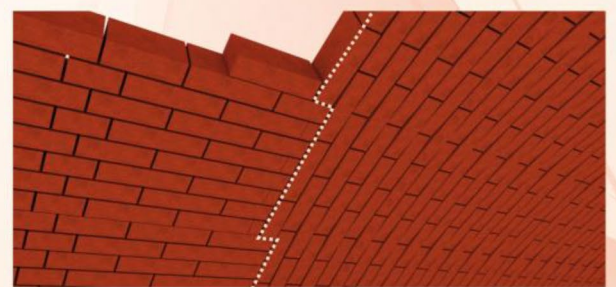
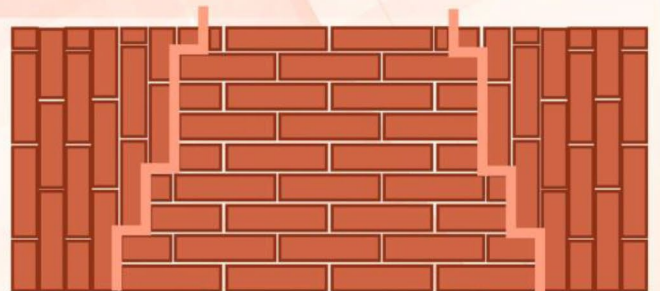
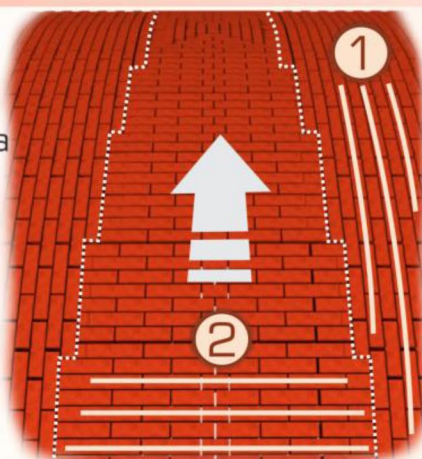


Una vez comenzado el arranque en ambos extremos las hiladas irán quedando a "matajuntas" (1).



12 paso

La conformación de la bóveda continúa de forma escalonada, intercalando arcos de los extremos transversales (1) con las hiladas longitudinales (2).



bóvedas sin cimbra

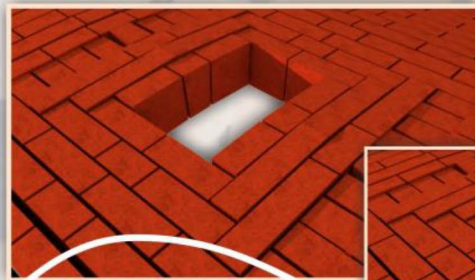
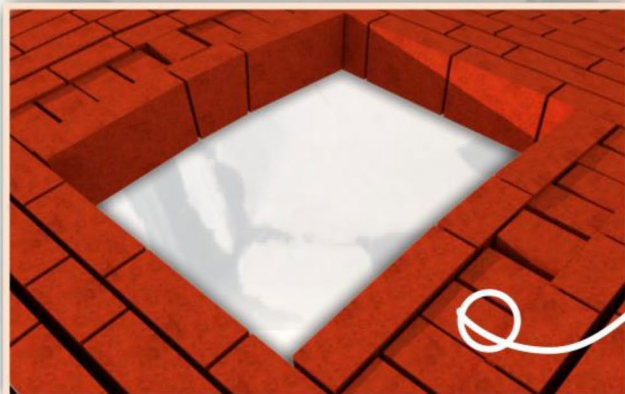
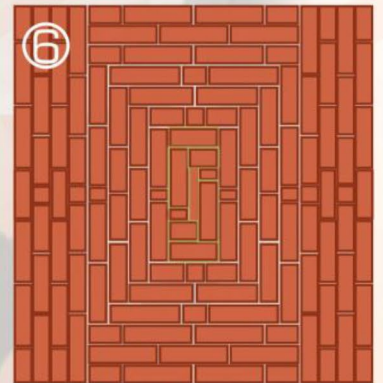
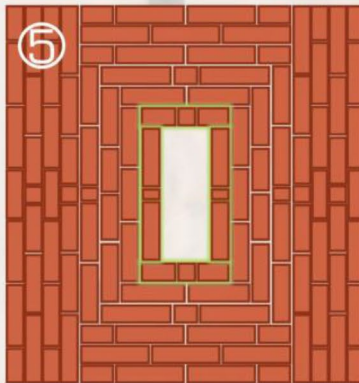
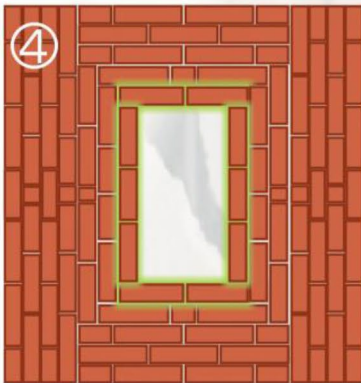
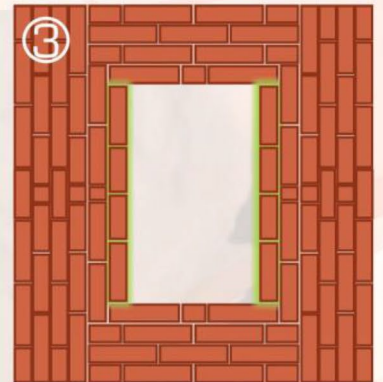
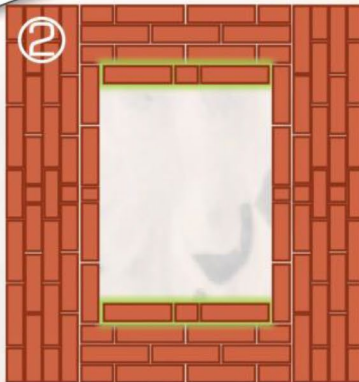
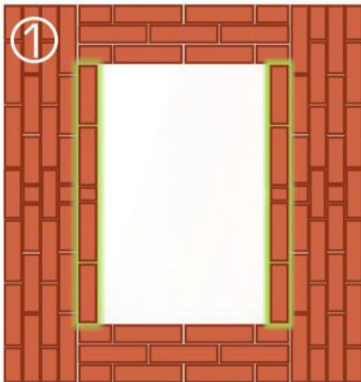
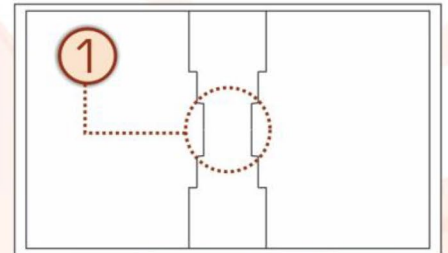
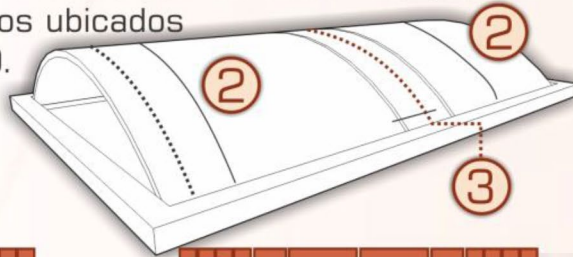


Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

1 paso

Una vez alcanzado el punto máximo (1), se colocan dos hiladas a la vez de las bóvedas con los ladrillos ubicados transversalmente (2) y dos hiladas con los ladrillos ubicados longitudinalmente (3).

Secuencia 1-6.



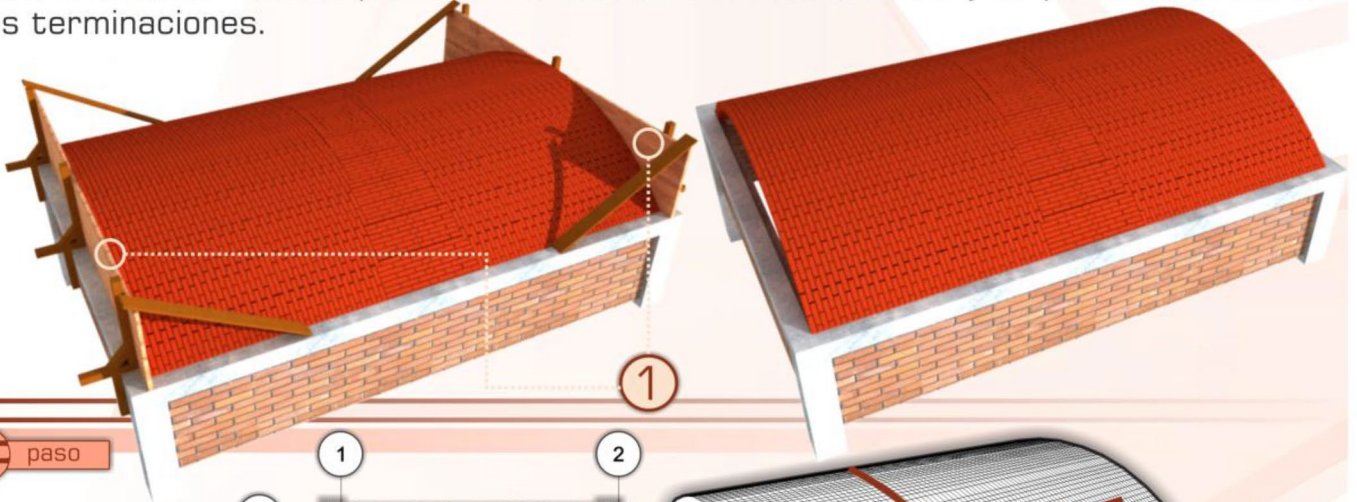
bóvedas sin cimbra



Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

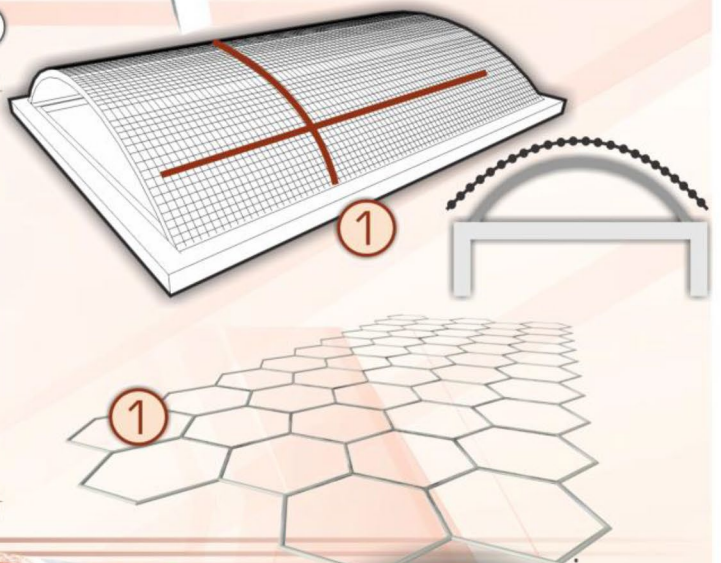
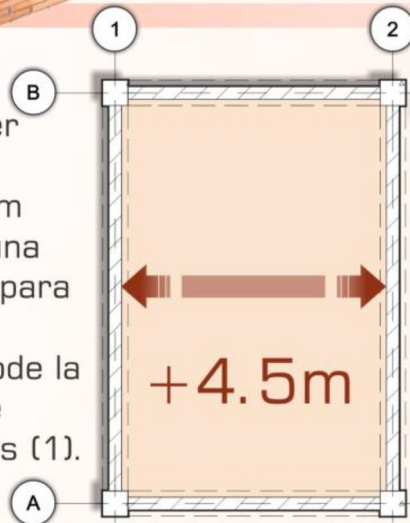
12 paso

A continuación del cierre total se retiran las estructuras de maderas empleadas para el sustento de las primeras hiladas de cada extremo (1) y se procede a realizar las terminaciones.



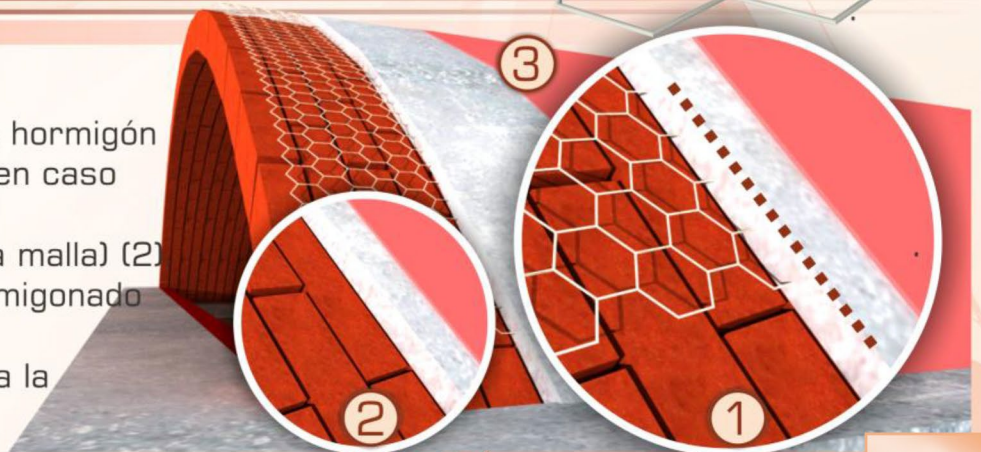
13 paso

En caso de haber cubierto luces mayores de 4.5m se debe incluir una malla de "pollo" para lograr un mejor comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos (1).



14 paso

Colocada la malla se funde una carpeta de hormigón de no más de 5cm (1), (en caso de no exceder los 4,5m no se incluye la malla) (2) luego de efectuar el hormigonado se aplica pintura impermeabilizante a toda la superficie (3).



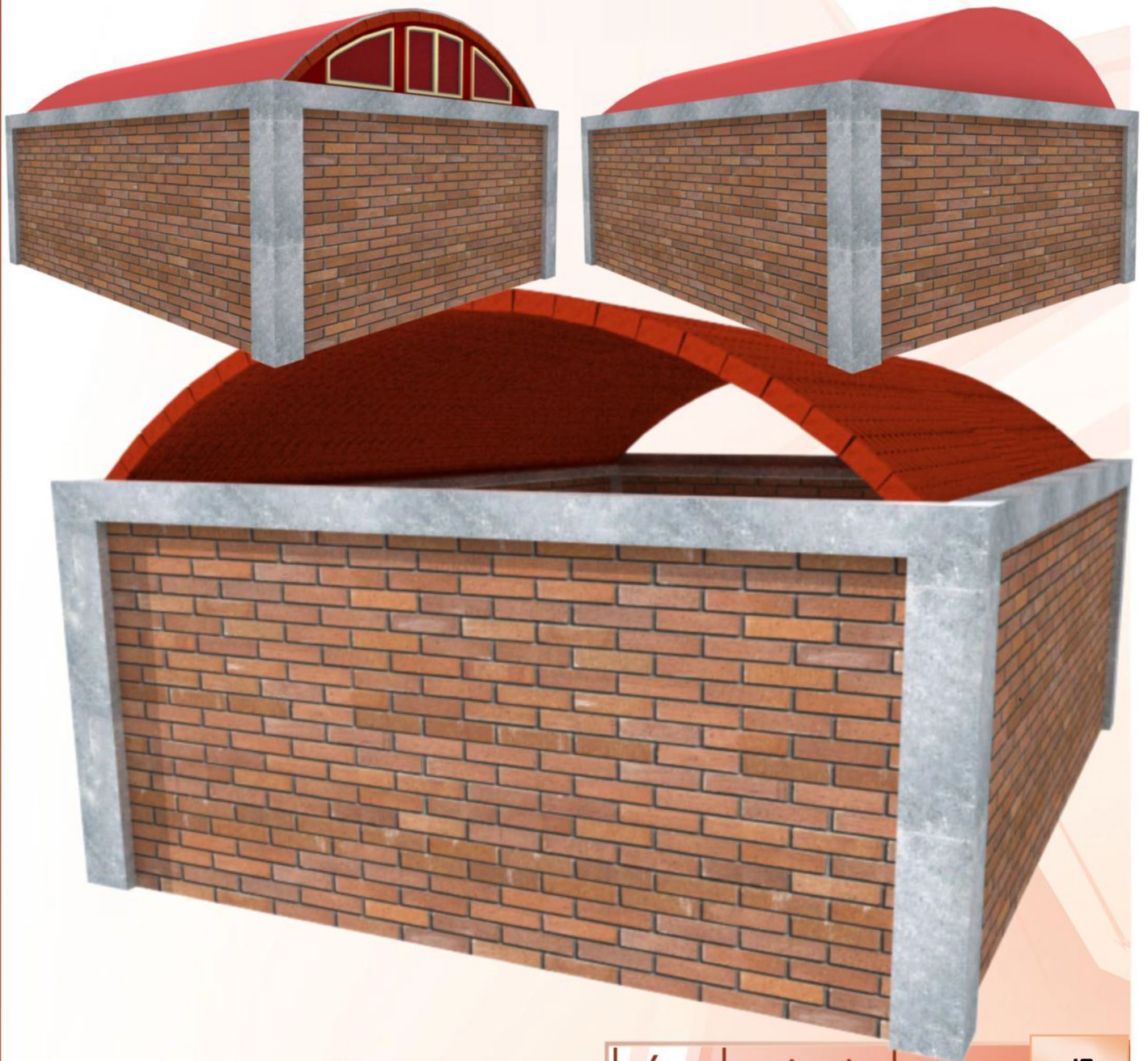
bóvedas sin cimbra



Construcción de bóvedas | bóveda de cañón

15 paso

Una vez concluido el proceso de impermeabilización se procede a realizar los cierres verticales en cada uno de los extremos, para ello se muestran dos maneras posibles, una con carpintería y otra con un muro de ladrillo al cual se le aplica un acabado con repello fino y posteriormente pintura.



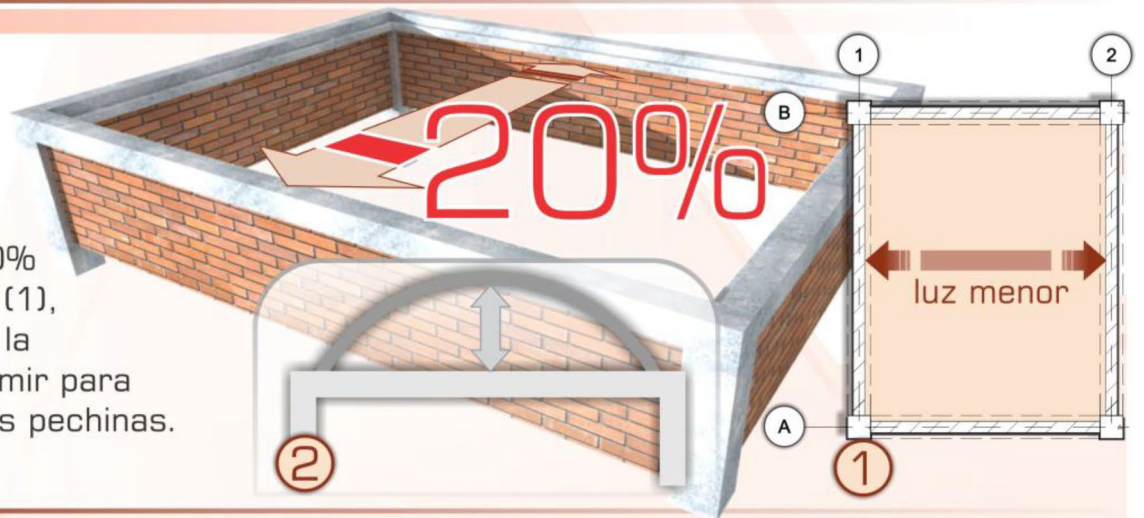
bóvedas sin cimbra

Bóveda pechina

Construcción de bóvedas | bóveda estilo pechina

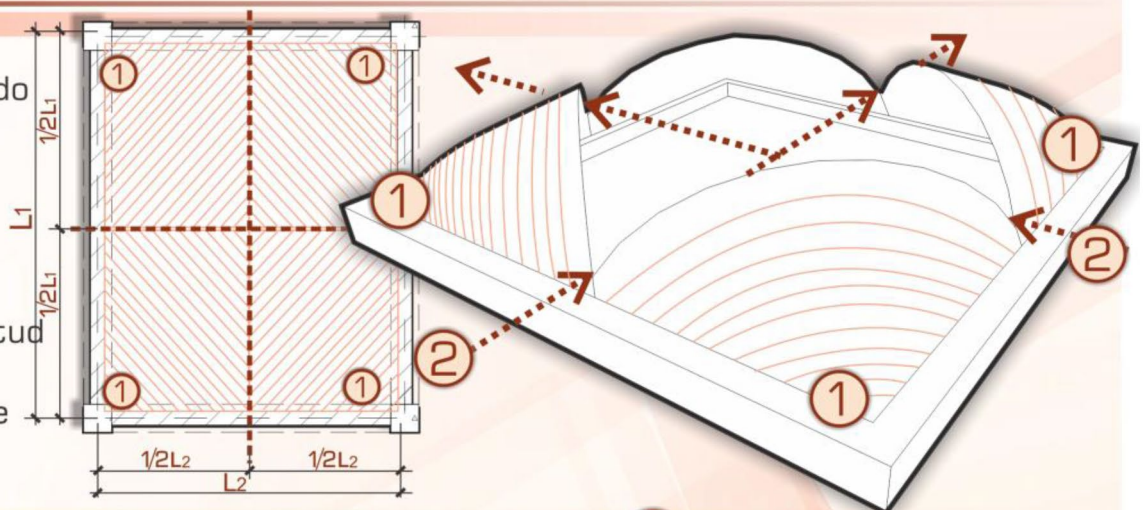
1 paso

Luego de construir la estructura portante se determina el 20% de la luz menor (1), este valor será la flecha (2) a asumir para el trazado de las pechinas.



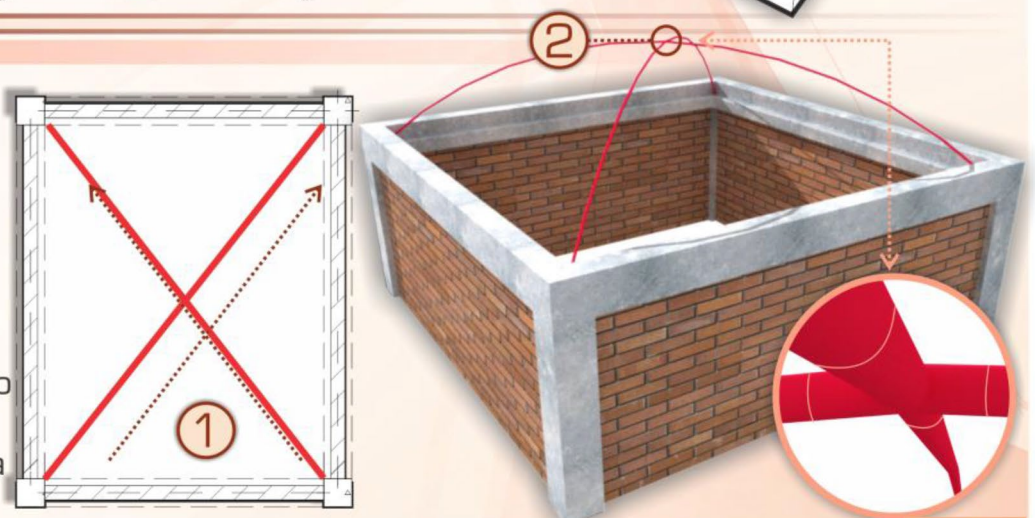
2 paso

Realizar el trazado de las pechinas partiendo de cada uno de los vértices (1) y determinar la mitad de la longitud los travesaños para definir la unión de las pechinas co-lineales (2).



3 paso

Una vez definida la dirección de las pechinas se emplean dos tuberías de PVC como guía para la altura de la flecha (1), cruzándose en el punto máximo de de las parábolas determinada por ambas (2).

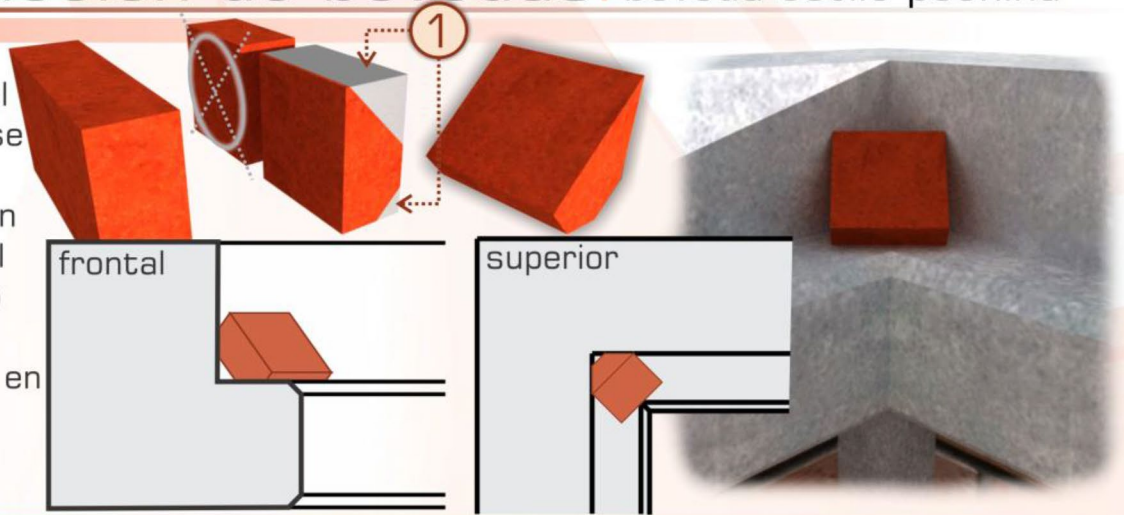




Construcción de bóvedas | bóveda estilo pechina

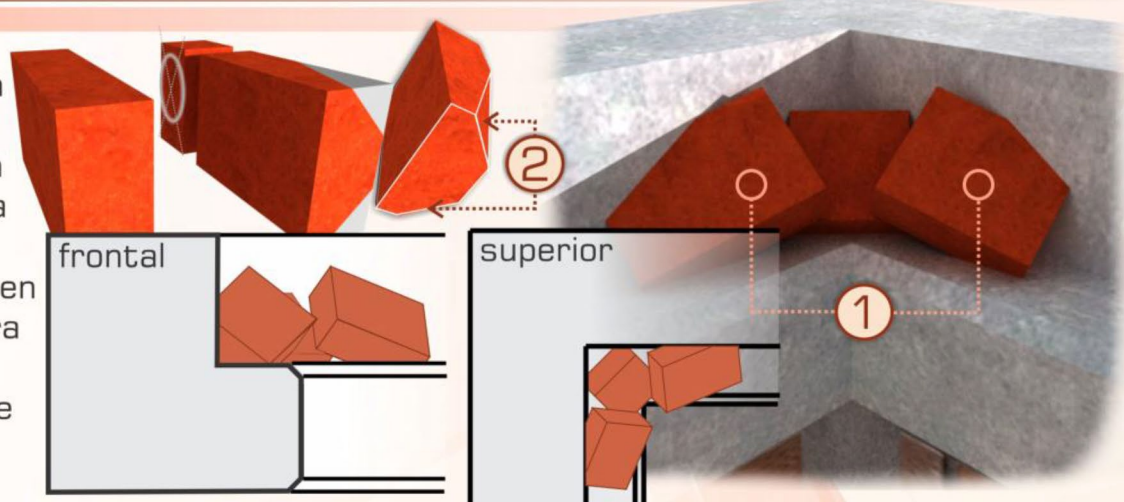
5 paso

La ubicación del primer ladrillo se realiza con una ligera inclinación con respecto al trabe, para ello es necesario realizar cortes en las aristas marcadas en el gráfico (1).



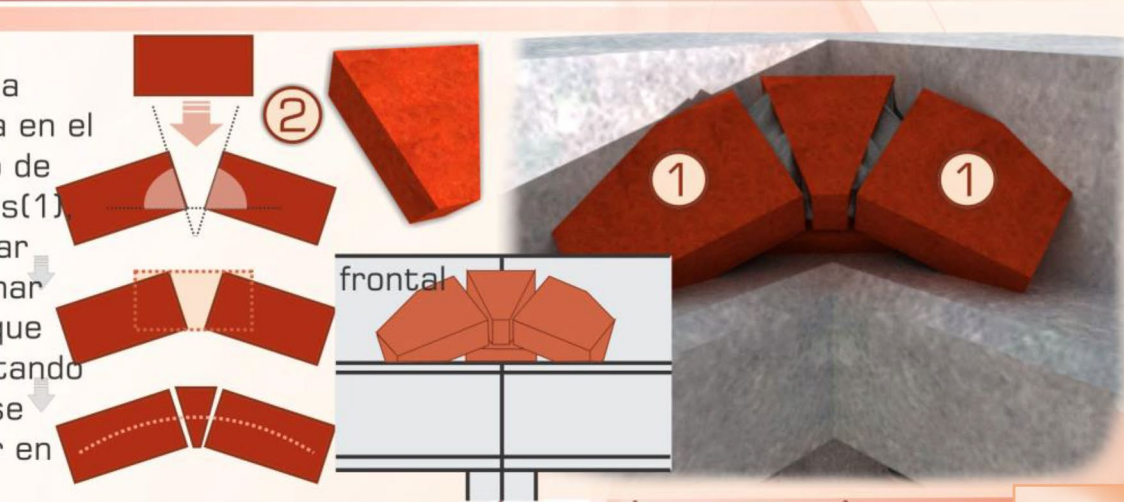
6 paso

En la colocación de la primera hilada se ubican ladrillos en cada arranque (1), realizar cortes en los vértices para permitir un adecuado acople al trabe (2).



7 paso

El cierre de esta hilada se realiza en el encuentro de ambos ascensos (1), la pieza a colocar se debe seccionar de manera tal que se logre ir ajustando a la curva que se pretende lograr en cada hilada (2).

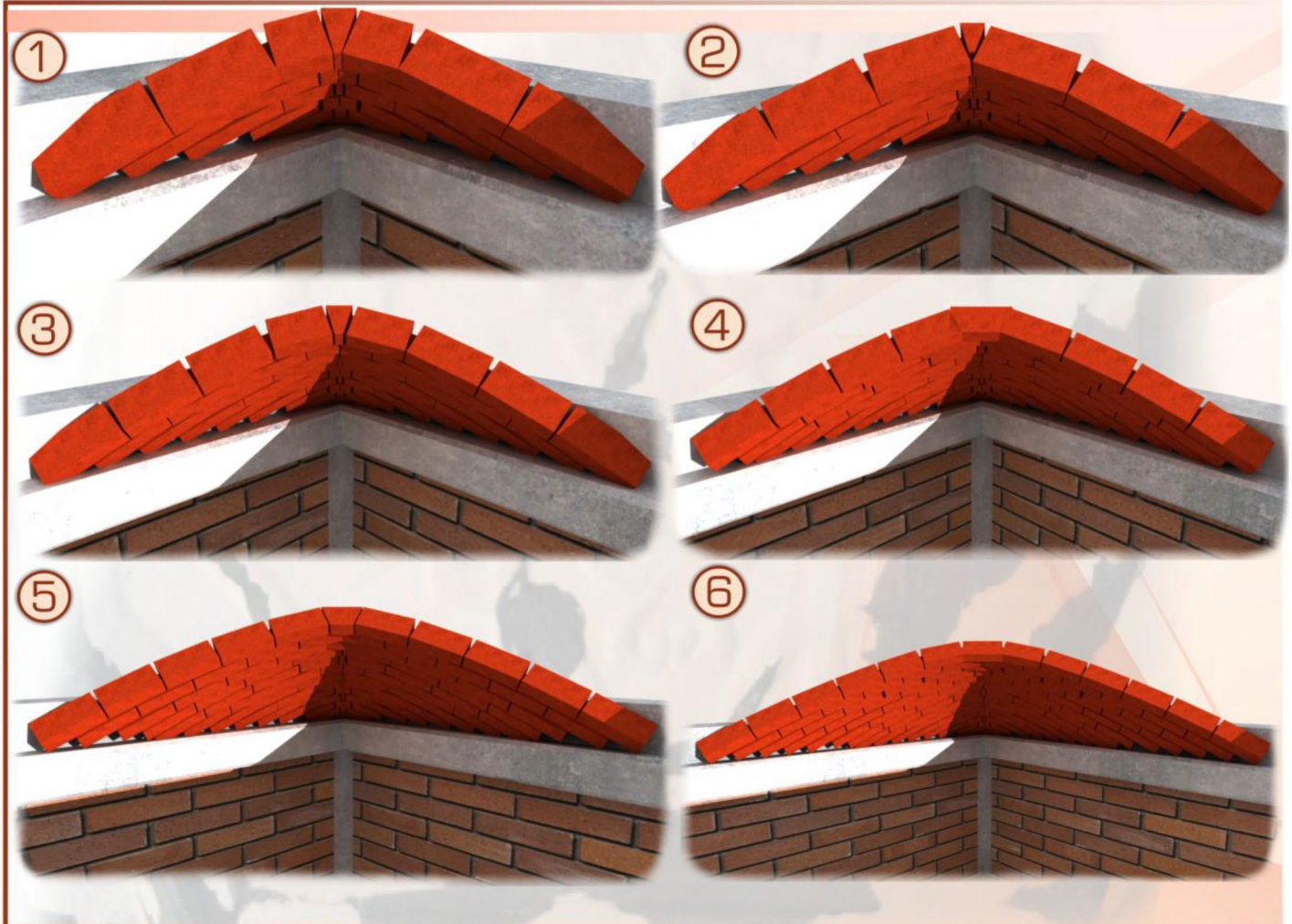
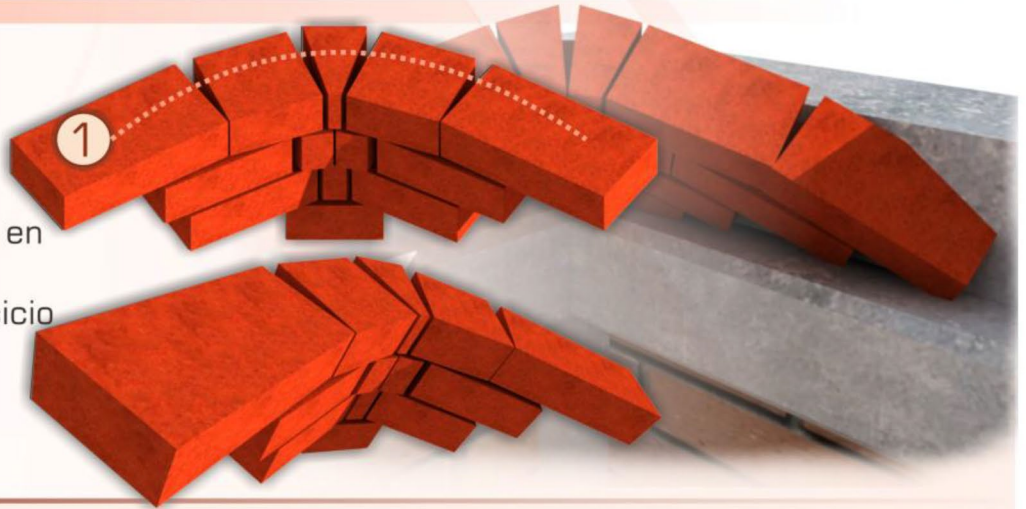




Construcción de bóvedas | bóveda estilo pechina

7 paso

En la medida que se conforman las hiladas se debe ir logrando la disposición de una curva (1), teniendo en cuenta que cada hilada es un arco, con el ejercicio de colocar cada ladrillo se irá conformando la denominada pechina.

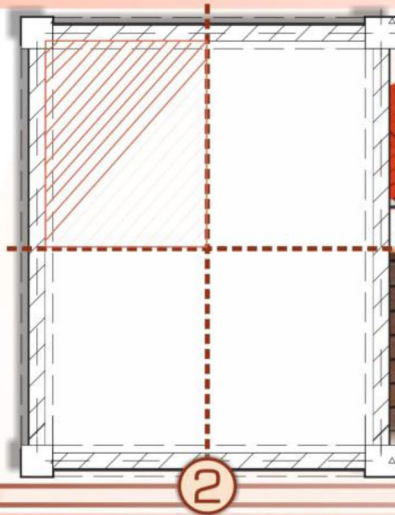




Construcción de bóvedas | bóveda estilo pechina

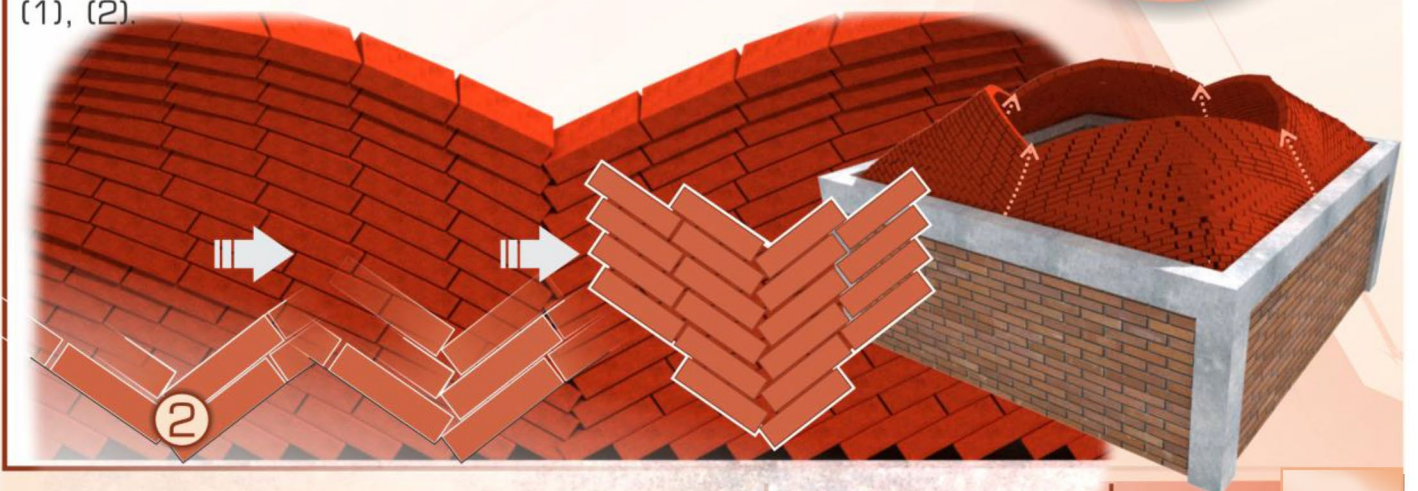
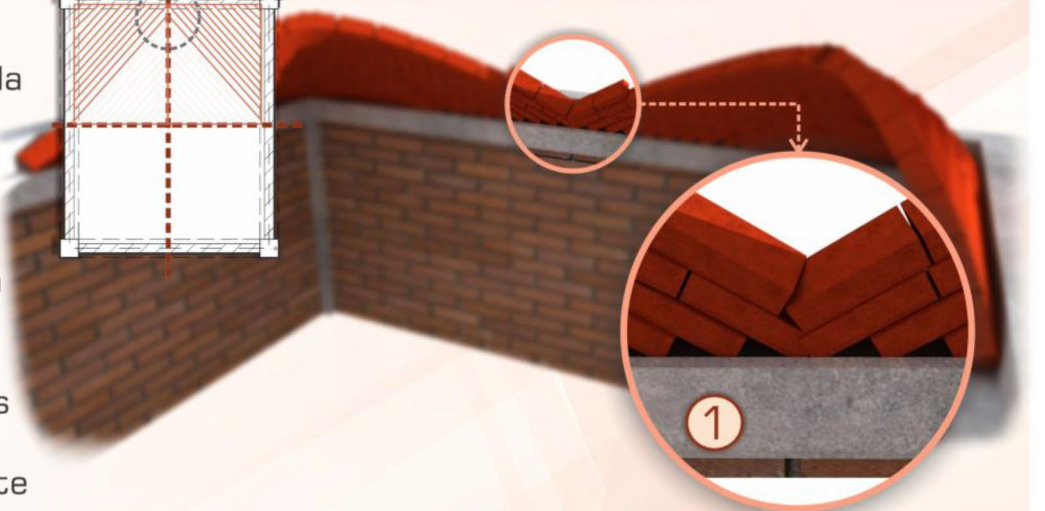
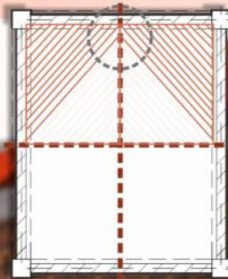
8 paso

Alcanzado el punto medio de cada uno de los extremos es momento de comenzar la segunda pechina.



9 paso

Al concluir la segunda pechina se procede a la unión de las pechinas colineales, en este punto la colocación de los arranques de las hiladas se superponen de manera que en lo adelante el punto de apoyo de estas hiladas será la hilada opuesta de la pechina adyacente (1), (2).

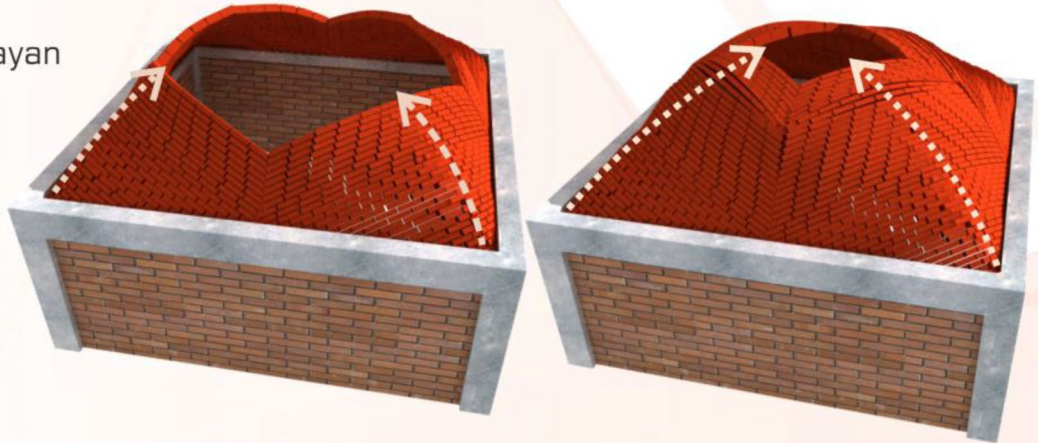




Construcción de bóvedas | bóveda estilo pechina

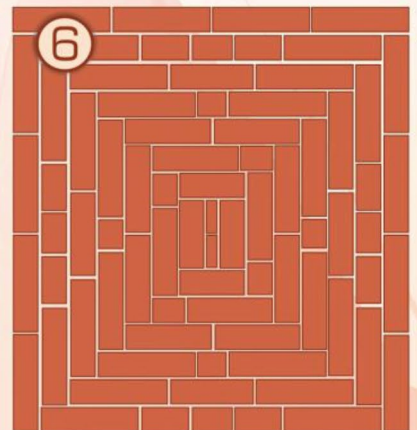
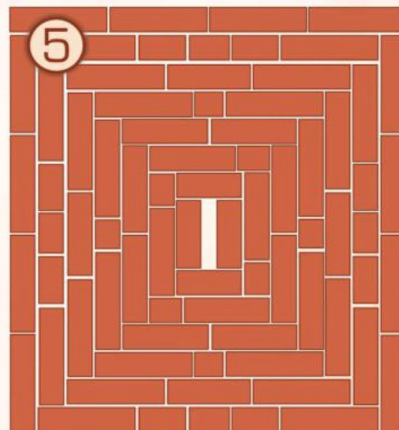
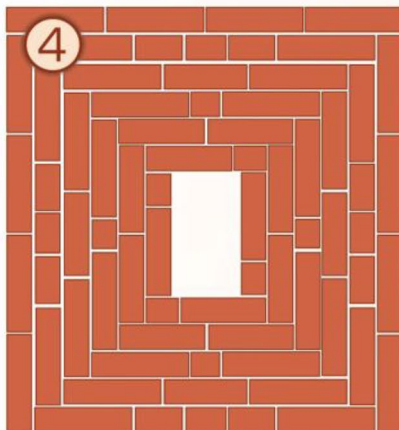
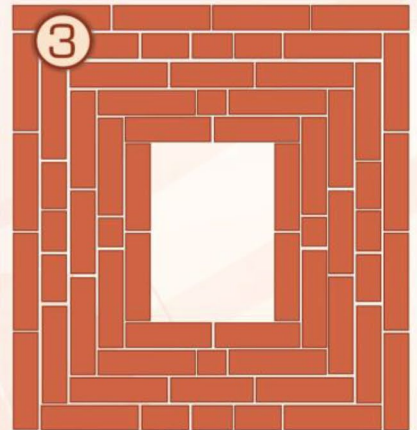
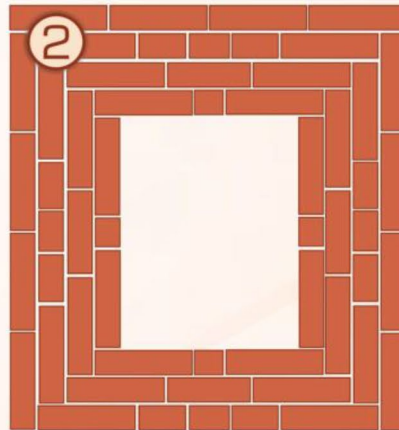
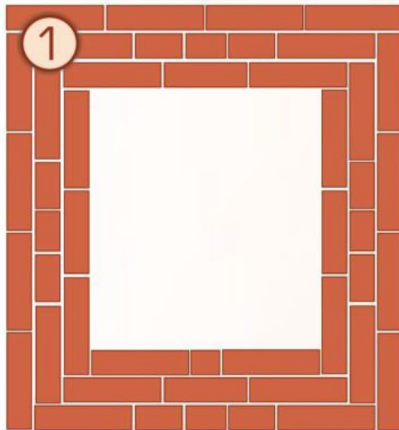
8 paso

En la medida que vayan ascendiendo las pechinas se irá cerrando el vano ubicado en la parte superior de la bóveda.



9 paso

Secuencia constructiva para el cierre del vano superior.





Construcción de bóvedas | bóveda estilo pechina

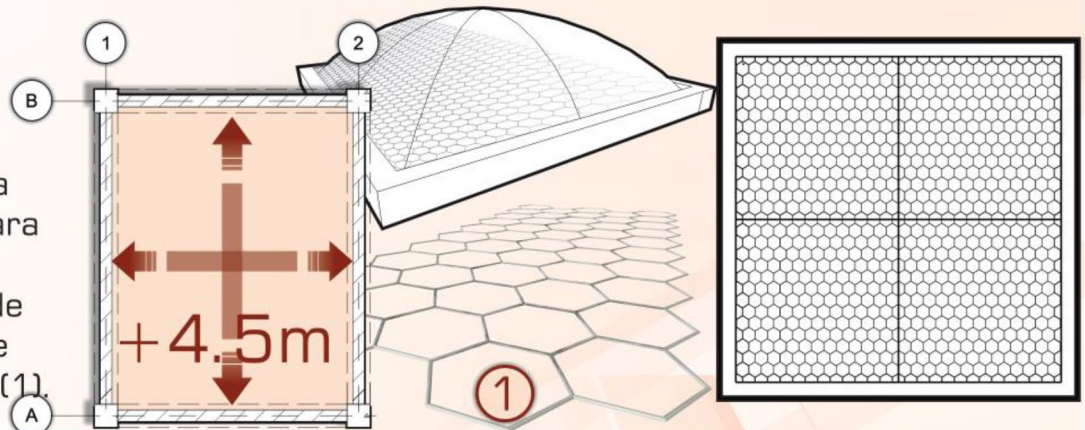
10 paso

Una vez concluido el cierre de las cuatro pechinas el resultado debe quedar similar a este gráfico



11 paso

En caso de haber cubierto luces mayores de 4.5m se debe incluir una malla de "pollo" para lograr un mejor comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos (1).



12 paso

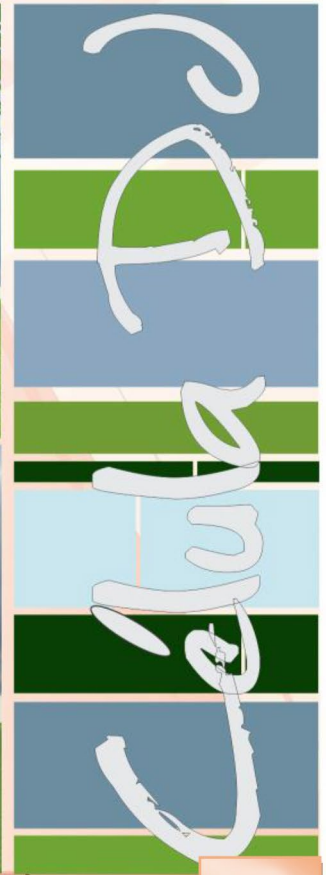
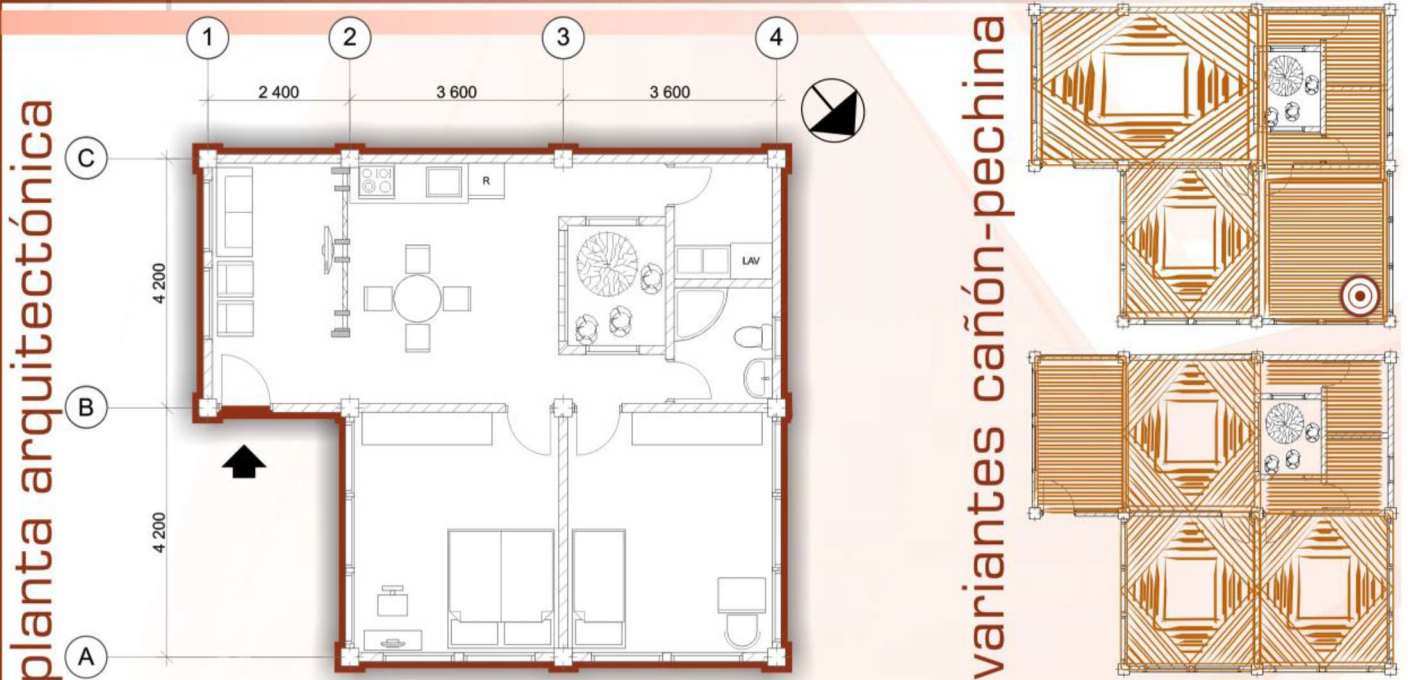
Colocada la malla se funde una carpeta de hormigón de no más de 5cm (1), (en caso de no exceder los 4,5m no se incluye la malla) (2). luego de efectuar el hormigonado se aplica pintura impermeabilizante a toda la superficie (3).



bóvedas sin cimbra



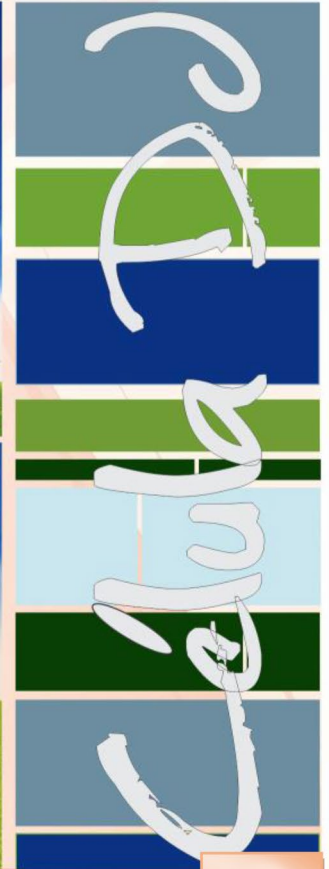
Ejemplos de viviendas | célula Dd-variante 1



bóvedas sin cimbra

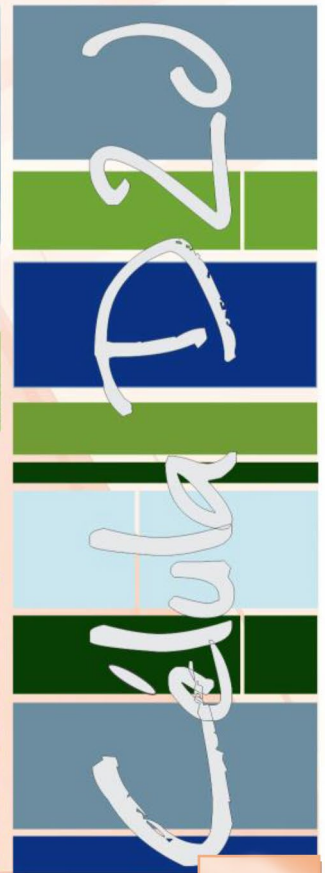
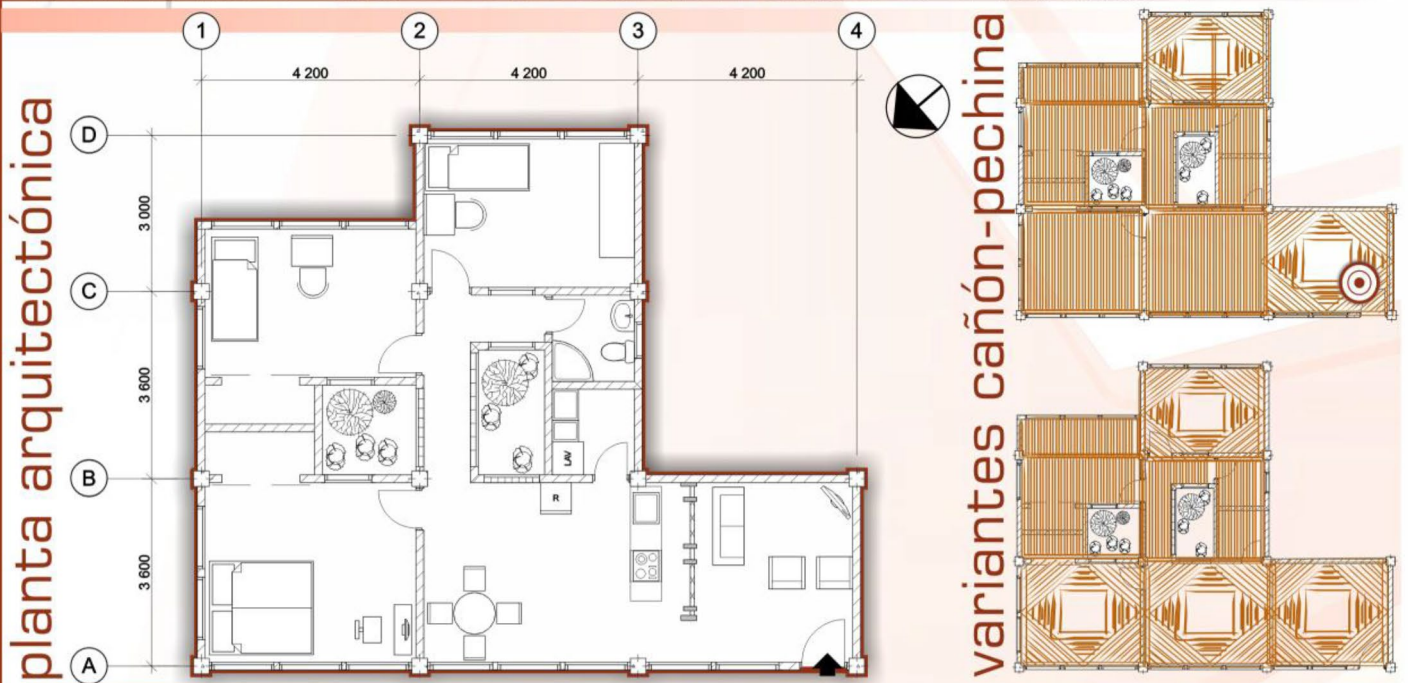


Ejemplos de viviendas | célula Dd-variante 2



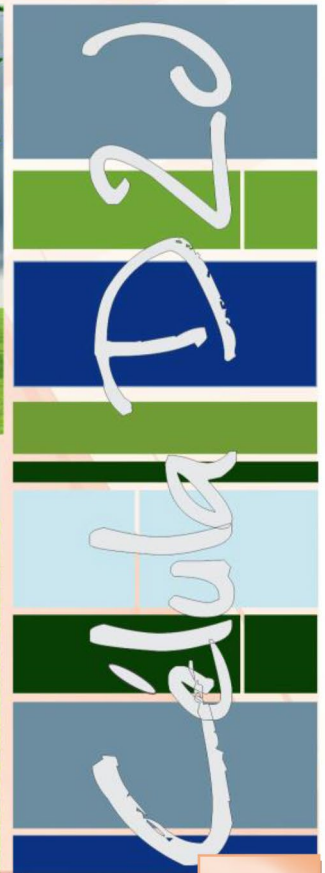
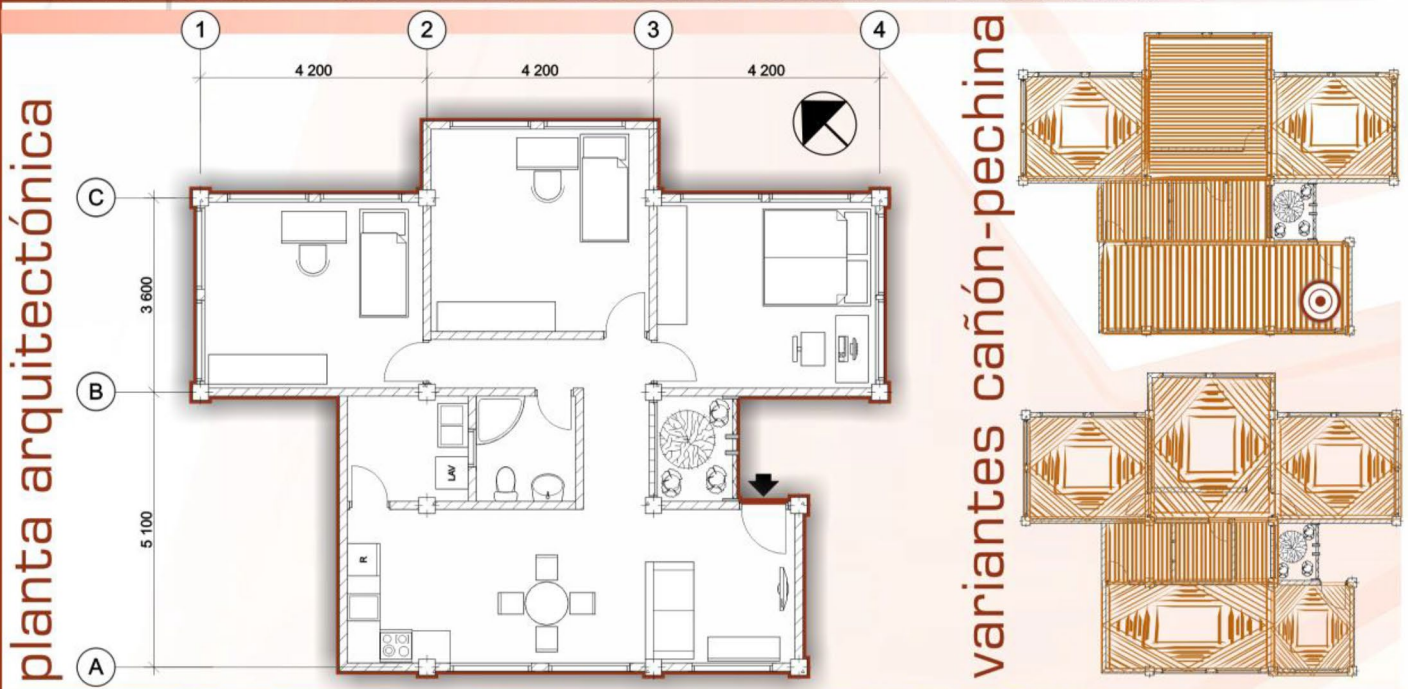


Ejemplos de viviendas | célula D2d-variante 1





Ejemplos de viviendas | célula D2d-variante 2



bóvedas sin cimbra