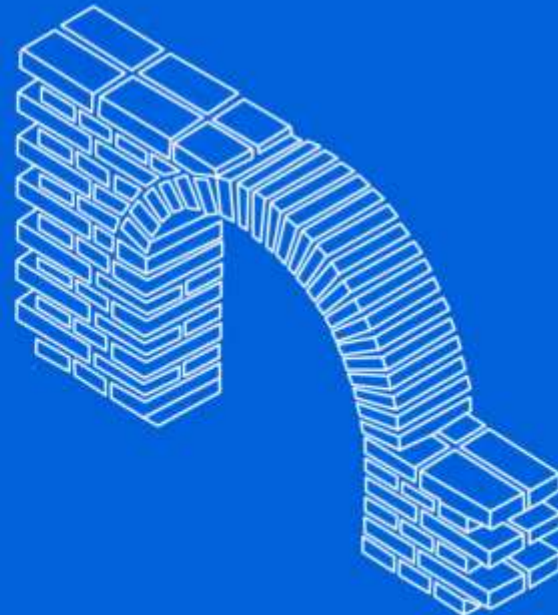




Regional Caldas

Construcción

de arcos, bóvedas
y cúpulas



**ESTRUCTURA CURRICULAR: ALBAÑILERÍA EN
RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES**

**MÓDULO DE FORMACIÓN: CONSOLIDACIÓN DE LA
ESTRUCTURA DE LA EDIFICACIÓN DE VALOR
PATRIMONIAL**



Albañilería en restauración de edificaciones by [Sistema de Bibliotecas SENA](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License](#).

Estructura curricular

ALBAÑILERÍA EN RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES

Módulo: Consolidación de la estructura

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA

DIRECCIÓN REGIONAL

Darío Montoya Mejía

SENA REGIONAL CALDAS DIRECCIÓN GENERAL

Francisco Javier Jaramillo Hoyos

CENTRO DE INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Subdirector de Centro

Orlando López Vinasco

Equipo de trabajo elaboración Estructura Curricular:

Asesoría Pedagógica: Dra. Luz Helena Gómez D.

Instructores: Tec. Ubaldo González A.

Tec. Fabio Ancizar Yopez C.

Arq. Gloria Amparo García H.

Asesoría Técnico Pedagógica:

ESCUELA TALLER CARTAGENA DE INDIAS

Arquitecto: Germán Bustamante

Director

Arquitecto: Germán Fonseca

Coordinador de estudios

Arquitecto: Rodrigo Arteaga

Docente

SENA REGIONAL BOLIVAR

Dr. Arnoldo Solano	Subdirector de Centro De Industria y Construcción
José de los Reyes Torres	Coordinador académico
Ing. Pedro Tapia	Instructor
Ing. Rafael Imitola Castilla	Instructor

EQUIPO DE TRABAJO ELABORACIÓN DE CARTILLA DIDÁCTICA

Arq. Gloria Amparo García Henao

Arq. Aparicio Mejía Rendón

Tec. Ubaldo González Arias

Diseñador gráfico. Andrés Hernando Vallejo Castaño

SECRETARÍA DE CULTURA DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Arquitecto: Juan Manuel Sarmiento

Secretario de Cultura del Departamento

Arquitecta: Luz Marina Gaitán

Diseño: Jorge Hernán Arango

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES

Biblioteca Central

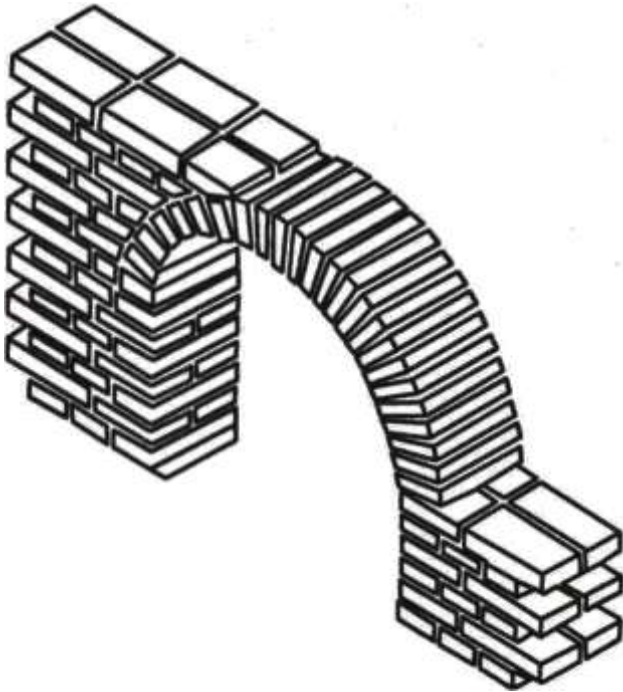
Biblioteca facultad de Arquitectura

BIBLIOTECA PÚBLICA MUNICIPIO DE MANIZALES

BIBLIOTECA SENA REGIONAL CALDAS

“Prohibido la reproducción parcial o total con ánimo de lucro. Su distribución es gratuita y su utilización para fines exclusivos de la Formación Profesional Integral del SENA”

CONSTRUCCIÓN DE ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPULAS.



INTRODUCCIÓN

Actualmente, se ha despertado gran interés por las edificaciones de valor patrimonial que nos trasladan a épocas anteriores, dando inicio a nuestra historia de construcción arquitectónica. De ellas, hemos adquirido los conocimientos y las experiencias que aportan a la arquitectura su importancia y su posicionamiento en el hábitat y la economía mundial.

La belleza y la exclusividad de esta arquitectura se refleja en todos y cada uno de sus detalles que fueron diseñados y construidos minuciosamente, de tal manera, que permanecen perennes en el tiempo y en el espacio, resistiendo a toda adversidad y en espera de recibir la atención que se merecen.

Detalles como: los arcos de diferentes estilos, las bóvedas y cúpulas de complicada tracería, afiligranada ornamentación y equilibrio, merecen nuestra esmerada atención; para obtener de ellos toda la información posible que nos puedan brindar, su estudio y análisis, para ser aplicada en ellas mismas logrando una aproximación a su originalidad.

La información de la presente cartilla, nos invita a aventurarnos en el descubrimiento y conocimiento de la ingeniería, las técnicas y el arte arquitectónico utilizados en su época y que aún son vigentes en siglo XXI, en cuanto a su construcción y aplicación.

ÍNDICE

1. ARCOS	12
DEFINICIÓN	12
NOMENCLATURA	12
Elementos	12
Dimensiones	12
Líneas	13
Superficie	13
2. CLASES DE ARCOS Y SU TRAZADO	14
ARCO ADINTELADO	14
ARCO RECTILÍNEO O ANGULAR	14
ARCO ANGULAR TRUNCADO	14
ARCO POLIGONAL O AFACETADO	14
ARCO DE MEDIO PUNTO O REDONDO	15
ARCO ZIGZAG	15
ARCO REBAJADO O DE SEGMENTO	15
ARCO ESCARZADO	15
ARCO DE HERRADURA	15
ARCO ELÍPTICO	15
ARCO PERALTADO APUNTALADO	16
ARCO CARPANEL	16
ARCO CARPANEL DE CINCO CENTROS	17
ARCO CARPANEL DE SIETE CENTROS	17
ARCO CARPANEL DE NUEVE CENTROS	17
ARCO TRANQUIL	17
ARCO DEPRIMIDO CÓNCAVO	18
ARCO DEPRIMIDO CONVEXO	18

ARCO GEORGIANO	18
ARCO OJIVAL O APUNTADO	18
ARCO OJIVAL LANCETEADO	18
ARCO OJIVAL REBAJADO	19
ARCO OJIVAL QUEBRADO	19
ARCO TUMIDO	19
ARCO OJIVAL PERALTADO	19
ARCO TUDOR ESPAÑOL	19
ARCO CONOPIAL	20
ARCO TUDOR INGLES	20
ARCO FLAMIGERO	20
ARCO FESTONEADO CONVEXO	21
ARCO ESCOCES	21
ARCO DE GOLA	21
ARCO FESTONEADO CÓNCAVO	21
ARCO TREBOLADO	21
ARCO MULTIHOLADO	22
ARCO ANGELADO O POLIHALADO	22
ARCO FLORENTINO	22
3.CONSTRUCCIÓN DE ARCOS EN PIEDRA	23
ARCOS DE SILLERÍA	23
ARCOS EN FÁBRICA DE MAMPOSTERÍA	23
4.CONSTRUCCIÓN DE ARCOS DE LADRILLO	24
ARCOS DE LADRILLO DE VARIAS ROCAS	24
5. BÓVEDA Y CÚPULA	26
DEFINICIÓN DE BÓVEDA	26

NOMENCLATURA: ELEMENTOS DE LA BÓVEDA	27
ELEMENTOS DE LA BÓVEDA	27
DIMENSIONES	27
SUPERFICIES	27
LINEAS	27
6. CLASES DE BOVEDAS Y SU TRAZADO	29
BÓVEDAS CILÍNDRICAS	29
BÓVEDAS DE CAÑÓN SEGUIDO	29
BÓVEDA EN RINCÓN DE CLAUSTRO	30
BÓVEDA EN RINCÓN DE CLAUSTRO TRUNCADA	30
BÓVEDA ESQUIFADA O EN FORMA DE ARTESA	31
BÓVEDA ESQUIFADA CON PLAFÓN O BÓVEDA DE ESPEJOS	31
BÓVEDA POR ARISTA CON LÍNEA DE CLAVE PERALTADA	32
BÓVEDA POR ARISTA REBAJADA	32
BÓVEDA ESTRELLADA	33
BÓVEDA RETICULADA	33
BÓVEDAS EN ABANICO	34
BÓVEDAS ESFÉRICAS O CÚPULAS	34
CÚPULA DE BASE CIRCULAR	34
BÓVEDA VAÍDA	34
CÚPULAS SOBRE PECHINAS	35
BÓVEDA ESFÉRICA REBAJADA O BOHEMIA	35
BÓVEDA LOBULADA	35
7. CIMBRAS	37
DEFINICIÓN	37
ELEMENTOS COMPONENTES	37

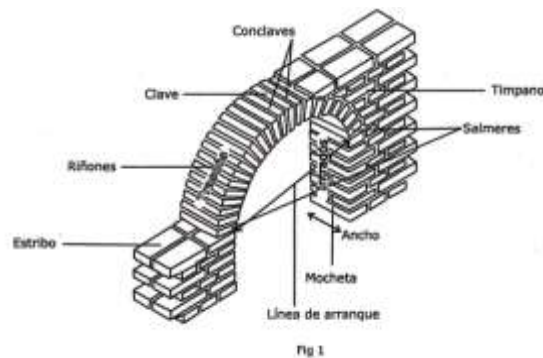
CLASE DE CIMBRAS	37
CIMBRAS PARA ARCOS	37
TIPOS DE CIMBRAS	38
CIMBRAS PARA BÓVEDAS	39
EJEMPLOS DE CIMBRAS PARA BÓVEDAS	40
DESCIMBRADO DE ARCOS DESCIMBRADO DE BÓVEDAS	41
PROCEDIMIENTOS DE DESCIMBRADOS	42
BIBLIOGRAFÍA	44

1. ARCO

DEFINICIÓN:

El Arco es una estructura que cierra superiormente una abertura o vano de manera que todos los elementos que componen son comprimidos y en ninguno se producen extensiones. Estas presiones, producidas por el peso propio de los elementos y de las cargas que soportan, son transmitidas a los apoyos que sostienen el arco por sus extremos.

El arco es un elemento arquitectónico nacido de la necesidad de salvar luces de mayor dimensión que la que alcanzan los elementos constitutivos de la construcción en piedra o ladrillo, materiales que no resisten esfuerzos apreciables de extensión y que, por lo mismo no pueden hacerse trabajar a flexión. Desde su más remoto empleo, los arcos han adoptado las más variadas formas, características de cada época o estilo, recibiendo cada arco, según su forma, distinto nombre. En todo arco cabe distinguir una serie de datos característicos que podemos agrupar en los siguientes apartados: Elementos del arco, dimensiones, líneas, superficies, juntas y molduras.



NOMENCLATURA:

Elementos:

Las diferentes piezas que forman un arco se llaman dovelas. En los arcos de ladrillos, las juntas de mortero dan a los ladrillos la forma de cuñas. La dovela central constituye la clave del arco y las dos dovelas más próximas a la clave reciben el nombre de contraclaves. El marco se tiende entre dos macizos o estribos. Los puntos de nacimiento del arco en los estribos se llaman arranques y las dovelas de estos, salmeres.

Las zonas intermedias del arco comprendidas entre los arranques y la clave reciben el nombre de riñones. A su vez, se denomina tímpano la parte de obra que descansa sobre los riñones del arco, hasta la altura del trasdós de la clave.

Dimensiones:

En un arco se distinguen fundamentalmente las dimensiones siguientes:

- ✓ **Luz:** Es la distancia horizontal medida entre los paramentos de arranque.
- ✓ **Flecha:** Es la altura del arco respecto a la línea que une los puntos de arranque.
- ✓ **Profundidad o ancho:** Es la dimensión del arco en dirección normal a su plano y que por regla general coincide con el ancho del muro correspondiente.

✓ **Espesor o canto:** Es la distancia comprendida entre los paramentos inferior (intradós) y superior (trasdós) del arco.

Líneas:

Se consideran principalmente la directriz o la línea media del arco (puede definirse también como la línea que determina la forma del arco), y la línea de arranque, que es la que une los puntos de arranque del arco.

Superficies:

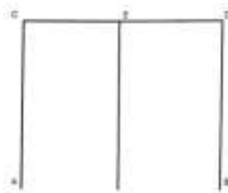
Se establece una distinción entre intradós y trasdós. El intradós es la superficie definida por el paramento o parte vista interior del arco. El trasdós es la superficie -podríamos decir vista- externa del arco. Es vista en la figura, porque como sabemos esta superficie casi siempre se cubre con otro material.

Por último, veamos la definición de telar o mocheta: es el plano perpendicular al frente del arco y que limita el estribo.

2. CLASES DE ARCO Y SU TRAZADO

Considerando la línea del intradós en el frente del arco, que puede ser recta, quebrada, curva o mixta, los arcos adoptan diversas formas cuyos nombres y trazados describimos a continuación:

- **ARCO ADINTELADO:**

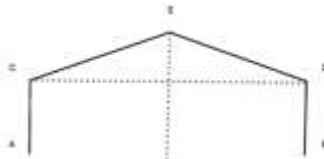


ARCO ADINTELADO

Fig 2

Es el que tiene su intradós formado por un plano horizontal; el dintel es de una sola pieza no teniendo forma arqueada deja de ser arco; pero si se le construye formado de varias piezas, es decir si se le construye adovelado, entonces como las líneas de junta han de concurrir a un centro común, puede considerársele a pesar de conservar la línea recta como un arco de flecha nula y de radio infinito.

- **ARCO RECTILÍNEO O ANGULAR :**

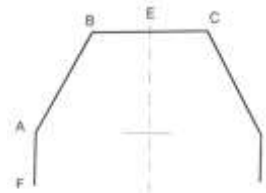


ARCO RECTILÍNEO O ANGULAR

Fig 3

Está formado por dos lados de un triángulo isósceles cuyo vértice es el punto culminante o remate del arco.

- **ARCO ANGULAR TRUNCADO :**



ARCO ANGULAR TRUNCADO

Fig 4

Es un semiexágono; por lo tanto lo forman tres rectas, AS, se y CD, de igual dimensión cada una, a la semiluz.

- **ARCO POLIGONAL o AFACETADO :**

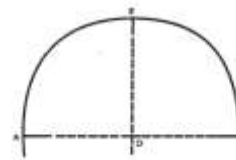


ARCO POLIGONAL o AFACETADO

Fig 5

Es la mitad de un decágono o de otro polígono regular.

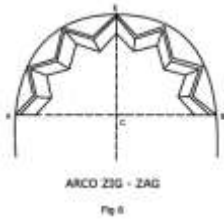
- **ARCO DE MEDIO PUNTO O REDONDO:**



ARCO DE MEDIO PUNTO O REDONDO

Es una semicircunferencia. Como es lógico, su flecha OE es igual a la semiluz OA u OB.

- **ARCO ZIG - ZAG:**



Está formado por una línea quebrada en zig-zag, derivada de una polígono regular inscrito en una circunferencia tangente a los estribos. El trazado se efectúa como sigue: Una semicircunferencia con radio igual a la semiluz, construida sobre la línea de arranque, se divide en un número de partes iguales 12 en la figura y se trazan los radios que pasan por las divisiones.

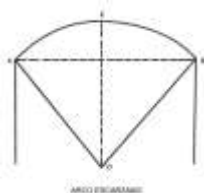
Seguidamente se traza otra semicircunferencia concéntrica de radio menor, a la distancia a que desee que lleguen los ángulos entrantes del zig-zag. Finalmente, partiendo de los puntos de arranque, se traza la línea quebrada de manera que los vértices coincidan alternamente con las divisiones en las semicircunferencias exterior e interior. Si el número de divisiones correspondientes a un cuadrante es par, a la clave correspondiente un ángulo menor a 180^0 y si es impar, uno mayor de 180^0 .

- **ARCO REBAJADO O DE SEGMENTO:**



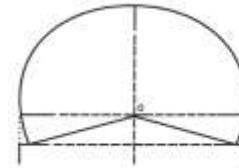
Está formado por un arco de circunferencia de flecha menor a la semiluz. Por lo tanto su centro estará siempre por debajo de la línea de arranque A-B.

- **ARCO ESCARZANO:**



Es un arco de circunferencia muy rebajado. La longitud de su radio suele estar comprendida entre la medida de la luz AB y media de ésta.

- **ARCO DE HERRADURA:**

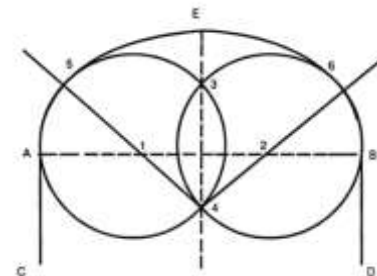


Es un arco de circunferencia de más de 180^0 cuyo centro se halla más arriba de la línea de arranque. De radio igual a la semiluz o algo menor que ésta (nunca mayor), el arco arranca desde unos puntos interiores a los de arranque pero situados en la misma línea, por lo que los salmeres están en voladizo.

Su forma es de herradura (de ahí su nombre) y es característica de la arquitectura visigoda y árabe en España.

- **ARCO ELÍPTICO :**

Es un arco de forma semielíptica. Si se puede elegir libremente la flecha, puede trazarse una curva muy aproximada a la semielipse de ejes en relación de 3 a 4, mediante tres arcos de circunferencia, construcción que se efectúa como sigue:

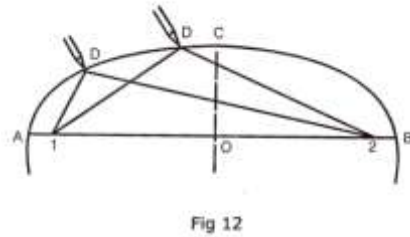


Se divide la línea de arranques en tres partes iguales, A-1, 1-2 Y 2-B. Haciendo centro en 1 y 2, se trazan dos circunferencias con radio A-1 igual a 2B. Seguidamente se trazan los diámetros de ambas circunferencias que pasan por el punto de intersección de las mismas en 4.

Haciendo centro en 4 y con radio igual al diámetro de las circunferencias se traza el arco 5-6, tangente a las mismas. La curva resultante, A-5-6-3, se aproxima bastante a la semielipse.

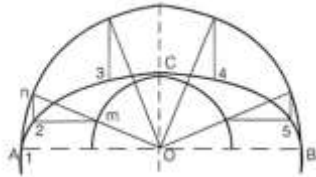
Figura 11.

El otro procedimiento se ejecuta como sigue: Haciendo centro en O y con radio O-A y O-C se trazan dos semicircunferencias concéntricas.



Tracemos un radio cualquiera. Por ejemplo O-n, y obtendremos los puntos de contacto en cada semicircunferencia en m y n. Desde n, en la semicircunferencia exterior, bajamos una vertical, y desde m, en la semicircunferencia interior, trazamos una horizontal que cortará la vertical anterior en 2. Este es un punto de la semielipse y por lo tanto, del arco elíptico. Repitiendo este procedimiento con tantos radios como queramos obtendremos todos los puntos exactos del arco A-1-2-3-C-4-5S, que unidos entre sí, nos determinan el arco buscado.

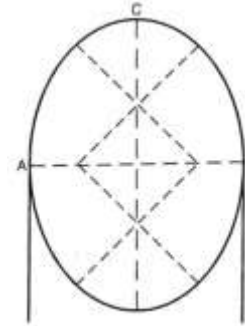
Figura 13.



Si la flecha está fijada de antemano, habrá que recurrir a la reconstrucción de la semielipse partiendo de los focos o mediante puntos aislados de la curva. El primer método es como sigue:

Se hallan primeramente los focos trazando una circunferencia con centro en C y radio O-A. Esta circunferencia cortará la línea de arranques en los puntos 1 y 2, que son los focos buscados. Se clavan sendos clavos en 1 y 2 Y se ata a los mismos los extremos de un cordel de longitud A-B. Si apoyamos un lápiz en el cordel (D) que mantenemos tirante y resbalamos el lápiz a lo largo del mismo de un extremo a otro, nos trazará sobre el muro la semielipse A-D-C-B.

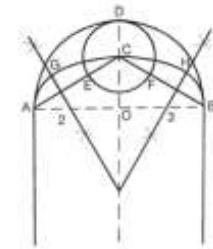
• **ARCO PERALTADO APUNTADO:**



Es un arco elíptico en el que la línea de arranque es el eje menor de la elipse. Por lo tanto, la flecha es mayor que la semiluz. La construcción es la misma que las explicadas para el arco elíptico.

• **ARCO CARPANEL:**

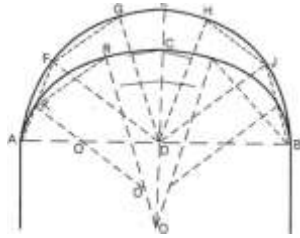
Es un arco simétrico parecido al elíptico en el que la semielipse es sustituida por una sucesión de arcos de circunferencia tangentes entre sí y con los estribos. Suele usarse más que el elíptico por ser de trazado más sencillo y seguro en la obra, en la que pueden fijarse con precisión los diferentes centros de los arcos de circunferencia que se utilicen, que suelen ser tantos más cuanto menor sea la flecha en relación con la luz.



Se clasifican por el número de centros, siendo para cada uno el trazado distinto. El ARCO CARPANEL de TRES CENTROS se traza como sigue: Conocidas la luz AB Y la flecha O - C, trazamos las rectas A -C y C- B. Seguidamente, haciendo centro en O y con un radio igual a la semiluz, o sea O-A, trazamos la circunferencia A- D -B. Luego, haciendo centro en C, trazamos con radio C-D otra circunferencia que cortará a las rectas A - C Y C - B en los puntos E y F. Las mediatrices a las rectas A - E Y F-B cortarán la línea de arranques A-B en los puntos 2 y 3 Y al eje O -D en el punto 1, que son los centros de los arcos de circunferencia A - G, B - H Y G - C - H, tangentes entre sí que forman el arco carpanel de tres centros.

• **ARCO CARPANEL DE CINCO CENTROS:**

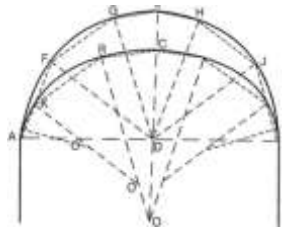
Vale la descripción anterior, añadiendo lo siguiente:



Como se comprenderá, de la elección del primer centro O dependerá la mayor o menor perfección del carpanel que se trace. Para evitar tanteos recomendamos trazar primero el arco a ojo y, una vez hallada la curva que más se aproxime al arco imaginario, determinaremos el punto

K en el cruce de la curva aproximada con la cuerda A F Y trazando desde K la paralela al radio F D, hallaremos el centro O, punto de partida del trazado descrito anteriormente.

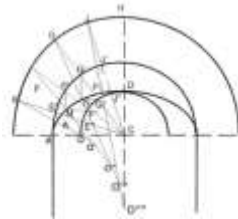
• **ARCO CARPANEL DE SIETE CENTROS:**



Se trazará siguiendo el mismo método que para el carpanel de cinco centros, dividiendo la semicircunferencia en siete partes iguales en lugar de cinco.

• **ARCO CARPANEL DE NUEVE CENTROS:**

Para trazar este carpanel se sigue el método siguiente, que también sirve para razados de once o más centros, lo mismo que para siete o menos:

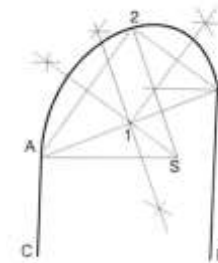


Sobre los dos ejes (eje mayor = línea de arranques, eje menor = flecha) se describen las semicircunferencias que tiene respectivamente por radios C- A y C-D. Haciendo igualmente centro en C se describe otra semicircunferencia con radio igual a CA + CD. Esta semicircunferencia

mayor se divide en 10 partes iguales (una más que el centro de números que se desean obtener). Desde las divisiones se trazan los radios E-C; F-C; G-C; J-C; etc..., y desde los cruces de estos con las otras dos semicircunferencias (E' E", F', F", etc.) se trazan paralelas a los ejes, cuya intersección L, M, N, etc..., serán puntos de elipse. Si unimos estos los puntos mediante rectas con las divisiones correspondientes en la circunferencia exterior E - L, F - M, G-N Y J - P, las prolongaciones de estas rectas se cortarán entre sí y con los ejes del arco, determinando los centros O, O', O'',)" que son los de los arcos de circunferencia que nos determinan el carpanel.

• **ARCO TRANQUIL:**

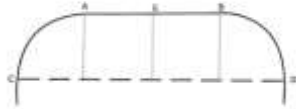
Conocido también por los nombres de arco rojo o cuello de ganso y también por botarel. Es un arco carpanel asimétrico con la línea de arranque inclinada o sea con los puntos de arranque a distinto nivel, utilizado generalmente en contrafuertes y escaleras. Suele trazarse por medio de varios arcos de circunferencia. El trazado más sencillo, con sólo dos centros, se efectúa como sigue:



Conocidas la luz y la flecha 1 2, se levanta sobre 1 la mediatriz de la línea de arranque A B. Seguidamente se levantan mediatrices sobre las rectas A 2 Y 2 B, que, como es lógico, pasarán también por el centro 1 y cortarán las horizontales trazadas desde A y B, respectivamente, en los puntos 3 Y 4. Estos son los centros de los arcos de circunferencia A 2 Y 2 B, tangentes entre sí en 2, que forman el arco TRANQUIL buscado.

- **ARCO DEPRIMIDO CÓNCAVO:**

Es un arco adintelado formado por dos cuartos de circunferencia de radio menor a la semiluz (un cuarto o menos), trazados en los arranques, y unidos por una recta paralela a la línea de arranque.



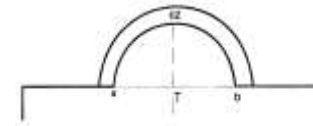
- **ARCO DEPRIMIDO CONVEXO:**

Al igual que el cóncavo, es un arco adintelado en cuyas esquinas a y b se trazan cuartos de circunferencias con centro de dichas esquinas y con radio igual o menos al cuarto de la luz.



- **ARCO GEORGINA:**

Como los anteriores, es un arco adintelado, pero la recta del intradós queda interrumpida por una semicircunferencia, de radio igualo menor a un cuarto de luz, trazada en su centro.



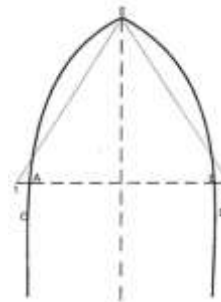
- **ARCO OJIVAL O APUNTADO:**

Es el arco típico del estilo gótico. Está formado por dos arcos de circunferencia iguales, de radio mayor que la semiluz, cuyos centros se sitúan simétricamente sobre la línea de arranque. Cuando los centros de los arcos coinciden con los arranques, se obtiene el arco OJIVAL EQUILÁTERO, por serlo el triángulo AEB.

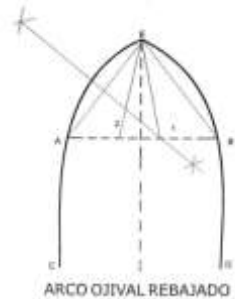


- **ARCO OJIVAL LANCETEADO :**

Es el arco ojival en el que los centros de los arcos de la circunferencia están situados sobre la línea de arranque al exterior de la luz.

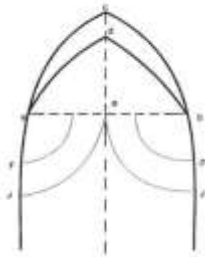


- **ARCO OJIVAL REBAJADO:**



Es el arco ojival en el que los centros de los arcos están situados en la línea de arranque, en el interior de la luz. Estos centros se obtienen trazando las mediatrices de las rectas A E Y E B, que cortan la línea de arranque en los puntos 1 y 2, correspondientes a los centros buscados.

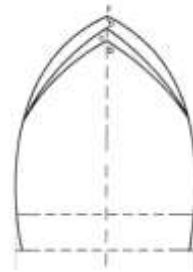
- **ARCO OJIVAL QUEBRADO:**



Recibe esta denominación el arco apuntado cuando los dos arcos que lo forman no son tangentes a las líneas de estribo. Los centros de estos arcos están situados sobre las líneas paralelas e. inferiores a la línea de arco pudiendo coincidir con su cruce con las líneas de estribo (F, F' J Y JI) o situarse en el interior o exterior de la luz. Se hallan de la misma manera como se ha descrito en el arco ojival rebajado.

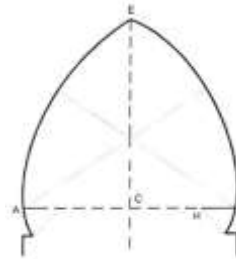
- **ARCO TUMIDO:**

Es el arco ojival que tiene los centros de los dos arcos en una línea paralela y superior a la de arranque. Es por lo tanto, el caso inverso del ojival quebrado.



Al igual que en todos los arcos ojivales los centros pueden coincidir con las líneas de estribo o hallarse en el interior o exterior de la luz. Como en los arcos de herradura, de los que son la versión en estilo gótico, los salmeres están en voladizo.

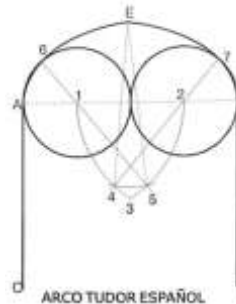
- **ARCO OJIVAL PERALTADO:**



Es una variante del arco túmido. Viene a ser un arco ojival equilátero prolongado por debajo de la línea de arranque A - A', pero con radio A H mucho menor en el trozo de curva prolongado, correspondiente a los salmeres en voladizo.

- **ARCO TUDOR ESPAÑOL:**

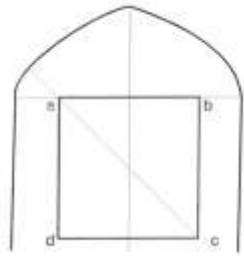
Es un arco ojival rebajado formado por cuatro en lugar de dos arcos de circunferencia. Los centros de estos arcos se hallan como sigue:



Sobre la línea de arranques A-B, dividida previamente en cuatro partes iguales, se trazan dos circunferencias de diámetro igual a la semiluz y con centro, respectivamente en las divisiones 1 y 2. Haciendo centro en 1 y con radio 1- 2 se traza el arco 1- 3. Desde el extremo de la flecha E y con radio igual a A - 2 o, que es lo mismo 1- 3, se traza un arco que cortará a los anteriores en 4 y 5. Las rectas que unen 5 con 1 y 4 con 2 cortarán prolongadas las circunferencias en 6 y 7.

Haciendo centro en 4 trazamos el arco de circunferencia E 7 Y con centro en 5, el arco 6-7, con lo que habremos completado el arco Tudor Español A- 6 - E- 7- B.

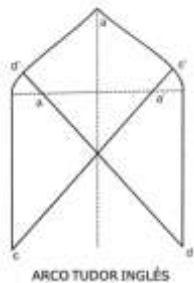
- **ARCO AGUDO:**



Es un arco parecido al Tudor Español, pero más agudo debido a que los arcos de circunferencia tangentes a los estribos tienen el radio menor que un cuarto de la luz. Para trazarlo, se erigirán los centros a y b, a menor distancia de los arranques que un cuarto de la luz y sobre a b se construye el cuadrado a- b- c-d; d Y e serán los centros de los otros arcos,

hallándose el punto de tangencia sobre las prolongaciones de las diagonales del cuadrado. Cuantos más pequeños se eligen los radios primeros, más alta resultará la flecha y más agudo el arco.

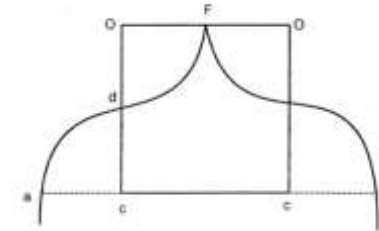
- **ARCO TUDOR INGLÉS :**



Se traza como el anterior, pero en lugar de los segundos arcos, se trazan dos rectas tangentes a los arcos primeros elegidos. Resultará un arco rectilíneo apuntado o angular que se une a los estribos por pequeños arcos de circunferencia.

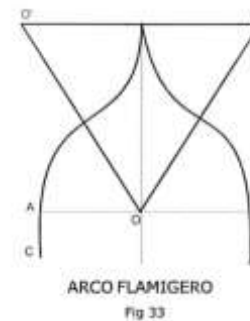
- **ARCO CONOPIAL :**

Está formado por dos arcos de cuarto de circunferencia cóncavos en los arranques y dos convexos en la clave, todos ellos con radio igual a un cuarto de la luz. La flecha es iguala la semiluz. Se realiza dividiendo la línea de arranques en cuatro partes iguales.



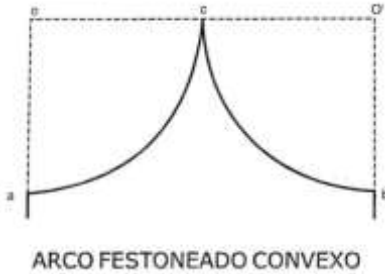
Haciendo centro en las divisiones C y C', se trazan los cuartos de circunferencia tangentes a los estribos. Sobre las verticales levantadas en dichas divisiones, con igual radio y haciendo centro en O y O', se trazan otros dos cuartos de circunferencias invertidos y tangentes a las anteriores, así como entre sí en la clave.

- **ARCO FLAMIGERO:**



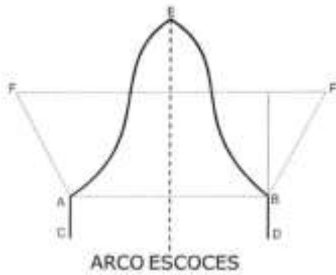
Parecido al CONOPIAL, pero de mayor flecha. Para trazarlo se construye un triángulo equilátero de lados iguales a la luz que tenga el vértice en O, centro de la línea de arranque, y su base O' O'' paralela a la misma. Haciendo centro en O se trazarán con radio igual a la semiluz los arcos cóncavos tangentes a los estribos y haciendo centro en O' y O'', con el mismo radio los arcos convexos que completan el arco.

• **ARCO FESTONEADO CONVEXO:**



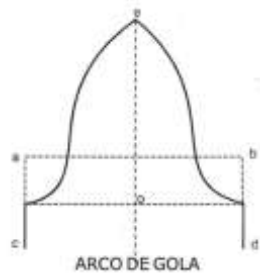
Llámesese así al arco con intradós formado por una serie de arcos convexos formando ondulaciones o festones. El más sencillo sólo comprende dos arcos convexos de cuarto de circunferencia, de radio igual a la semi-luz trazados desde O' y O'' .

• **ARCO ESCOCES :**



Es un arco conopial en que los arcos inferiores son convexos y los superiores cóncavos, o sea a la inversa del arco flamígero. Los radios de los arcos de circunferencia se adaptarán al trazado de la curva, siendo la única condición que los centros de los arcos inferiores F - F' , estén al exterior de la luz A - B .

• **ARCO DE GOLA:**



Es parecido al arco escocés del que la diferencia únicamente la condición de que los centros de los arcos inferiores convexos a , b , se sitúen sobre las prolongaciones de las líneas de los estribos.

• **ARCO FESTONEADO CÓNCAVO:**



Viene a ser un arco deprimido cóncavo en el que la parte recta del intradós es sustituida por otro arco parecido al flamígero. Se traza como sigue: primero se realiza un arco deprimido cóncavo a base de dos cuartos de circunferencia de radio igual a un cuarto de la luz a - e y b - d .

Sobre la recta c - d se construye el cuadrado c - m - m - d . Se trazan dos rectas desde m y m' al centro o'' de la recta e - d . Haciendo centro en o'' se traza la semicircunferencia c - d , pero interrumpiéndola de e a f . Haciendo centro en m y m' , y con radio m - e igual a m - f se trazan dos arcos de circunferencia que se cortan en g .

• **ARCO TREBOLADO:**

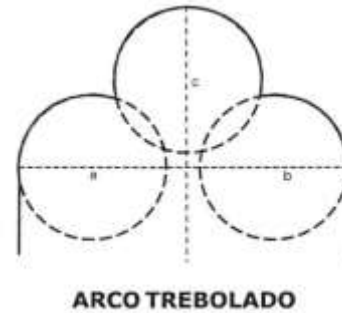
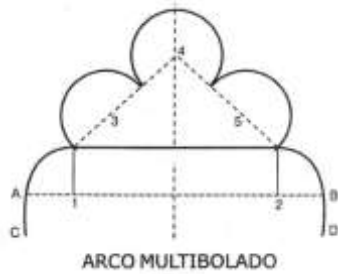


Fig 38

Es un arco formado por la intersección de tres circunferencias de igual radio. Dos tiene sus centros a y b sobre la línea de arranque y son tangentes a los estribos. La tercera tiene su centro e en el eje del arco y a mayor altura, siendo secante a las otras dos.

Los diámetros de las circunferencias han de ser menores que la semiluz y mayores que un tercio de la luz.

- **ARCO MULTIBOLADO:**

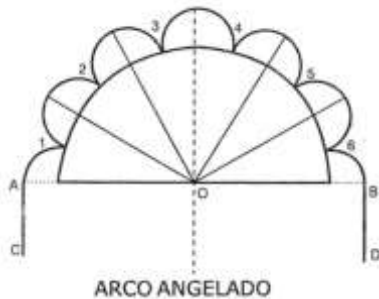


Está formado por la intersección de cinco circunferencias de igual radio. Para trazarlo se construye primero un arco deprimido cóncavo en el que el radio de los cuartos de circunferencia sea mayor que un octavo y menor que un sexto de la luz. Sobre la parte recta del arco deprimido como base se construye un triángulo isósceles, cuyos lados

miden el triple del radio 1- A, escogido y haciendo centro en 3,4 y 5 se trazan con el mismo radio 1-A los tres estantes arcos de circunferencia que en conjunto forman el arco multibolado.

- **ARCO ANGELADO, LLAMADO TAMBIÉN ARCO POLIBOLADO:**

Está formado por varios arcos de circunferencias pequeñas de igual radio, cuyos centros se apoyan sobre una circunferencia auxiliar trazada desde el centro o de la línea de arranque y de radio menor que la semiluz.



Para su trazado se dibuja primero una semicircunferencia con radio igual a la semiluz sobre la línea de arranque. Ésta se divide en un número par de partes iguales (tantas como el número doble de circunferencias de que ha de constar el arco menos dos).

En nuestra figura A,1 ,2 ,3. 11, B, Y se trazan los radios correspondientes a las divisiones. En el sector 0- 1- 2- 3- O, se inscribe una circunferencia, se resta el radio A- C de A- O Y con

radio C- O haciendo centro en O/ se traza la semicircunferencia auxiliar que marcando los radios A- O/ 2- O/ 4- O... 10- O, BO los centros de los arcos de circunferencia tangentes entre sí que forman el arco angelado.

- **ARCO FLORENTINO:**

Existen aún otras denominaciones de arco, como por ejemplo arco FLORENTINO; pero ya no se refieren a una forma particular de arco en sí o sea el intradós, sino al ornamento que le rodea. El florentino no es más que un arco de medio punto real enmarcado por otro ojival figurado.

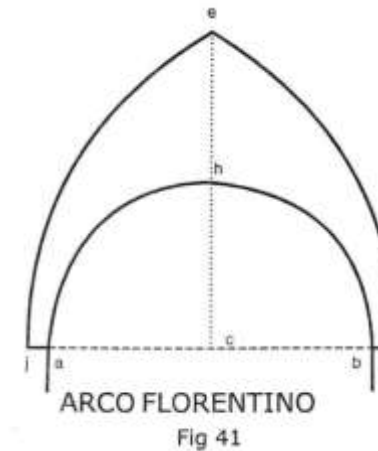


Fig 41

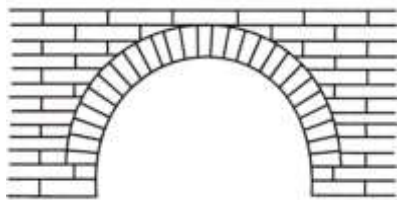
3. CONSTRUCCIÓN DE ARCOS EN PIEDRA

El trazado de un arco se hace con las medidas del radio y la ubicación del centro o punto de radiación, con el radio se traza el intradós y el trasdós o extradós.

El carácter distintivo de los arcos contruidos en sillería es el que éstos deben tener las bóvedas que lo componen talladas de manera que, por la combinación de sus cortes y prescindiendo de la adherencia de los morteros tengan suficiente estabilidad por sí mismas, sirviendo los materiales aglutinantes tan sólo como medios auxiliares para mantener las dóvelas en su debida posición.

Los arcos de sillería más simples son los circulares, ya sean de medio punto, ya peraltados o rebajados o bien escarzanos; éstos suelen estar contruidos de dóvelas iguales entre sí (fig.) Siguen luego los arcos de varios centros en los cuales varían las dóvelas para cada centro y finalmente los elípticos en los cuales las dóvelas varían continuamente de forma, desde los arranques hacia la clave. Generalmente en los arcos curvos en sillería, lo mismo que para los dinteles cada bóveda comprende todo el espesor del arco y teniendo cada una de ellas seis caras; dos paramentos, dos planos de junta, superficie de intradós y de extradós.

- **ARCO SILLERÍA:**



Para la construcción de los arcos de sillería, es preciso el empleo de cerchas y cimbras, para sostener las dóvelas hasta tanto que el arco esté cerrado. Las dóvelas que forman un arco suelen colocarse en obra de

manera que vayan avanzando simétricamente desde los arranques hacia la clave, a fin de que su peso se reparta convenientemente sobre la cimbra y así evitar una posible deformación de la misma.

La clave está en la última pieza que se coloque cerrando el arco. La división del arco está simétrica respecto a la clave de modo que el número de dóvelas sea impar y todas iguales.

- **ARCO EN FÁBRICA DE MAMPOSTERÍA:**

La construcción de arcos de mampostería se usa solamente en obras rústicas o de poca importancia.

Las piedras se disponen de manera que las juntas sean normales al intradós del arco, procurando sobre todo que sean de un mismo espesor, a fin de que al producirse el asiento, éste lo sea de un modo uniforme. Las juntas que inevitablemente deben quedar mal cerradas, se mecanizan con mortero dejándolas bien seguras. Si las piedras de las que se disponen son de distintos tamaños es conveniente ordenarlas de manera que hacia la clave se coloquen las menores, empezando por colocar las mejores a partir de los arranques (fig. .43).



Es preciso que la piedra que forme la clave cerrando el arco quede colocada en obra apretando fuertemente a sus laterales, para lo cual se fuerza su entrada golpeándola con una maza de madera si es preciso. El espesor que ha de darse a esta clase de arcos es superior al correspondiente a un arco de ladrillo de la misma luz.

A causa del mayor espesor que alcanzan las juntas en estos arcos, es preciso dejarlos cimbrados durante un período más largo que los otros, a fin de dar tiempo al mortero a que fragüe, pues al descimbrar antes de haber fraguado, se expondría a que se produjeran asientos tales que llegasen a comprometer la estabilidad.

4. CONSTRUCCIÓN DE ARCOS EN LADRILLO

- **ARCOS DE LADRILLO DE VARIAS ROSCAS:**

En la construcción de arcos de ladrillo, pueden emplearse ladrillos ordinarios o ladrillos moldeados.

En la práctica constructiva son éstos los más corrientemente utilizados. Los ladrillos pueden ser aplantillados formando cuña para arcos especiales a trabajos que interese que queden vistos y con un acabado muy logrado o lo que es más normal con ladrillos corrientes. En el primer caso pueden llegar a colocarse los ladrillos sin mortero ya que en realidad son pequeñas dóvelas, mientras que en el segundo es necesario la interposición de una capa de mortero entre ladrillo y ladrillo, capa que tendrá mayor espesor en el trasdós (hasta unos 20 mm) que en el instados, que acostumbra a tener 10 mm (mínimo 7,50 mm) formándose con el conjunto mortero-ladrillo-mortero, una especie de cuña.

A continuación vamos a detallar las operaciones conducentes a la construcción de arcos de fábrica de ladrillo con piezas corrientes. Cuando el mortero correspondiente a las últimas hiladas de los pilares o jambas ha adquirido cierta consistencia, se colocan las cimbras que han de sostener los ladrillos que formarán el arco. Estas últimas hiladas se colocarán de forma que las juntas que han de recibir formen un plano normal al paramento y dirigido hasta el centro de la curvatura del intradós (Fig.)

Cada vez se ejecuta una hoja del arco, se conviene ir subiendo una hilada del muro o pilar, con lo cual se consigue un enlace perfecto entre el arco y el muro o pilar.

Con la paleta se toma el cuezo o caldereta, la masa necesaria para la juntura y se coloca y extiende sobre un ladrillo sostenido con la mano

izquierda y con la cara que va a recibir la masa hacia arriba, haciendo con la punta de la paleta una especie de corona en forma de cuña en la masa. La masa sobrante que queda en los bordes del ladrillo se recoge con la paleta y se devuelve el cuezo o caldereta.

Se asienta el ladrillo en el lugar preciso, agarrándolo de forma que el pulgar y el meñique de la mano izquierda se apoyen sobre los bordes del ladrillo, se aprieta contra el plano inclinado de las jambas y se raspa la masa que refluya, volviéndola al cuezo o caldereta. Se asienta otro ladrillo en el extremo contrario del arco de la misma forma que el anterior.

Se continúan asentando ladrillos uno a otro lado, hasta que en el centro quede el lugar preciso para la clave. Las distintas direcciones que hay que dar a los ladrillos las indicará el cintrel. Se toma el ladrillo o piedra que ha de servir de clave y se extiende en sus dos caras la masa en forma de cuña, colocándola en el hueco



que corresponde y se la hace descender con toda precaución golpeándola por la parte superior en el último momento, hasta que su parte inferior coincida con la línea general del intradós. Da muy buen resultado el que la clave sea de piedra, aunque puede ser de ladrillo.

Tirantes para arcos:

Los tirantes tienen por objeto contrarrestar los empujes transmitidos por los arcos a los estribos. Están formados casi siempre por hierros redondos. La figura 45 nos indica su empotramiento en la fábrica. Como puede verse, se trata de un hierro que traspasa un ojal practicado al extremo del tirante. Para que no se mueva va apretado con una cuña metálica. Cuando no interese que se vea, se coloca en la forma expresada en la figura 46. El tirante puede ir provisto de un tensor para apretar la varilla de hierro (fig 47)

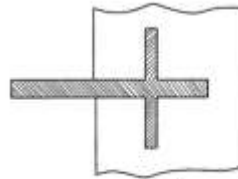


Fig 45

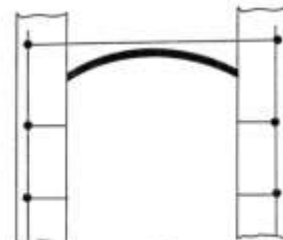


Fig 46

26

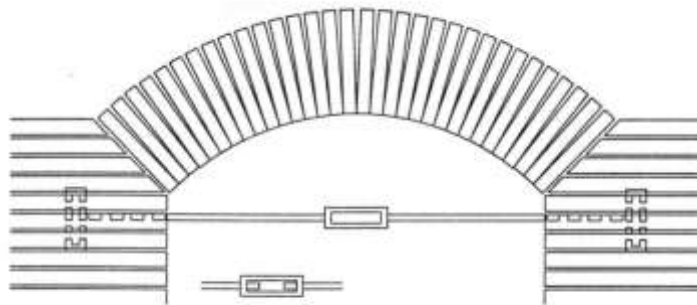


Fig 47

Actividad de aplicación:

1. Arcos/construcción de arcos:

Usted ha terminado de analizar los diferentes tipos de arcos, la invitación es a:

- Realizar el recorrido por el centro histórico de la ciudad, identificar y describir las diferentes clases de arcos (mínimo 10) con sus características y gráficos correspondientes.
- Realizar por subgrupos de trabajo, el proceso de construcción de un (1) arco de medio punto, teniendo en cuenta: trazado, armado, apuntalamiento de molde, dosificación de mezcla y ejecución.
- Elaborar el dibujo del arco realizado y señalar cada una de sus partes, caracterizando sus diferencias.

5. BÓVEDAS Y CÚPULAS

- **DEFINICIÓN DE BÓVEDA:**

Bóveda es una estructura que cierra superiormente un espacio, así como al arco cierra un vano o una abertura.

La bóveda es siempre tridimensional y necesitará para su representación diversas proyecciones. Al igual que el arco, la bóveda se compone de elementos constructivos de menor tamaño que el espacio que cubren, por lo que gravitan sobre el vacío y para

sostenerse han de transmitir su peso y las cargas que soportan de uno a otro hasta los apoyos.

Las bóvedas soportan esfuerzos de compresión, por lo que adoptan formas apropiadas que eviten fatigas de extensión y transmitan las compresiones uniformemente a apoyos continuos o concentrados sobre apoyos aislados. La gran variedad de maneras de conseguir esto, combinado con la diversidad de espacios a cubrir, determinan las numerosas formas diferentes que pueden adoptar las bóvedas, cada una de las cuales recibe su propio nombre.

También en las bóvedas distinguimos una serie de dos características que agrupamos en los siguientes apartados: Elementos de la bóveda, dimensiones, superficie y líneas.

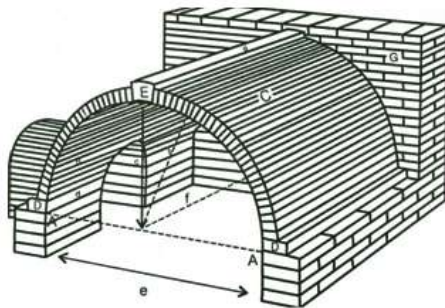
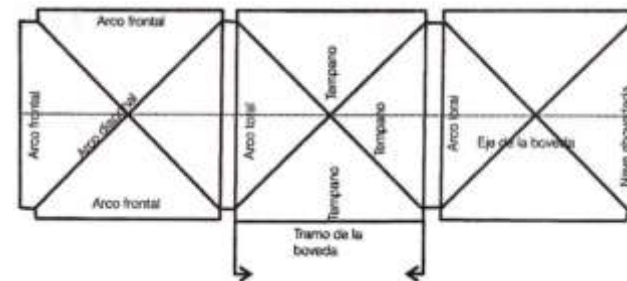


Fig 48

- | | | |
|-------------|---------------------------|----------------------|
| A. Arranque | F. Dovela | d. Línea de arranque |
| B. Intradós | G. Muro frontal | e. Luz |
| C. Trasdós | a. Espesor de la bóveda | f. Eje de la bóveda |
| D. Salmer | b. Directriz de la bóveda | g. Línea de clave |
| E. Clave | c. Flecha | h. Arista |
| | e. Clave | |



- **NOMENCLATURA: ELEMENTOS DE LA BÓVEDA:**

- ✓ **Puntos de arranque.** Son los de los arcos que componen la bóveda.
- ✓ **Apoyos.** Son las partes de los muros o pilares sobre los que descansa la bóveda.
- ✓ **Dóvelas.** Son las piezas elementales que componen la bóveda.
- ✓ **Clave.** Es la dovela central que cierra la bóveda.
- ✓ **Salmeres.** Son las dóvelas en las líneas de arranque de la bóveda.
- ✓ **Nervios.** Son los arcos de dóvelas independientes de los tímpanos en las aristas.
- ✓ **Muro frontal.** Es el que cierra la bóveda en sus partes abiertas.
- ✓ **Arco toral.** Es el arco que separa dos bóvedas situadas una a continuación de otra.
- ✓ **Luneto.** Es la abertura practicada en la bóveda de otra bóveda que penetra en ella.
- ✓ **Tramo de la bóveda.** Es cada elemento individual de una bóveda mayor formada por la sucesión de otras menores.
- ✓ **Nave.** Es el nombre que recibe la bóveda mayor, compuesta de varios tramos. También es el espacio cubierto por esta sucesión de tramos de bóveda.

- **DIMENSIONES:**

- ✓ **Luz.** Es la distancia entre los apoyos o arranques de la bóveda.
- ✓ **Flecha.** Es la altura desde el arranque a la clave.
- ✓ **Espesor.** Es la distancia entre el trasdós y el intradós de la bóveda.

- **SUPERFICIES:**

- ✓ **Intradós.** Es la superficie externa de la bóveda.
- ✓ **Tímpanos.** Son las partes de la bóveda comprendidas entre las aristas y los arcos frontales o las intersecciones con otras superficies de la bóveda. Faldón. Es el nombre de un tímpano de huso, en bóvedas de rincón de claustro y esquifadas.
- ✓ **Plafón.** Es el techo plano o bóveda rebajada que remata ciertas bóvedas esquifadas.
- ✓ **Pechinas.** Son los tímpanos interpuestos entre una cúpula esférica y su apoyo poligonal.

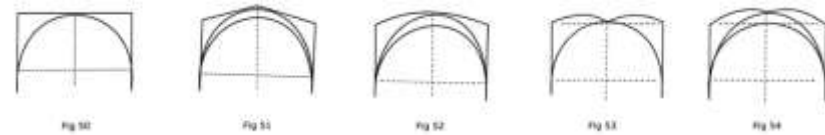
- **LINEAS :**

- ✓ **Línea de arranque.** Es la que se forma uniendo entre sí todos los puntos de arranque de los arcos que componen la bóveda.
- ✓ **Directriz o perfil.** Es la línea del arco en que se basa la bóveda. Queda aparente en las secciones de la bóveda.
- ✓ **Eje de la bóveda.** Es la línea central formada por la unión de los centros de todos los arcos que componen la bóveda.
- ✓ **Aristas o líneas de aristas.** Son las que se forman en el encuentro de dos superficies de bóveda que forman esquina saliente.

- ✓ **Arco frontal.** Es la línea de intersección de la bóveda con el muro frontal.
- ✓ **Arco diagonal.** Es la arista de intersección de dos bóvedas de cañón.
- ✓ **Líneas de clave.** Es la unión de las claves de todos los arcos de la bóveda, distinguiéndose las siguientes clases:

- **Línea de clave horizontal.** Cuando las claves de los arcos frontales y de los diagonales están a igual altura. En las bóvedas por arista, los tímpanos son cilíndricos (fig 50.).
- **Líneas de clave ascendente.** Cuando la clave del arco diagonal es más baja que las correspondientes a los arcos frontales y los tímpanos son ascendentes y cilíndricos (fig.51).
- **Línea de clave descendente.** Cuando la clave del arco diagonal es más baja que las correspondientes a los arcos frontales y los tímpanos son inclinados y casi siempre cilíndricos. (fig.52)
- **Línea de clave curvada quebrada.** Cuando las claves de los arcos diagonales y frontales están a la misma altura y los tímpanos tiene forma abombada esférica. (fig.53).
- **Línea de clave quebrada peraltada.** Cuando la clave del arco diagonal está más alta que la de las frontales y lo tímpanos tiene forma abombada esférica (fig.54)

Línea de clave curvada descendente. Cuando la clave del arco diagonal está más baja que las dos frontales y los tímpanos presentan superficies descendentes y abombadas.



6. CLASES DE BOVEDAS Y SU TRAZADO

La diversidad de formas de las bóvedas se deriva de dos fundamentales: La cilíndrica y la esférica o cúpula.

Por la manera de transmitir el empuje, las bóvedas se diferencian en cerradas, cuando el peso se reparte uniformemente por el perímetro; semi-abiertas, cuando el peso descansa sobre dos muros, y abiertas, cuando el peso se concentra sobre los pilares de las esquinas.

- **BÓVEDAS CILÍNDRICAS:**

Pueden considerarse generadas por un arco llamado directriz, que se traslada a lo largo de un eje horizontal o inclinado, que pasa por el centro de su línea de arranque.

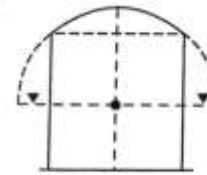


Fig 56

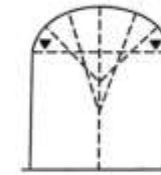


Fig 57

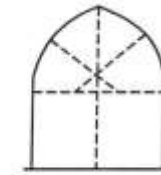
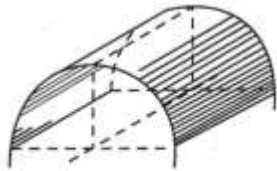


Fig 58

- **BÓVEDAS DE CAÑÓN CILÍNDRICO:**



BÓVEDA DE CAÑÓN SEGUIDO

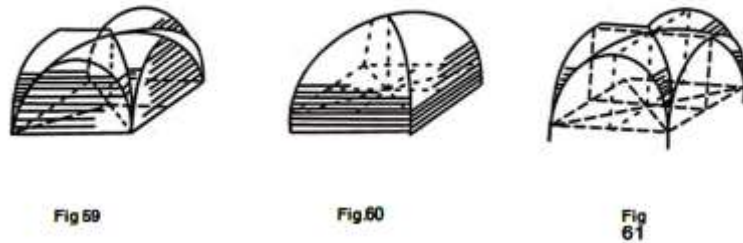
Su forma básica es un cilindro partido por la mitad. Su directriz es una semicircunferencia y su eje es horizontal. Se entrega sin formar ángulo a las paredes en que se apoya y cubre un espacio rectangular o cuadrado (fig.55). Es una bóveda semiabierta.

Siendo su directriz un arco, basta trazar éste para definir la bóveda. En lugar de un arco de medio punto, la directriz puede tomar la forma de cualquier arco y la bóveda de cañón seguido se denominará según el nombre del arco de su directriz. Así tendremos dos *bóvedas* de cañón seguido en arco rebajado (fig.56); en arco carpanel (fig.55); en arco apuntado (fig.58).

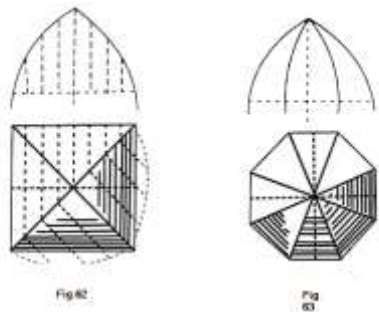
De la intersección de dos o más bóvedas de cañón seguido se derivan las demás de fundamento cilíndrico. Describimos a continuación las más importantes.

- **BÓVEDA EN RINCÓN DE CLAUSTRO:**

La figura 59 representa la intersección de dos bóvedas de cañón seguido iguales, de arco medio punto de directriz, sobre planta cuadrada. Si suprimimos las partes superiores de la intersección, obtendremos la bóveda de rincón de claustro (fig.60), solución que se presentaba en los rincones de los claustros románicos abovedados.

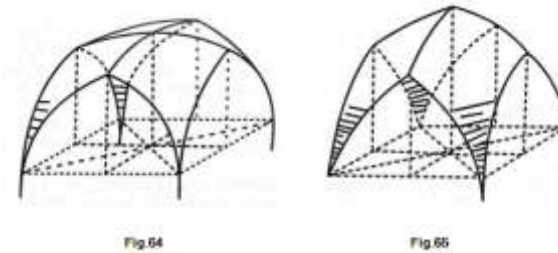


Si por el contrario, las partes que suprimimos son las inferiores, la bóveda resultante es por aristas (fig.61). La primera es bóveda cerrada, la segunda abierta. Para mejor comprensión de estas dos formas fundamentales de bóvedas cilíndricas, describiremos otro procedimiento más sencillo para su derivación de la bóveda de cañón seguido:



La planta puede ser también un polígono regular. Cuantos más lados tenga este polígono más se parece la bóveda en un rincón de claustro a una cúpula, pero siempre con aristas entrantes. Así resulta la bóveda triangular o la bóveda sobre planta octagonal fig. 62 - 63.

- **BÓVEDA EN RINCÓN DE CLAUSTRO TRUNCADA:**



Esta se deriva de la bóveda de rincón de claustro al girarla en planta 45 grados de manera que los ejes coincidan con las diagonales del plano original. Los cuatro ángulos de la planta cuadrada se cortan, por lo que desaparecen las líneas de arranque, sosteniéndose la bóveda sobre cuatro puntos de apoyo. El arco central o diagonal puede ser de medio punto, rebajado, carpanel, oval, parabólico o apuntado. Los arcos frontales son en todos los casos apuntados. Las intersecciones de los tímpanos aparecen siempre en el intradós como ángulos entrantes y en planta, como líneas rectas. La figuras 64 representa una bóveda de rincón de claustro truncada con arcos de medio punto y la figura 65 con arcos apuntados.

- **BÓVEDA ESQUIFADA O EN FORMA DE ARESTA:**

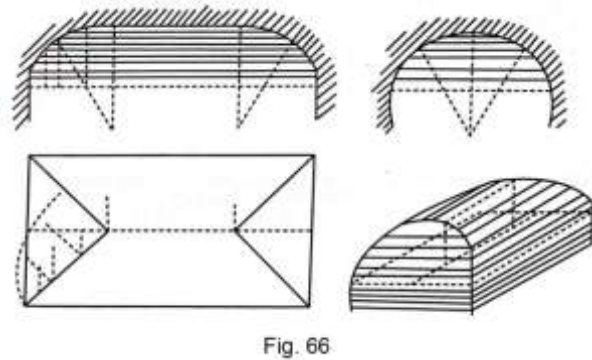


Fig. 66

Viene a ser una bóveda de rincón de claustro sobre planta rectangular, con la diferencia de que en lugar de vértice posee una línea de clave (figura 66). Su forma se parece a la de un esquife (barca de quilla) o artesa volcada, de ahí su nombre. El arco directriz de la bóveda puede tener cualquiera de las formas fundamentales (arco de medio punto, rebajado, carpanel, parabólico o apuntado). Los faldones y la bóveda principal (la que corresponde al eje mayor) tienen siempre igual directriz, cortándose en aristas entrantes.

- **BÓVEDA ESQUIFADA CON PLAFÓN O BÓVEDA DE ESPEJO :**

Resulta cuando una bóveda esquifada o en un rincón de claustro se corta a cierta altura de los arranques y se cierra con un techo plano o con una bóveda esquifada o en rincón de claustro rebajada (fig.67). La planta puede ser cuadrada, rectangular, octogonal, circular o combinada (figura 68). La figura 69 representa una bóveda esquifada

con plafón y con lunetas.

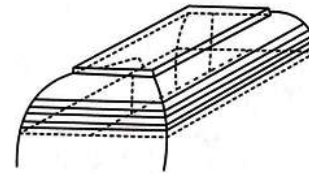


Fig 67

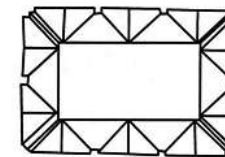
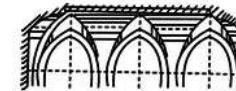


Fig 69

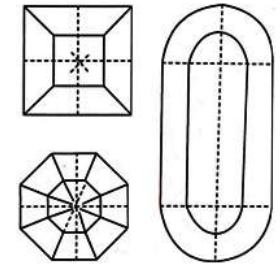


Fig 68

- **BÓVEDA POR ARISTA:**

Se distinguen dos clases principales: La bóveda por arista romana, sobre planta cuadrada o rectangular, con líneas de clave horizontal y directriz de medio punto y la bóveda por arista gótica, con directrices de arco apuntado. Estos arcos permiten cualquier flecha y cualquier forma de planta regular o irregular. Las líneas de clave pueden ser horizontales, ascendentes o descendentes, rectas o curvas, etc. lo que permite una diversidad inagotable de formas.

Los puntos de apoyo de la bóveda por arista se hallan en los cuatro puntos de arranque, cuando la planta es rectangular. Cuando ésta

forma un polígono irregular, la clave se sitúa en su centro de gravedad.

El trazado de los arcos se efectúa por el método de ordenadas partiendo, generalmente, del arco frontal menor, como puede observarse en la figura 70, correspondiente a una bóveda por arista romana, o en la (figura 71) de planta irregular y de cañones ascendentes, o en la figura 72, típica bóveda por arista gótica con arcos apuntados y líneas de clave rectas ascendentes.

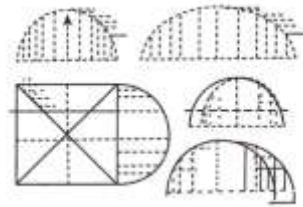


Fig 70

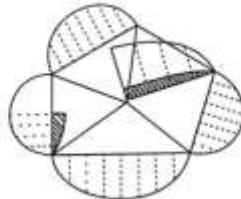


Fig 71

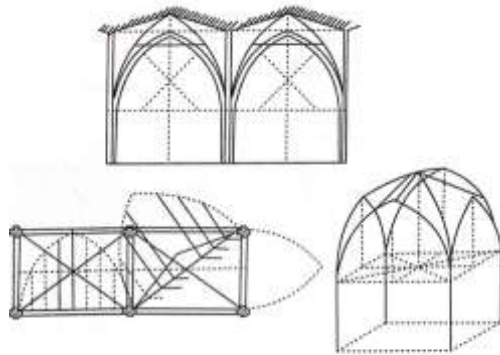


Fig 72

- **BÓVEDA POR ARISTA CON LÍNEA DE CLAVE PERLATADA:**

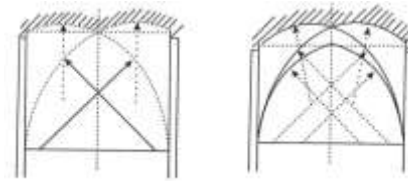


Fig 73

Fig 74

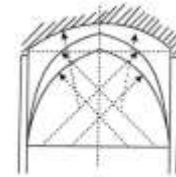


Fig 75

Es la bóveda por arista románica (fig.73). Las claves de los arcos frontales están enlazados a la clave de los arcos diagonales por un arco rebajado y los tímpanos resultan curvados. El peralte suele ser de 1/20 a 1/30 de la luz del arco diagonal.

La clave de los arcos diagonales puede estar a mayor altura que las de los arcos frontales, obteniéndose la bóveda por arista de cañones curvos ascendentes (fig. 74) o, si las líneas de clave de los tímpanos opuestos forman una curva continua, la bóveda, por arista de cañones curvos en un solo arco (fig.75).

- **BÓVEDA POR ARISTA REBAJADA:**

Es la bóveda por arista de cañones curvos en bajada (fig.76). Entre las bóvedas por arista es la de menor flecha y, por lo tanto, la de menor resistencia.

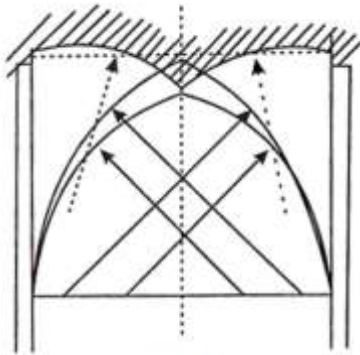


Fig 76

• **BÓVEDA ESTRELLADA:**

Es la bóveda por arista mejorada, con un aumento del número de nervios entre los fundamentales. La adición de nervios intermedios da lugar a la formación, en planta, de figuras estrelladas, de donde el nombre de estas bóvedas. Las estrellas pueden trazarse más o menos complicadas como en las figuras 77 a 80. El arco fundamental suele ser apuntado. Los tímpanos tienen forma de esferoides. Las aristas secundarias reciben el nombre de terceletes, cadenas o braguetones.

Cuando la bóveda estrellada se desarrolla sobre varios tramos, se prescinde de los arcos torales (fig.81). Puede disponerse de manera que todos los nervios, fundamentales y secundarios, estén situados sobre una misma superficie esférica, aproximándose entonces a una bóveda vaída.

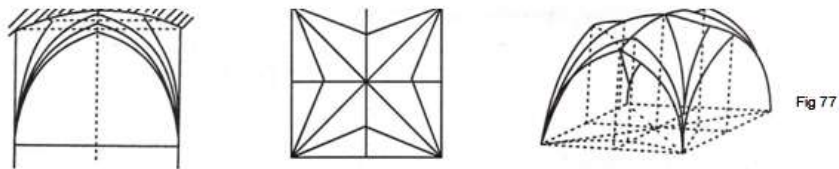


Fig 77

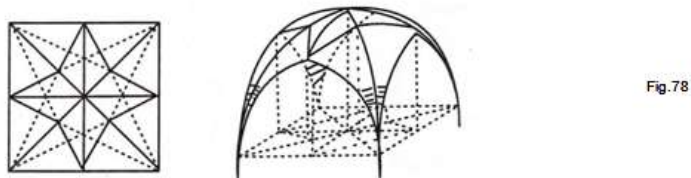


Fig.78

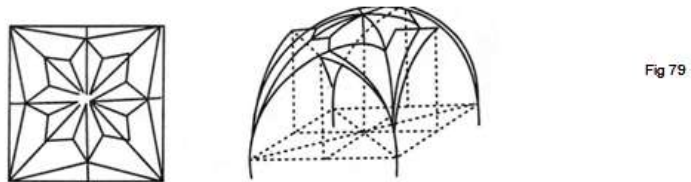


Fig 79

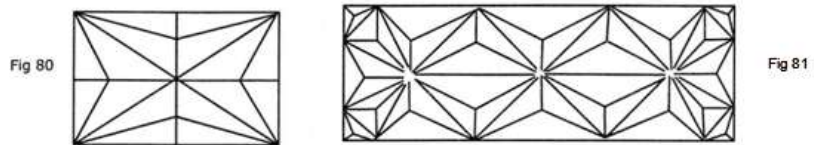


Fig 80

Fig 81

• **BÓVEDA RETICULADA:**

Es una bóveda estrellada dispuesta de manera que los arcos secundarios sustituyen a los fundamentales, formando el sistema de nervios una red (fig. 82 Y 83). Su forma fundamental puede ser en cúpula o cilíndrica. Si es de cañón seguido, puede enriquecerse con el intercalado de lunetas (fig.84).

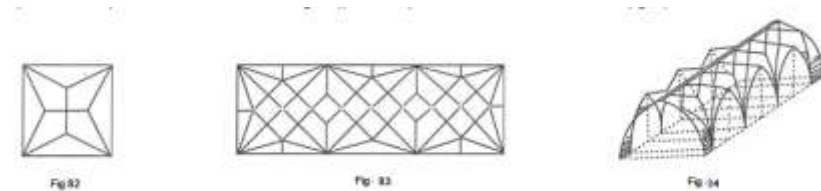


Fig 82

Fig 83

Fig 84

- **BÓVEDAS EN ABANICO:**

Son bóvedas estrelladas de varios tramos en que los aristones o arcos terceletes se disponen en forma radial alrededor de los puntos de apoyo, dando éstos la sensación de abanicos. La forma fundamental de la bóveda puede derivarse del arco apuntado (fig.85), de medio punto, carpanel (fig.86), rebajado, etc.... En todo caso, los tímpanos entre los nervios deberán ser lo más semejantes posibles.

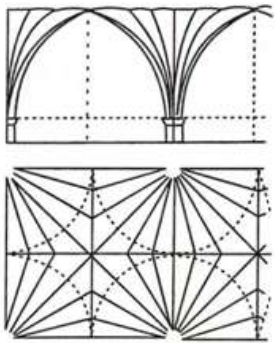


Fig 85

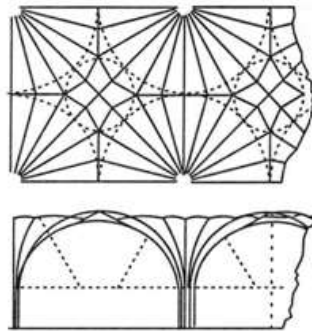


Fig 86

- **BÓVEDAS ESFÉRICAS O CÚPULAS :**

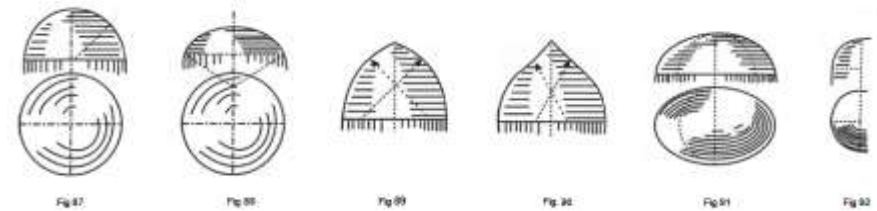
Definición:

Pueden considerarse generadas por un arco generatriz que gira alrededor de su eje vertical. Su intradós será, por lo tanto, una superficie de revolución, semiesfera o esferoide, elipsoide, paraboloides, etc... Según la forma del arco generatriz. También puede derivarse de una bóveda de rincón de claustro sobre planta poligonal de infinito número de lados.

- **CÚPULA DE BASE CIRCULAR:**

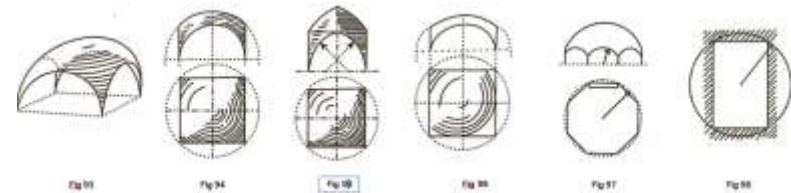
Es una bóveda cerrada, sobre planta circular o elíptica, cuyo nombre se deriva de la forma de generatriz. Así obtenemos de un arco de medio punto, la cúpula propiamente esférica (fig.87), del arco rebajado, la cúpula rebajada (fig.88); del arco apuntado, la cúpula apuntada (figura 89); del arco canopial o flamígero, la cúpula bulbiforme (fig.90); etcétera. Si la base es elíptica, obtenemos la cúpula elíptica (fig.91).

Estas bóvedas también pueden ser abiertas, cuando son sólo medias cúpulas para cubrir un nicho u hornacina, llamándose bóveda de nicho, de cascarón o de concha (fig. 92).



- **BÓVEDA VAIDA:**

Es la bóveda esférica a la que se han cortado mediante planos verticales los casquetes que sobresalen de la planta inscrita (fig.93). Los arcos frontales resultantes tienen la misma forma que la generatriz.



La planta puede ser cuadrada y la generatriz de medio punto (fig.94), apuntada (fig.95), carpanel (figura 96). La planta puede ser también poligonal (fig. 97), o rectangular (fig. 98).

- **CÚPULAS SOBRE PECHINAS:**

Se forma suprimiendo el casquete de una bóveda vaída desde la altura de la clave de los arcos frontales, substituyéndolos por otra cúpula completa (fig. 99).

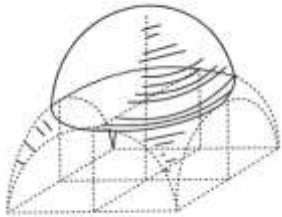


Fig. 99

- **BÓVEDA ESFÉRICA REBAJADA O BOHEMIA :**

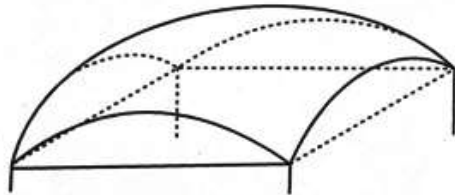


Fig 100

Es lo queda de una cúpula después de cortada con planos verticales (fig. 100). También puede definirse como bóveda vaída con generatriz de arco rebajado, forma que presentan siempre los arcos frontales

- **BÓVEDA LOBULADA:**

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

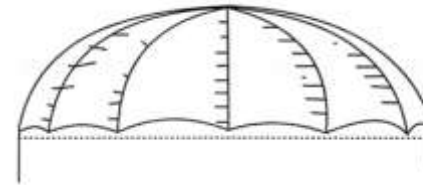


Fig 101

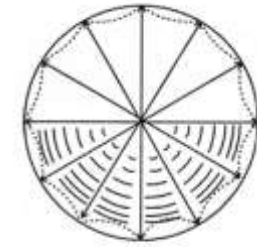


Fig 102

Las figuras 101 y 102 representan bóvedas lobuladas con directrices en arco rebajado, arco de medio punto y arco carpanel.

Actividades de aplicación

2. Bóvedas y cúpulas.

En el recorrido que realice por el centro histórico observar las bóvedas y cúpulas que encuentre para desarrollar el siguiente proyecto, por subgrupos de trabajo:

- a) Escoja una (1) bóvedas y una (1) cúpula, elabore un (1) informe determinando:
- b) Esquema general de acuerdo con la simbología a una escala determinada previamente.
- c) Señale cada una de las partes que la conforman, con la terminología correspondiente.
- d) Identifique y describa la técnica y proceso de construcción que pudo haber sido utilizado.
- e) Determine las características de acuerdo al estilo y la época de construcción.
- f) Elabore un (1) presupuesto de materiales empleados en la construcción de la bóveda.
- g) Determine el proceso de construcción que posiblemente fue empleado para la elaboración de la cúpula.

7. CIMBRAS

- **DEFINICIÓN:**

Son las armaduras provisionales de carpintería de armar, que se emplean para sostener los elementos constructivos de que se compone el arco o la bóveda, hasta que los materiales hayan logrado la consistencia suficiente. También sirven para dar al intradós la forma que se deba tener.

- **ELEMENTOS COMPONENTES:**

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

- **CLASES DE CIMBRAS:**

Se distinguen cimbras fijas, volantes, mixtas, giratorias, suspendidas o aéreas.

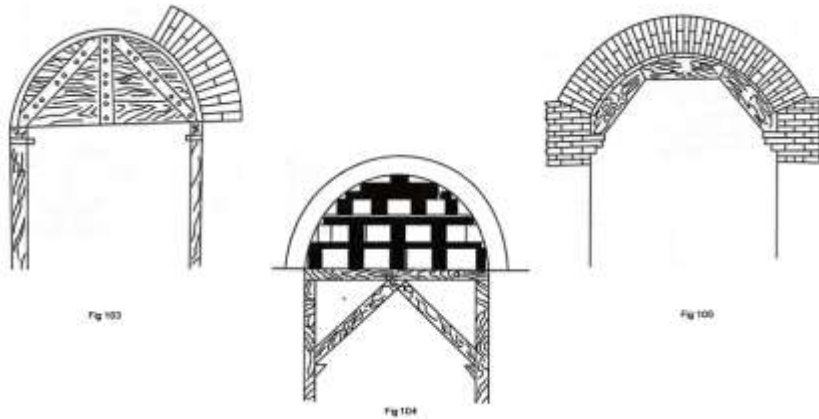
- ✓ **Fijas:** Las que se apoyan en puntos intermedios entre los estribos del arco de la bóveda.
- ✓ **Volantes:** Las que se apoyan en los estribos;
- ✓ **Mixtas:** Las que si bien se apoyan en los estribos pueden tener algún apoyo intermedio.

- ✓ **Giratorias:** Las que pueden ser trasladadas alrededor de un eje a medida que avanza la construcción.
- ✓ **Suspendidas o aéreas:** Las que están sostenidas sobre el espacio que ha de cubrirse.
- ✓ **Fijas:** Las que se apoyan en puntos intermedios entre los estribos del arco de la bóveda.

- **CIMBRAS PARA ARCOS:**

En los arcos de poca importancia se utilizan cimbras llamadas tambores, formadas por dos tableros recortados según el perfil del arco y unidos por una serie de listones que forman la superficie del asiento (figura 103). Otras veces (fig. 104), se construye la cimbra apoyando en los estribos, o en unos pies derechos adosados a ellos, maderos transversales que sostienen un piso de tablas longitudinal. Sobre él se levanta un murete de ladrillos a clavos y lleno, de manera que en su parte superior afecte una formación escalonada inscrita en la curva del arco. Los escalones entre las hiladas se rellenan con mortero o barro, para obtener el molde y disminuir el peso de la cimbra, se levanta sobre el tablero y en su parte media un pilarete de ladrillo hasta la clave, y desde lo alto de él a los arranques del arco se colocarán los tabloncillos inclinados que servirán para sostener el relleno de ladrillo, quedando así reducido a los segmentos circulares formados por tabloncillos y el arco. En lugar de tableros se construye más corrientemente dos cerchones, de tablas de 2 a 4 centímetros de espesor, clavadas sólidamente y recortadas de manera que el borde aplantillado tenga la figura del arco. Sobre estos bordes y construyendo el caparazón, se clavan tablas o listones y se rellenan las rendijas con barro y arena. Estas cimbras se apoyan por sus extremos,

bien en pies derechos adosados al muro, bien sobre unas ménsulas o cornisas de ladrillo (fig. 105). Para preparar los cerchones se dibuja el arco en el suelo y sobre él se recortan y se clavan las tablas debidamente



cercha representada en la figura 109.

Para pequeñas luces y arcos poco cargados, en vez de apoyar las cimbras sobre los pies derechos, se colocan sobre las mensulinas de la misma fábrica (fig. 224), que se obtienen dejando salientes tres hiladas de ladrillo, volada cada una sobre la anterior unos 3 cm. Para evitar que las ménsulas se rompan o cedan con el peso del arco, se apuntala éste en su parte central con un pie derecho, que se sujeta con cuñas tan pronto como el peso del arco gravita sobre la cimbra.

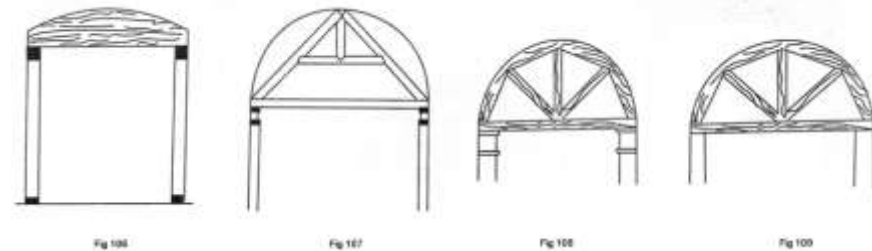
Para arcos de luz mayor o muy rebajados se sostiene la cimbra con pies derechos adosados a los estribos y otros intermedios arriostrados y acuñado convenientemente con cuñas pareadas.

Cuando se trata de arcos de luz muy considerable y por consiguiente, muy pesados, se construyen las cimbras con maderas fuertes, procurando formar un entramado de mallas triangulares y reforzando las piezas que lo necesiten con tornapuntas, pendolones y sopandas, etc...

a) TIPOS DE CIMBRAS:

La figura 106 representa una cimbra sencilla formada por dos cerchones de tabla recortada según el perfil del arco y unidos por listones de longitud igual al grueso del arco. Apoya sobre puntales adosados a los estribos.

Para arcos de medio punto, un tipo de cimbra sencillo es el representado en la figura 107, formada por una armadura y cerchones. Si la luz es mayor y las piezas que hacen de pares en las cerchas de las cimbras se separan demasiado de la curva del arco, se puede usar el tipo representado en la figura 108, con lo que la tabla recortada no tiene tanta superficie y sobre todo se consigue reforzar los riñones de la cimbra. Cuando el tirante a la altura del arranque puede estorbar, se usará la



b) OTRAS CLASE DE CIMBRAS:

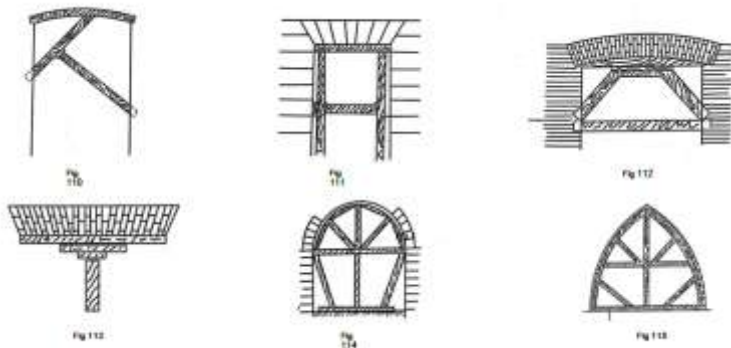
La figura 110 representa una cimbra sencilla que puede emplearse en la construcción de un arco rebajado de fábrica de ladrillo. Consiste en una tabla apoyada en un punto medio por otra puesta a 45º, apoyada a su vez por otra puesta en tornapunta. Ambas se apoyan fuertemente en los muros.

La figura 111 representa una cimbra, que tiene aplicación cuando el arco adintelado se construye en sillería.

Las figuras 112 y 113 representan otras sencillas disposiciones que pueden adoptarse para la construcción de arcos adintelados y arcos rebajados de ladrillo.

Otro tipo de cimbra ligero es el de la figura 114, empleado en la construcción de un arco de cantería.

Las figuras 115, 116 y 117 indican disposiciones de cimbras para arcos especiales.



Las de las figuras 115 y 116 sirven para arcos agudos y el de la figura 117 para un arco tranquilo.

Cuando las cimbras han de servir para arcos y bóvedas de gran importancia, las cimbras serán verdaderas obras de carpintería de armar, combinándose en éstas, casi siempre, los elementos de hierro con los de madera.

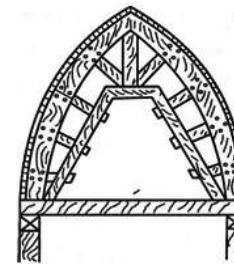


Fig 116

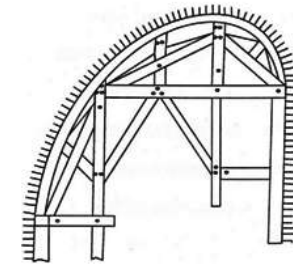


Fig 117

c) CIMBRAS PARA BÓVEDAS:

Las cimbras para bóvedas son semejantes a las de arcos, necesitan para su construcción armazones a propósito que mantengan los materiales hasta que una vez terminadas, adquieran por mutuo apoyo de sus partes y el fraguado de los morteros, el equilibrio solidez que asegure la estabilidad de la construcción.

La estructura de estos apoyos y cimbras depende de las dimensiones de la bóveda, de su peso y de su forma. Para las bóvedas corrientes de fábrica, la cimbra se compone de una serie de cuchillos o cerchas formadas por tablas clavadas y cortadas de modo que el borde superior afecta a la forma de una de las secciones de bóveda; sobre estas armaduras de apoyo clavadas de una a otra se colocan listones o tablillas, de modo que constituyan un tablero unido y de la forma más aproximada posible al intradós de la bóveda que se va a construir.

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

d) EJEMPLOS DE CIMBRAS PARA BÓVEDAS:

La forma de disposición de las cimbras varían como antes hemos dicho, según sea el género de la bóveda para la que hayan de servir. Las figuras 118, 119 Y 120 muestran en frente, planta y sección, la disposición paralela de las cimbras para una bóveda de cañón seguido. Si el cañón es en bajada o en rampa, las cimbras se dispondrán también paralelas, siguiendo la rasante de la bóveda.

Para las bóvedas de rincón de claustro de planta cuadrada se dispone de una cimbra principal perpendicular a dos de los muros de apoyo y paralela a los otros dos, pasando por la clave de la bóveda; a éstas se unen dos medias cimbras que partiendo de los puntos medios de los otros apoyos, se unen normalmente a la primera, además otras cuatro medias cimbras diagonales.

Cuando las bóvedas deben tener lunetos, las cimbras se construirán haciendo caso omiso de éstos, disponiendo luego las correspondientes a los lunetos que se apoyan debidamente en la cimbra principal.

Para las bóvedas esquinadas, la armadura se construye con medias cimbras que se unen al tablero correspondiente al plafón de las mismas, como se indica en la figura 121. La bóveda vaída se arma como indica la figura 122, disponiendo una cimbra principal a lo largo de una diagonal del cuadrilátero que hay que cubrir, completándose conforme la mencionada figura.

Las bóvedas por arista se arman de modo análogo a éstas, o bien adoptando la disposición que se indica en la figura 123.

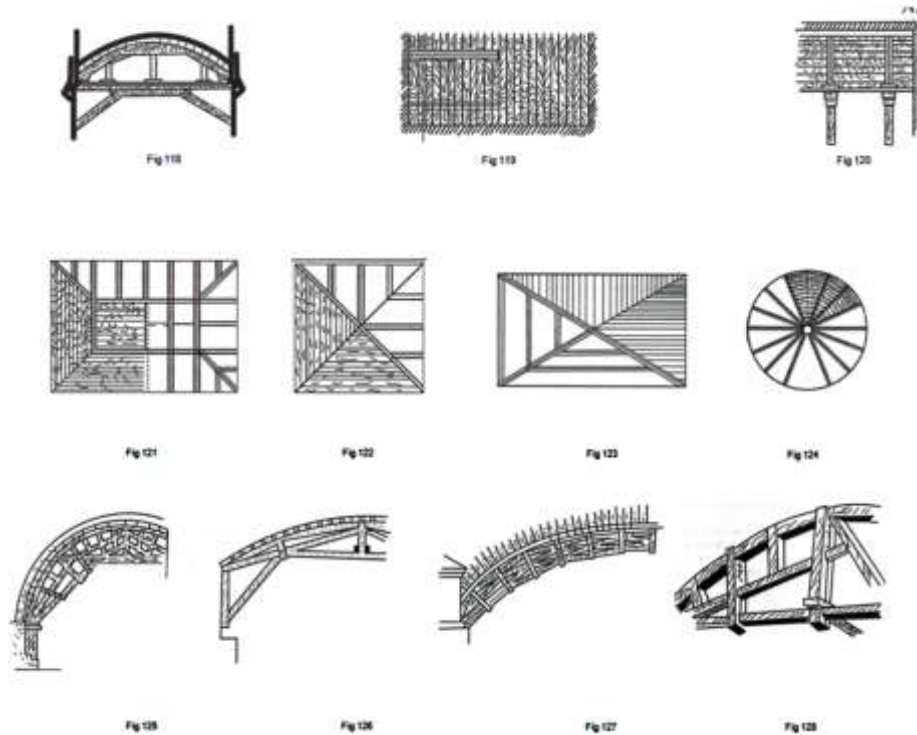
La disposición para la armadura de las bóvedas de revolución se obtiene uniendo a un robusto eje una serie de medias cimbras colocadas según meridianos de la superficie, como se indica en la figura 124.

Las mismas disposiciones descritas sirven para las bóvedas que se construyen de concreto con la sola diferencia de disponer de cerchas más próximas unas a otras y de corregir mediante una capa más o menos gruesa de mortero, la discontinuidad de la superficie que resulta del empleo de tablas.

Para las bóvedas ligeras pueden emplearse cimbras formadas por simples tablas y recortadas según el arco del intradós.

Las figuras 125, 126 Y 127 representan varios tipos de cimbras para grandes bóvedas.

En la figura 128 se da idea de los cepos que traban las piezas de las cimbras entre sí. La figura 126 es un ejemplo de cimbra corredera que dispone de unos carriles sobre piezas horizontales de apoyo y fuertes ruedas de pequeño diámetro. Estas cimbras correderas se usan para la construcción de bóvedas de gran longitud.

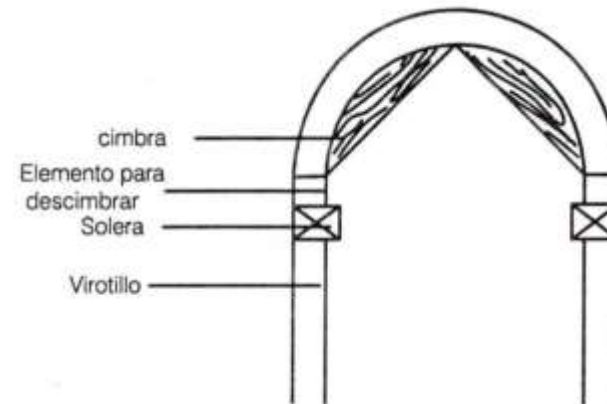


estas soleras al suelo. La figura 254 nos muestra esquemáticamente el apoyo de una cimbra.

f) **DESIMBRADO DE ARCOS:**

Es la operación por la cual se procede a quitar las armaduras que sirvieron de sostén al arco. Si en la estabilidad de éste no se tiene en cuenta la adherencia y cohesión de los morteros, como sucede en los arcos de sillería, el descimbrado puede efectuarse en seguida de determinada construcción.

Esto no sucede en los de ladrillo, en los cuales hay que guardar a que el mortero haya alcanzado un cierto punto de fraguado suficiente para que se sostenga, mas no tan elevado que impida a la obra efectuar su natural asiento, sin que aparezcan grietas de rotura.



e) **COLOCACIÓN DE LAS CIMBRAS :**

Esta operación se efectúa tras un replanteo exacto de la posición definitiva que ha de ocupar la cimbra, a fin de que se ajuste perfectamente al intradós de la bóveda.

Comprobada su posición y altura se procede a mantenerla en dicha posición buscándole apoyos, los cuales están formados por piezas o maderas horizontales denominadas soleras, que siguen la dirección de los muros laterales, y los virotillos necesarios para salvar la altura desde

Los arcos de medio punto y pequeña luz, fabricados de ladrillo con mortero hidráulico, pueden ser descimbrados al cabo de poco tiempo; los escarzanos de luces mayores, sobre todo si están formados con mortero ordinario, exigen un plazo mayor.

g) DESIMBRADO DE BÓVEDAS:

El descimbrado de bóvedas de ladrillo se verifica según las normas señaladas para los arcos. Una vez transcurridos los días precisos para el suficiente fraguado del mortero, se procura el descenso gradual y uniforme de la armadura, mediante la separación de cuñas, de apoyo de los pies derechos, hasta tener una completa desunión de la cimbra y el intradós de la bóveda. Una vez llevado a cabo el descenso de la cimbra, se comprobará si en la bóveda ha aparecido alguna grieta, y en caso negativo, se quitarán las armaduras y se rasará la tierra que hubiese quedado adherida al intradós. Si la luz de la bóveda es muy considerable, antes de descimbrar se extiende sobre el trasdós una pequeña capa de cal, con objeto de hacer visible la iniciación de cualquier grieta que pudiese producirse, valiéndose para comprobar el descimbrado, de una cuerdecilla bien tirante y tangente al trasdós.

h) PROCEDIMIENTOS DE DESCIMBRADOS

a) Descimbrado con cuñas de madera:

Los cuchillos se hacen apoyar sobre las cuñas, las cuales llegado el momento del descimbrado se hacen resbalar aplicando pequeños golpes en la cabeza menor de la cuña inferior (Fig. 130).

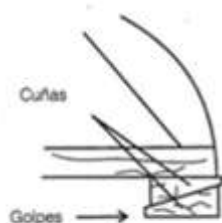


Fig 130



Fig 131

b) Descimbrado con cajas arena:

Es un procedimiento que mejora el de sacos de arena. las cajas son de sección circular de unos 30 cm de diámetro y otro tanto de altura. Están cerradas por las partes inferiores y abiertas por la parte superior.

La cimbra no descansa directamente sobre la arena, sino sobre una madera que actúa de pistón; dicha madera va penetrando en el interior de la caja a medida que ésta se va vaciando de arena por medio de aberturas laterales, que durante el trabajo permanecen cerradas con tapones de rosca (Fig.131).

c) Descimbrado con sacos arena:

El procedimiento consiste en la colocación de arena (que debe ser silíceo y perfectamente seca) que colocados en sustitución de las cuñas del procedimiento anterior, mantienen la cimbra en la posición necesaria para la construcción de la bóveda. Para proceder al descimbrado, basta practicar una abertura a cada saco y dejar salir por ella la arena.

Este procedimiento, tiene la gran ventaja de producir un descenso de la cimbra muy lento y sin falsos movimientos. Claro está que tiene el inconveniente de que si se hace mal el descimbrado, no se puede volver a su estado primitivo y también es muy difícil detenerlo.

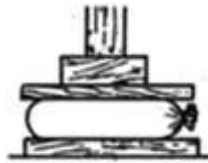


Fig 132

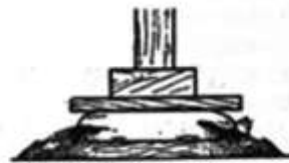


Fig 133

d) **Descimbrado con tornillos o gatos:**

Se emplean estos aparatos en cimbras de cierta complicación. El gato puede utilizarse tanto para el montaje como para el descimbrado.

Figura 14.- El descimbrado por medio de gatos se utiliza en cimbras complejas. Tan pronto se vea pasar la luz entre la cimbra y la bóveda conviene suspender la operación de descimbrado y observar durante unos instantes los efectos del asiento.

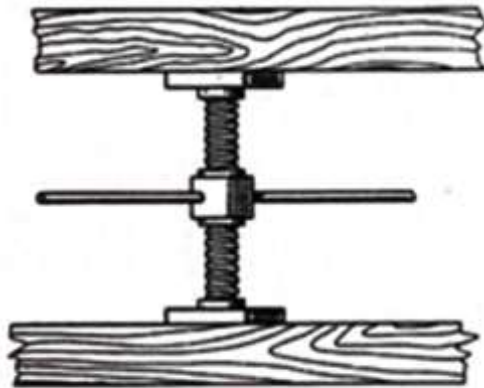


Fig 134

Actividades de aplicación
3. Cimbras

Esta es la parte final de la cartilla, pero es fundamental su conocimiento para la construcción de arcos, bóvedas y cúpulas, ahora:

- a) Realice a escala la construcción de una (1) cimbra para la elaboración de una cúpula, teniendo en cuenta: trazado, armado y apuntalamiento.
- b) Desarrolle la construcción de la cúpula en mampostería y describa: proceso empleado, materiales y mezclas utilizadas.
- c) Realice el proceso para descimbrado, escogiendo cualquiera de los sistemas empleados y justifique en un (1) informe sus observaciones y el proceso que fue Utilizado.

BIBLIOGRAFÍA

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, Enciclopedia CEAC del delineante. Ediciones CEAC, Barcelona, España. 1978.

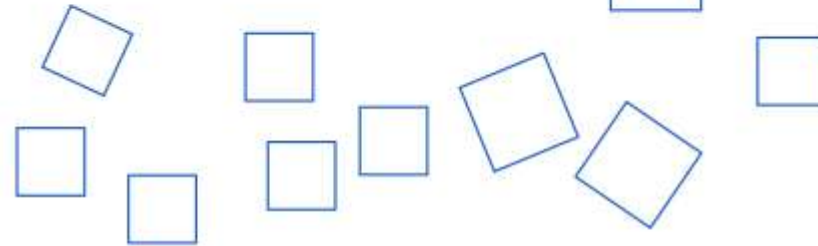
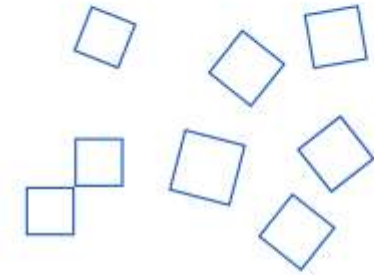
MONOGRAFÍAS CEAC DE LA CONSTRUCCIÓN ARCOS Y BÓVEDAS, Moreno García, Francisco. 1963.

PRACTICA CONSTRUCTIVA. Arquero Esteban, Francisco.1969 OFICIAL DE CONSTRUCCIÓN. González A, Ubaldo.1984.

BIBLIOTECA ATRIUM DE LA CONSTRUCCION. Serrano Cermeño, Zoilo.



www.sena.edu.co



**MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL
CENTRO DE INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN SENA REGIONAL CALDAS**

CONSTRUCCIÓN DE ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPLUAS