

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANALISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**POR**

**JOSE RAFAEL PORRAS SANDOVAL**

**AL CONFERIRSELE EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,997**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

U  
T(4152)  
C.A

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

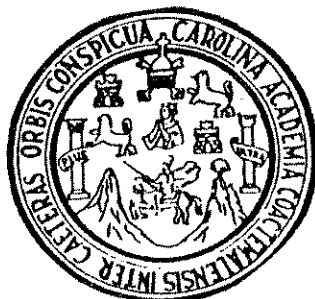
CUMPLIENDO CON LOS PRECEPTOS QUE ESTABLECE LA LEY DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, PRESENTO A SU CONSIDERACION MI TRABAJO DE TESIS TITULADO:

**ANALISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA**

TEMA QUE ME FUERA ASIGNADO POR LA DIRECCION DE ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL CON FECHA 25 DE NOVIEMBRE DE 1994.

  
**JOSE RAFAEL PORRAS SANDOVAL**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERIA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing.	Herbert René Miranda Barrios.
Vocal 1o:	Ing.	Miguel Angel Sánchez Guerra.
Vocal 2o:	Ing.	Jack Douglas Ibarra Solórzano.
Vocal 3o:	Ing.	Juan Adolfo Echeverría Méndez.
Vocal 4o:	Br.	Victor Rafael Lobos Aldana.
Vocal 5o:	Br.	Wagner López Cáceres.
Secretaria:	Ing.	Gilda Marina Catellanos De Illescas.

### TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing.	Jorge Mario Morales González.
Examinador:	Ing.	Herbert René Miranda Barrios.
Examinador:	Ing.	Mario Rodolfo Corzo Avila.
Examinador:	Ing.	Hugo Quan Ma.
Secretario:	Ing.	Edgar José Bravatti Castro.

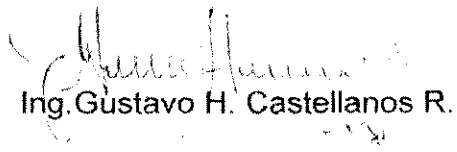
Guatemala, 29 de Septiembre de 1997

Ingeniero  
Ricardo Ibarra M.  
Jefe del Departamento de Estructuras  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Ciudad.

Respetable Ingeniero.

Me dirijo a usted para informarle que, después de revisar el trabajo de tesis titulado **ANALISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA**, presentado por el estudiante universitario José Rafael Porras Sandoval, considero que el trabajo se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple los propósitos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado.

Atentamente:

  
Ing. Gustavo H. Castellanos R.  
ASESOR



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, octubre 15 de 1997

Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería,  
U S A C.

Señor Director

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado **ANALISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA**, elaborado por el estudiante universitario Jose Rafael Porras Sandoval y asesorado por Ingeniero Gustavo H. Castellanos R.

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con lo establecido, y que será de mucha utilidad para estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, el suscrito le da su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente, -----

Ing. Ricardo A. Ibarra M.  
Coordinador del Area de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Gustavo H. Castellanos R. y del Jefe del Departamento de Estructuras Ing. Ricardo Augusto Ibarra M., del trabajo de tesis del estudiante José Rafael Porras Sandoval, titulado ANALISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, octubre de 1, 997.

JDIS/bbdeb.



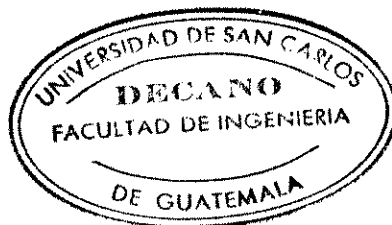
FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis ANALISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA, del estudiante José Rafael Porras Sandoval, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO

Guatemala, noviembre de 1,997



/bbdeb.

## **ACTO QUE DEDICO A :**

### **MIS PADRES**

JORGE HUMBERTO PORRAS CALVILLO

EMMA SANDOVAL DE PORRAS

Por su sacrificio y paciencia en mi formación

### **MIS HERMANOS**

AZUCENA EUGENIA.

LUIS ALBERTO.

EMMA NOEMI .

WALTER EDUARDO.

Esperando que logren las metas que se han propuesto  
en la vida.

### **MI FAMILIA**

En especial a la

FAMILIA PORRAS LOPEZ.

### **MIS AMIGOS**

Con quienes ha perdurado la amistad a traves de los  
años.

### **LA FACULTAD DE INGENIERIA**

### **LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



## **AGRADECIMIENTOS A:**

Dios Nuestro Señor: dueño, creador y conocedor de todo cuanto existe, por haberme iluminado con la luz del conocimiento.

Claustro de catedráticos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su colaboración en mi formación profesional.

Ingeniero Gustavo Castellanos, especialmente por la asesoría de este trabajo, por su amistad y paciencia.

# INDICE

PAGINA

<b>GLOSARIO</b>	<b>I</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>II</b>
<b>OBJETIVOS DE LA TESIS</b>	<b>III</b>
<b>CAPITULO 1</b>	
ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO	1
FORMAS DE ARCOS	1
TIPOS DE ARCOS	1
TERMINOLOGIA DEL ARCO	2
ARCO	2
ARCO FIJO	2
ARCO DE SECCION TRANSVERSAL CONSTANTE	2
ELEMENTOS DEL ARCO	3
LINEAS	3
DIMENSIONES	3
SUPERFICIES	4
JUNTAS	4
MOLDURAS	4
CLASES DE ARCOS Y SU TRAZADO	6
ARCO CIRCULAR O DE MEDIO PUNTO	6
ARCO ELIPTICO	6
ARCO SEGMENTADO	
ARCO TUDOR	7
ARCO ADINTELADO	8
ARCO OJIVAL O PUNTIAGUDO	8

## CAPITULO 2

CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO	9
ARCOS DE LADRILLO DE VARIAS ROSCAS	9
ARCOS DE MAPOSTERIA DE LADRILLO REFORZADOS CON VARIAS PIEDRAS	11
ARCOS OJIVALES DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO	12
ARCOS ELIPTICOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO	12
INCLINACION DE LOS LADRILLOS DE LOS ARCOS DENTADOS	13
INCLINACION DE LOS LADRILLOS EN LOS ARCOS REBAJADOS	14
EJEMPLO DE LA CONSTRUCCION DE UN ARCO DE MEDIO PUNTO	14
ARCOS TABICADOS	15
TIRANTES PARA ARCOS	15
CIMBRAS	16
ELEMENTOS COMPONENTES	16
CLASES DE CIMBRAS	16
CIMBRAS PARA ARCOS	17
TIPOS DE CIMBRAS	18
OTRAS CLASES DE CIMBRAS	19
METODOS DE ANALISIS	20
ANALISIS DE LA LINEA DE EMPUJE	21
ANALISIS DE DEFORMACION ELASTICA	23

## CAPITULO 3

DISEÑO ESTRUCTURAL DE ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO	26
CARGAS DE ARCOS MENORES	26
DISEÑO DE ARCOS MENORES	27
ROTACION	27
DESLIZAMIENTO	27
APLASTAMIENTO POR COMPRESION	29
ARCOS SEGMENTADOS	29
ARCOS PLANOS	30
RESISTENCIA AL EMPUJE	31
CARGAS DE ARCOS MAYORES	32
DISEÑO DE ARCOS MAYORES	33
GENERAL	33
ECUACIONES	34
SUBCRIPCIONES	35
DISEÑO ESTRUCTURAL DE ARCOS SEMICIRCULARES DE MAMPOSTERIA	37
SUPOSICIONES DE DISEÑO	37
NOMENCLATURA	37
DESARROLLO DE TABLAS	37
CARGA PERMITIDA	38
CARGA UNIFORME	38
CARGA CONCENTRADA	40
CARGA COMBINADA	42
ARCOS SEGMENTADOS	43
DETERMINACION DE CARGAS	44

## **CAPITULO 4**

**EJEMPLOS DE ANALISIS Y DISEÑO DE ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO 45**

**CONCLUSION IV**

**RECOMENDACIONES V**

**BIBLIOGRAFIA VI**

# **INDICE DE FIGURAS**

			PAGINA
FIGURA	1	ARCO PLANO	1
FIGURA	2	ARCO GOTICO	1
FIGURA	3	ARCO SEMICIRCULAR	2
FIGURA	4	ARCO SEGMENTADO	2
FIGURA	5	COMPONENTES DEL ARCO	5
FIGURA	6	COMPONENTES DEL ARCO	5
FIGURA	7	COMPONENTES DEL ARCO	5
FIGURA	8	ARCO CIRCULAR O DE MEDIO PUNTO	6
FIGURA	9	ARCO ELIPTICO O MULTICENTRADO	6
FIGURA	10	ARCO SEGMENTADO	7
FIGURA	11	ARCO AGUDO O TUDOR	7
FIGURA	12	ARCO PLANO O ADINTELADO	8
FIGURA	13	ARCO OJIVAL O PUNTIAGUDO	8
FIGURA	14	CONSTRUCCION DE UN ARCO A ROSCA	10
FIGURA	15	CONSTRUCCION DE UN ARCO A ROSCA	10
FIGURA	16	CONSTRUCCION DE UN ARCO A ROSCA	10
FIGURA	17	CONSTRUCCION DE UN ARCO A ROSCA	10
FIGURA	18	ARCO A ROSCAS INDEPENDIENTES	10
FIGURA	19	DISPOSICIONES DE ESPESORES DE ARCOS A ROSCA	11
FIGURA	20	ARCO REFORZADO CON PIEDRA	11
FIGURA	21	CORONAMIENTO DEL PILAR CON CAPITEL	11
FIGURA	22	AVANCE PROGRESIVO DE HILADAS	11
FIGURA	23	CLAVE DE PIEDRA PARA ARCO OJIVAL	12
FIGURA	24	CONSTRUCCION DE ARCO OJIVAL	12
FIGURA	25	CONSTRUCCION DE ARCO ELIPTICO	12
FIGURA	26	INCLINACION DE LOS LADRILLOS EN ARCOS DENTADOS	13
FIGURA	27	INCLINACION DE LOS LADRILLOS EN ARCOS DENTADOS	13

FIGURA	28	INCLINACION DE LOS LADRILLOS EN ARCOS DENTADOS	14
FIGURA	29	INCLINACION DE LOS LADRILLOS EN ARCOS REBAJADOS	14
FIGURA	30	CONSTRUCCION DE UN ARCO DE MEDIO PUNTO	15
FIGURA	31	CONSTRUCCION DE UN ARCO TABICADO	15
FIGURA	32	TIRANTE EMPOTRADO	15
FIGURA	32	TIRANTE EMPOTRADO PARA ARCO	15
FIGURA	33	TIRANTE OCULTO PARA ARCO	15
FIGURA	34	TENSOR COMO TIRANTE PARA ARCO	15
FIGURA	35	CIMBRA DE TAMBOR	17
FIGURA	36	CIMBRA APOYADA SOBRE PUNTALES	17
FIGURA	37	CIMBRA APOYADA SOBRE MENSULAS	17
FIGURA	38	CIMBRA DE DOS CERCHONES	18
FIGURA	39	CIMBRA SOBRE PUNTALES PARA ARCOS CIRCULARES	18
FIGURA	40	CIMBRA PARA ARCOS CIRCULARES DE LUZ MAYOR	18
FIGURA	41	CIMBRA PARA ARCOS CIRCULARES DE LUZ MAYOR	18
FIGURA	42	CIMBRA PARA UN ARCO REBAJADO	19
FIGURA	43	CIMBRA PARA UN ARCO PLANO EN SILLERIA	19
FIGURA	44	CIMBRA PARA UN ARCO REBAJADO	19
FIGURA	45	CIMBRA PARA UN ARCO PLANO	19
FIGURA	46	CIMBRA PARA UN ARCO CIRCULAR EN CANTERIA	19
FIGURA	47	CIMBRA PARA UN ARCO AGUDO	19
FIGURA	48	CIMBRA PARA UN ARCO AGUDO	19
FIGURA	49	CIMBRA PARA UN ARCO TRANQUIL	19
FIGURA	50	GRAFICAS DE ANALISIS DE LA LINEA DE EMPUJE	21
FIGURA	51	ARCO SEGMENTADO	29
FIGURA	52	COEFICIENTES DE EMPUJE	29
FIGURA	53	ARCO PLANO	30
FIGURA	54	RESISTENCIA AL EMPUJE	31
FIGURA	55	REQUERIMIENTOS PARA CARGA UNIFORME	39
FIGURA	56	REQUERIMIENTOS PARA CARGA CONCENTRADA	41
FIGURA	57	ARCO SEMICIRCULAR EQUIVALENTE	43
FIGURA	58	ELEVACION Y DIAGRAMA DE CARGA DE UNA PARED	44
FIGURA	59	DISEÑO DE UN ARCO PARABOLICO	45
FIGURA	60	DISEÑO DE UN ARCO SEMICIRCULAR	51

## INDICE DE TABLAS

		PAGINA
TABLA 1	VALORES DE $\kappa$	33
TABLA 2	VALORES DE $\emptyset$	35
TABLA 3	VALORES DE CONSTANTES DE CARGA DE S Y T	36,47,48
TABLA 4	PARAMETROS DE ARCOS $\alpha$ , $\beta$ , $\mu$ y $\delta$	36,48,49
TABLA 5	CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA $f_m = 300$ psi ( t = 1 pulg. )	38
TABLA 6	CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA $f_m = 400$ psi ( t = 1 pulg. )	38
TABLA 7	CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA $f_m = 500$ psi ( t = 1 pulg. )	39
TABLA 8	CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA $f_m = 600$ psi ( t = 1 pulg. )	39
TABLA 9	CARGA CONCENTRADA PERMITIDA PARA ( t = 1 pulg. )	40
TABLA 10	CARGA MAXIMA CONCENTRADA BAJO CONDICIONES DE CARGA COMBINADA ( t = 1 pulg. )	42
TABLA 11	CARGA MAXIMA CONCENTRADA BAJO CONDICIONES DE CARGA COMBINADA ( t = 1 pulg. )	43



## **GLOSARIO**

- APAREJO:** Nombre de las distintas formas de disponer los ladrillos en la construcción de paredes y, en general, de los demás materiales de construcción..
- ARGAMASA:** Mortero. Mezcla de cal, arena y agua que se usa en albañilería
- ARTICULACION:** Unión o conexión de dos o más piezas que se mueven
- CORNISA:** Coronamiento compuesto de molduras. Parte superior de la corona.
- EMPOTRADO:** Una pieza fija de madera o hierro en un muro, con una parte de ella metida en el hueco destinado a recibirla con los vacíos que quedan, rellenos.
- EMPUJE:** Esfuerzo producido por el peso de una bóveda o arco sobre los estribos.
- ESFUERZO:** Acción de una fuerza
- FLEXION:** Deformación de un sólido sometido a fuerzas que actúan sobre su plano de simetría o dispuestas simétricamente, dos a dos, con relación a dicho plano. Acción o efecto de doblarse o curvarse una pieza debido a la carga a que está sometida.
- MACIZOS:** parte de una pared que está entre dos vanos.
- MAMPOSTERIA :** Fábrica de piedra sin labrar o groseramente labrada aparejada en forma irregular.
- MORTERO:** Argamas o mezcla. Cal o cemento mezclado con arena y agua.
- PENDOLON:** Pieza vertical central de una armadura de cubierta, destinada a trabajar por tracción. El pendolón soporta al tirante y dá apoyo a los jabalcones o tornapuntas.
- SOTABANCO:**Hilada que se coloca encima de la cornisa para levantar los arranques de un arco o bóveda.
- TENSION:** Acción de las fuerzas que, actuando sobre un cuerpo y manteniéndolo tirante, impiden que sus partes se separen unas a otras. Estado de un cuerpo sometido a la acción de estas fuerzas.
- TORNAPUNTA:** Pieza inclinada de arriostamiento. Piezas que enlazan los pares con el tirante en las armaduras.
- VANO:** Parte del muro o fábrica en que no hay apoyo para el techo o bóveda. Espacio comprendido entre dos vigas, puertas, ventanas.

**En el primer capítulo** se desarrolla todo lo relativo a los componentes del arco, las formas más comunes en las que se presenta en nuestro medio, así como el trazo de los mismos.

**En el segundo capítulo** se ha desarrollado lo referente a la construcción, cimbras y métodos de análisis de los arcos.

**El tercer capítulo** trata el diseño de los arcos, según las dimensiones y cargas que lo componen y soporta.

**En el cuarto capítulo** se desarrollan los ejemplos relacionados a la información proporcionada en el capítulo tercero.

En síntesis, esto es lo desarrollado a lo largo de los cuatro capítulos mencionados, tomando muy en cuenta que la meta fundamental de esta tesis es la de simplificar el diseño y construcción de éstos.

## INTRODUCCION

Este trabajo, está destinado a presentar una exposición general, sobre el análisis, diseño y construcción de los arcos de mampostería, el cual se basa en la recolección de información relacionada con el tema, que se exponen con sencillez y en forma eminentemente práctica.

Si bien es cierto el arco de cualquier estructura, pasa casi siempre inadvertida para la mayoría de los ingenieros jóvenes, quienes difícilmente recordarán en los momentos oportunos las variadas formas y nombres de arcos, sus aparejos y construcción con lo cual esta técnica de construir arcos, corre el peligro de ser relegada al olvido. Sin embargo, aún se presentan muchas ocasiones de tener que construir auténticos arcos, sólo que con menor frecuencia que antaño.

Es importante hacer notar que, por ejemplo, si en una estructura se aprecia que una viga reforzada es demasiado flexible y que puede fallar, ésta podrá ser reforzada, ya sea apuntalando la viga o añadiendo otras columnas intermedias para descargar aquella. Pero en el caso de un arco de mampostería sin refuerzo, que de lugar a romperse entonces se podrá hacer poco para mejorar la situación.

Es muy frecuente que el ingeniero que desarrolle un proyecto en el cuál se incluyen arcos, tropiece con las dificultades siguientes :

Dificultad de averiguar cuál será el comportamiento de los materiales del arco bajo la acción de las cargas, así como también la mano del hombre puede agravar las dificultades, por ejemplo, la mala calidad de la mezcla o mortero que une los ladrillos, pero para poder analizar y estudiar los materiales con los que se cuenta y saber si podrán emplearse en la construcción de los arcos de mampostería, se podrá recurrir a los ensayos de laboratorio de los elementos que constituirán el mismo.

Ante esta circunstancia, así como ante cualquier otra que se presente, el ingeniero deberá tener un amplio criterio que le permita analizar los detalles y toda la información posible referente a los problemas con que se enfrenta, para determinar los procedimientos que debe seguir, estudiar las variantes posibles que pueda utilizar para que la estructura soporte.

Cabe mencionar que para la construcción de estos elementos constructivos se hace necesario recurrir a la fabricación de obras falsas, las cuales pueden ser hechas de diferentes materiales como el metal o la madera, por ser los materiales con que se cuenta con mayor frecuencia.

A través del desarrollo del tema se puede observar que se ha detallado, en su mayoría, el procedimiento a seguir, enumerados en un orden de prioridad.



## **OBJETIVOS**

- Servir como una guía de estudio a aquellas personas que de una u otra forma se relacionan con el tema desarrollado.
- Describir los diferentes tipos de arcos comunmente utilizados en nuestro medio, así como el trazo y diseño de éstos.
- Darle la importancia que se merece a la interacción de los arcos con los muros de mampostería en los edificios realizados, ya que los mismos no se presentan aislados de éstos.
- Dar a conocer las fuentes de información y los estudios a realizar previamente para la construcción de arcos de este tipo.
- Proporcionar información sobre las obras accesorias de los arcos, tales como cimbras previo a su construcción.
- Proporcionar un trabajo que pueda servir de apoyo para el diseño de arcos de mampostería de ladrillo.

## CAPITULO 1

### ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO

La figura del arco ha llamado la atención a constructores desde que éstos fueron usados por los babilonios. 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 de piedra o ladrillo, materiales que no resisten esfuerzos apreciables de extensión y que por lo mismo, no pueden trabajar a flexión. Esta ventaja estructural sobre la viga resulta del hecho que bajo carga uniforme, induce principalmente esfuerzos de compresión.

Este recurso estético consiste en la multiplicidad de formas, las cuales pueden ser utilizadas para expresar unidad, balance, proporción, escala, ritmo, secuencia y carácter.

Dos clases de arcos serán considerados, basados sobre el espacio y la carga:

1. Arcos menores cuyo máximo espacio, es de seis pies y cuya carga uniforme máxima equivalente es del orden de mil libras por pie. Estos son más frecuentes y usados en la construcción de paredes como dinteles de vanos.

2. Arcos mayores cuyo espacio y cargas exceden al máximo para arcos menores.

#### FORMAS DE ARCOS

Desde su más remoto empleo los arcos han adoptado las más variadas formas características de cada época y estilo, recibiendo cada arco, según su forma distinto nombre, extendiéndose desde el arco plano hasta el circular, elíptico, parabólico y otros, al alto crecimiento gótico o arco puntiagudo.

Las figuras 1, 2, 3, y 4 ilustran arcos con varias curvaturas. Generalmente, el plano, segmentado y el arco multicentrado son utilizados para arcos menores. Para arcos mayores, cargados predominantemente con cargas uniformemente distribuidas, el arco parabólico es a menudo el más eficiente estructuralmente, ya que bajo tales cargas, está predominantemente en compresión pura.

#### TIPOS DE ARCOS

##### ARCO PLANO

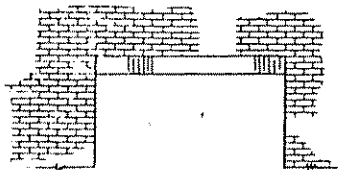


figura 1

##### ARCO GOTICO

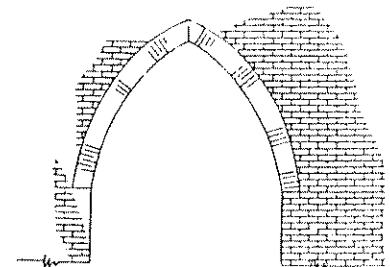


figura 2

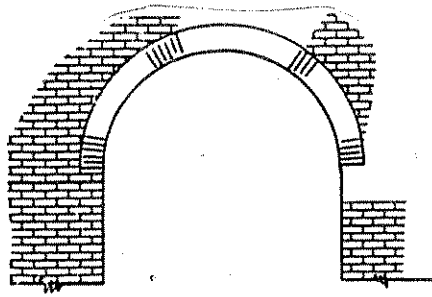
**ARCO SEMICIRCULAR**

figura 3

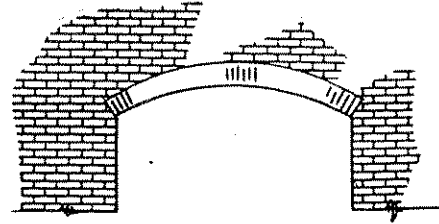
**ARCO SEGMENTADO**

figura 4

**TERMINOLOGIA DEL ARCO****ARCO:**

Arco es una estructura que cierra superiormente una abertura o vano de manera que sus elementos atraviesan una abertura por transferencia de carga vertical lateralmente a elementos adyacentes. 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, todos los elementos que la componen son comprimidos y en ninguno se producen extensiones. Un arco está normalmente clasificado por la curva de los intrados.

**ARCO FIJO:** Un arco cuyos arranques están fijos en posición e inclinación. Por la naturaleza de su construcción, los arcos fijos son arcos sencillos de mampostería.

**ARCO DE SECCION TRANSVERSAL CONSTANTE:** Un arco cuyo ancho y espesor permanecen constantes a través del espacio.

En todo arco cabe distinguir una serie de datos característicos que se pueden agrupar en los siguientes apartados: Elementos del Arco, dimensiones, líneas, superficies, juntas y molduras, **ver figuras 5, 6 y 7.**

## ELEMENTOS DEL ARCO

**Estribos:** paredes de soporte entre las que se tiende el arco, su construcción o parte de ella, pueden estar hechas con piedra o ladrillo y mortero.

**Arranques:** superficie inclinada, en la cual el arco se une con los estribos. Para arcos planos los arranques están indicados como una superficie horizontal (  $k$  )

**Clave:** es la dovela central del arco.

**Contraclaves:** son las dovelas adyacentes a la clave.

**Riñones:** son las zonas intermedias del arco comprendidas entre arranques y clave.

**Tímpano, enjuta o recalzado:** es la parte de la mampostería, que descansa sobre los riñones del arco, hasta la cara superior de la clave.

**Dovelas:** son las piezas de mampostería que forman el arco, las cuales tienen forma de cuña o sector circular

**Salmeres o Almohadas:** hilada que se coloca encima de los estribos para levantar los arranques del arco.

## LINEAS

**Línea de presiones:** es la definidad por los puntos de paso de las sucesivas resultantes parciales de presión en las correspondientes secciones del arco .

**Línea de arranque:** para arcos menores la línea donde los arranques cortan la superficie inferior del arco. Para arcos mayores parabólicos el término usualmente referido al eje del arco con los arranques.

**Curvatura:** la curva cóncava que limita las extremidades inferiores del arco. La arista o filo formada entre la superficie inferior del arco con cualquiera de las caras de éste.

**Eje del arco:** es la línea media entre las curvaturas inferior y superior del arco.

## DIMENSIONES

**Luz o espacio:** es la distancia horizontal entre estribos. El espacio libre (  $s$  ) de vanos es usado para los cálculos de arcos menores. Para un arco mayor parabólico el espacio mayor (  $L$  ) es la distancia entre los extremos del eje del arco.

**Flecha, monte o ságita:** es la altura del arco respecto a la línea de arranque. La flecha o elevación (  $r$  ) de un arco menor es la máxima altura a la superficie inferior del arco, medida sobre el nivel de su línea de arranque. La flecha o elevación (  $f$  ) de un arco mayor parabólico es la máxima altura al eje del arco, medida sobre su línea de arranque.

**Espesor o canto:** El espesor ( $d$ ) es la dimensión perpendicular a la tangente del eje, medida entre las curvaturas inferior y superior del arco. El espesor de un arco plano es tomado como una gran dimensión vertical.

**Profundidad o ancho :** es la dimensión del arco en dirección perpendicular a su plano. Por regla general coincide con el ancho del muro correspondiente.

## **SUPERFICIES**

**Frente o plano del arco:** Es el definido por su superficie frontal.

**Intrados:** Es la superficie definida por la cara inferior del arco. La cual limita las extremidades inferiores del arco.

**Trasdos:** Es la superficie definida por la cara superior del arco, la cual limita las extremidades superiores del arco.

**Mocheta o telar:** Es la superficie del estribo, la cual es perpendicular al plano del arco.

**Corona, Vértice o Apice:** Es la cima de la superficie inferior del arco. En arcos simétricos la corona es la mitad del espacio.

## **JUNTAS**

**Tendeles:** Son las juntas horizontales, de espesor uniforme que se observan en las caras inferior y superior del arco; su dirección es perpendicular al plano del arco.

**Llagas:** Son las juntas paralelas al plano del arco, que se observan entre dovelas de una misma hilada.

**Escopetas:** Son las juntas de espesor variable que se observan en el frente del arco.

## **MOLDURAS**

**Archivolta:** Es el conjunto de molduras que suele decorar el frente de los arcos.

**Alfiz o arraba:** Es el cordón rectangular que enmarca los arcos en la arquitectura árabe.



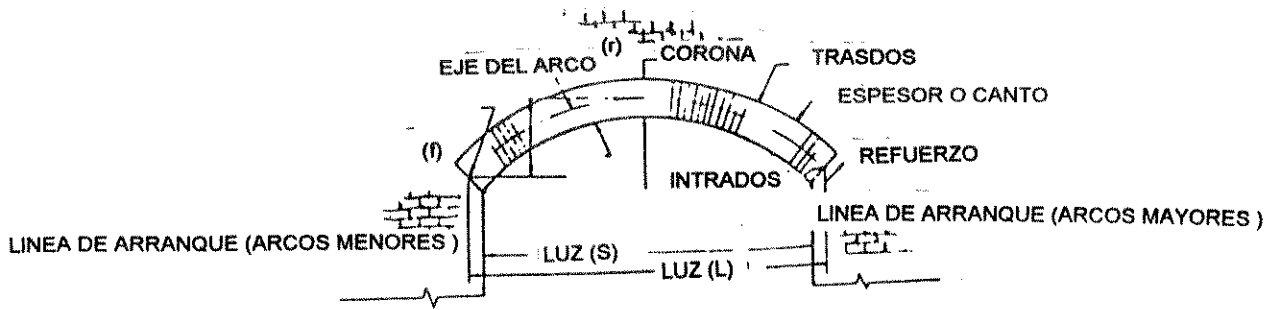


figura 5

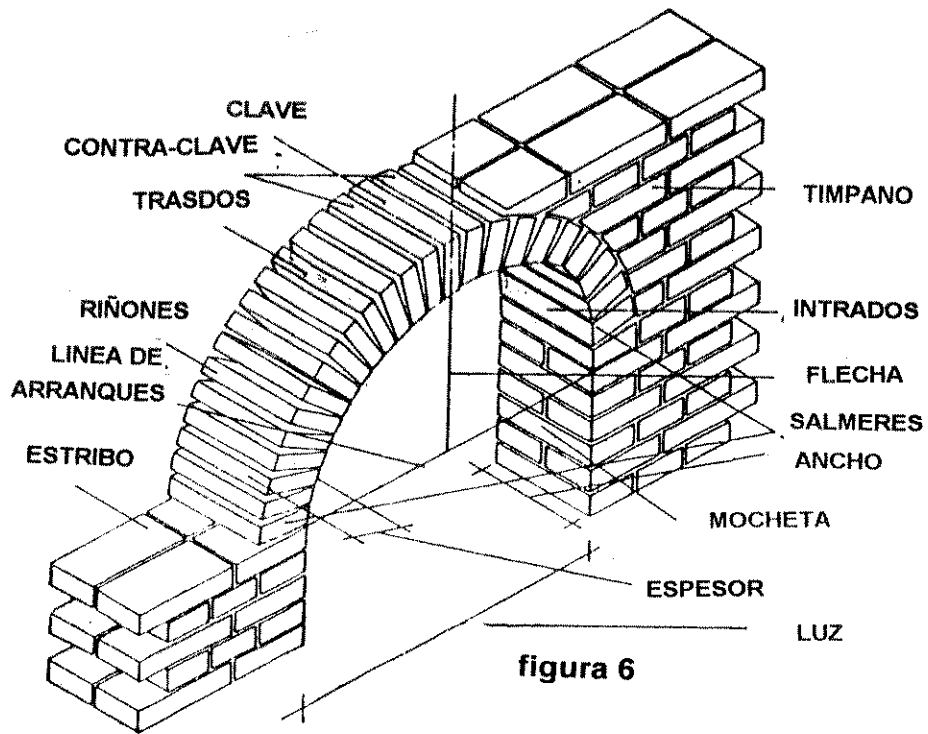


figura 6

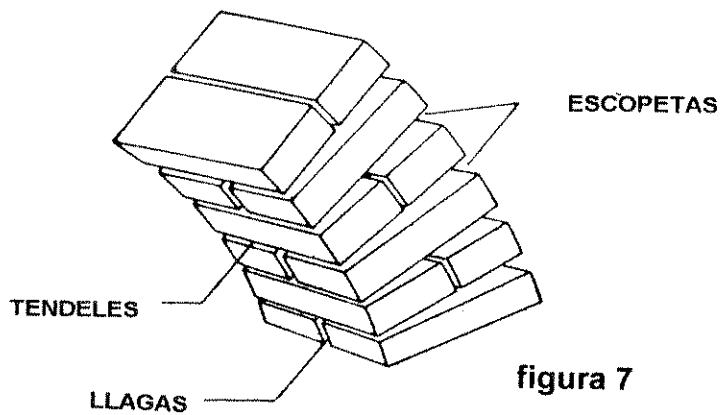


figura 7

C  
O  
M  
P  
O  
N  
E  
N  
T  
E  
S  
  
D  
E  
L  
  
A  
R  
C  
O

## CLASES DE ARCOS Y SU TRAZADO

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

### 1. ARCO CIRCULAR O DE MEDIO PUNTO

Es una semicircunferencia. Como es lógico, su flecha O-E Es igual a la semiluz OA u OB. ( ver figura 8 ).

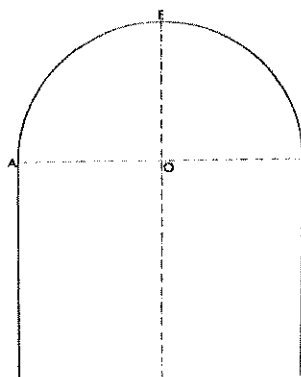
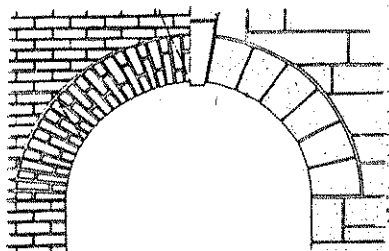


figura 8

### 2. ARCO ELIPTICO O MULTICENTRADO

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 3 a 4, mediante tres arcos de circunferencia, construcción que se efectúa como se detallará:

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, 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-B, se aproxima bastante a la semielipse. ( ver figura 9 ).

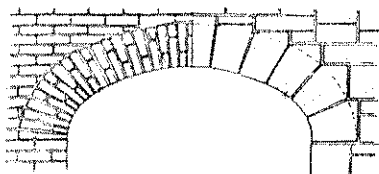
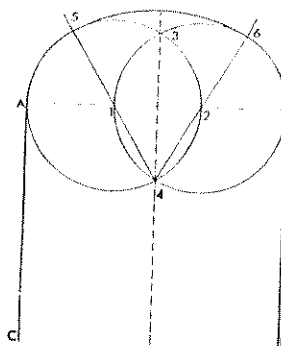


figura 9



### 3. ARCO SEGMENTADO

Es un arco cuya curva es circular pero es menor que un semicírculo. Su centro estará siempre por debajo de la línea de arranque, comprendida entre la medida de la luz  $AB$ . ( ver figura 10 ).

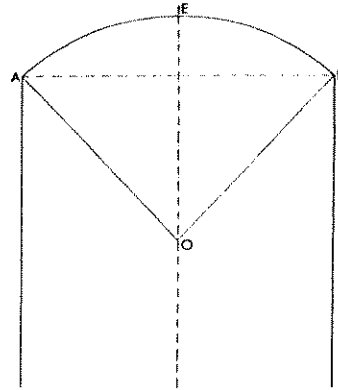
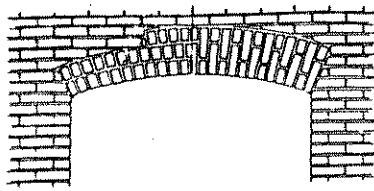


figura 10

### 4. ARCO AGUDO O TUDOR

Es un arco 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 elegirán 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  $c$  serán los centros de los otros arcos, hallándose el punto de tangencia sobre las otras prolongaciones de las diagonales del cuadrado. Cuanto más pequeños se eligen los primeros radios, más alta resultara la flecha y más agudo el arco. ( ver figura 11 ).

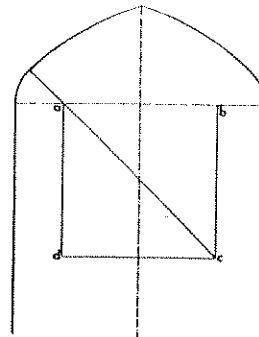
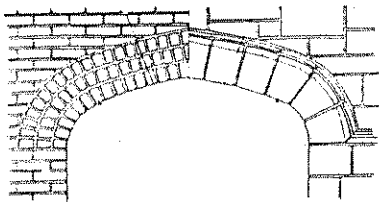


figura 11

## 5. ARCO PLANO O ADINTELADO

Es el que tiene su intrados formado por un plano horizontal; en realidad cuando 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 de escopeta 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. En realidad en los arcos adintelados sólo trabaja la parte correspondiente del arco segmentado que pueda inscribirse en su interior y a cuyo centro concurrirán las líneas de junta de escopeta. ( ver figura 12 ).

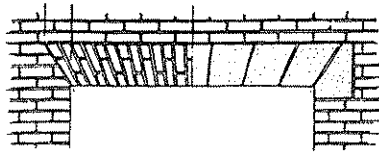
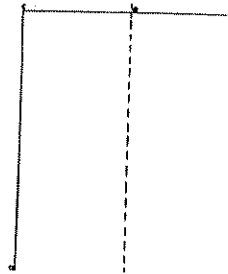


figura 12



## 6. ARCO OJIVAL O PUNTIAGUDO

Es el arco típico del estilo gótico. Está formado por dos arcos de circunferencias iguales, de radio mayor que la semiluz, cuyos centros se sitúan simétricamente sobre la línea de arranque. Este arco es referido a menudo en menor medida al arco lanceteado o arco equilátero, dependiendo así sean los espaciamientos de los centros. Estos serán respectivamente menores, iguales o mayores que el espacio libre o luz, pero cuando los centros de los arcos coinciden con los arranques se obtiene el arco OJIVAL EQUILATERO, por serlo el triángulo AEB. ( ver figura 13 ).

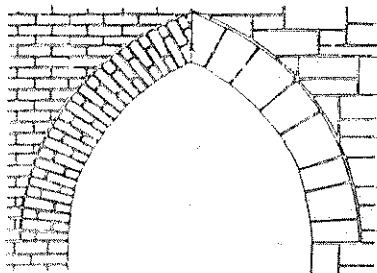
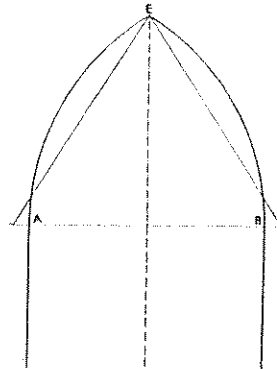


figura 13



## **CAPITULO 2**

### **CONSTRUCCION DE ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO**

Un arco es esencialmente una viga o vigueta curvada, en el plano de las cargas. Cualquier sección en un arco, por consiguiente, puede estar sometida a momento y corte como una viga ordinaria. Además ésta es sometida a empujar componentes de carga vertical en dirección de los ejes del arco.

Existen dos métodos generales usados en la construcción de arcos de mampostería de arcilla. Uno involucra el uso de formas especiales para obtener juntas de mortero de espesor constante. El otro usa elementos de formas uniformes y el espesor de la junta es variado hasta obtener la curvatura deseada. El método seleccionado puede ser determinado por las dimensiones del arco y por la apariencia deseada. En muchos casos, formas especiales pueden ser obtenidas, cortando elementos rectangulares uniformes en el sitio de trabajo. El diseñador es cauteloso en no especificar una estructura especial en la construcción de arcos de mampostería de ladrillo, sin embargo él tiene previamente determinada la disponibilidad local, en el color y la textura deseada.

La resistencia estructural de un arco depende de las fuerzas de compresión y la resistencia del mortero utilizado en la unión. Para mantener esta capacidad estructural a través de su vida de diseño, el arco debe ser construido con un mortero durable así como eficiente.

Es importante que todas las uniones estén completamente llenas con mortero especialmente en un miembro estructural tal como el arco.

Los arcos de mampostería de arcilla son usualmente construidos de tal manera que ( **EN LA CORONA** ) los elementos puedan ser puestos en uniones soldadas o hiladas de ladrillos.

Bajo algunas circunstancias es difícil colocar elementos en uniones soldadas y todavía obtener completamente llenas las juntas con mortero. Esto es especialmente verdadero donde la curvatura del arco es de un radio corto y el mortero usado en las juntas es de varios grosores. En tales casos es recomendable el uso de dos o más roscas de ladrillo. Además ayudan a llevar a cabo, juntas llenas con mortero y proveen una unión a través de la pared, con lo cual fortalecen el arco.

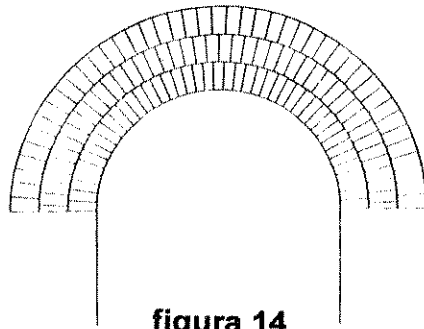
#### **ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO DE VARIAS ROSCAS**

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

En los arcos a rosca, los ladrillos se disponen por hiladas dirigidas al centro de la curvatura del intrados y perpendiculares a esta superficie, de manera que las juntas se determinan por planos que pasan por este centro de la curvatura y por una línea que genera la superficie del intrados. Estas juntas en el caso de emplear los ladrillos ordinarios, forzosamente tienen un espesor que va aumentando hacia el trasdos del arco.

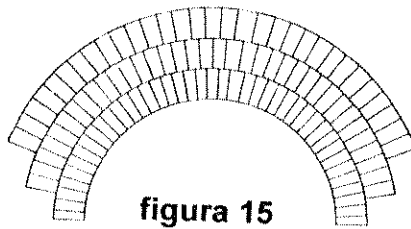
Cuando el espesor del arco supere a las dimensiones de los ladrillos de que se pueden disponer, se adoptan varias roscas, tantas como sean necesarias para

alcanzar el espesor debido, si las roscas se disponen aisladas como lo indica la **figura 14**, resulta que la resistencia obtenida es menor que la presentada por la suma de la que tendría cada rosca de por sí, puesto que cada una de ellas experimenta asentamientos distintos, por lo que los esfuerzos no se suman.



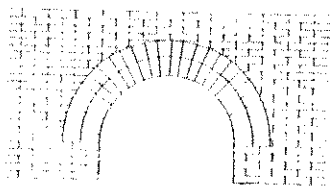
**figura 14**

Se ha corregido un tanto este inconveniente con la disposición indicada en la **figura 15**, en la que cada rosca tiene igual número de juntas, uniformándose de igual modo los asentamientos que al descimbrar el arco, experimenta cada una de las roscas.

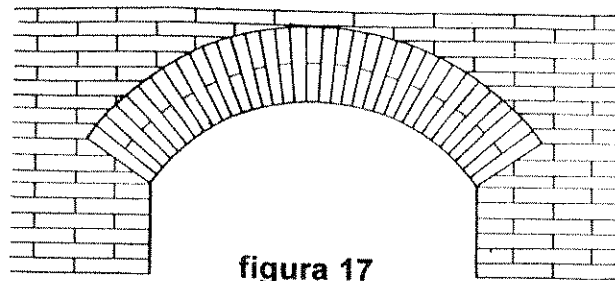


**figura 15**

Otras disposiciones son las indicadas en las **figuras 16 y 17**, en los casos de dos o más roscas.

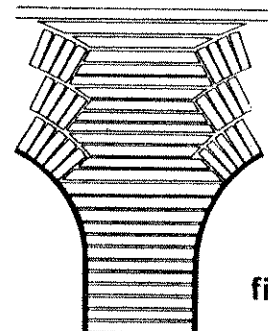


**figura 16**



**figura 17**

Algunas veces si este espesor es muy considerable se adopta la disposición de la **figura 18**, formando dos o más roscas independientes, estando cada una de ellas compuestas de roscas de hiladas de ladrillos combinados.



**figura 18**

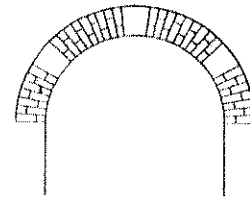
Cuando los arcos tienen espesores de dos o más roscas, suponiendo que cada rosca tiene el espesor del largo de un ladrillo, se procura que las juntas sean discontinuas, es decir, las que corresponden a las llagas no se corresponden en dos hileras consecutivas, por lo que se adoptan disposiciones como la **figura 19**. Se presentan estas disposiciones para espesores de arcos hasta cinco largos de ladrillo, siendo conveniente que las juntas de una hilada correspondan con la líneas centrales de la hilada siguiente, se hace preciso emplear medios ladrillos y ladrillos de tres cuartos, como se indica en las partes rayadas de la **figura 19**.



**figura 19**

### **ARCOS DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO REFORZADOS CON PIEDRAS**

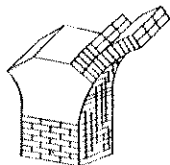
Los arcos de mampostería de ladrillo, cuando alcanzan un espesor considerable, suelen reforzarse mediante el empleo de dovelas de piedra, en la clave o en los tercios, como indica la **figura 20**, a fin de conseguir una mayor trabazón y enlace entre las construcciones que componen el muro y el arco, si el arco se construye en un muro de mampostería. Para recibir el arranque de un arco, los estribos o pilares que han de sostenerlo se hacen terminar según un plano inclinado de manera que como en las juntas, resulte perpendicular al intrados del mismo.



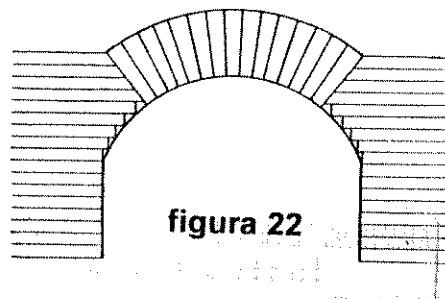
**figura 20**

Sucede a veces, especialmente cuando el arco tiene un espesor considerable y está sostenido por un pilar de relativamente poca sección, que no es posible extender el plano de arranque o todo el espesor del arco, en este caso, sobre todo si el arco está constituido por roscas independientes, éstas arrancan a distintas alturas, en forma escalonada, como se indica en la **figura 18**. Otras veces se corona el pilar por medio de un capitel de piedra que ensanchando la sección de coronamiento del pilar, es suficiente para recibir los arranques de los arcos que sobre el mismo se sustentan como se indica en la **figura 21**.

Cuando no quiera emplearse un capitel de piedra labrada para recibir el arranque de los arcos, puede formarse este capitel por medio de un avance progresivo de cada hilada, como queda indicado en la **figura 22**.



**figura 21**



**figura 22**

## ARCOS OJIVALES DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO

En los arcos ojivales de ladrillo, las juntas se disponen concurrentes a los dos centros del arco. Pero en la clave se obtendría una disposición defectuosa, por lo que ordinariamente suele emplearse una clave de piedra, convenientemente cortada, como se muestra en la **figura 23**. Cuando no se quiere emplear clave de piedra se procede de la siguiente manera: se conservan perpendiculares al intrados de las juntas, hasta cierta altura del arco ( a unos 40 cm. del vértice ). A partir de este límite, las juntas hacia el centro de la línea de arranque, o bien se hacen concurrir al punto de intersección de los planos límite **figura 24**.

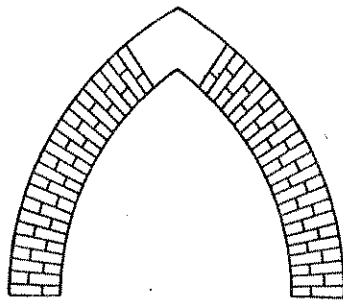


figura 23

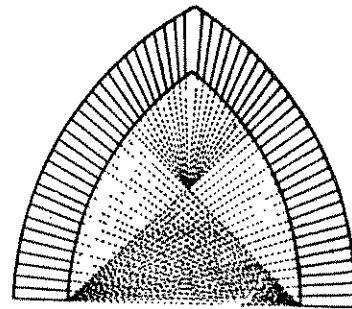


figura 24

## ARCOS ELIPTICOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO

Un método para construir arcos elípticos es el de Deyris, expuesto en la **figura 25**. Se construye un rombo articulado, formado mediante cuatro listoncillos unidos por armellas; por tres de estas armellas se hace pasar el cordel que sirve para el trazado de la curva, de manera que a cada posición del rombo, dos de sus lados tendrán la dirección de los radios vectores correspondientes al punto de la curva en que se encuentra el vértice del rombo, de forma que para obtener la perpendicular en este punto, bastará unir por medio de una recta este vértice y su opuesto, esta recta será la línea que divide el ángulo de los vectores y por lo tanto, como se sabe, perpendicular a la curva. Un hilo o un cordel fijado en el vértice **D**, pasando en cada posición del aparato por el vértice **B**, dará la perpendicular que se trata de determinar.

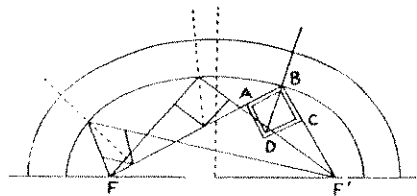
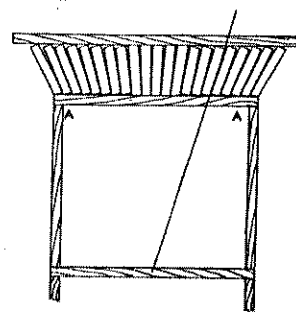


figura 25



## INCLINACION DE LOS LADRILLOS DE LOS ARCOS DENTADOS

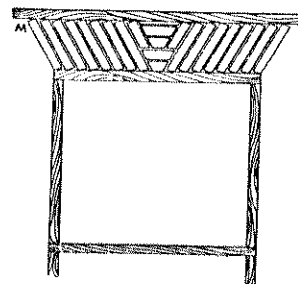
La inclinación de los ladrillos puede obtenerse de distintas maneras. Una de ellas se presenta en la **figura 26**, efectuándose su trazado de la manera siguiente: entre los ladrillos verticales y a una distancia desde los puntos de arranque igual a la luz **A-A'**, se coloca una regla fija con una porción de yeso y en el punto medio de la misma se fija un clavo, al cual se amarra la cuerda de atirantar. A continuación y en el canto de la tabla que sirve de cimbra, se marcan trazas, cuyas separaciones corresponden al ancho del ladrillo, con el objeto de hacer coincidir uno de los ladrillos con el centro del dintel. A partir de los puntos marcados a la izquierda y derecha del centro se irán mirando las divisiones antes dichas, correspondientes al ancho del ladrillo, hasta llegar, de este modo, a los arranques o ladrillos verticales ya colocados.



**figura 26**

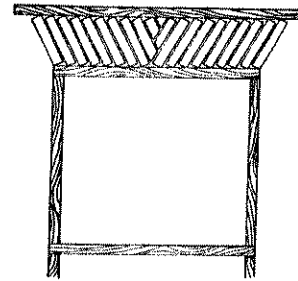
Otro sistema es el representado en la **figura 27**, que en la práctica se traza de la siguiente manera: se comienza por marcar en el canto de la cimbra las divisiones correspondientes al ancho del ladrillo más el tendel ( dando a este tendel el ancho normal); estas divisiones se hacen a partir de ambos salmeres o almohadas hasta llegar al centro.

Luego se coloca una regla paralela a la anterior, cuyo borde inferior corresponda al trasdos del dintel que se trata de construir y sobre ella se marca **M** y **N**, determinados de la misma manera como se determinaron en la solución anterior; se marca el mismo número de divisiones y de la misma longitud de la marcada en el canto de la cimbra, esto es, el espesor del ladrillo más el tendel. Por este procedimiento quedará en el centro de la regla superior un espacio sin división alguna. Seguidamente se irán colocando juntas iguales. Así se continuará hasta llegar a colocar los dos últimos ladrillos correspondientes a las divisiones próximas al centro y se rellena el espacio restante con ladrillos opuestos horizontalmente con el correspondiente mortero. Este sistema de cerrar el dintel se llama **de bolsón**.



**figura 27**

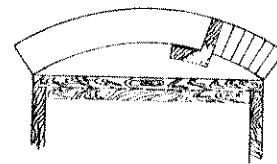
Otro procedimiento parecido al de bolsón es el de **espina de pez**, que se ve en la **figura 28**, con la única diferencia que el cerrado del dintel o clave no se hace a bolsón, sino colocando escalonadamente fracciones de ladrillo, con la misma inclinación a derecha e izquierda. También se pueden utilizar clave y salmeres de piedra. En todos estos casos las cimbras no se quitarán hasta que no haya fraguado el mortero, y hasta que no se haya percibido el asiento de obra en la zona correspondiente al hueco que se pretende descimbrar.



**figura 28**

### **INCLINACION DE LOS LADRILLOS EN ARCOS REBAJADOS.**

Cuando por los motivos que fueren no puede sujetarse debidamente el clavo que sujeta la puerta que, una vez tirante, dará la inclinación de los ladrillos, puede utilizarse el procedimiento que se representa en la **figura 29** y consiste en una escuadra que tiene una de las ramas cortada según la curvatura del arco y de otra perpendicular a esta curva que da la dirección de la junta.



**figura 29**

### **EJEMPLO DE LA CONSTRUCCION DE UN ARCO DE MEDIO PUNTO**

Suponiendo que se trata de cerrar con un arco de medio punto un hueco del cual están contruidos los estribos correspondientes. La primera operación que se efectuará será la colocación de la cimbra, la cual, según la luz que contenga el arco, podrá ser contruida de varias maneras.

Ya ejecutada la cimbra, se comenzará la construcción del arco de medio punto. Se colocará la cimbra a la altura en que se va a voltear el arco, que es a partir de los arranques del mismo.

A continuación se marca el punto medio de la luz, o vano del hueco, sobre el tirante de la cimbra y se clava a dicho tirante una regla plana **figura 30**, de manera que tenga libre el movimiento de giro y que el clavo que sirve de eje a este giro coincida precisamente con el centro del arco de medio punto. Esta regla, va a dar durante la construcción la dirección de los ladrillos que la forman, se llama **cintrel** y hace las mismas veces que la cuerda descrita en las páginas anteriores.

Ahora no hay mas que ir sentando ladrillos con la inclinación que marca el cintrel y haciéndose coincidir con las divisiones que previamente se han marcado en el canto de la cimbra, comenzándose la operación por ambos arranques a un tiempo y continuando hasta llegar a la clave, que se colocará perfectamante apretada entre ambos tendeles.

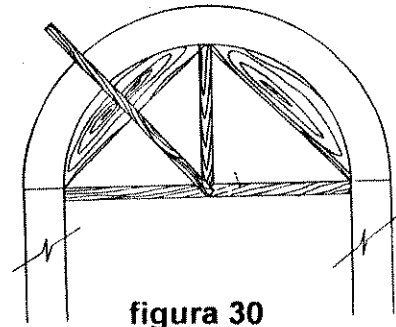


figura 30

### ARCOS TABICADOS

Son los formados por hileras sucesivas de ladrillos colocados de plano con respecto al intrados.

Para su construcción, primeramente se coloca una hilada de ladrillos delgados con yeso. En caso de ser grande el arco se dobla con otra hilada de ladrillo hueco, recibido sobre la anterior figura 31.

Este arco es muy empleado por la facilidad de su construcción, ya que basta una cimbra para construir la primera hilada de ladrillos delgados recibida con yeso.

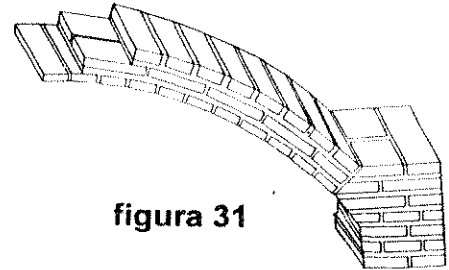


figura 31

### TIRANTES PARA ARCOS

Los tirantes para arcos tienen por objeto contrarrestar los empujes transmitidos por los arcos a los estribos. Están formados casi siempre por hierros redondos. La figura 32 indica su empotramiento en la mampostería. 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 unos listones metálicos.

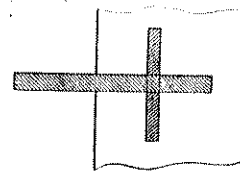


figura 32

Cuando no interesa que se vea, se coloca en la forma expresada en la figura 33. El tirante puede ir provisto de un tensor para apretar la varilla de hierro figura 34.

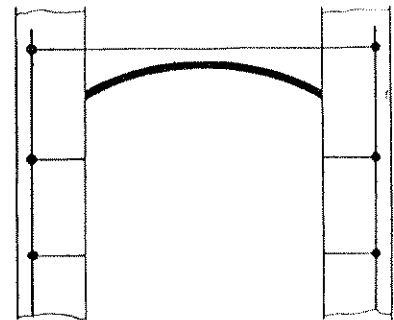


figura 33

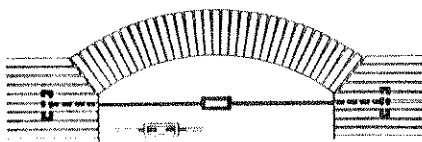


figura 34

## **CIMBRAS**

Son las armaduras provisionales de carpintería. El propósito del encofrado es el de llevar la carga muerta del arco y otras cargas, hasta que el mismo haya ganado suficiente resistencia. En caso contrario los encofrados podrían ser quitados, hasta que éstos estén seguros que la mampostería es capaz de conducir todas las cargas impuestas. También sirven para dar al intrados la forma que deba tener.

### **ELEMENTOS COMPONENTES.**

Las cimbras se componen de la cercha o armadura y el revestimiento o superficie del 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 trasdos 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 perfil o trasdos que ha de servir de apoyo al intrados 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 algun 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.

## CIMBRAS PARA ARCOS

A continuación se detallarán varias clases de cimbras, su construcción y unos cuantos ejemplos para comprender prácticamente la formación de la cimbra en el arco. En los arcos de poca importancia se utilizan unas 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 35**. Otras veces (**figura 36**), se construye la cimbra apoyando en los estribos o en unos pies derechos adosados a ellos, unos maderos transversales que sostienen un piso de tablas longitudinal. Sobre él se levanta un murete de ladrillos a clavo lleno, de manera que en su parte superior se observe 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 tablonces inclinados que servirán para sostener el relleno de ladrillo, quedando así reducido a segmentos circulares formados por tablonces y el arco. En lugar de tableros se construye más corrientemente dos cerchones de tablas, de 2 a 4 cms. 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 **figura 37**. Para preparar los cerchones se dibuja el arco en el suelo y sobre él se recortan y se clavan las tablas debidamente.

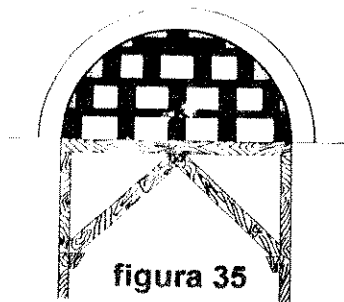


figura 35

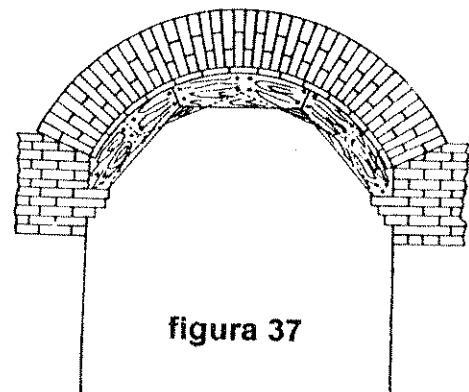


figura 37

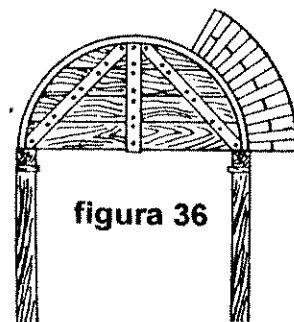
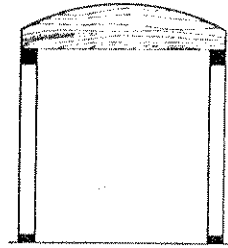


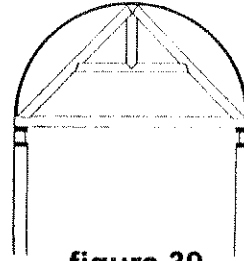
figura 36

## TIPOS DE CIMBRAS

La **figura 38**, 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. Apoyada sobre puntales adosados a los estribos. Para arcos de medio punto, un tipo de cimbra sencillo es el representado en la **figura 39**, formada por una armadura y cerchones.



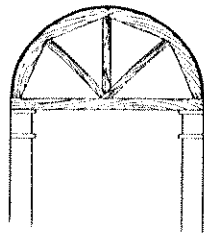
**figura 38**



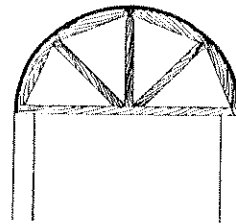
**figura 39**

Si la luz es mayor y las piezas se 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 40**, 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 pueda estorbar, se usara la cercha representada en la **figura 41**.

Para pequeñas luces y arcos poco cargados, en vez de apoyar las cimbras sobre los pies derechos, se colocan sobre las ménsulas o cornisas de la misma mampostería **figura 37**, que se obtienen dejando salientes tres hiladas de ladrillo, volada cada una sobre la anterior unos 3 cm. Para evitar que la ménsulas se rompan o cedan con el peso del arco, se apuntala en su parte central con un pie derecho, que sujeta con listones tan pronto como el peso del arco gravita sobre la cimbra.



**figura 40**



**figura 41**

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

## OTRAS CLASES DE CIMBRAS

La **figura 42**, representa una cimbra sencillísima 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  $45^\circ$  grados, apoyada a su vez por otra puesta en tornapunta. Ambas se apoyan fuertemente en los muros. La **figura 43**, representa una cimbra, que tiene aplicación cuando el arco adintelado se construye en sillería.

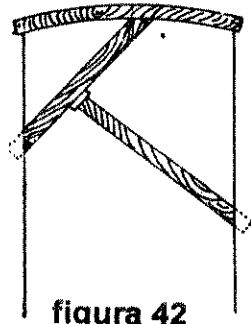


figura 42

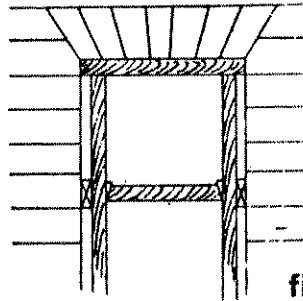


figura 43

Las **figuras 44y 45**, representan otras sencillas disposiciones que pueden adoptarse para la construcción de arcos adintelados y arcos rebajados de ladrillo.

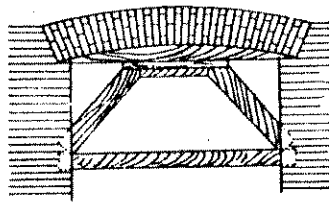


figura 44

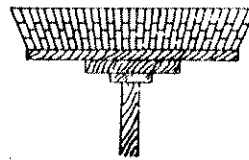


figura 45

Otro tipo de cimbra ligero es el de la **figura 46**, empleado en la construcción de un arco de cantería. Las **figuras 47,48 y 49**, indican disposiciones de cimbras para arcos especiales. Las de las **figuras 47 y 48** sirven para arcos agudos y el de la **figura 49**, para un arco tranquilo.

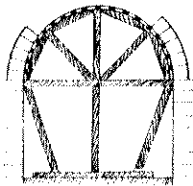


figura 46

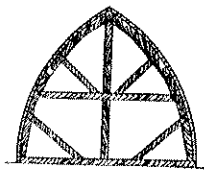


figura 47

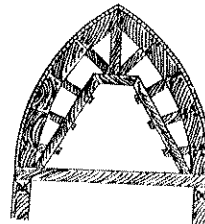


figura 48

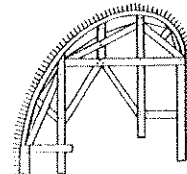


figura 49

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

Para los arcos planos de mampostería es recomendable que los encofrados permanezcan en su lugar hasta siete días después de haber terminado el arco. Donde las cargas son relativamente ligeras o donde la mayoría de las cargas no serán aplicadas hasta después o posteriormente, será posible remover los encofrados antes de siete días.

Como regularmente todos los arcos de mampostería son arcos permanentes, tres condiciones deben ser mantenidas para garantizar la operación de arco puro:

- 1) La longitud del espacio debe permanecer constante.
- 2) La elevación final debe permanecer inalterada.
- 3) La inclinación de los arranques debe ser permanente.

Si cualquier condición es alterada por deslizamiento, instalación o rotación de los refuerzos o estribos, pueden desarrollarse esfuerzos críticos para lo cual el arco no fue diseñado. Tales esfuerzos pueden tener como resultado el fracaso del arco.

## **METODOS DE ANALISIS:**

Todas las teorías para el diseño de los arcos de mampostería son en realidad métodos de verificación. Las dimensiones del arco son primeramente asumidas, basadas sobre prácticas comunes o una fórmula empírica y luego el arco asumido es probado por una o más de las teorías.

Hay dos clases de teorías de la estabilidad de un arco de mampostería; la teoría de la línea de empuje y la teoría de la deformación elástica. La teoría de la línea de empuje considera la estabilidad de los arcos según la fricción y las reacciones entre distintas secciones del arco o dovelas. La teoría elástica considera el arco como una viga curva, cuya estabilidad depende de las fuerzas internas.

En general, la teoría de la línea de empuje, es más aplicable a los arcos de mampostería simétricos, cargados uniformemente en todo el espacio o sometidos a cargas concentradas puestas simétricamente. Para tales arcos, la línea de resistencia, la cual es la línea que conecta los puntos de aplicación de las fuerzas resultantes transmitidas a cada dovela, es requerida dentro del tercio medio de la sección del arco; puesto que ninguno de los intrados ni trasdos del arco estarán en tensión.

Para arcos sometidos a cargas no simétricas, las cuales pueden producir esfuerzos de tensión en el arco, la teoría elástica provee un método de análisis más exacto que la teoría de la línea de empuje.



## ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE EMPUJE:

Una de las más antiguas teorías es la línea de empuje, la cual tiene sin embargo, que aguantar la prueba del tiempo, basada sobre la hipótesis del mínimo empuje de la corona, la cual fue la primer propuesta por Mosely en 1837. La verdadera línea de resistencia de un arco en esta hipótesis, es aquella para la cual el empuje de la corona es el menor posible, consistente con el equilibrio. Estos principios pueden ser aplicados al análisis de un arco por métodos estáticos, proporcionando las fuerzas externas conocidas, actuando sobre el arco y el punto de aplicación y dirección asumidos en la corona empujada.

Es costumbre asumir la dirección del empuje de la corona como horizontal y el punto de aplicación en la extremidad superior del tercio medio de la sección; que es, dos tercios del espesor o canto del arco desde los intrados. Esta suposición parece ser razonable para arcos simétricos, cargados simétricamente pero no es sostenible para cargas asimétricas o cargas uniformes parciales.

Con las suposiciones dichas, las fuerzas actuantes sobre cada sección del arco pueden ser determinadas por métodos analíticos o gráficos. El primer paso en tal análisis es determinar la unión de ruptura. Esta, es aquella unión por la cual la tendencia del arco a abrirse por los trasdos es la máxima y por lo tanto, requiere de máximos empujes de la corona, aplicados por la extremidad superior del tercio medio, previendo la unión desde su abertura. Con esta unión la línea de resistencia del arco descendería sobre la extremidad inferior del tercio medio de la sección.

Para arcos segmentados de espacios cortos, (no excediendo 6 pies) y de baja proporción **elevación a espacio** (no excediendo 0.15), la unión de ruptura puede ser asumida como el arranque del arco. De cualquier modo, para arcos segmentados de alta elevación, aproximados a proporción **elevación a espacio** de 0.5, esto no será verdadero. La línea de resistencia de tales arcos puede pasar fuera del lugar del tercio medio hacia los trasdos por algún punto entre la unión de ruptura y el estribo o refuerzo. El punto en el cual esto ocurre es llamado el arranque verdadero del arco. La porción del arco entre el arranque verdadero y el estribo o refuerzo debería ser más grueso si la tensión en los intrados es evitada.

Como se ha indicado previamente, para espacios cortos de arcos segmentados de baja elevación, referidos a **arcos menores**, la unión de ruptura puede ser asumida como el arranque del arco.

Basados en esta suposición y en la hipótesis del empuje menor de la corona, la magnitud del empuje de la corona y la magnitud y dirección de la reacción con el arranque pueden ser determinadas gráficamente.

En este análisis, desde que el arco es simétrico y está cargado uniformemente sobre todo el espacio, una mitad del arco es considerada. La **figura 50-a**, muestra las fuerzas externas actuantes sobre la sección del arco.

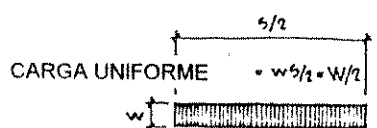
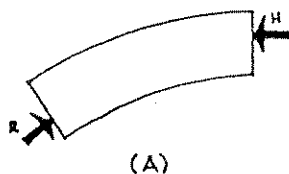


figura 50 A



Para el equilibrio, las líneas de acción de estas tres fuerzas  $W/2$ ,  $H$  y  $R$  pueden intersectarse por un punto como se muestra en la figura 50-b.

Desde que  $H$  es asumida a actuar horizontalmente, ésta decide la dirección de la fuerza  $R$ . Esta magnitud puede ser obtenida construyendo un diagrama de fuerza como se indica en la figura 50-d.

El próximo paso en el análisis gráfico es dividir el arco en varias dovelas y transformar la carga uniforme en varias cargas concentradas equivalentes, actuando sobre cada dovela o sección. La figura 50-c, muestra como ésta fue hecha.

Comenzando en algún punto conveniente, en este ejemplo entre la reacción y la primera carga segmentada pasada del arranque, números son colocados entre cada par de fuerzas, como también se muestra en la figura 50-c.

Ahora cada fuerza es identificada por un número; por ejemplo, la reacción es 7-1 y la primera carga vertical es 1-2.

El lado del diagrama de fuerza representando  $W/2$  es dividido entre los mismos números de cargas equivalentes como está hecho en la figura 50-f.

Los números previamente usados para identificación son colocados a manera de mostrar e identificar las fuerzas en el diagrama de fuerzas. Así, 7-1, es la reacción en el arranque, 6-7 es el empuje horizontal, etc. Desde la intersección de  $H$  y  $R$  (7-1 y 6-7), una línea es dibujada para cada punto intermedio sobre el tramo representando  $W/2$ . figura 50-e.

El polígono de equilibrio puede ahora ser dibujado en la manera siguiente: Extender la línea de reacción hasta que ésta intersecte la línea de acción de 1-2. A través de este punto dibujar una línea análoga a la línea 7-2 de la figura 50-e. hasta intersectar la línea de acción de 2-3. A través de este punto dibujar una línea análoga a 7-3 de la figura 50-e, etc. Completar en esta forma el polígono de equilibrio figura 50-e.

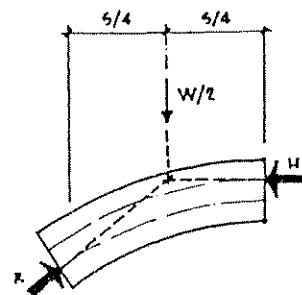


figura 50 B

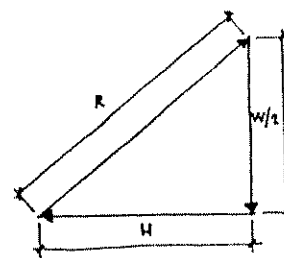


figura 50 D

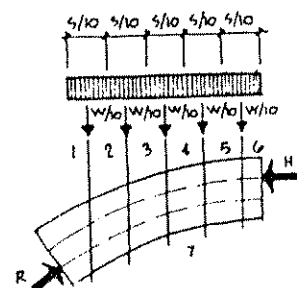


figura 50 C

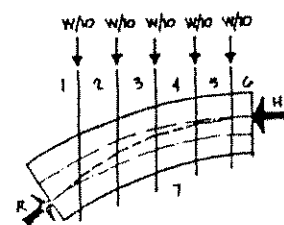


figura 50 F

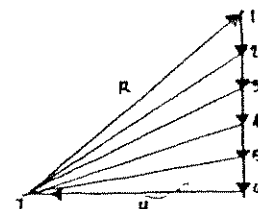


figura 50 E

Si el polígono está situado completamente dentro del tercio medio, el arco es estable. Para una carga distribuida uniformemente, el polígono de equilibrio, el cual contiene la línea de resistencia, será usualmente situado dentro del tercio medio. Esto no puede ser para otras condiciones de carga.

La localización de las reacciones descentradas entre dovelas, producirán tensiones, las cuales no estarán de acuerdo con la tensión axial  $H/A$ ; donde  $A$  es el área de la sección transversal del arco ( $A = bd$ ). Estas tensiones son fundamentadas por la siguiente fórmula:

$$f_m = H/bd \pm 6He/bd^2$$

En esta fórmula :

$f_m$  = máximo esfuerzo de compresión en el arco

$H$  = empuje horizontal

$b$  = ancho del arco

$d$  = espesor del arco

$e$  = la distancia perpendicular entre el eje del arco y la línea de acción del empuje horizontal.

## **ANALISIS DE DEFORMACION ELASTICA:**

Algunos métodos apropiados de análisis elástico para arcos han sido desarrollados; sin embargo en varias ocasiones, la aplicación es complicada y tardada. Una publicación de la compañía de libros Mc.Graw Hill. "Estructuras y Arcos", por Valerian Leontovich de 1959, proporciona ecuaciones para momentos y fuerzas redundantes para veinte estructuras y arcos estáticamente indeterminados. El profesor S.P Timoshenko indica en el prólogo que estas ecuaciones proveen un método que " es sustancialmente más corto que cualquier otro en práctica corriente y debería sin duda ser favorecido por diseñadores ", el libro del señor Leontovich contiene fórmulas para el diseño de arcos parabólicos con soportes fijos, las cuales son adecuadas para el diseño de arcos de mampostería para secciones transversales constantes y variables.

Como lo establecido por Leontovich, las suposiciones básicas usadas en la deducción de las fórmulas son: " Las soluciones condensadas de análisis dadas en el texto han sido deducidas usando la teoría del trabajo virtual como comunmente es empleado con el método del centro elástico. Generalmente sólo la energía de deformación por flexión es considerada en este análisis; el efecto de cortantes y deformaciones axiales es despreciable. Sin embargo, para arcos planos empotrados, donde el efecto de deformación axial es apreciable, soluciones adicionales condensadas para este efecto son también presentadas. Para todas las estructuras, los soportes son asumidos a ser inflexibles, excepto cuando el desplazamiento de un apoyo es específicamente considerado ". (\*)

Los arcos considerados en el texto son miembros simétricos, con ejes parabólicos y dos clases de términos son considerados, como: " **ARCOS PRIMARIOS** " en los cuales la sección incrementa con un valor uniforme aproximado desde la corona a los

refuerzos o estribos y " **ARCOS SECUNDARIOS** " para los cuales la sección transversal es sustancialmente constante en la parte central del espacio, pero incrementa rápidamente cerca de los estribos o refuerzos.

Los puntos del autor indican que desde el punto de vista estructural, el arco parabólico es el más eficiente para muchos tipos de construcción, particularmente para " miembros curvados, generalmente soportando cargas uniformemente distribuidas ".

Respecto a la adaptabilidad de las ecuaciones derivadas para estos arcos parabólicos de sección transversal variable a arcos parabólicos de sección constante, el autor determina : " Considerando el efecto de los riñones del miembro curvado o de cantidades redundantes de las estructuras analizadas en los **ARCOS PRIMARIOS**, esto fundamenta que estas cantidades no son sensitivas a variaciones menores de sección transversal de los miembros curvados. Este factor justifica el uso de estas soluciones condensadas para arcos parabólicos de sección constante o para construcciones que contengan estos arcos.

Para propósitos prácticos si la proporción de **elevación a espacio** de un miembro curvado es menor que 0.2, las ecuaciones para los **arcos primarios**, han sido derivadas para miembros ligeramente arriñonados, sin embargo proporcionan resultados enteramente satisfactorios para estructuras que tienen miembros curvados de sección constante. Para proporciones mayores, las soluciones son exactas para estructuras que tienen miembros curvados ligeramente arriñonados y aproximados para aquellos que contengan miembros curvados de sección constante.

El análisis de estructuras que tienen miembros curvados de proporción elevación constante y espacio  $f/L$ , pueden ser acabados con alta precisión por el uso de las soluciones condensadas de los **arcos secundarios** ". ( \* )

El método de analizar estos arcos, como es descrito por el autor, es : " Como esta establecido previamente, las soluciones condensadas para arcos o construcciones curvadas son derivadas por el uso de la teoría de trabajo virtual y solo el efecto de deformación por flexión es considerado. Los efectos de deformación por cortante y deformación axial, son descuidados desde que su contribución a la energía total de deformación es insignificante. Solamente en ciertos casos es justificado un mayor refinamiento y por tales casos se permiten dar soluciones adicionales para el efecto de deformación axial . En este texto, la solución del primer tipo es llamado **METODO A** y el segundo, **METODO B** ". ( \* )

" Las soluciones por el **METODO A** son dadas para todas las condiciones de carga y los diagramas de curvas de momentos son mostrados en el texto. Soluciones suplementarias para el **METODO B** son dadas solamente para casos de cargas verticales sobre arcos empotrados, casos mas cumunmente encontrados ". ( \* )

" Este es un factor generalmente reconocido desde que el efecto de deformación axial es de una importancia práctica solamente en los arcos planos empotrados. Cuando la proporción del arco **elevación a espacio** es mayor que **0.2**, el efecto de deformación axial puede ser descuidado y la solución por el **METODO A** proporciona resultados satisfactorios. Cuando la proporción es menor que **0.2**, es justificado el refinamiento en cálculos y la solución por el **METODO B** es recomendado ". ( \* )

Para arcos parabólicos de mampostería de ladrillo, de sección constante, es recomendado que cuando se use la formula desarrollada por Leontovich el **METODO B** ( de la sección de **arcos primarios** ) sea utilizado para arcos cuya proporción **elevación a espacio** no es mayor que **0.2**, el **METODO A** ( de la sección de **arcos primarios** ) sea utilizado para arcos cuya proporción **elevación a espacio** es mayor que **0.2** pero no mayor que **0.3** y el **METODO A** ( de la sección de **arcos secundarios** ) sea utilizado para arcos cuya proporción **elevación a espacio** exceda de **0.3**.

( \* ) Valerian Leontovich, " ESTRUCTURAS Y ARCOS "  
PARA ARCOS PRIMARIOS OBSERVAR LAS SECCIONES DE LA 9 HASTA LA 12 Y PARA  
ARCOS SECUNDARIOS OBSERVAR LAS SECCIONES DE LA 21 HASTA LA 24.

## CAPITULO 3

### DISEÑO ESTRUCTURAL DE ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO

**Arcos menores** son aquellos cuyos espacios no exceden **6 pies** y tienen una proporción máxima **elevación a espacio de 0.15**. Los coeficientes son dados desde que el empuje horizontal de tales arcos puede ser determinado. Ecuaciones son presentadas para obtener esfuerzos de compresión desarrollados en la mampostería para determinar la estabilidad contra el deslizamiento.

La deducción de coeficientes y ecuaciones de empuje están basadas sobre la hipótesis del empuje menor de la corona y las siguientes suposiciones han de ser hechas :

1. El empuje a la corona es horizontal y pasa a través del punto superior del tercio medio del arco.
2. La reacción pasa a través del punto inferior del tercio medio del arco con el arranque
3. El polígono de equilibrio se sitúa dentro del tercio medio del arco.

**Los arcos mayores** son aquellos cuyos espacios exceden de **6 pies** o la proporción **elevación a espacio** es mayor que **0.15**.

#### **CARGAS DE ARCOS MENORES**

Las cargas que descienden sobre un **arco menor** pueden consistir en cargas vivas y cargas muertas desde pisos, techos, paredes y otros miembros estructurales. Estas son aplicadas como puntos de carga o como cargas uniformes distribuidas completamente o parcialmente.

La carga muerta de una pared arriba de un arco, puede asumirse como el contenido del peso de la pared dentro de un triángulo inmediatamente arriba de la abertura. Los lados de este triángulo forman un ángulo de **45** grados con respecto a la base. Por consiguiente esta altura es un **1/2** del espacio. Dicha carga triangular puede ser asumida como el equivalente a una carga uniformemente distribuida multiplicada por **4/3** la carga triangular.

Las cargas uniformes agregadas arriba de este triángulo pueden ser conducidas por la misma acción de la curvatura de la mampostería .

Cargas uniformes vivas o muertas encontradas bajo el ápice del triángulo son aplicadas directamente sobre el arco para propósitos de diseño.

Cargas pesadas concentradas no deben ser permitidas a actuar directamente sobre los **arcos menores**. Esto es especialmente verdadero para arcos planos. Cargas menores concentradas actuando directamente sobre o cerca del arco pueden sin peligro ser asumidas como cargas uniformemente distribuidas equivalentes o iguales a **dos** veces la carga concentrada.

## DISEÑO DE ARCOS MENORES

Hay tres métodos de falla de arcos de mampostería no reforzados.

- A) Por rotación de una sección del arco cerca del borde de una junta o unión.
- B) Por el deslizamiento de una sección del arco sobre otra o sobre el arranque.
- C) Por aplastamiento (deformación por compresión) de la mampostería.

**A ) ROTACION** La suposición para el diseño de arcos menores, desde que el polígono de equilibrio ubicado completamente dentro del tercio medio de la sección del arco, evitará la rotación de una sección del arco cerca del borde de una junta o el desarrollo de esfuerzos de tensión en cualesquiera del intrados o trasdos.

**B ) DESLIZAMIENTO** Los coeficientes de fricción entre las unidades que integran un arco de mampostería de ladrillo o bloques huecos de concreto o arcilla son como mínimo de **0.60**, sin considerar la resistencia adicional de resultantes por deslizamiento de parte de la unión entre el mortero y las unidades de la mampostería. Estos corresponden aproximadamente a un ángulo de fricción de **31 grados**. Si este ángulo ( el cual forma la línea de resistencia del arco con la perpendicular a la junta entre secciones del mismo ) es menor que el ángulo de fricción, el arco es estable contra el deslizamiento. Este ángulo puede ser determinado gráficamente o matemáticamente por la fórmula siguiente :

$$\beta = \tan^{-1} ( W / 2H - \mu ) \quad \text{( TODAS LAS FORMULAS QUE SE EMPLEAN A CONTINUACION SON TOMADAS DEL LIBRO DE ESTRUCTURAS Y ARCOS )}$$

donde :

$\beta$  = Angulo entre la línea de resistencia y la línea perpendicular a la junta o unión

W = Carga total uniforme equivalente sobre el arco

H = Empuje en la corona

$\mu$  = Angulo de la junta con la vertical

Para arcos menores segmentados, el ángulo entre la línea de resistencia y la línea perpendicular a la junta es mayor con el arranque. Esto también puede ser verdadero para arcos planos si las juntas son radiales cerca de un centro con la intersección de las superficies de los arranques. De cualquier modo, si las juntas no son radiales cerca de este centro, cada junta deberá ser analizada para la resistencia al deslizamiento. Esto puede fácilmente ser hecho construyendo un polígono de equilibrio, asumiendo que el empuje de la corona es aplicado en la parte superior del tercio medio y la reacción es aplicada en la parte inferior de la sección del tercio medio del arranque.

Para arcos segmentados con juntas radiales, el ángulo ( $\mu$ ) entre el arranque y la vertical es :

$$\mu = \tan^{-1} ( 4rS / ( S^2 - 4r^2 ) )$$

o en términos del radio de curvatura

$$\mu = \text{sen}^{-1} ( S / 2R )$$

Para arcos planos en los cuales el arranque es igual a  $\frac{1}{2}$  pulgada por pie de espacio por cada 4 pulgadas del espesor del arco, el ángulo ( $\mu$ ) que el arranque forma con la vertical es :

$$\mu = \tan^{-1} ( S / 8 )$$

En las ecuaciones anteriores :

**S = Espacio**

**R = Elevación**

**r = Radio de curvatura**



### C ) APLASTAMIENTO POR COMPRESIÓN

**ARCOS SEGMENTADOS :** La figura 51 ilustra un arco segmentado. La figura 52 es una representación gráfica de los coeficientes de empuje ( $H/W$ ) para arcos segmentados sujetos a cargas uniformes sobre todo el espacio. Una vez que el coeficiente de empuje es determinado para un arco en particular, el empuje horizontal ( $H$ ) puede ser determinado con el producto del coeficiente de empuje y la carga total ( $W$ ). Determinado el adecuado coeficiente de empuje, se deben determinar primero las características del arco,  $S/r$  y  $S/d$ .

donde :

$S$  = El espacio libre

$r$  = La elevación de la superficie inferior del arco

$d$  = El espesor del arco.

En estas proporciones y en las proporciones y ecuaciones que siguen, todos los términos de longitud deben ser expresados en las mismas unidades; por ejemplo, calculando  $S/r$  y  $S/d$ , si  $S$  está en pies,  $r$  y  $d$  también deberán estar en pies.

Si la carga aplicada es triangular o concentrada, dicho método puede ser usado, pero el coeficiente de empuje horizontal debe ser incrementado por  $1/3$  de la carga triangular y el doble para cargas concentradas.

Una vez que el empuje horizontal ha sido determinado, el esfuerzo máximo de compresión en la mampostería es determinado por la fórmula siguiente :

$$f_m = 2 H / b d$$

En esta ecuación :

$f_m$  = Esfuerzo máximo de compresión en libras por pulgada cuadrada ( PSI )

$H$  = Empuje horizontal en libras

$b$  = Ancho del arco en pulgadas

$d$  = Espesor del arco en pulgadas

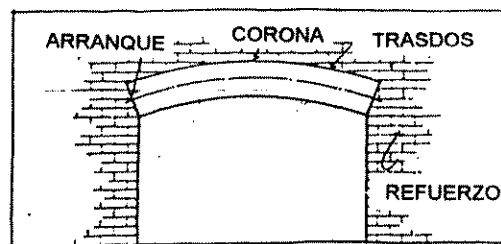


figura 51

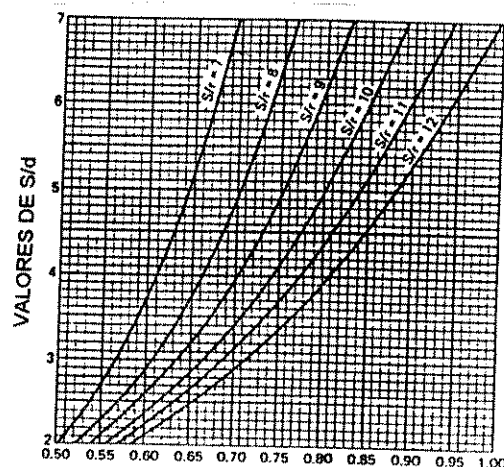


figura 52 VALORES DE  $H/W$

Este valor es dos veces un esfuerzo de compresión axial sobre el arco, debido a una carga  $H$ , porque el empuje horizontal es localizado en el tercer punto del espesor del arco.

**ARCOS PLANOS** : La figura 53 ilustra un arco plano. La regla común para arcos planos es proporcionar un arranque (  $K$ , medido horizontalmente ) de  $\frac{1}{2}$  pulgada por pie de espacio por cada 4 pulgadas del espesor del arco. Arcos planos son comúnmente construidos en espesores de 8 y 12 pulgadas, con una curvatura de  $\frac{1}{8}$  de pulgada por pie del espacio.

Para arcos planos, aplicando las mismas suposiciones descritas anteriormente, el empuje horizontal con la línea de resistencia puede ser determinado por las fórmulas siguientes :

Para carga uniforme sobre todo el espacio

$$H = 3WS / 8d$$

Para carga triangular sobre todo el espacio

$$H = WS / 2d$$

El esfuerzo de compresión máximo (  $f_m$  ) en un arco plano puede ser determinado con la fórmula siguiente :

$$f_m = 2H / bd \quad (*)$$

El esfuerzo de compresión máximo en un arco plano puede ser determinado directamente con la fórmula siguiente :

Para carga uniforme sobre todo el espacio

$$f_m = 3WS / 4bd^2 \quad (*)$$

Para carga triangular sobre todo el espacio

$$f_m = WS / bd^2 \quad (*)$$

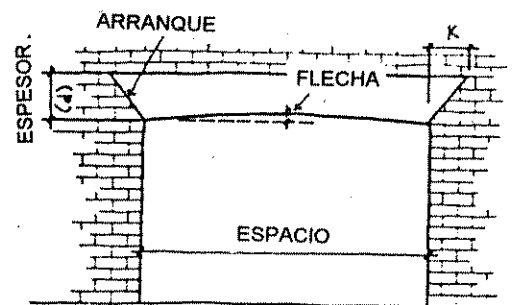


figura 53

Las fórmulas ( \* ) anteriormente descritas incluyen un factor el cual toma en cuenta cargas descentradas.

En las fórmulas anteriores :

H = Empuje horizontal en libras

W = Carga total en libras

S = Espacio libre en pulgadas

d = Espesor del arco en pulgadas

b = ancho del arco en pulgadas

## RESISTENCIA AL EMPUJE

La resistencia al empuje horizontal, desarrollada por el arco, es proporcionada por la masa adyacente de la mampostería. En áreas limitadas donde la mampostería es disponible como esquinas, aberturas, etc., puede ser necesario verificar la resistencia de la pared a empujes horizontales. La **figura 54** ilustra cómo la resistencia descrita anteriormente puede ser calculada.

Esta es asumida por aquel empuje del arco que pretende mover un volumen de mampostería encerrado por los límites de las líneas **ABCD**. Para propósitos de cálculo el área **CDEF** es equivalente en resistencia. Puede observarse que el empuje está actuando contra dos superficies de resistencia, **CF** y **DE**. La resistencia a empujar el arco es determinada por la fórmula siguiente :

$$H_1 = v_m n x t$$

Usando el principio dado en la fórmula anterior ( $H_1$ ), la distancia mínima desde una esquina o abertura, con la cual un arco puede ser ubicado, es determinada fácilmente. Esta puede ser dada por la fórmula escrita ( $H_1$ ) a resolver por  $x$ , sustituyendo el empuje verdadero del arco por la resistencia de empuje :

$$x = H_1 / v_m n t$$

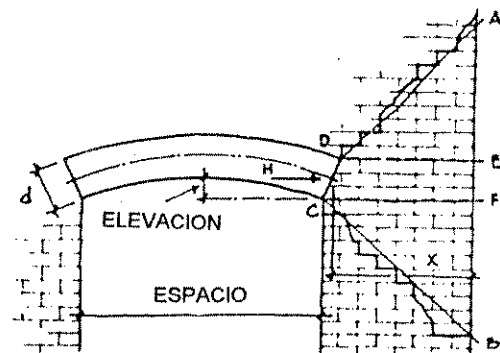


figura 54

En la fórmula anterior :

$H_1$  = Resistencia al empuje en libras

$V_m$  = Esfuerzo cortante permisible en la pared de mampostería en libras por pulgada cuadrada ( PSI )

$n$  = número de superficies resistiendo el corte

$x$  = distancia desde el centro del arranque al final de la pared en pulgadas

$t$  = ancho de la pared en pulgadas

La tendencia del empuje del arco de una sección de la mampostería a voltearse, deslizarse o rasgarse un poco, debe también ser investigado. En general, dichas fuerzas de volteo están fundamentadas a gobernar solamente cerca de la cima de los arcos de una pared, la parte de la mampostería la cual tiende a voltearse desde el inicio deberá de ser separada de la parte central de la pared.

## **CARGAS DE ARCOS MAYORES**

Las fuerzas principales actuando sobre el arco en construcciones son las resultantes de las cargas muertas, vivas y cargas de viento. Muchos arcos de mampostería están formados con la mampostería circundante. En tales casos, las cargas transmitidas al arco a través de la mampostería son indeterminadas, debido a las acciones arqueadas de la mampostería adyacente.

Es frecuentemente asumir, que el peso entero de la mampostería, arriba de la superficie de los intrados, presione verticalmente sobre el arco. Esto no es ciertamente exacto, ya que aun con construcción de ladrillo una parte de la pared será independiente. De cualquier modo, esta suposición está ciertamente sobre el lado seguro. La resistencia pasiva de los materiales de la mampostería adyacente influye en la estabilidad de un arco.

El diseñador deberá contar con fórmulas empíricas, basadas sobre la ejecución de estructuras existentes, para determinar las cargas sobre un arco. La carga muerta de la mampostería de la pared soportada por un arco completo depende de la **elevación, el espacio y el peso de la pared arriba del arco**. Esta puede ser considerada indistintamente uniforme ( **rectangular** ) o variable ( **completamente parabólica** ) en distribución o una combinación de éstas.

" **ESTRUCTURAS Y ARCOS** " soluciones son dadas para arcos con proporciones elevacion a espacio (  $f / L$  ) desde un rango de **0.0 a 0.6** .

Las siguientes suposiciones recomendadas para cargas de tales arcos son seguras de confiar :

Para arcos de baja elevación  $f / L = 0.2$  o menor, una carga uniforme puede ser asumida. Esta carga será el peso de la pared, arriba de la corona del arco, la cual llega hasta una altura máxima de  $L / 4$ .

Para arcos con elevaciones superiores una carga muerta consistente de una carga uniforme más una carga parabólica complementaria pueden ser asumidas.

La máxima ordenada de la carga parabólica será igual al peso de la pared cuya altura es la elevación del arco. La mínima ordenada de la carga parabólica será cero. La carga uniforme será el peso de la pared arriba de la corona del arco hasta una altura máxima de  $L^2 / 100$ .

Cargas uniformes de piso y techo son aplicadas como cargas uniformes sobre el arco. Cargas pequeñas concentradas pueden ser transformadas en cargas uniformes de dos veces la magnitud de la carga concentrada.

Cargas grandes concentradas pueden ser transformadas en cargas puntuales sobre el arco.

## DISEÑO DE ARCOS MAYORES

**A. GENERAL** " Estructuras y Arcos " proporcionando ecuaciones directas por las cuales las fuerzas y momentos redundantes en el miembro arqueado pueden ser determinadas.

Mas allá de las discusiones mencionadas anteriormente, en este momento satisface decirlo, pero relativamente la alta elevación (  $f / L = 0.2$  ) de arcos de sección constante por el Método A producen sus propias soluciones.

Las recomendaciones para el uso de esta sección son:

1. Establecer las dimensiones principales del arco
2. Sobre estas bases y dependiendo de las formas establecidas y la proporción  $f / L$  del arco, obtener el correspondiente valor de  $\kappa$  del arco.

Observar la tabla 1 :

VALORES DE  $\kappa$  ( TABLA 1 )

Arcos con proporción Elevación a espacio $f / L$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Valores de $\kappa$ para arcos	1.28	1.56	1.90	2.40	2.80

3. Obtener los parámetros elásticos ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$ ), cargas constantes y constantes generales.
4. Realizar las operaciones algebraicas con las ecuaciones dadas.

**B. ECUACIONES.** Las ecuaciones están basadas en la red del sistema de coordenadas horizontales y verticales con origen en la intersección del arco con el arranque izquierdo.

Las distancias  $x$  y  $y$  son coordenadas del eje del arco. La ecuación general para el eje del arco parabólico es:

$$Y = 4f ( 1 - x/L ) x / L$$

Cada una de las ecuaciones establecidas dependen de las condiciones de carga. Entre las soluciones incluidas con aquellas descritas en el **Metodo A** están las siguientes:

Para carga complementaria vertical parabólica:

$$M_1 = M_2 = WL ( JS - 2T ) / F$$

$$H_1 = H_2 = WL ( K - 2JT ) / Ff$$

$$V_1 = V_2 = W / 2$$

Cuando  $x \leq L / 2$ :

$$M_x = M_1 + ( WL / 16 ) [ 1 - \{ ( L - 2x ) / L \}^4 ] - yH_1$$

$$N_x = ( W / 2 ) [ ( L - 2x ) / L ]^3 \text{sen}\varnothing + H_1 \text{cos}\varnothing$$

$$Q_x = ( W / 2 ) [ ( L - 2x ) / L ]^3 \text{cos}\varnothing + H_1 \text{sen}\varnothing$$

Para carga vertical uniforme sobre el arco entero:

$M$  y  $Q$  son cero en cualquier sección del arco.

$$H_1 = H_2 = WL ( K - 2JT ) / Ff$$

$$V_1 = V_2 = W / 2$$

Cuando  $x \leq L / 2$ :

$$N_x = ( W / 2 ) [ ( L - 2x ) / L ] \text{sen}\varnothing + H_1 \text{cos}\varnothing$$

" Estructuras y Arcos " también contienen ecuaciones para otras condiciones de carga; **cargas concentradas.**

PROYECTO DE LA COMPAÑIA DE SAN CARLOS DE GUAYAMA

**SUBSCRIPCIONES.** En estas ecuaciones, las subcripciones 1 y 2 designan los soportes izquierdo y derecho respectivamente. La subcripción x designa cualquier distancia x, desde el origen.  $\theta$  es el ángulo ( observar la tabla 2 ), con cualquier punto, cuya tangente es la inclinación del eje del arco con ese punto.

VALORES DE  $\theta$  ( TABLA 2 )

Proporción del Arco $f/L$	Valores de $\theta$ donde $x =$					
	0 a L	0.1L y 0.9L	0.2L y 0.8 L	0.3L y 0.7L	0.4L y 0.6L	0.5L
0.2	38 ° 40 '	32 ° 37 '	25 ° 38 '	17 ° 45 '	09 ° 05 '	00 ° 00 '
0.3	50 ° 12 '	43 ° 50 '	35 ° 45 '	25 ° 38 '	13 ° 30 '	00 ° 00 '
0.4	58 ° 00 '	52 ° 00 '	43 ° 50 '	32 ° 37 '	17 ° 45 '	00 ° 00 '
0.5	63 ° 26 '	58 ° 00 '	50 ° 12 '	38 ° 40 '	21 ° 48 '	00 ° 00 '
0.6	67 ° 23 '	62 ° 29 '	55 ° 13 '	43 ° 50 '	25 ° 38 '	00 ° 00 '

M = Momento

N = Fuerza Axial

Q = Fuerza Cortante

f = Elevación del Arco

W = Carga Total Considerada

H = Empuje Horizontal

V = Reacción Vertical

L = Espacio del Arco

S y T son constantes observar tabla 3 .

J, F y K son constantes, determinadas por :

$$J = 1 + \delta / \mu$$

$$F = \theta - \mu J^2$$

$$\theta = 2 (\alpha + \beta)$$

$$k = S\theta / \mu$$

**VALORES DE CONSTANTES DE CARGA  
DE S y T  
( TABLA 3 )**

VALORES DE $\kappa$ PARA ARCOS		Carga Uniforme sobre todo el espacio	Carga Complementaria Parabólica sobre todo el espacio
3.00	S	1.0290	0.6095
	T	0.7000	0.4429
2.00	S	0.9143	0.5333
	T	0.6000	0.3714
1.40	S	0.8457	0.4876
	T	0.5400	0.3286
1.30	S	0.8343	0.4800
	T	0.5300	0.3214
1.20	S	0.8229	0.4724
	T	0.5200	0.3143

Valores intermedios pueden ser obtenidos por interpolación

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$  son parámetros dados en la tabla 4 :

**PARAMETROS DE ARCOS  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$   
( TABLA 4 )**

VALORES DE $\kappa$ PARA ARCOS	$\alpha$	$\beta$	$\mu$	$\delta$
3.000	7.2	2.8	8.229	2.971
2.000	5.6	2.4	7.314	2.286
1.800	5.28	2.32	7.131	2.149
1.600	4.96	2.24	6.949	2.011
1.400	4.64	2.16	6.766	1.884
1.200	4.32	2.08	6.583	1.737

Valores intermedios pueden ser obtenidos por interpolación



## DISEÑO ESTRUCTURAL DE ARCOS SEMICIRCULARES DE MAMPOSTERIA

### SUPOSICIONES DE DISEÑO:

Desde que el arco de mampostería de ladrillo es usualmente una parte integral de la pared y no una parte aislada, suposiciones básicas de diseño son hechas, las cuales ayudan a la formación del análisis.

La línea de arranque es asumida a estar ubicada encima de una línea horizontal a un cuarto de la longitud del espacio sobre el eje horizontal. Los arcos son asumidos a estar completamente limitados por la línea de arranque y la parte del arco semicircular arriba de esta línea es analizada de una manera similar que para un arco parabólico.

### NOMENCLATURA:

- $d$  = espesor del anillo del arco, en pulgadas,
- $f$  = elevación del arco, en pies,
- $f_m$  = esfuerzo de compresión permitido, en psi,
- $H$  = empuje horizontal, en libras,
- $H_{CM}$  = empuje horizontal, en libras causado por la carga muerta uniforme,
- $L$  = longitud del espacio, en pies,
- $n$  = número de superficies de corte,
- $P$  = carga concentrada permitida, en libras,
- $P'$  = carga máxima concentrada permitida en libras inferior a las cargas combinadas estipuladas,
- $p^*$  = capacidad adicional de la carga concentrada causada, por la carga muerta uniforme,
- $t$  = ancho de la pared, en pulgadas,
- $V_m$  = corte de tensión permitido en la mampostería de ladrillo en psi,
- $W$  = carga uniforme permitida en libras por pie.
- $x$  = longitud de la pared requerida, en pulgadas, resistente al empuje horizontal.

### DESARROLLO DE TABLAS:

En la determinación de la capacidad de los arcos para cargas uniformes, el factor que limita, es fundamentado a ser el esfuerzo de compresión de la mampostería de ladrillo. Tensiones adicionales debido a la carga circular de la mampostería arriba del intrados son también tomadas en consideración.

En determinación, los factores que limitaron la capacidad para cargas concentradas, estuvieron fundamentados a estar a flexión por la línea central del espacio, cortada por la línea de arranque ( $V_m = 40$  psi), y el esfuerzo de compresión máximo ( $f_m$ ). No está permitido el desarrollo de esfuerzos de tensión a mitad del espacio. Desde que fuerzas axiales desarrolladas en el anillo del arco por las cargas uniformes y concentradas, fueron desarrolladas fórmulas de interacción para cada condición de carga. Estas fórmulas combinan los esfuerzos axiales con los esfuerzos de flexión.

**CARGA PERMITIDA :**

En todas las fórmulas usadas,  $d$  y  $t$  están medidas en pulgadas y  $L$  está medida en pies. Las siguientes condiciones de carga fueron consideradas para analizar un arco semicircular.

**(A) CARGA UNIFORME :** Las tablas números 5, 6, 7 y 8 proporcionan las cargas uniformes permitidas encontradas sobre la longitud del espacio entero ( $L$ ) para una pulgada de grosor del anillo del arco.

**CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA**

$$f_m = 300 \text{ psi ( } t = 1 \text{ pulg. )}$$

( TABLA 5 )

L	d = 3.5 pulg.		d = 7.5 pulg.		d = 11.5 pulg.		d = 15.5 pulg.	
	W	H	W	H	W	H	W	H
2	810	697	1520	1496	2071	2295	2509	3094
4	424	686	857	1489	1230	2289	1556	3089
6	277	659	591	1474	870	2277	1124	3078
8	193	611	444	1447	669	2257	875	3061
10	134	533	349	1406	538	2227	713	3036
12	86	420	280	1347	445	2185	597	3001
14	-	-	226	1268	374	2128	510	2956
16	-	-	180	1164	317	2055	440	2898
18	-	-	141	1034	269	1964	383	2825
20	-	-	105	873	228	1852	335	2737

**CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA**

$$f_m = 400 \text{ psi ( } t = 1 \text{ pulg. )}$$

( TABLA 6 )

L	d = 3.5 pulg.		d = 7.5 pulg.		d = 11.5 pulg.		d = 15.5 pulg.	
	W	H	W	H	W	H	W	H
2	1082	930	2028	1996	2762	3061	3347	4127
4	569	919	1145	1989	1642	3055	2077	4121
6	376	892	792	1973	1164	3043	1501	4111
8	268	844	599	1947	897	3023	1172	4094
10	195	766	474	1906	724	2993	957	4068
12	137	653	385	1847	602	2951	804	4034
14	87	498	317	1767	510	2894	690	3988
16	-	-	261	1664	437	2821	600	3930
18	-	-	212	1533	377	2730	526	3858
20	-	-	170	1373	325	2618	464	3770

**CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA**  
 $f_m = 500 \text{ psi (t = 1 \text{ pulg.})}$   
 (TABLA 7)

L	d = 3.5 pulg.		d = 7.5 pulg.		d = 11.5 pulg.		d = 15.5 pulg.	
	W	H	W	H	W	H	W	H
2	1353	1163	2536	2495	3453	3827	4185	5159
4	714	1152	1434	2488	2055	3821	2597	5154
6	475	1125	993	2473	1458	3809	1879	5143
8	343	1077	753	2446	1125	3789	1468	5126
10	255	1000	600	2405	911	3759	1201	5101
12	188	886	491	2347	760	3717	1012	5066
14	131	731	408	2267	647	3660	870	5021
16	80	527	341	2164	558	3587	759	4962
18	-	-	284	2033	485	3496	669	4890
20	-	-	234	1872	423	3384	594	4802

**CARGA UNIFORME PERMITIDA PARA**  
 $f_m = 600 \text{ psi (t = 1 \text{ pulg.})}$   
 (TABLA 8)

L	d = 3.5 pulg.		d = 7.5 pulg.		d = 11.5 pulg.		d = 15.5 pulg.	
	W	H	W	H	W	H	W	H
2	1624	1396	3044	2995	4145	4593	5023	6192
4	859	1385	1722	2988	2467	4587	3118	6186
6	573	1359	1194	2973	1752	4575	2257	6175
8	418	1310	908	2946	1353	4555	1765	6158
10	315	1233	725	2905	1097	4525	1445	6133
12	238	1120	596	2846	918	4483	1219	6099
14	174	964	499	2767	783	4426	1050	6053
16	118	760	421	2663	678	4353	918	5995
18	-	-	356	2532	592	4262	812	5922
20	-	-	299	2372	520	4150	723	5834

La figura 55 ilustra los siguientes requerimientos y limitaciones.

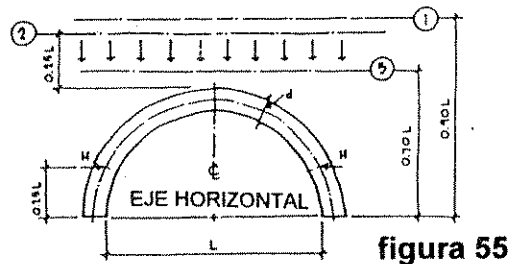


figura 55

1. La carga uniforme encontrada entre las líneas 1 y 3 ( 0.90L y 0.70L ) es aquella proporcionada por las tablas de carga, números 6, 7, 8 y 9.
2. Cargas uniformes encontradas arriba de la línea 1 ( 0.90 L ) pueden ser ignoradas a juicio del diseñador, proporcionando acciones curvadas encontradas en la mampostería de ladrillo arriba del anillo del arco.
3. Debe haber una altura mínima de mampostería ( Línea 3 ) igual a 0.70 L arriba del eje horizontal. No es permitido agregar cargas abajo de esta línea.
4. La altura máxima de diseño de la mampostería para paredes más altas que línea 2 es de 0.25L arriba de la corona.
5. En todos los casos el empuje horizontal ( H ) debe ser chequeado. Para un arco dado el empuje horizontal es directamente proporcional a la carga uniforme ( H / W ).
6. La parte de la pared que resiste el empuje horizontal es asumida a estar inflexible a cualquier movimiento lateral.

**(B) CARGA CONCENTRADA :** La tabla 9 proporciona las cargas concentradas permitidas, determinadas de acuerdo al eje central del espacio ( L ) para una pulgada de grosor del anillo del arco.

**CARGA CONCENTRADA PERMITIDA ( t = 1 pulg. )**  
( TABLA 9 )

L	$f_m = 300 \text{ o } 600 \text{ psi.}$							
	d = 3.5 pulg.		d = 7.5 pulg.		d = 11.5 pulg.		d = 15.5 pulg.	
	P	H	P	H	P	H	P	H
2	15	12	703	547	1078	841	1451	1131
4	9	9	126	101	1075	841	1449	1131
6	13	16	38	35	418	332	1445	1132
8	20	25	40	41	97	86	967	764
10	28	36	48	52	88	84	199	172
12	38	49	58	67	93	95	162	150
14	48	65	70	83	104	111	160	156
16	61	83	84	102	117	130	168	171
18	75	103	100	124	133	152	181	191
20	90	125	117	148	151	177	198	215

Los valores en la **tabla 9** pueden ser interpolados linealmente excepto donde se encuentren las líneas horizontales, la carga permitida en esas líneas es :

$$[ 0.241 ( L + 0.083 d )^3 + 0.134 ( L + 0.083 )^2 d ] / 1.34 ( L + 0.083 d ) - 0.778 d$$

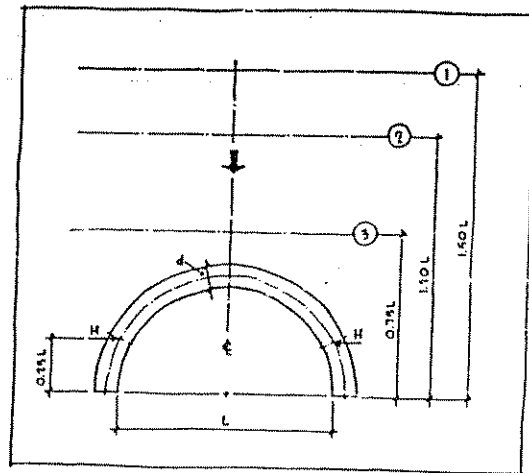
o el valor encima de la línea, tomar el menor. El empuje horizontal es

$$0.778 P + 0.134 ( L + 0.083 d )$$

o el valor encima de la línea, tomar el menor

La **figura 56** ilustra los siguientes requerimientos y limitaciones :

1. Cargas concentradas encontradas entre las líneas 2 y 3 (  $1.20L$  y  $0.75L$  ) son aquellas proporcionadas por la **tabla 9**.
2. Cargas concentradas encontradas entre las líneas 1 y 2 pueden estar divididas por la longitud del espacio (  $L$  ) y considerarse como cargas uniformes equivalentes.
3. Cargas concentradas encontradas arriba de la línea 1 (  $1.50L$  ) pueden ser ignoradas a juicio del diseñador, proporcionando acciones curvadas encontradas en la mampostería de ladrillo arriba del anillo del arco.



**figura 56**

4. En todos los casos, la condición 4 para **cargas uniformes** debe ser usada con aquellas agregando la resultante del empuje de las cargas concentradas.
5. Debe haber una altura mínima de mampostería ( **Línea 3** ) igual a  $0.75 L$  arriba del eje horizontal. No es permitido agregar cargas abajo de esta línea.
6. En todos los casos el empuje horizontal (  $H$  ) debe ser chequeado. Para un arco dado el empuje horizontal es directamente proporcional a la carga concentrada (  $H / P$  ).
7. La parte de la pared que resiste el empuje horizontal es asumida a estar inflexible a cualquier movimiento lateral.

**C) CARGA COMBINADA :** Cuando las cargas uniformes son combinadas con cargas concentradas, la capacidad de carga concentrada del anillo del arco aumenta. Esta capacidad adicional es debida al esfuerzo de compresión a causa de la carga uniforme, igualando el esfuerzo de tensión de la flexión a mitad del espacio debido a la carga concentrada ( $M / S = P / A$ ). Esta capacidad adicional de la carga concentrada puede ser expresada por la siguiente fórmula :

$$P^* = Hcmd / 1.34L$$

Los valores de  $P'$  y  $H'$  de la **tablas 10 y 11** proporcionan la capacidad permitida gobernada por compresión o corte. Ellos deben ser usados solamente como una verificación cuando las cargas combinadas son usadas.

En todos los casos, la carga real debe ser inferior que la carga maxima concentrada  $P'$  y la carga concentrada permitida más la capacidad adicional de la carga concentrada ( $P + P^*$ ). El empuje total horizontal debe ser verificado y debe ser inferior que el máximo permitido para una carga uniforme.

**CARGA MAXIMA CONCENTRADA BAJO CONDICIONES DE CARGA COMBINADA**  
(  $t = 1$  pulg. )  
( TABLA 10 )

	$f_m = 300$ psi				$f_m = 400$ psi				$f_m = 500$ psi	
	$d = 3.5$ "		$d = 7.5$ "		$d = 3.5$ "		$d = 7.5$ "		$d = 3.5$ "	
L	$P'$	$H'$	$P'$	$H'$	$P'$	$H'$	$P'$	$H'$	$P'$	$H'$
2	328	256	703	547	328	256	703	547	328	256
4	326	256	701	547	326	256	701	547	326	256
6	324	256	698	548	324	256	698	548	324	256
8	273	203	695	549	321	257	695	549	321	257
10	235	170	691	550	310	227	691	550	316	257
12	211	143	685	551	275	194	685	551	310	258
14	195	125	685	504	252	169	676	552	304	258
16	187	110	630	453	237	149	670	553	287	188
18	183	98	587	410	228	133	661	554	273	169
20	184	88	555	374	225	120	723	505	266	151

**CARGA MAXIMA CONCENTRADA BAJO CONDICIONES DE CARGA COMBINADA**  
**( t = 1 pulg. )**  
**( TABLA 11 )**

L	$f_m = 500$ psi		$f_m = 600$ psi				$f_m = 300$ a $600$ psi			
	d = 7.5 "		d = 3.5 "		d = 7.5 "		d = 11.5 "		d = 15.5 "	
	P'	H'	P'	H'	P'	H'	P'	H'	P'	H'
2	703	547	328	256	703	547	1078	841	1451	1131
4	701	547	326	256	701	547	1075	841	1449	1131
6	698	548	324	256	698	548	1072	842	1445	1132
8	695	549	321	257	695	549	1065	842	1442	1133
10	691	550	316	257	691	550	1060	842	1440	1134
12	685	551	310	258	685	551	1055	843	1436	1135
14	676	552	304	258	676	552	1050	843	1431	1136
16	670	553	297	258	670	553	1045	843	1422	1137
18	661	554	286	259	661	554	1040	842	1411	1137
20	652	555	280	259	652	555	1025	842	1400	1138

### ARCOS SEGMENTADOS

Cualquier arco segmentado con  $f / L' > 0.29$  pero  $< 0.50$  puede ser considerado como un arco semicircular equivalente como el mostrado en la figura 57. El doble del radio es el equivalente L para usarse con las tablas proporcionadas para el diseño de arcos semicirculares de mampostería de ladrillo.

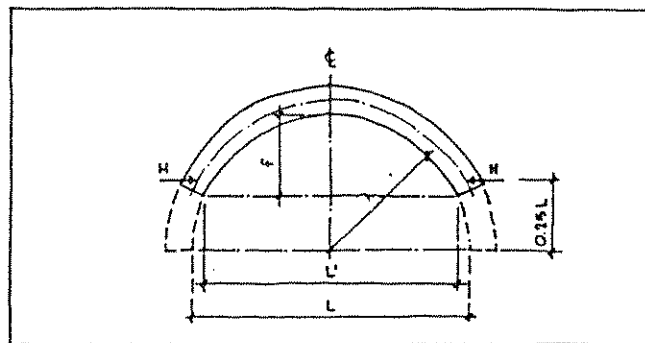


figura 57

## DETERMINACION DE CARGAS

Haciendo caso omiso de los materiales usados para formar o fabricar un dintel, uno de los aspectos más importantes del diseño es la determinación de las cargas aplicadas. La **figura 58** muestra una elevación de una abertura con una losa de piso de concreto prefabricado, una viga de concreto apoyada sobre la pared y una ilustración gráfica de la distribución de estas cargas. El área triangular (**ABC**) inmediatamente arriba de la abertura tiene lados que forman **45 grados** con respecto a la base de éste y representa el área del peso real de la pared transportado por el dintel. La acción curvada de la mampostería conducirá otras cargas externas al triángulo, proporcionando que la altura de la pared arriba del ápice es suficiente para resistir empujes curvados. ( La acción curvada puede ser asumida solamente cuando la mampostería es colocada en uniones corridas, o cuando suficientes uniones en vigas distribuyen las cargas en uniones apiladas. ) Para la mayoría de dinteles de grosor, carga y espacio ordinario, generalmente es suficiente un espesor de **8 a 6 pulgadas** sobre la cima.

Además a la carga muerta de la pared, contenida dentro del área triangular, el dintel también lleva algunas cargas uniformes del piso, encontradas arriba de la abertura y debajo de la cima del triángulo. En la **figura 58** la distancia **D** es mayor que  $L/2$ , de modo que la carga del piso pueda ser ignorada. Si se encuentran funcionamientos arqueados como los descritos arriba, las cargas externas del triángulo pueden ser abandonadas.

Las consideraciones deben también ser dadas para cargas concentradas desde vigas, vigas maestras o puentes, cualquier estructura dentro de la pared arriba de la abertura. Estas cargas son distribuidas sobre una longitud de la pared igual a la base del trapecio, cuya cima es el punto de aplicación de la carga y cuyos lados forman un ángulo de **60 grados** con respecto a la horizontal. En la **figura 58**, la parte de la carga concentrada llevada por el dintel es distribuida sobre la longitud **EC** y es considerada como una carga uniforme parcialmente distribuida. La suma de todas las cargas es usada para calcular las medidas del dintel requerido para el espacio de la abertura.

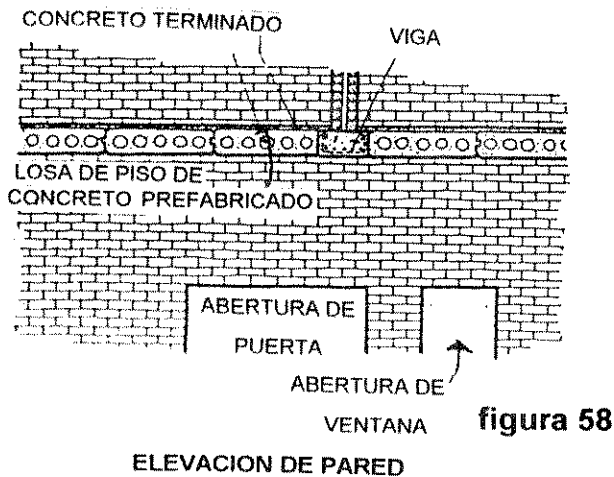
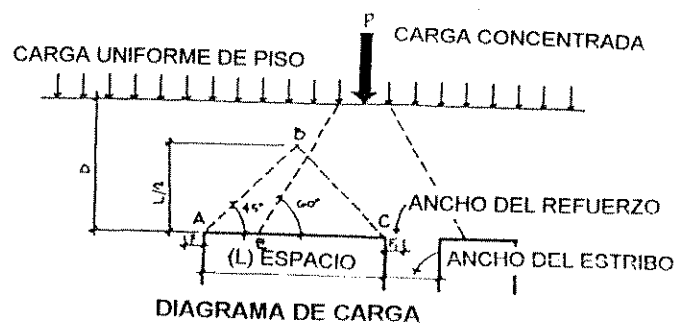


figura 58





## CAPITULO 4

### EJEMPLOS DE ANALISIS Y DISEÑO DE ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO

**PROBLEMA 1 :** Usando las ecuaciones proporcionadas en el capítulo de " DISEÑO ESTRUCTURAL DE ARCOS DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO ", diseñar un Arco Parabólico de Mampostería de Ladrillo figura 59, que satisfaga los siguientes requerimientos :

a) El arco está formado con los apoyos de carga, tanto los apoyos como la parte del arco que cerrara la abertura son de ladrillo.

b) Peso de la pared : 80 lbs / pie <sup>2</sup>

c) Las dimensiones del arco son :

Espacio : 20 pies

Elevación : 12 pies

Espesor : 16 pulgadas

Ancho : 12 pulgadas

Altura total de la pared : 8 pies

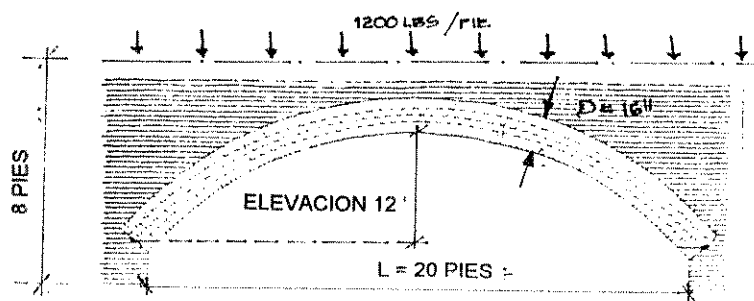


figura 59

d) La carga uniforme de piso que se apoya sobre la pared arriba del arco es de : 1200 lbs / pie

e) El arco es de ladrillo sólido

f) El esfuerzo de compresión admisible en el arco es de : 300 lbs / pulg <sup>2</sup> (PSI)

#### SOLUCION AL PROBLEMA 1 :

- 1)  $f / L = 12 / 20 = 0.6 > 0.15$  Arco Mayor
- 2)  $S = 20$  pies  $> 6$  pies Arco Mayor
- 3) Sección Constante
- 4) Alta Elevación
- 5) Simétrico
- 6) Arco parabólico no articulado

Por lo tanto las ecuaciones dadas en el capítulo de Diseño de Arcos Mayores son aplicables. Cada condición de carga diferente puede ser analizada independientemente. Cargas similares, por ejemplo, todas las cargas uniformes, pueden ser totalizadas y tratadas como una sola carga.

Momentos, cortantes y resultantes de empuje por cada condición de carga son combinados a dar valores totales.

Para arcos simétricos, cargados simétricamente, solamente medio arco se necesita para ser analizado.

Las cargas transportadas por el arco son :

### **CARGAS UNIFORMES**

$$\text{Peso la Pared} = 80 \text{ lbs / pie}^2$$

$$\text{Altura de Diseño} = L^2 / 100 \text{ (observar cargas para arcos mayores)}$$

$$\text{Carga Muerta uniforme de la pared} = 80 (20^2 / 100) = 320 \text{ lbs/pie}$$

$$\text{Carga viva} + \text{Carga muerta del techo} = 1200 \text{ lbs/pie}$$

$$\text{Carga Muerta del arco por exceso del peso de la pared (aproximada)} = \underline{260 \text{ lbs/pie}}$$

$$\text{Carga Uniforme Total} = \text{CUT} = 1,780 \text{ lbs/pie}$$

$$\text{Carga Concentrada Total Considerada} (1780)(20) = 35,500 \text{ lbs}$$

$$W = (L)(\text{CUT}) \Rightarrow \text{área del rectángulo}$$

### **CARGA PARABOLICA COMPLEMENTARIA**

Ordenada Máxima ( Observar cargas de arcos mayores )

$$P = f(\text{peso de la pared}) = (12)(80) = 960 \text{ lbs/pie}$$

Ordenada Mínima ( Observar cargas de arcos mayores )

$$= \underline{0 \text{ lbs/pie}}$$

Carga Parabólica Complementaria Total = CPCT

$$= 960 \text{ lbs/pie}$$

Carga Concentrada Parabólica Complementaria Total =  $(20)960 / 3 = 6,400 \text{ lbs}$

$$W = (L)(\text{CPCT}) / 3 \Rightarrow \text{área de la parábola}$$

Los números antes de los siguientes párrafos se refieren al perfil de las secuencias recomendadas para el Diseño de Arcos Mayores de Alta Elevación

1. Dimensiones principales del arco :

L = Espacio : 20 pies

f = Elevación : 12 pies

d = Espesor : 16 pulgadas

t = Ancho : 12 pulgadas

Altura total de la pared : 8 pies

$$\text{PROPORCION} = f/L = 12/20 = 0.6$$



2. De la TABLA 1 se escoge el valor de  $\kappa$  para el valor de la proporción obtenida en el párrafo 1

$$\kappa = 2.80$$

**3a. CARGA PARABOLICA**

De la TABLA 3 se interpola para obtener los valores de S y T de acuerdo al valor de  $\kappa$  obtenido en el párrafo 2 para carga parabólica

**VALORES DE CONSTANTES DE CARGA  
DE S y T**

VALORES DE $\kappa$ PARA ARCOS		CARGA PARABÓLICA COMPLEMENTARIA SOBRE TODO EL ESPACIO		S = (0.6095-0.01524) = 0.59426 T = (0.4429-0.0143) = 0.4286	
3.00	S	0.6095	(3 - 2)	= 1	(3-2.8) = 0.2
	T	0.4429	S = (0.6095-0.5333) = 0.0762	0.2(0.0762)	= 0.01524
2.00	S	0.5333	T = (0.4429-0.3714) = 0.0715	0.2(0.0715)	= 0.0143
	T	0.3714			

De la TABLA 4 se interpola para obtener los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$  de acuerdo al valor de  $\kappa$  obtenido en el párrafo 2

**PARAMETROS DE ARCOS  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$**

VALORES DE $\kappa$ PARA ARCOS	$\alpha$	$\beta$	$\mu$	$\delta$
3.000	7.2	2.8	8.229	2.971
-2.000	-5.6	-2.4	-7.314	-2.286
1.000	1.6	0.4	0.914	0.685
0.2	-0.32	-0.08	-0.1828	-0.137
valores inter.	6.88	2.72	8.0462	2.834

Con los valores obtenidos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$  se determinan las constantes a través de las ecuaciones siguientes :

$$J = 1 + \delta / \mu = 1 + 2.834 / 8.0462 = 1.3522$$

$$\theta = 2(\alpha + \beta) = 2(6.88 + 2.72) = 19.20$$

$$F = \theta - \mu J^2 = 19.20 - 8.0462(1.3522)^2 = 4.4884$$

$$k = S\theta / \mu = 0.5943(19.20) / 8.0462 = 1.4182$$

**3b. CARGA UNIFORME VERTICAL**

De la TABLA 3 se interpola para obtener los valores de  $S$  y  $T$  de acuerdo al valor de  $\kappa$  obtenido en el párrafo 2 para carga uniforme vertical

**VALORES DE CONSTANTES DE CARGA  
DE  $S$  y  $T$**

VALORES DE $\kappa$ PARA ARCOS	CARGA UNIFORME VERTICAL SOBRE TODO EL ESPACIO	$S = (1.0290 - 0.02294) = 1.0061$ $T = (0.7000 - 0.0200) = 0.6800$
3.00	S	1.0290 (3 - 2) = 1 (3 - 2.8) = 0.2
	T	0.7000 $S = (1.0290 - 0.9143) = 0.1147$ $0.2(0.1147) = 0.02294$
2.00	S	0.9143 $T = (0.7000 - 0.6000) = 0.1000$ $0.2(0.1000) = 0.0200$
	T	0.6000

De la TABLA 4 se interpola para obtener los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$  de acuerdo al valor de  $\kappa$  obtenido en el parrafo 2

**PARAMETROS DE ARCOS  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$**

VALORES DE $\kappa$ PARA ARCOS	$\alpha$	$\beta$	$\mu$	$\delta$
3.000	7.2	2.8	8.229	2.971
-2.000	-5.6	-2.4	-7.314	-2.286
1.000	1.6	0.4	0.914	0.685
0.2	-0.32	-0.08	-0.1828	-0.137
valores inter.	6.88	2.72	8.0462	2.834

Con los valores obtenidos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\delta$  se determinan las constantes a través de las ecuaciones siguientes :

$$J = 1 + \delta / \mu = 1 + 2.834 / 8.0462 = 1.3522 = \text{en carga parabólica}$$

$$\theta = 2(\alpha + \beta) = 2(6.88 + 2.72) = 19.20 = \text{en carga parabólica}$$

$$F = \theta - \mu J^2 = 19.20 - 8.0462(1.3522)^2 = 4.4884 = \text{en carga parabólica}$$

$$k = S_0 / \mu = 1.0061(19.20) / 8.0462 = 2.4008$$

4. La sustitución necesaria puede ser ahora hecha para evaluar el diseño de momentos y fuerzas. En este problema, momentos, cortantes y empujes axiales son determinados con incrementos de  $0.1L$  ( a cada dos pies del espacio). La tabulación de los cálculos son sugeridos para una fácil evaluación de las ecuaciones  $M_x$ ,  $N_x$  y  $Q_x$  dadas en el diseño de arcos mayores, los resultados de tales cálculos son mostrados en la tabla siguiente :

**VALORES DE  $M_x$ ,  $N_x$ ,  $Q_x$  con INCREMENTOS DE  $X = 0.1 L$**

x (pies)	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
CARGA PARABOLICA COMPLEMENTARIA VERTICAL						
$M_x$	-1528.3	534.9	706.0	60.2	-634.5	-917.3
$N_x$	3190.7	1737.5	919.0	586.0	566.2	615.8
$Q_x$	-662.2	210.9	-111.4	-278.7	-243.3	0.0
CARGA UNIFORME VERTICAL						
$N_x$	19,300	16,100	13,000	10,300	8,200	7,430

Los esfuerzos en el arco pueden ser determinados con las ecuaciones siguientes:

$$f_m = N_x / td \pm 6 M_x / td^2$$

$$V_m = Q_x / td$$

En las ecuaciones anteriores,  $f_m$  denota la fibra máxima y mínima del esfuerzo de compresión y  $V_m$  denota el esfuerzo cortante. Todas las cantidades en las ecuaciones deben estar en unidades de libras y pulgadas. La tabla siguiente muestra los esfuerzos en el arco :

#### ESFUERZOS EN EL ARCO CON INCREMENTOS DE $x = 0.1L$

x ( ft )	0.00	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
Max						
$f_m$	+152.8	+105.5	+89.0	+57.9	+60.5	+63.3
Min						
$f_m$	+81.2	+80.5	+56.0	+55.1	+30.9	+20.3
$V_m$	+3.45	+1.10	-0.58	-1.45	-1.27	0.00

Para los valores de  $f_m$ , el signo más indica compresión y el signo menos indica tensión. Estos signos solamente tienen significado de dirección para los valores del esfuerzo cortante  $V_m$ . No deben permitirse esfuerzos de tensión en arcos de mampostería sin refuerzo bajo condiciones de carga estática.

#### INTERPRETACION DE RESULTADOS

La tabla anterior indica que los esfuerzos de compresión están en todas las instancias, menores al admisible de 300 psi. No existen esfuerzos de tensión. El esfuerzo de cortante es insignificante. El arco es adecuado. Los momentos y cortantes son causados por otras cargas uniformes. Para este arco y tal vez para muchos arcos, la carga predominante es uniformemente distribuida. Como las resultantes de momentos y cortes son relativamente pequeños, el arco está predominantemente en compresión.

**PROBLEMA 2 :** Diseñar un arco que satisfaga los requerimientos de la figura 60,

a) El arco es semicircular

b) Las dimensiones del arco son :

Espacio : 10 pies

Espesor : 12 pulgadas  
( espesor real =  $11 \frac{1}{2}$  )

Ancho : 8 pulgadas  
( ancho real =  $7 \frac{1}{2}$  )

c) El eje horizontal está  
arriba de la base a = 6 pies

d) Hay una reacción de una viga, la cual está localizada en el eje simétrico del espacio con una carga de = 5000 lbs

e) La carga muerta uniforme es de = 1000 lbs / pie  
La carga viva uniforme es de = 500 lbs / pie  
estas cargas están ubicadas  
arriba de la base a 14 pies

f) Peso de la pared de mampostería de ladrillo : 10 lbs / pie<sup>2</sup> por 1 pulg. de espesor

g) El esfuerzo de compresión admisible en el arco es de : 400 lbs / pulg<sup>2</sup> (PSI)

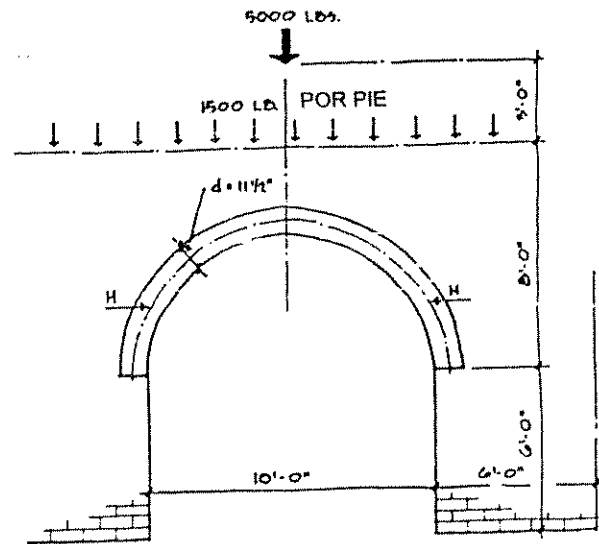


figura 60

**SOLUCION AL PROBLEMA 2 :**

- 1)  $f / L = 5 / 10 = 0.5 > 0.15$  Arco Mayor
- 2)  $S = 10$  pies  $> 6$  pies Arco Mayor
- 3) Sección Constante
- 4) Alta Elevación
- 5) Simétrico
- 6) Arco circular no articulado

Por lo tanto las ecuaciones dadas en el capítulo de Diseño de Arcos Mayores son aplicables. Cada condición de carga diferente puede ser analizada independientemente. Cargas similares, por ejemplo, todas las cargas uniformes, pueden ser totalizadas y tratadas como una sola carga.

Momentos, cortantes y resultantes de empuje por cada condición de carga son combinados a dar valores totales.

Para arcos simétricos, cargados simétricamente, solamente medio arco necesita ser anilizado.

Las cargas transportadas por el arco son :

### CARGA UNIFORME

Espacio = 10 pies

Espesor de la Pared = 12 pulg. = 1 pie

Ancho de la Pared = 7.5 pulgadas

Peso la Pared = 10 lbs / pie<sup>2</sup> por 1 pulg. de espesor

Para la altura de diseño observar el párrafo 4 de carga uniforme de arcos circulares

La línea 2 está ubicada a una altura de  $(0.5L+0.25L+ d) = d + 0.75L = 8.5$  pies y la altura de la pared es de 8 pies  $\Rightarrow 8 < 8.5$

Altura de Diseño =  $L / 4$

Carga Muerta de la pared =  $0.25(10)(10)(7.5) \cong 188$  lbs/pie

Carga del Arco =  $(S=1)(\text{Peso pared}=10)(7.5) = 75$  lbs/pie

Carga Muerta del piso = 1000 lbs/pie

Carga Viva en el piso = 500 lbs/pie

Carga Uniforme Total = (viva + muerta) =  $W_{cvm} \cong 1,763$  lbs/pie

Carga Uniforme Muerta =  $(1763-500) = W_{cm} \cong 1,263$  lbs/pie

CARGA CONCENTRADA =  $P_{cc} = 5,000$  lbs

Los cálculos siguientes estarán hechos con las dimensiones reales y con 1 pulgada de grosor de la pared;

$t = 7.5$  pulgadas

$f_m = 400$  PSI

$d = 11.5$  pulgadas

$L = 10$  pies

$h_w = 8$  pies altura de ubicación de la carga uniforme a partir del eje horizontal

$h_p = 11$  pies altura de ubicación de la carga concentrada a partir del eje horizontal



**CARGA UNIFORME** : Chequeando la ubicación de la carga uniforme

$$\text{Ubicación } hw = 8 \text{ pies} \Rightarrow hw / L = 8/10 = 0.8 L$$

Observar párrafo 1 carga uniforme de arcos circulares, la carga uniforme se encuentra en el rango establecido por las líneas 1 y 3 ( $0.70 L < 0.8 L < 0.9 L$ ), por lo tanto se obtienen los **esfuerzos admisibles** proporcionados por la **tabla 6** de acuerdo a los valores de  $f_m = 400 \text{ PSI}$ ,  $d = 11.5 \text{ pulgadas}$  y  $L = 10 \text{ pies}$ .

**ESFUERZOS ADMISIBLES**

$$W_{ADM} = 724 \text{ lbs/pie}$$

$$H_{ADM} = 2993 \text{ lbs}$$

**ESFUERZOS REALES** (en una pulgada de grosor)

$$W_r = W_{cvm} / t = 1763 / 7.5 \cong 235 \text{ lbs/pie} < 724 \text{ lbs/pie} \Rightarrow \text{esta bien}$$

De párrafo 5 de carga uniforme de arcos circulares

$$H / W \Rightarrow (H_{ADM} / W_{ADM}) = (H_r / W_r) \Rightarrow H_r = (H_{ADM} W_r / W_{ADM})$$

$$H_r = (2993)(235) / (724) \cong 972 \text{ lbs} < 2993 \text{ lbs} \Rightarrow \text{esta bien}$$

**CARGA CONCENTRADA** : Chequeando la ubicación de la carga concentrada

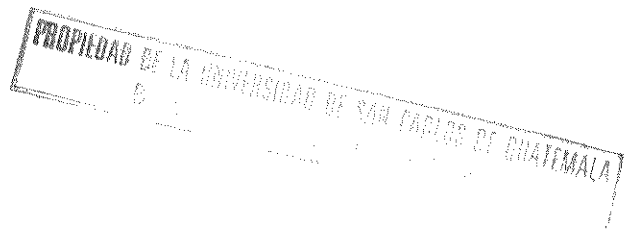
$$\text{Ubicación } h_p = (8+3) = 11 \text{ pies} \Rightarrow h_p / L = 11/10 = 1.1 L$$

Observar párrafo 1, carga concentrada de arcos circulares, la carga concentrada se encuentra en el rango establecido por las líneas 2 y 3 ( $0.75 L < 1.1 L < 1.2 L$ ), por lo tanto se obtienen las **cargas concentradas** proporcionadas por la **tabla 9**, de acuerdo a los valores de  $f_m = 400 \text{ PSI}$ ,  $d = 11.5 \text{ pulgadas}$  y  $L = 10 \text{ pies}$

**CARGAS ADMISIBLES**

$$P_{ADM} = 88 \text{ lbs}$$

$$H_{ADM} = 84 \text{ lbs}$$



**CARGAS REALES (en una pulgada de grosor)**

$$P_r = P_{cc}/t = 5000/7.5 \cong 667 \text{ lbs} > 88 \text{ lbs} \Rightarrow \text{NO esta bien}$$

Del párrafo 6 de carga concentrada de arcos circulares

$$H/P \Rightarrow (H_{ADM}/P_{ADM}) = (H_r/P_r) \Rightarrow H_r = (H_{ADM} P_r / P_{ADM})$$

$$H_r = (84)(667)/(88) \cong 637 \text{ lbs} > 84 \text{ lbs} \Rightarrow \text{NO esta bien}$$

**CARGA COMBINADA :**

De acuerdo a que la carga es combinada, puede ser tomada una ventaja en el incremento de la capacidad debido a esta condición.

Por lo tanto, observando carga combinada de arcos circulares

$$P^* = H_{CM} d / (1.34 L) \text{ carga concentrada adicional}$$

$H_{CM}$  = Empuje horizontal, causado por la carga muerta

$$H_r = 972 \text{ lbs (de carga uniforme total)}$$

$$W_{cvm} = 1763 \text{ lbs/pie } W_{cm} = 1263 \text{ lbs/pie} \Rightarrow \%_{cm} 1263/1763 \cong 0.72$$

$$H_{CM} = 0.72(972) \cong 700 \text{ lbs}$$

$$P^* = 700(11.5) / [(1.34)(10)] \cong 601 \text{ lbs}$$

$$P_{ADM} = (88 + 601) = 689 \text{ lbs} > 667 \text{ lbs} \Rightarrow \text{esta bien para carga concentrada}$$

Para carga combinada se obtienen las cargas máximas concentradas proporcionadas por la tabla 11, de acuerdo a los valores de  $f_m = 400 \text{ PSI}$ ,  $L = 10 \text{ pies}$  y  $d = 11.5 \text{ pulgadas}$

$$P' = 1060 \text{ lbs} > 667 \text{ lbs} \Rightarrow \text{esta bien para carga combinada}$$

**EMPUJE HORIZONTAL TOTAL**

$$H_{TOT} = H_r \text{ (carga uniforme)} + H_r \text{ (carga concentrada)} = (972 + 637) = 1609 \text{ lbs} < 2993 \text{ lbs}$$

para carga combinada  $\Rightarrow$  esta bien

En este punto, el corte en la pared causado por el empuje horizontal con la línea de resistencia, debe ser chequeado. Asumir que  $V_m = 40 \text{ PSI}$  (observar desarrollo de tablas),  $n = 2$  y  $H$  (en todo el ancho).

(observar resistencia al empuje)

$$x = H / (V_m n t) = 1609 (7.5) / [(40)(2)(7.5)] = 20.11 \text{ pulg.} < 72 \text{ pulg. (6 pies)}$$

El momento de volteo del soporte, debido al empuje horizontal, debe ser chequeado después. En este ejemplo, el momento de volteo del soporte debido al empuje horizontal es :

$$M = (1609)(7.5)(8.5) \cong 102,574 \text{ pie - libra}$$

La resistencia de volteo es una función de la carga total axial, de la forma de la pared y la armadura de cualquiera de éstas. Este es un análisis independiente que debe ser realizado después de considerar la condición de carga total sobre la estructura entera.

### **CONCLUSION DEL EJEMPLO**

Este ha presentado un simplificado, pero conservador, acercamiento a un problema complejo de diseño estructural. Mas condiciones de cargas encontradas serán similares a aquellas en las figuras 55 y 56. Un arco con carga descentrada anula su uso como una estructura natural de transporte de carga e induce esfuerzos de flexión que pueden causar el fracaso.

Si los arcos son cargados asimétricamente o no cumplen con las consideraciones de las suposiciones y limitaciones dadas deberá proporcionarse armadura a la mampostería de ladrillo.

Si existen otras condiciones que aquellas cubiertas por las tablas, un análisis especial deberá ser hecho por el diseñador.

## **CONCLUSIONES**

Arco es una estructura que cierra superiormente una abertura o vano, de manera que sus elementos atraviesan la abertura por transferencia de carga vertical lateralmente a elementos adyacentes.

No deben permitirse esfuerzos de tensión en los arcos de mampostería sin refuerzo.

Generalmente los arcos planos, segmentados y multicentrados son utilizados para arcos menores y el arco parabólico para arcos mayores.

Desde el punto de vista estructural, el arco parabólico es el más eficiente para muchos tipos de construcción, particularmente para miembros arqueados, generalmente soportando cargas uniformemente distribuidas.

En general, la teoría de la línea de empuje, es más aplicable a los arcos de mampostería simétricos, cargados uniformemente en todo el espacio o sometidos a cargas concentradas puestas simétricamente.

Para arcos sometidos a cargas no simétricas, las cuales pueden producir esfuerzos de tensión en el arco, la teoría elástica provee un método de análisis más exacto que la teoría de la línea de empuje

## **RECOMENDACIONES**

Los materiales con los que se construya un arco deberán ser los disponibles en el lugar, siempre que sean los adecuados.

No copiar el diseño y construcción de un arco de mampostería que haya tenido éxito en algún edificio con condiciones diferentes al lugar donde se proyecta la obra; cada diseño debe estar basado en las condiciones propias del edificio, aunque los criterios utilizados en lugares con condiciones similares pueden servir de orientación.

Es importante tomar en cuenta que el estudio de los elementos que constituyen el arco se consideran necesarios para que la estructura tenga éxito.

Es recomendable contar con suficiente información de ensayos de laboratorio, ya que de lo contrario el arco podrá colapsar.

Es de importancia darle a los detalles constructivos como, soportes, juntas y otros, una supervisión amplia y cuidadosa, ya que en nuestro medio se descuida un tanto la supervisión de campo y en ésta se basa el éxito del diseño, en especial, la cimbra del arco, ya que ésta le proporcionará su forma.

7. Carlos Fernández Casado.  
**CALCULO DE ARCOS**  
Editorial DOSSAT, s.a. MADRID JUNIO DE 1955
  
8. Carlos Lorente de No  
**SINTESIS DE LOS METODOS DE LA ELASTICIDAD LA PIEZA ELASTICA**  
AGUILAR, S.A. DE EDICIONES - MADRID 1952
  
9. M. Velasco de Pando  
**ARCOS , BOVEDAS, PLACAS.**  
Editorial DOSSAT, s.a. MADRID 1943
  
10. José Zurita Ruíz  
**DICCIONARIO DE LA CONSTRUCCION**  
EDICIONES CEAC, Barcelona ESPAÑA  
ONCEAVA EDICION. 1993
  
11. Francisco Moreno García  
**ARCOS Y BOVEDAS**  
EDICIONES CEAC, Barcelona ESPAÑA  
24a. Edición: febrero de 1994
  
12. Valerian Leontovich  
**ESTRUCTURAS Y ARCOS**  
EDITORIAL McGraw Hill  
edicion 1959

## **BIBLIOGRAFIA**

1. James E. Amrhein, James J. Kesler  
**MASONRY DESIGN MANUAL .**  
Mc Graw Hill, Inc.  
University of Vermont, U.S.A., 1988
  
2. Christine Beal, Aia.  
**MASONRY DESIGN AND DETAILING FOR  
ARCHITECTURE, INGENIERIE AND CONSTRUCTION**  
Corporation Inc. Copyright c. 1995  
NEW YORK, U.S.A., 1995
  
3. Agrupación editorial  
**EL PEQUEÑO LAROUSSE EN COLOR 1996**  
POR EDICIONES LAROUSSE , S.A. DE C.V.  
MARSELLA No 53, MEXICO 06600, D.F. , MEXICO1995
  
4. Arturo Cuyas  
**NUEVO DICCIONARIO CUYAS**  
Inglés- Español y Español- Inglés.  
Quinta edición revisada editorial de CATHERINE B, AVERY  
Englewood Cliffs, New Jersey 1972
  
5. McGRAW- HILL javier L. Collazo  
**ENCICLOPEDIA DICCIONARIO OF TECNICAL TERMS**  
English- Spanish  
Spanish- English  
VOLUMES 1, 2 y 3. FOURTEENTH PRINTING 1994
  
6. V.A. KIISELIOV  
**MECANICA DE CONSTRUCCION TOMO I**  
Editorial Mir Moscú. Tercera edición 1982.