

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



MODELADO Y DISEÑO DE UN ARCO
PARABOLICO DE 45m DE LUZ MEDIANTE EL
METODO DE ELEMENTOS FINITOS

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

JUAN ISMAEL TUMIALAN LADERA

PROMOCION 95-I

LIMA-PERU

1999

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE APROBACION	
TITULO	II
DEDICATORIA	III
TABLA DE CONTENIDOS	IV
PROLOGO	
CAPITULO 1: INTRODUCCION	
1.1 .- Objetivo	3
1.2 .- Justificación	3
1.3 .- Antecedentes	4
1.4 .- Alcances	4
CAPITULO 2: FUNDAMENTO TEORICO	
2.1 .- Concepto general de sistema discreto	5
2.2 .- Análisis de una estructura	8
2.3 .- Tensiones y deformaciones en el plano	12
2.3.1 .- Características de los elementos	12
2.4 .- Estructuras hiperestáticas	14
2.5 .- Coeficientes de flexibilidad y rigidez	15
2.5.1 .- Coeficientes de flexibilidad	15
2.5.2 .- Coeficientes de rigidez	16
CAPITULO 3: GENERALIDADES DEL ARCO PARABOLICO Y DEL SOFTWARE SAP-90	
3.1 .- Clasificación de arcos	17
3.2 .- Geometría del arco	18
3.3 .- Estados de carga	20

3.3.1	.- Primer estado montaje de la estructura metálica	20
3.3.2	.- Segundo estado montaje de cobertura	20
3.3.3	.- Tercer estado producto de cargas permanentes	20
3.4	.- Análisis estructural del arco	21
3.4.1	.- Arco con carga uniforme	21
3.4.2	.- Carga simétrica apartir del centro	22
3.4.2.1	.- Momento máximo	22
3.4.2.2	.- Fuerza cortante máxima	23
3.4.3	.- Carga simétrica apartir de los apoyos	23
3.4.3.1	.- Momento máximo	24
3.4.3.2	.- Fuerza cortante máxima	24
3.4.4	.- Carga por viento	24
3.4.5	.- Cargas por cambios de temperatura	26
3.4.6	.- Cargas producidas por desplazamiento de apoyos	27
3.5	.- Secuencia lógica del software sap-90	27

CAPITULO 4: MODELADO Y DISEÑO DEL ARCO

4.1	.- Calculo por métodos tradicionales	33
4.1.1	.- Conceptos previos	33
4.1.2	.- Característica del arco	33
4.1.2.1	.- Materiales	34
4.1.2.2	.- Geometría que adopta el arco	34
4.1.3	.- Cargas que se debe considerar en el arco	34
4.1.4	- Fuerzas máximas	36
4.1.5	.- Fuerzas máximas en el estado 1	37
4.1.6	- Fuerzas máximas en el estado 2	38
4.1.7	.- Fuerzas máximas en el estado 3	39
4.1.8	.- Resultados del análisis estructural	41
4.2	.- Análisis estructural del arco mediante el software sap-90	42

4.2.1	.- Características del arco	42
4.2.2	.- Modelado del arco	42
4.2.3	.- Resultado del análisis	57
4.2.4	.- Resumen de fuerzas máximas y mínimas para cada combinación de carga	72
4.2.5	.- Comparación de resultados	73
4.2.6	.- Diseño de elementos del arco	74
4.2.6.1	.- Brida superior del arco	74
4.2.6.2	.- Brida inferior del arco	76
4.2.6.3	.- Diagonales	76
4.2.6.4	.- Enlaces	76
4.2.7	.- Diseño de los pernos de anclaje	77

CAPITULO 5: ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS AL ARCO

5.1	.- Viguetas	80
5.1.1	.- Clasificación de viguetas	80
5.1.2	.- Modelado y diseño de viguetas típicas	80
5.1.3	.- Viguetas de compresión	89
5.2	.- Arriostres de vigueta	89
5.3	.- Arriostres de arco	90
5.4	.- Cobertura de techo	90

CAPITULO 6: COSTOS DE FABRICACION Y MONTAJE

6.1	.- Costos de materiales	92
6.1.1	.- Especificaciones técnicas de los materiales	92
6.1.2	.- Especificaciones técnicas de soldadura	92
6.1.3	.- Elementos de toda la estructura según planos	93
6.2	.- Costos de fabricación	96
6.2.1	.- Memoria descriptiva	96

6.2.2 .- Costos	97
6.2.3 .- Cronograma de fabricación	98
6.3 .- Costos de montaje	99
6.3.1 .- Especificaciones técnicas de montaje	99
6.3.2 .- Memoria descriptiva	100
6.3.3 .- Costos	100
6.3.4 .- Cronograma de montaje	102
6.4 .- Costo total	103
CONCLUSIONES	104
BIBLIOGRAFIA	106
PLANOS	

PROLOGO

El contenido de esta tesis ofrece una aplicación del Método de Elementos Finitos al campo de las estructuras metálicas. Las razones por las que decidí elegir como tema de tesis, el modelado y diseño de un arco parabólico mediante dicho método, radica en la búsqueda de una solución óptima, y a la vez, mostrar las ventajas que brindan los programas de análisis estructural.

Seguidamente indicamos el temario de cada capítulo.

-En esencia el primer capítulo hace referencia al objetivo de este trabajo, por otro lado indica la justificación, antecedentes y alcances que han dado origen al desarrollo de la presente tesis.

-El capítulo 2 trata esencialmente del fundamento teórico, en este analizamos un sistema discreto y continuo, la energía de deformación y los conceptos fundamentales como son el coeficiente de flexibilidad y rigidez.

-El capítulo 3 muestra en forma generalizada las formulaciones que nos llevan al análisis de la estructura, también se indica los tipos de arco, su geometría y los estados de carga, por otro lado presentamos al software SAP90 que será nuestra herramienta para modelar la estructura.

-El capítulo 4 trata exclusivamente del modelado y diseño del arco, y se divide en dos partes. Primeramente se realiza un método de cálculo muy usual en nuestro medio, la segunda parte se ocupa del modelado y diseño con el software SAP90 que se fundamenta en el MEF.

-El capítulo 5 menciona a los elementos complementarios del arco, entre ellos tenemos las viguetas que también es modelada con el software, los arriostres de vigueta, arriostres de arco y cobertura los más usuales del mercado.

-El capítulo 6 trata de los costos de materiales, fabricación y montaje, también mencionamos las especificaciones técnicas de los materiales, la memoria descriptiva del proceso de fabricación y montaje con sus respectivos cronogramas de trabajo.

AGRADECIMIENTO

A los amigos que nos rodean en este campo de la ingeniería a través de las discusiones y sugerencias que han hecho posible el desarrollo del presente.

Agradesco al Ing. Santiago Paredes por su amabilidad y paciencia en el asesoramiento de este trabajo, de igual manera al Dr. Willans, Frank profesor en la maestría Ingeniería aeronáutica UNI, por permitirme conocer más la aplicación de la teoría del MEF en estructuras.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1.- Objetivo

Este trabajo tiene por objetivo aplicar los conceptos del método de elementos finitos en el diseño de una estructura metálica, en este caso se trata de un arco parabólico con una luz de 45mt.

Como sabemos, generalmente un sistema estructural es complicado, aun más cuando se trata de una estructura hiperestática, como es el caso del arco que se va analizar en este trabajo, por tanto nos hemos visto obligados a realizar el análisis estructural utilizando un software de los tantos que hay en el mercado, en este caso el SAP-90 será la herramienta. Entonces el propósito de este trabajo también radica en presentar las bondades que brinda el software sabiendo que este programa se fundamenta en el método de elementos finitos.

1.2.- Justificación

Es preciso dar a conocer una idea de lo óptimo que se busca en todo trabajo, este criterio que inicialmente fue intuitivo o cualitativo va empezando a tener en Ingeniería un significado más preciso por las siguientes ventajas:

- Costo mínimo
- Peso mínimo
- tiempo de construcción mínimo
- trabajo mínimo

-Eficiencia

En este trabajo el criterio de costo mínimo será el más usado solo o combinado con otros.

1.3.- Antecedentes

Muchos autores dicen que en tiempos pasados el diseño estructural era mas arte que ciencia, pero el desarrollo de los conocimientos ha sido tan significativo en estos últimos tiempos y es mas el factor económico es determinante, de allí que se ha ideado en una estructura parabólica por ser estructuralmente resistente por su forma y además muy liviana con capacidad de cubrir grandes luces.

En naves industriales tenemos muchas opciones como son:

Estructuras a dos aguas (diversas formas), estructuras voladizas, estructuras a un agua, etc. Pero los más económicos son los arcos, entonces elegimos esta opción luego para ser calculada utilizando el software que nos llevara a un análisis estructural más real.

1.4.- Alcances

El diseño de este arco considera varias combinaciones de carga, para tal se tomará en cuenta todos las posibles casos que pueden ocurrir durante el montaje y su permanencia cuando el arco esta concluida.

Es claro, este diseño tiene sus limitaciones, como por ejemplo estamos considerando que la velocidad del viento max. en Lima es de 45 km/h (dato estadístico proporcionado por estudios anteriores), ahora si la velocidad del viento supera a este valor podría fallar nuestro cálculo.

CAPITULO 2

FUNDAMENTO TEORICO

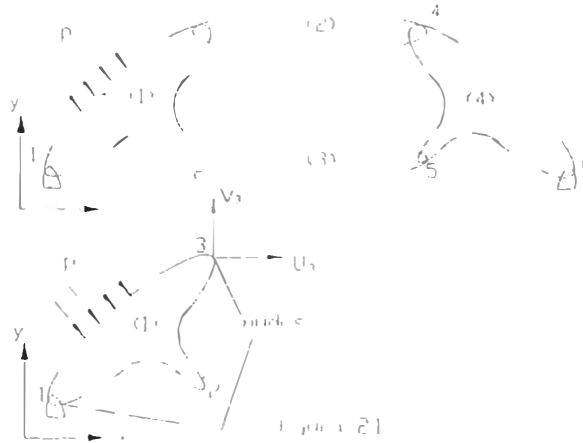
2.1.- Concepto general de sistema discreto

Para presentar al lector el concepto general de sistema discreto, consideraremos en primer lugar un ejemplo mecánico estructural del tipo de elasticidad lineal. Sea la Figura 2.1 una estructura plana formada por distintos elementos enlazados entre sí en los nudos, numerados del 1 al n. Los enlaces en los nudos son, en este caso, articulaciones de manera que no transmiten momentos.

Para empezar se supondrá que mediante cálculos efectuados aparte, o mediante resultados experimentales, conocemos exactamente las propiedades de cada elemento. Así pues, si examinamos un miembro representativo como el (1) asociado a los nudos 1, 2 y 3, las fuerzas que actúan en los nudos están unívocamente definidas por los desplazamientos de tales nudos, la carga distribuida "p" (ver fig. 2.1) que actúa sobre el elemento, y su deformación inicial. Esta última puede ser debida a la temperatura, a la retracción, o simplemente a un desajuste inicial. Las fuerzas y los correspondientes desplazamientos se definen mediante las componentes apropiadas (U, V y u, v) en un sistema de coordenadas cartesianas.

Expresemos en forma matricial las fuerzas que actúan en todos los nudos (3 en este caso) del elemento (1), tenemos

$$q^1 = \begin{pmatrix} q_1^1 \\ q_2^1 \\ q_3^1 \end{pmatrix} \quad q_i^1 = \begin{pmatrix} U_i \\ V_i \end{pmatrix} \quad \text{etc.} \quad (2.1)$$



Y para los correspondientes desplazamientos nodales.

$$a^1 = \begin{pmatrix} a_1^1 \\ a_2^1 \\ a_3^1 \end{pmatrix} \quad a_1^1 = \begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad etc. \quad (2.2)$$

Suponiendo que el elemento presente un comportamiento elástico lineal, la relación característica será siempre de la forma

$$q^1 = K^1 a^1 + f_p^1 + f_{\epsilon_0}^1 \quad (2.3)$$

en donde f_p^1 representa las fuerzas nodales necesarias para equilibrar cualquier carga distribuida que actúa sobre el elemento y $f_{\epsilon_0}^1$ las fuerzas nodales necesarias para equilibrar cualquier deformación inicial, como la que puede ocasionar un cambio de temperatura si los nudos tienen impedido todo desplazamiento. El primer termino representa las fuerzas inducidas por los desplazamientos de los nudos.

Similarmente, mediante un análisis o experimento preliminar se pueden definir univocamente las tensiones o reacciones internas en cualquier punto o puntos especificados del elemento, en función de los desplazamientos de los nudos. Definiendo esas tensiones mediante la matriz σ^1 se obtiene una relación de la forma

$$\sigma^l = S^l a^l + \sigma_p^l + \sigma_{\epsilon_0}^l \quad (2.4)$$

Donde los dos últimos términos son simplemente las tensiones originadas por las cargas distribuidas que actúan sobre el elemento o por tensiones iniciales cuando se restringe el desplazamiento en los nudos.

La matriz K^e se conoce como matriz de rigidez del elemento y la matriz S^e como matriz de tensiones del elemento (e).

Se han ilustrado las relaciones (2.3) y (2.4) utilizando el ejemplo de un elemento de tres nudos y puntos de interconexión capaces de transmitir solo dos componentes de fuerza. Obviamente, los mismos argumentos y las mismas definiciones se pueden aplicar con carácter general. Un elemento como el (2) de una estructura hipotética tendrá solo dos puntos de interconexión; otros pueden tener un número muy superior. Análogamente si los puntos de enlace se consideran rígidos han de tenerse en cuenta tres componentes de fuerzas generalizadas y tres componentes de desplazamientos generalizados, correspondiendo el tercero de ellos a un momento y a una rotación, respectivamente. Para una estructura tridimensional rígidamente articulada, el número de componentes por nudo será seis. Así pues, en general:

$$q^e = \begin{vmatrix} q_1^e \\ q_2^e \\ \vdots \\ q_m^e \end{vmatrix} \quad y \quad a^e = \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{vmatrix} \quad (2.5)$$

Poseyendo cada q_i y a_i el mismo número de componentes o grados de libertad. Estas cantidades son conjugadas una de otra.

Las matrices de rigidez de los elementos serán, por tanto, siempre cuadradas y de la forma

$$K^e = \begin{Bmatrix} K_{ii}^e & K_{ij}^e & K_{im}^e \\ \vdots & & \\ K_{mi}^e & & K_{mm}^e \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

Donde, K_{ii}^e etc., son submatrices también cuadradas de dimensiones $l \times l$, siendo l el número de componentes de fuerza a considerar en los nudos.

2.2.- Análisis de una estructura

Consideremos de nuevo la estructura hipotética de la figura 2.1. Para obtener la solución completa se han de satisfacer en toda ella las dos condiciones de:

- a) Compatibilidad de los desplazamientos, y
- b) Equilibrio.

Todos los sistemas de desplazamientos nodales a:

$$a = \begin{Bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

Representando ahora a la totalidad de la estructura y donde participan todos los elementos de la misma, satisfacen automáticamente la primera condición.

Como las condiciones generales de equilibrio ya son satisfechas dentro de cada elemento, solo nos queda por establecer las condiciones de equilibrio en los nudos de la estructura. Las ecuaciones que resulten contendrán los desplazamientos como incógnitas y una vez calculados estos el problema quedaran completamente resuelto. Las fuerzas internas, o tensiones, que actúan dentro de cada elemento pueden hallarse fácilmente utilizando las características establecidas a priori para cada elemento por la Ec. (2.4).

Consideremos la estructura sometida a un sistema de fuerzas externas r aplicada en los nudos:

$$r = \left\{ \begin{array}{c} r_1 \\ \vdots \\ r_n \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

Además de las cargas distribuidas aplicadas a cada elemento individual como antes, cada una de las fuerzas r_i deberá tener el mismo número de componentes que las reacciones consideradas en cada elemento. En el ejemplo en cuestión.

$$r_i = \left\{ \begin{array}{c} X_i \\ Y_i \end{array} \right\} \quad (2.9)$$

Ya que se ha supuesto que las uniones son articulaciones, pero ahora, a efectos de generalizar, supongamos que el número de componentes es arbitrario. Si establecemos ahora el equilibrio en un nudo cualquiera, i , cada componente de r_i tiene que ser igual, a su vez, a la suma de las componentes de las fuerzas que aportan los elementos que se reúnen en dicho nudo. Así pues, considerando todas esas componentes

$$r_i = \sum_{e=1} q_i^e = q_i^1 + q_i^2 + \dots \quad (2.10)$$

En donde q_i^1 es la fuerza que el elemento 1 aporta al nudo i , q_i^2 la fuerza que aporta el elemento 2, etc. Claramente, solo los elementos que contengan al punto i contribuirán con fuerzas no nulas, pero para mayor claridad se han incluido todos los elementos en el sumatorio.

Al sustituir las fuerzas aportadas al nudo i por sus expresiones dadas por la definición (2.3), resulta que las variables nodales son comunes (y por ello, omitiendo el supraindice e), tendremos

$$r_i = \left(\sum_{e=1}^m K_{i1}^e \right) a_1 + \left(\sum_{e=1}^m K_{i2}^e \right) a_2 + \dots + \sum_{e=1}^m f_i^e \quad (2.11)$$

Donde

$$f^e = f_p^e + f_{eo}^e$$

Como antes, el sumatorio solo afecta a los elementos que contienen al nudo i .

Reuniendo todas esas ecuaciones obtenemos simplemente

$$K_a = r - f \quad (2.12)$$

En la cual las submatrices son

$$K_{ij} = \sum_{e=1}^m K_{ij}^e \quad f_i = \sum f_i^e \quad (2.13)$$

Con sumatorias que comprenden a todos los elementos. Esta regla tan sencilla para ensamblar los elementos es muy útil, pues tan pronto como se conozca un coeficiente para un elemento particular se puede almacenar inmediatamente en la posición adecuada del computador. Este proceso general de ensamblaje constituye la característica fundamental y común a todos los cálculos por elementos finitos y debe ser bien comprendido por el lector.

Si utilizamos diferentes tipos de elementos estructurales y estos han de acoplarse, se ha de recordar que la regla para la suma de matrices solo permite esta si las matrices son de idénticas dimensiones. Por consiguiente, las submatrices individuales que hayan de ensamblarse deben formarse con el mismo número de componentes de fuerzas o de desplazamientos. Así, por ejemplo, si un miembro capaz de transmitir momentos a un nudo tiene que unirse en ese nudo a otro miembro que este articulado, es necesario completar la matriz de rigidez de este último insertando convenientemente ceros en las posiciones correspondientes a las rotaciones y en las de los momentos.

Sistema continuo.- El proceso de aproximar el comportamiento de un continuo mediante elementos finitos que se comportan de una manera similar a los elementos reales, "discretos", en el punto 2.1, se puede introducir mediante aplicaciones físicas específicas o como un concepto matemático general. Se ha escogido aquí seguir el primer camino, limitando la perspectiva a un conjunto de problemas asociados a la mecánica estructural,

que históricamente fueron los primeros a los que se aplicó el método de los elementos finitos.

Son muchas las facetas de la ingeniería en las que se precisa determinar la distribución de tensiones y deformaciones en un continuo elástico. Los casos particulares de dichos problemas pueden variar desde problemas bidimensionales de tensión o deformación plana, sólidos de revolución y flexión de placas y láminas, hasta el análisis más general de sólidos tridimensionales. En todos los casos, el número de interconexiones entre un "elemento finito" cualquiera rodeado por fronteras imaginarias y los elementos vecinos a él es infinito. Esta dificultad puede superarse (y efectuarse la aproximación) de la siguiente manera.

El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias, en un número de "elementos finitos".

Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos, que llamaremos nodos, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal como ocurre en el análisis simple de estructuras.

Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada "elemento finito" en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento.

Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación dentro del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las deformaciones iniciales y las propiedades constitutivas del material, definirán el estado de tensiones en todo el elemento y, por consiguiente, también en sus contornos.

Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma de la ecuación (2.3).

que históricamente fueron los primeros a los que se aplicó el método de los elementos finitos.

Son muchas las facetas de la ingeniería en las que se precisa determinar la distribución de tensiones y deformaciones en un continuo elástico. Los casos particulares de dichos problemas pueden variar desde problemas bidimensionales de tensión o deformación plana, sólidos de revolución y flexión de placas y láminas, hasta el análisis más general de sólidos tridimensionales. En todos los casos, el número de interconexiones entre un "elemento finito" cualquiera rodeado por fronteras imaginarias y los elementos vecinos a él es infinito. Esta dificultad puede superarse (y efectuarse la aproximación) de la siguiente manera:

El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias, en un número de "elementos finitos".

Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos, que llamaremos nodos, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal como ocurre en el análisis simple de estructuras.

Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada "elemento finito" en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento.

Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación dentro del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las deformaciones iniciales y las propiedades constitutivas del material, definirán el estado de tensiones en todo el elemento y, por consiguiente, también en sus contornos.

Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma de la ecuación (2.3).

2.3.- Tensiones y deformaciones en el plano

El método de los elementos finitos obtuvo sus primeros éxitos en su aplicación a problemas bidimensionales.

Se recomienda al lector no familiarizado con los conceptos básicos de elasticidad se dirija a los textos elementales sobre el tema, en particular al libro de Timoshenko, cuya notación estoy utilizando en esta obra.

En ambos problemas de tensión y deformación plana, el campo de desplazamiento viene expresado unívocamente en función de los desplazamientos u y v en las direcciones de los ejes cartesianos ortogonales x e y , respectivamente.

Además, las únicas tensiones y deformaciones que se han de considerar en ambos casos son las tres componentes en el plano xy . En el caso de tensión plana, las otras tres componentes de la tensión son nulas por definición y, por consiguiente, no contribuyen al trabajo interno. En la deformación plana, la tensión en la dirección perpendicular al plano xy no es nula. Sin embargo, por definición, la deformación en dicha dirección es nula, y por tanto dicha tensión no contribuye al trabajo interno, pero si se desea puede ser evaluada explícitamente al final del cálculo a partir de las tres componentes principales de tensión.

2.3.1.- Características de los elementos

Funciones de desplazamientos

La figura 2.2 muestra el elemento triangular típico considerado, con los nudos i, j, m numerados en sentido antihorario.

Los desplazamientos de un nodo tienen dos componentes:

$$a_i = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

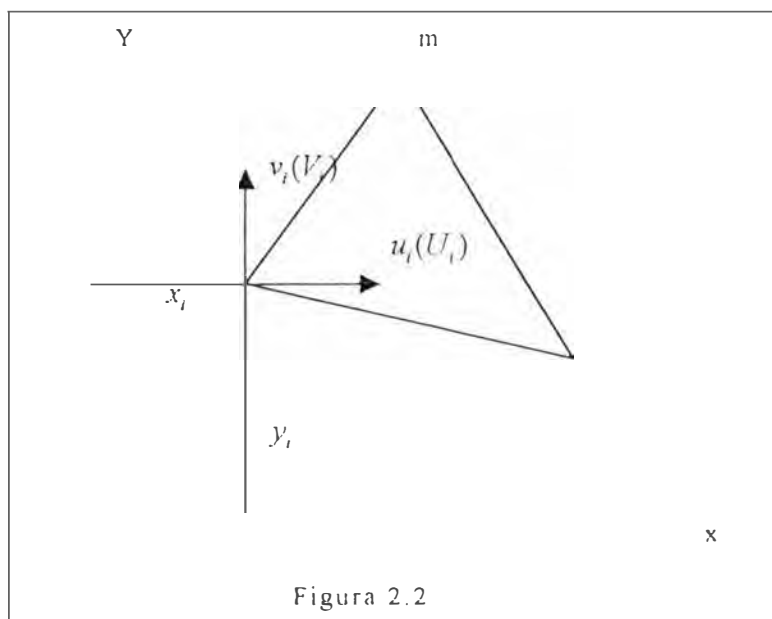
Y las seis componentes de los desplazamientos del elemento se agrupan en un vector

$$\alpha^e = \begin{Bmatrix} \alpha_i \\ \alpha_j \\ \alpha_m \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

Los desplazamientos interiores a un elemento han de quedar definidos unívocamente por esos seis valores. La representación más sencilla viene dada evidentemente por dos polinomios de primer grado

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \\ v &= \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y \end{aligned} \quad (2.16)$$

Se pueden calcular fácilmente las seis constantes α resolviendo los dos sistemas de tres ecuaciones simultáneas que se obtienen al sustituir las coordenadas de los nudos e igualar las expresiones resultantes a los desplazamientos correspondientes a los nudos.



Escribiendo, por ejemplo,

$$\begin{aligned}
 u_i &= \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i \\
 u_j &= \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j \\
 u_m &= \alpha_1 + \alpha_2 x_m + \alpha_3 y_m
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

Podemos calcular fácilmente α_1 , α_2 y α_3 en función de los desplazamientos nodales u_i , u_j y u_m para obtener fácilmente

$$u = \frac{1}{2\Delta} \left[(a_i + b_i x + c_i y) u_i + (a_j + b_j x + c_j y) u_j + (a_m + b_m x + c_m y) u_m \right] \tag{2.18}$$

para el desplazamiento vertical es similar

$$v = \frac{1}{2\Delta} \left[(a_i + b_i x + c_i y) v_i + (a_j + b_j x + c_j y) v_j + (a_m + b_m x + c_m y) v_m \right] \tag{2.19}$$

2.4 .- Estructuras hiperestáticas

Energía de deformación

La distribución interna de las cargas en una estructura se puede calcular con diversos métodos exactos y de aproximación. Así los métodos clásicos bi-dimensionales son métodos de aproximación a los cuales se refiere con la denominación: Teoría de flexión para ingenieros.

Los métodos exactos utilizan de manera explícita o implícita la noción **energía de deformación**. Ejemplo típico es el método de carga unitaria, método excelente y muy útil para resolver estructuras estáticamente indeterminadas.

La mayoría de las estructuras mecánicas son tan complicadas de diseño que las fuerzas internas solo puede calcularse con métodos de análisis hiperestático. Estimar y suponer llevan a errores grandes por no tener en cuenta alabeo prohibido, interrupciones en la estructura, fijaciones y soportes redundantes: influencias de estos casos no pueden ser definidos sin más. Un cálculo estáticamente indeterminado, solo investigando la tendencia

general de la distribución de fuerzas y tensiones internas, es la base que puede servir para demás cálculos sencillos.

2.5.- Coeficientes de flexibilidad y rigidez

El análisis de estructuras isostáticas ha sido efectuado utilizando las ecuaciones de equilibrio estático, el primer teorema de castigliano y una representación del cálculo con matrices.

El análisis de estructuras hiper-estáticas, utiliza los teoremas de castigliano, específicamente traducidos en el método de fuerzas unitarias (nos limitamos a sistemas lineales), que permiten superposición de soluciones de fuerzas

En general se adopta una de las filosofías: se utiliza por ejemplo el método de las fuerzas donde los coeficientes de influencia son flexibilidades y los estáticamente indeterminados son fuerzas sobrantes. La segunda filosofía va por el método de los desplazamientos, utilizando los coeficientes de rigidez, las variables son desplazamientos. Ambos métodos son y utilizan nociones duales.

2.5.1.- Coeficientes de flexibilidad

Los valores de desplazamientos relativos del método de fuerzas unitarias, son coeficientes de influencia y los coeficientes de influencia son flexibilidades en los puntos y direcciones de las fuerzas internas S o externas R.

La matriz de flexibilidad F de la estructura se compone de los términos F_{ij} . Estos términos se pueden calcular directamente con las fuerzas exteriores sin pasar por las fuerzas interiores.

De la ecuación

$$r = FR \quad F_{ij} = \int (\sigma_i \cdot \varepsilon_j) dV \quad (2.20)$$

vector $(m,1)$ de los desplazamientos generales en los puntos y direcciones de las fuerzas exteriores $R(m,1)$.

F matriz simétrica cuadrada (m,m) de los coeficientes de flexibilidad F_{ij} en las fuerzas exteriores.

Como se dijo F_{ij} únicamente es función de los puntos y direcciones i j y no de cualquier otro punto o dirección que hubiera sido elegido. Igualmente la energía interna es una suma, donde por ejemplo unos términos pueden ser despreciados para calcular una solución aproximada.

La matriz de flexibilidad es:

$$F = F_f + F_s + F_a + F_t$$

Con f, s, a, t flexión, corte, fuerzas axiales y torsión

2.5.2.- Coeficientes de rigidez

Los coeficientes de influencia del método de desplazamientos son rigideces en los puntos y direcciones de los desplazamientos (generales) internos o externos, utilizaremos los símbolos k_{ij} respectivamente K_{ij} ,

La matriz de rigidez K de la estructura se compone de los términos K_{ij} ,

Estos términos se pueden calcular relativamente fácil, si todas formas de desplazamientos de los nudos de los componentes simples se toman en cuenta.

A diferencia de los coeficientes de flexibilidad, los valores de los coeficientes de rigidez, si son dependientes del colectivo de puntos y direcciones que se necesita para definir la rigidez de la estructura.

$$R = K_y \cdot l \quad l K_y = \int (\epsilon_l \cdot \sigma_j) dV \quad (2.21)$$

CAPITULO 3
GENERALIDADES DEL ARCO PARABOLICO Y
DEL SOFTWARE SAP-90

3.1.- Clasificación de arcos

Podríamos mencionar dos tipos de arcos como son:

-Arcos Isostáticos

-Arcos Hiperestáticos

Arcos Isostáticos.- son los que normalmente se usan y se caracterizan por ser triarticulados y comúnmente se le conoce como arco articulado.

Arcos Hiperestáticos.- son de tres tipos

Arcos Biarticulados

Arcos Inarticulado o empotrados

Arcos Uniarticulados.

En este trabajo presentaremos dos métodos de cálculo para el arco.

1.- El primer método será un cálculo tradicional que siempre se ha utilizado, para este consideraremos un arco biarticulado para facilitar el cálculo tedioso, claro esta que los resultados no son tan reales pero si es una aproximación.

2.- El segundo método lo haremos modelando la estructura con el software SAP-90, este es el objetivo principal de este trabajo, esta vez realizaremos un análisis más real, con la ayuda del programa que nos permite ejecutar cálculos complejos como la de una estructura Hiperestática. Dada la magnitud de la luz, y la condición que el arco no debe

llevar tensor, entonces podemos elegir un arco articulado o empotrado en los extremos, para nuestro modelo elegimos un arco biempotrado.

El grado de hiperestaticidad de un arco biempotrado es seis; por tanto harán falta tres ecuaciones complementarias de deformación, observando este detalle nos damos cuenta lo tedioso que es calcular una estructura hiperestática

3.2.- Geometría del arco

La ecuación que describe las coordenadas del arco parabólico es el siguiente:

$$y = 4f/L(x-x^2/L) \quad (3.1)$$

Donde:

x, y Coordenadas del eje del arco con respecto a su apoyo izquierdo.

L Luz del arco

Flecha del arco

El origen de coordenadas se encuentra en el extremo izquierdo del arco, observar figura 3.1-a.

La ecuación que nos da el ángulo de inclinación del eje es el siguiente:

$$y' = \operatorname{tg}\phi = 4f/L(1-2x/L) \quad (3.2)$$

ϕ Ángulo de inclinación con respecto a la horizontal del eje del arco.

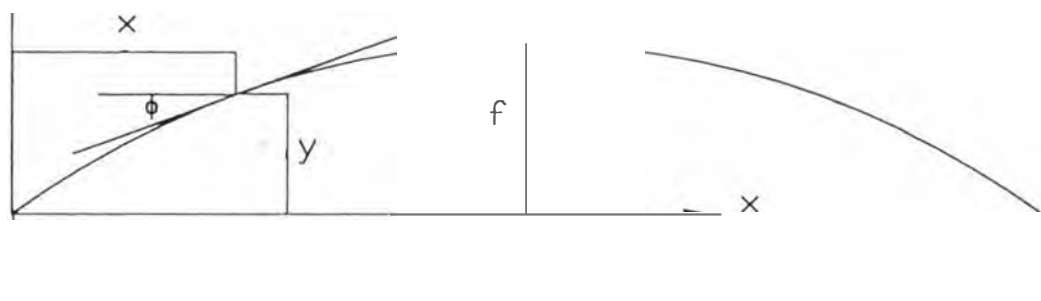
Sabemos que la sección del arco puede tener diferentes formas pero para nuestro caso será de forma rectangular incluyendo los elementos siguientes:

Bridas, superior e inferior.

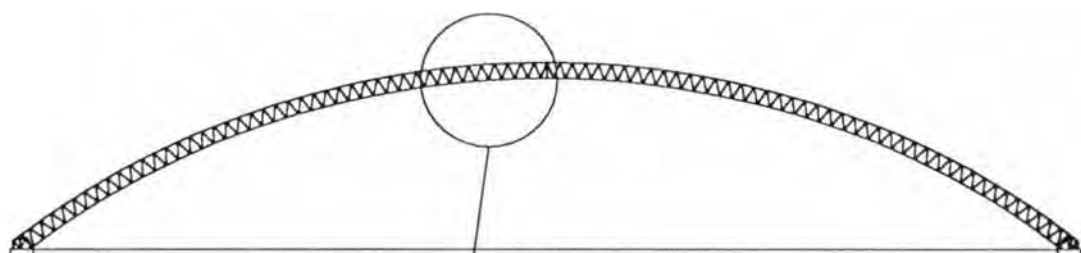
Diagonales, elementos del alma.

Enlaces, superiores e inferiores.

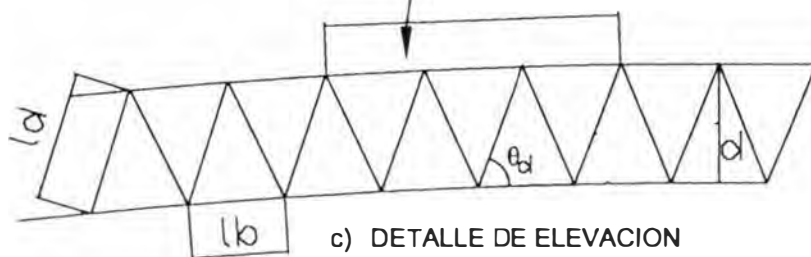
y



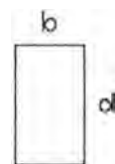
a)



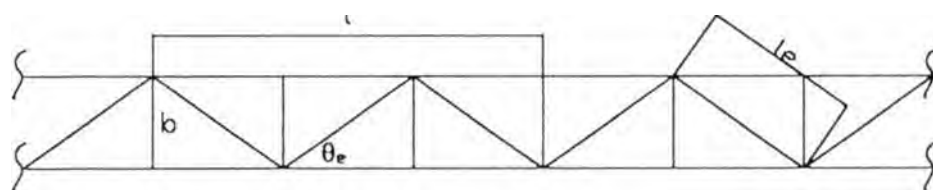
b) ELEVACION DE ARCO



c) DETALLE DE ELEVACION



d) SECCION



e) DETALLE DE PLANTA

Fig. 3.1

3.3.- Estados de carga

Las naves industriales deben estar diseñadas de tal manera que puedan soportar diversas cargas que pueden ocurrir, entre ellas tenemos: cargas muertas, cargas vivas, fuerzas de viento, fuerza producido por cambios de temperatura etc. Y todas estas cargas dependen del lugar donde se realizará la construcción, por tanto, podríamos considerar varios estados de carga, para nuestro proyecto consideraremos tres estados de carga bien definidos, como indicamos a continuación

3.3.1. - Primer estado

Montaje de la estructura metálica

Para este primer estado, la carga muerta es el peso del arco, la carga móvil será el peso de las viguetas y arriostres mas una carga viva que toma en cuenta el personal del montaje. Se recomienda colocar las viguetas de tal manera que no se originen flexiones muy grandes al arco es decir montar las viguetas partiendo del centro del arco.

3.3.2.- Segundo estado

Montaje de cobertura

El segundo estado designa, al arco, viguetas y arriostres como carga muerta, faltaría colocar las planchas como cobertura, accesorios de iluminación herramientas de montaje y personal, a estos los asignaremos como carga viva. Esta vez nos corresponde colocar las planchas partiendo de los extremos por igual para llegar al centro.

3.3.3.- Tercer estado

Producto de cargas permanentes

El tercer estado corresponde a cargas que se producen cuando la obra se ha concluido es decir a cargas muertas como son el peso de la estructura metálica, cobertura y aparatos de iluminación, a esto se suman las cargas Climáticas: viento, cambios de temperatura, probables desplazamientos de apoyos, acción de sismo y cargas por mantenimiento en algunas oportunidades.

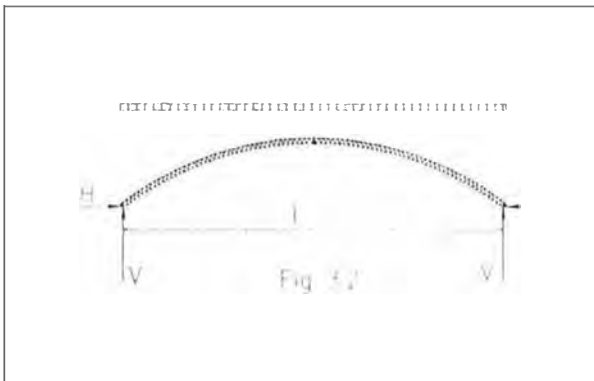
3.4.- Análisis estructural del arco

Primeramente acudiremos a un método de cálculo tradicional, para después realizar el análisis estructural por el MEF, seguidamente una comparación.

El análisis estructural siempre se hace pensando en determinar los esfuerzos máximos ya sea por flexión, fuerzas normales y fuerzas cortantes, donde el arco estará sometido a cargas verticales "w" por unidad de longitud, a continuación indicamos las formas de carga que puede producir máximos esfuerzos¹.

3.4.1.- Arco con carga uniforme

Se tiene la siguiente figura 3.2:



$$H = wL^2/8f$$

$$V = wL/2$$

H Fuerza de empuje del arco

w Carga vertical por unidad de longitud del arco

L Luz del arco

f Flecha del arco

V Reacción vertical en los apoyos del arco

Los momentos y cortantes (M, Q) son despreciables en cualquier sección del arco. La fuerza normal "N" se obtiene de las ecuaciones:

$$\text{Para } x \leq L/2 \quad N = H \cos\phi + w(L/2-x)\text{sen}\phi$$

$$\text{Para } x > L/2 \quad N = H \cos\phi - w(L/2-x)\text{sen}\phi$$

La normal "N" máxima (de compresión) se obtiene:

Para $x = 0, x = L$

$$N_{\max} = wL/2(1+L^2/16f^2)^{0.5}$$

3.4.2.- Carga simétrica apartir del centro

Observando la figura 3.3, tenemos las siguientes ecuaciones:

Para $0 \leq x \leq \beta L$

Para $\beta L < x \leq L/2$

$$M = w\alpha Lx - Hy$$

$$M = w\alpha Lx - w/2(x-\alpha L)^2 - Hy$$

$$N = w\alpha L \operatorname{sen}\phi + H \cos\phi$$

$$N = H \cos\phi + wL/2(1-2x/L) \operatorname{sen}\phi$$

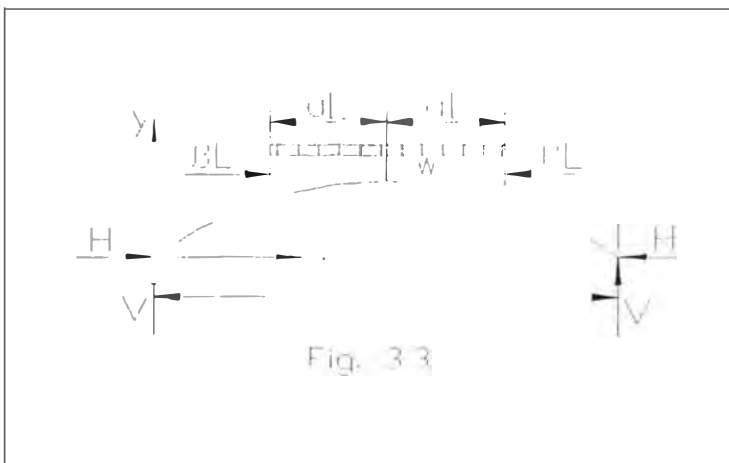
$$Q = w\alpha L \cos\phi - H \operatorname{sen}\phi$$

$$Q = wL/2(1-2x/L) \cos\phi - H \operatorname{sen}\phi$$

M Momento en una sección del arco

N Fuerza normal en una sección

Q Fuerza cortante en una sección



$$H = wL^2/8f(1-5\beta^2+5\beta^4-2\beta^5)$$

$$V = w\alpha L$$

3.4.2.1.- Momentos máximos

Se van a determinar los valores de " α " y de " x " para los cuales se produce los mayores momentos positivo y negativo

El máximo momento positivo M_{\max} ocurre en el centro del arco para $x_m = 0.5L$

$$(+M)_{\max} = 0.00724wL^2 \quad \text{para } \alpha = 0.15, \quad x/L = 0.50$$

$$(-M)_{\max} = 0.00744wL^2 \quad \text{para } \alpha = 0.25, \quad x/L = 0.15$$

El máximo momento absoluto será:

$$M_{\max} = -0.00744wL^2$$

Cabe observar que estos valores son validos para cualquier relación f/L

3.4.2.2.- Fuerza cortante máxima

El corte máximo ocurre cuando $\alpha = 0.30L$, y se produce en las secciones extremas, o sea $x=0$ y $x=L$ siendo su valor:

$$Q_{\max} = \pm(H\text{sen}\phi - 0.3wL\text{cos}\phi)$$

La expresión que nos da Q_{\max} es función de la relación f/L ;

En este trabajo usaremos la relación $f/L = 1/6$ donde

$$Q_{\max} = 0.086wL.$$

3.4.3.- Carga simétrica apartir de los apoyos

Observando la figura 3.4, Tenemos las siguientes ecuaciones:

Para $0 \leq x \leq \alpha L$

Para $\alpha L < x \leq L/2$

$$M = wLx(\alpha - x/2L) - Hy$$

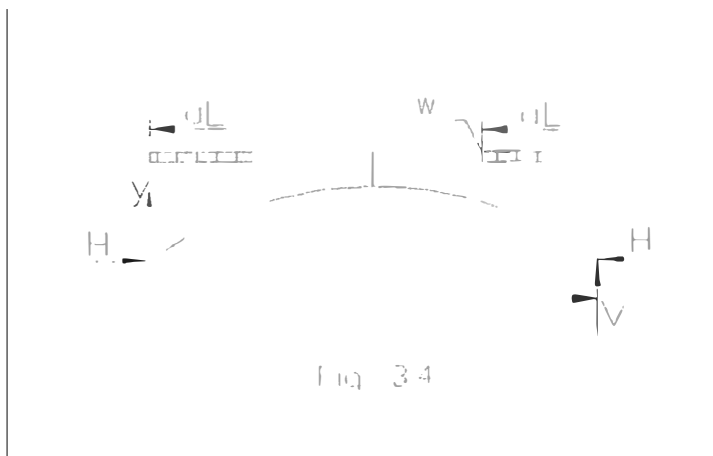
$$M = w\alpha^2 L^2 / 2 - Hy$$

$$N = w(\alpha L - x)\text{sen}\phi + H\text{cos}\phi$$

$$N = H\text{cos}\phi$$

$$Q = w(\alpha L - x)\text{cos}\phi - H\text{sen}\phi$$

$$Q = -H\text{sen}\phi$$



$$H = wL^2 / 8f(5\alpha^2 - 5\alpha^4 + 2\alpha^5)$$

$$V = w\alpha L$$

3.4.3.1.- Momento máximo

Los mayores momentos positivos y negativos, cuando el arco sufre una variación de cargas de acuerdo a α , son respectivamente:

$$+M_{\max}=0.00744wL^2 \quad \text{para } \alpha=0.25, x =0.15L$$

$$-M_{\max}=-0.00724wL^2 \quad \text{para } \alpha=0.35, x =0.50L$$

Asimismo el momento máximo absoluto será:

$$M_{\max}=0.00744wL^2$$

Que ocurre cuando $\alpha=0.25$ y en la sección $x_m=0.15L$.

3.4.3.2.- Fuerza cortante máxima

El máximo corte ocurre cuando $\alpha=0.20$ en las secciones $x=0$ y $x=L$ siendo su valor:

$$Q_{\max}=\pm (0.2wL\cos\phi-0.3H\text{sen}\phi)$$

Este cortante máximo es positivo en $x=0$ y negativo en $x=L$.

La expresión que nos da Q_{\max} depende la relación f/L

$$Q_{\max}=0.086wL$$

3.4.4.- Carga por viento

En este tipo de estructuras el viento produce efectos de presión y/o presión negativa según el valor de la relación f/L y por recomendaciones de la ASCE tenemos la siguiente expresión que relaciona la velocidad del viento con la presión o presión negativa, en psf;

$$P_o = 0.00256V_o^2 C_d \text{ (psf)} \quad (3.3)$$

Donde

P_o Presión o presión negativa (psf)

V_o Velocidad del viento en Km por hora.

C_d Coeficiente de presión

Según los reglamento se producirán:

-Presiones y presiones negativas cuando $f/L > 1/4$

-Presión negativa solamente cuando $f/L < 1/4$

siendo $C_d = 0.9$ cuando $0 < f/L < 1/5$ que es el intervalo en que varía la relación f/L en la mayoría de estructuras en arco. Por lo tanto siendo $C_d = 0.9$, se puede expresar la fuerza de presión negativa S_v en kg/m por la fórmula.

$$S_v = 45 \times 10^{-4} V_o^2 S \text{ kg/m}$$

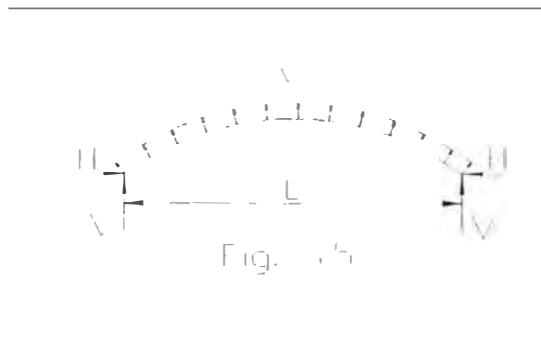
S_v fuerza de presión negativa

V_o Velocidad del viento en Km por hora.

S Espaciamiento entre arcos (m)

Se han determinado las relaciones en los apoyos para obtener las ecuaciones de M, N y Q para un arco sometido a una fuerza de presión negativa S_v por unidad de longitud

Observar figura 3.5.



$$H = S_v L^2 / 56f (7 - 24(f/L)^2)$$

$$V = S_v L / 2$$

Cuando $x \leq L/2$

$$M = (S_v / 2)(x^2 + y^2 - Lx) + Hy$$

$$N = -(S_v y + H) \cos \phi - (V - S_v x) \sin \phi$$

$$Q = (S_v y + H) \sin \phi - (V - S_v x) \cos \phi$$

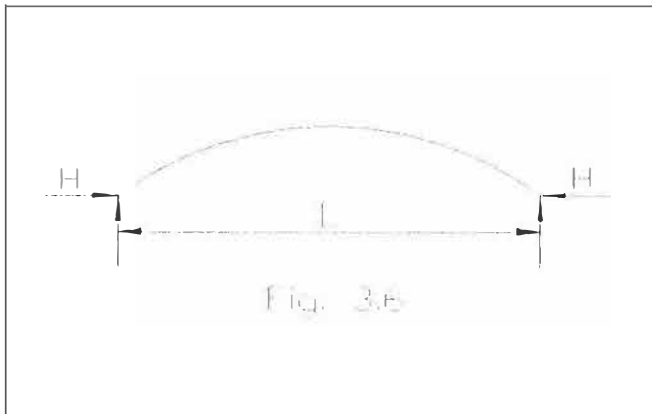
En arcos de celosía las fuerzas de presión negativa producidas por el viento tienden a aliviar las cargas permanentes, produciendo esfuerzos normales de tracción que disminuye la compresión ocasionada por las cargas verticales en las bridas, es por ello que

la acción del viento no se considera para la determinación de la fuerza de diseño en bridas, en el estado final. Las fuerzas cortantes por viento si se tomaran en cuenta para hallar el corte máximo en el estado final.

3.4.5.- Cargas por cambios de temperatura

Un aumento de temperatura de t° grados origina los siguientes esfuerzos

Observar figura 3.6.



$$H = 15\epsilon t^\circ EI_x / 8f^2$$

$$V = 0$$

Donde: t° = incremento de temperatura

ϵ = coeficiente de expansión térmica del material.

I_x = Momento de inercia con respecto al eje x

Las ecuaciones M, N y Q son:

$$M = -Hy$$

$$N = H \cos \phi$$

$$\text{Cuando } x \leq L/2: Q = -H \sin \phi$$

$$\text{Cuando } x > L/2: Q = H \sin \phi$$

Para un descenso de temperatura se considera el valor de t° con signo negativo.

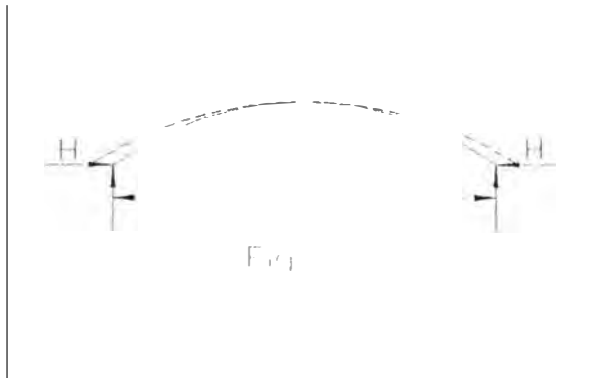
El acero estructural usado en arcos de celosía tiene las siguientes propiedades⁽²⁾

$$E = 30000 \text{Ksi} = 2100000 \text{kg/cm}^2$$

$$\epsilon = 11.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

3.4.6.- Cargas producidas por desplazamiento de apoyos

Las columnas deberán absorber el efecto de desplazamiento del arco porque ya se mencionó que el arco no llevará templadores, asignaremos un valor Δ a los probables desplazamientos de los apoyos, que produce los siguientes efectos, observar figura 3.7.



$$H = 15\Delta EI_x / 8Lf^2$$

$$V = 0$$

Cuando $x \leq L/2$, $N = -H \cos \phi$, $Q = H \sin \phi$.

3.5.- Secuencia lógica del software SAP-90

Este software ejecuta el análisis de estructuras tipo armadura y pórtico mediante un formato matemático estructural desarrollado en la teoría de los elementos finitos.

Descripción del software

Describimos en forma práctica el uso de esta herramienta, tal es así que el ingreso de datos para el programa está organizado en una serie de bloques de datos, los cuales se identifican por las líneas de separador.

El separador identifica el bloque de datos y siempre es la primera línea del bloque. Los bloques de datos utilizados en el análisis estructural de sistemas tipo armadura y pórtico son:

Linea de titulo

Este bloque de datos consiste solo de una línea y no tiene separador, esta línea es siempre necesaria en cualquier ejecución del programa ya sea en ejecución normal o modo de re-ejecucion.

Esta información aparecerá en todas las paginas de los archivos de salida creados por el programa y debe ser la primera en el archivo de ingreso.

Ningún comentario debe precederla.

Sistema (system)

El bloque de datos system controla la información asociada con el análisis estructural.

-Esta opción permite al usuario obtener resultados para combinaciones adicionales de carga, activar o modificar impresiones selectivas de los resultados del análisis o para realizar el análisis dinámico de la estructura para diferentes datos de análisis tiempo – historia o espectral, sin tener que re-ejecutar las fases de la solución de ecuaciones lineales y problemas de valores propios del programa.

Nodos (joints)

El bloque joints define los nudos que describe la geometría del modelo estructural con sus coordenadas asociadas.

En esta sección proporcionar tantas líneas de datos como sea necesario para definir los nudos de la estructura. Finalizar esta sección con una línea en blanco.

-La numeración de los nudos no tiene que ser consecutiva puede ser proporcionada en cualquier orden.

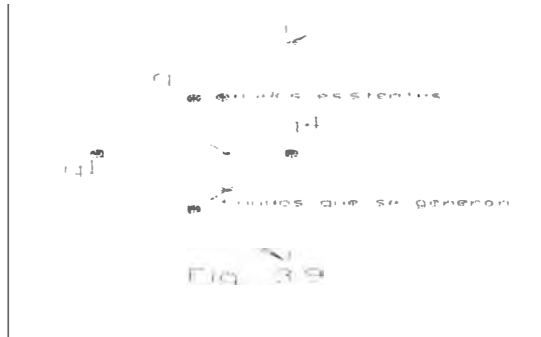
-Estas coordenadas están con respecto al sistema de coordenadas x-y-z global y son multiplicados por el factor de escala S

-g1 y g2 son los valores de los nudos que ya han sido especificados, observar figura 3.8. Los nudos que son generadas estarán igualmente o desigualmente (bajo progresión aritmética) espaciados en la línea de los nudos g1 y g2, dependiendo del valor r

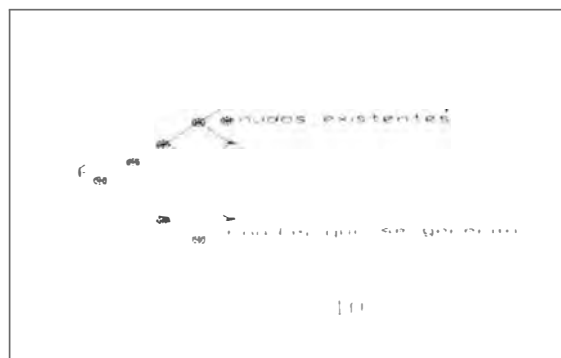


.q1, q2, q3 y q4 son los valores de cuatro nudos que ya han sido definidos primeramente. Estos cuatro nudos definen un cuadrilátero la dirección q1-q2 es el eje i, y la dirección q1-q3 es el eje j.

La numeración de los nudos a lo largo del eje i comienza en q1 la cual es sucesivamente incrementado por in hasta que el valor q2 es alcanzado. Esto define el numero de nudos a lo largo del eje i. Sé continua con la misma lógica en la dirección j. Observar figura 3.9.



.Opción de generación frontal asociado con el nudo f, permite una generación automática de nudos a lo largo de líneas paralelas en tres dimensiones. Ver figura 3.10.



-Para modelar el arco parabólico se hará con la siguiente opción c1, c2 y c3 nudos previamente definidos.

El vector desde c1 a c2 define la dirección positiva del eje de referencia.

El nudo c3 esta ubicado sobre la circunferencia de generación y no debe ubicarse sobre la línea c1-c2.

Todas las coordenadas generadas toman como referencia al nudo c3 y son ubicados en un arco de circunferencia con el centro de arco como eje de referencia; con un ángulo incremental "a" entre las líneas radiales asociadas a dos nudos generados Ver figura 3.11.



Restricciones (restraints)

Este bloque identifica los apoyos y grados de libertad. Todos los nudos del modelo estructural tiene seis componentes de desplazamientos, tres traslacionales globales U_x U_y U_z y tres rotacionales globales R_x R_y R_z . Las direcciones asociadas con estas seis componentes de desplazamientos son conocidos como los grados de libertad del nudo.

Las especificaciones de restricción de un nudo consiste en un conjunto de seis números donde un numero responde a cada uno de los seis grados de libertad del nudo. Cada uno de estos números puede tener como valor 0 o 1.

Todos los grados de libertad activas en la estructura tiene un numero de ecuación asociada, si hay N grados de libertad activos en la estructura, hay N ecuaciones en el sistema, y la matriz de rigidez de la estructura se dice que es de orden N. El numero de ecuaciones puede ser reducida por la presencia de nudos condicionados.

No se puede emplear cargas puntuales, resortes o masas en los grados de libertad restringidos.

Masas (masses)

Para el análisis dinámico, es necesario asignar masas concentradas y los correspondientes momentos de inercia de masa en los nudos. Cualquiera de los seis grados de libertad de un nudo tiene valores de masa traslacional o rotacional correspondiente.

Armadura (frame)

Este bloque de datos define las propiedades, ubicación y cargas asociados con elementos tridimensionales frame.

Cualquier elemento viga o reticulado bidimensional o elemento reticulado tridimensional puede ser considerado como un caso especial de este elemento.

Cargas (loads)

Es la forma de fuerzas o momentos puntuales que pueden ser aplicadas en cualquier nudo de la estructura. Este bloque de datos define las especificaciones de cargas nodales para las nld condiciones de carga. Estas cargas no pueden ser aplicadas en grados de libertad restringidos. Las cargas podrán ser ingresadas en cualquier orden de nudos o de condiciones de carga. Repetir especificaciones de carga para un nudo en particular son algebraicamente sumadas.

Combinaciones (combo)

Esta bloque de datos define las combinaciones de carga para los desplazamientos y reacciones de los nudos y fuerzas en los elementos.

Las combinaciones de carga son definidas como combinaciones lineales de las previamente definidas nld condiciones básicas de carga y la condición de carga dinámica.

No hay límite para el número de combinaciones de carga. Los números de identificación de las combinaciones deben estar escritos en forma ascendente, numerados consecutivamente comenzando con uno.

Una combinación de carga es definida como la suma de las n condiciones de carga estática, multiplicadas por c_1, c_2, \dots, c_n , respectivamente, más la condición de carga dinámica multiplicada por d .

Envolvente

(Resultados de fuerzas máximas y mínimas debido a las combinaciones de carga)

Este bloque de datos es para definir las combinaciones para Envolvente con las n condiciones de carga estática y la condición de carga dinámica.

Cada envolvente de combinaciones produce resultados de fuerzas máximas y mínimas en los elementos **armadura (frame)**, debido a las cargas combinadas. Si más de una envolvente es definida, una envolvente total de todas las envolventes es automáticamente calculada. Estos resultados son escritos y pueden ser gráficamente mostrados utilizando la opción **saplot**

Si este bloque de datos es presentado, los resultados producidos para el elemento **armadura (frame)** será de la envolvente de combinaciones, si se omite este bloque de datos, los resultados del elemento **armadura (frame)** son para las combinaciones de carga, cuando el bloque de datos **combinaciones (combo)** es presentado, o sino para las condiciones de carga. Si solo las condiciones de carga estática son combinadas en el bloque de datos **envolvente (envelope)**, los resultados son los mismos como cuando se usa el bloque de datos **combo**, excepto que una envolvente total de todas las condiciones es producida.

No hay límite en el número de combinaciones para envolvente. Los números de identificación para las combinaciones de envolvente deben ser ascendente, secuencia numérica consecutiva comenzando en uno.

Cada combinación de envolvente produce dos resultados, un máximo y un mínimo para cada cantidad de respuesta de fuerza en elementos **armadura (frame)**.

CAPITULO 4

MODELADO Y DISEÑO DEL ARCO

4.1.- Cálculo por métodos tradicionales

4.1.1.- Conceptos previos

Es fundamental comprender como se complementan los elementos en una nave industrial, donde la estructura de techo esta formado por dos componentes principales: los arcos y viguetas

Mucho se menciona arcos de sección variable y arcos de sección constante, para este proyecto se tratará un arco de sección constante, de forma rectangular. Las planchas de techado se apoyan generalmente en forma directa sobre las viguetas, las cuales a su vez se apoyan sobre los arcos.

Para él cálculo de los arcos se deberá tener en cuenta los tres efectos físicos como son: momento flector, fuerza normal, y fuerza cortante.

4.1.2.- Característica del arco

Tomando en consideración la teoría realizada en el capítulo anterior, se determinaran expresiones simplificadas para el diseño de arcos de celosía; para tal efecto se usarán condiciones de cargas climáticas en Lima, por ser el proyecto a desarrollarse en esta ciudad. Como ya se indicó en esta primera parte del capítulo calcularemos un arco biarticulado.

4.1.2.1.- Materiales

- Las bridas superior e inferior serán perfiles angulares.
- Las diagonales y enlaces serán perfiles angulares
- El arco será diseñado para que trabaje sin la necesidad de un templador.
- Material acero estructural A-36.

4.1.2.2.- Geometría que adopta el arco

Según indicaciones generales del capítulo anterior y Fig. 4.1

$f/L = 1/6$, Es muy utilizado por consideraciones económicas.

$L = 45\text{m}$: luz del arco.

$f = 7.5\text{m}$: flecha del arco.

$S = 7\text{m}$: separación de arcos.

$d = (1.5/100) \times L = 0.7\text{m}$: peralte del arco.

$b = 0.6d = 0.4\text{m}$: separación de bridas

$l = 1.7\text{m}$: esta medida corresponde a la longitud útil de la cobertura (eternit perfil 4 de 1.8x1.10m)

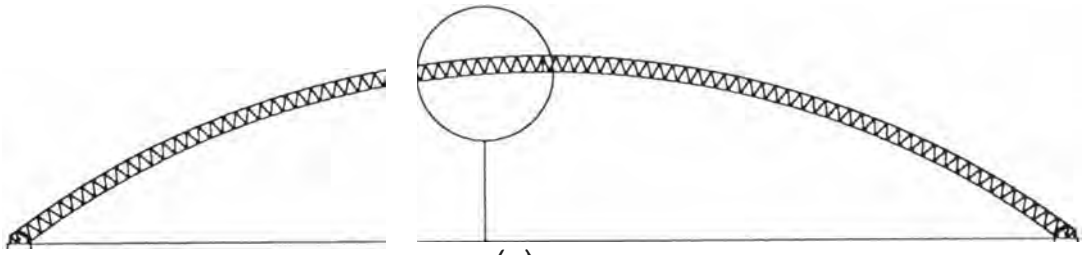
$$l_d = d/\text{sen}\theta_d, \quad \theta_d = 68.39 \quad l_d = 0.757\text{m}$$

$$l_b = 2 \times l_d \cos\theta_d = 0.557\text{m}$$

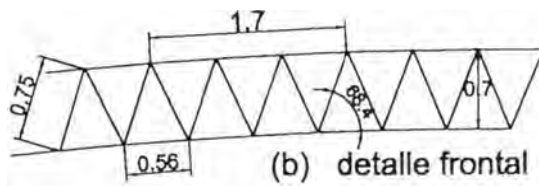
$$l_e = b/\text{sen}\theta_e \quad \theta_e = 35.22 \quad l_e = 0.6936\text{m}$$

4.1.3.- Cargas que se debe considerar en el arco

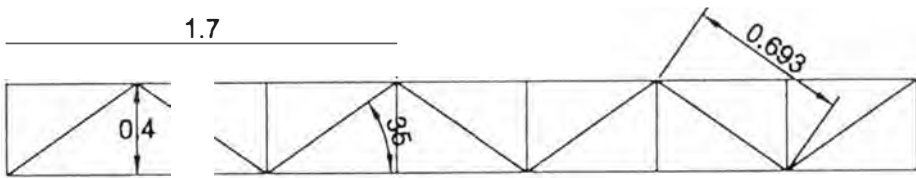
- Peso propio del arco
- Peso de las viguetas.
- Peso de la cobertura.
- Fuerza ejercida por el viento.
- Fuerza por cambios de temperatura



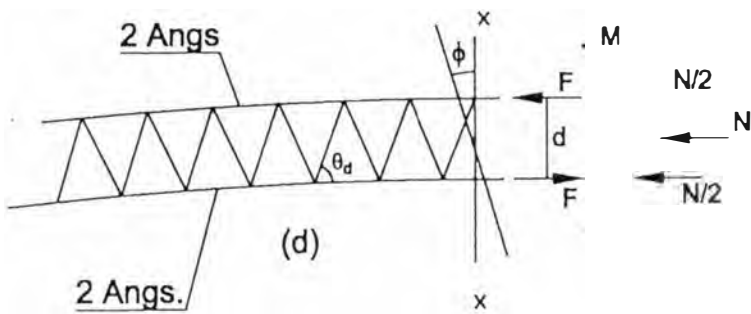
(a)



(b) detalle frontal



(c) detalle de planta



(d)

Fig 4.1

Situaciones de estado

Para el proyecto, Hangar de fondo = 63m luz = 45m

Separación de arcos S = 7m.

Estado 1

Carga Muerta..... Arcos (aprox)=4kg/m²

Carga móvil.....Viguetas y arriostres=4kg/m²

Montaje=15kg/m²

Estado 2

Carga Muerta..... Arcos (aprox)=4kg/m²

Viguetas y arriostres=4kg/m²

Carga móvil..... Cobertura=15kg/m²

Aparatos de iluminación=5kg/m²

Montaje=10kg/m²

Estado 3

Carga Muerta..... Estructura acero=8kg/m²

Cobertura e iluminación=20kg/m²

Carga móvil..... por mantenimiento=5kg/m²

4.1.4.- Fuerzas máximas

Los arcos están sometidos a tres tipos de solicitaciones como son: momento flector (M), fuerza normal (N) y fuerza cortante (Q) y los toman de esta forma

El objetivo es determinar las fuerzas en las bridas (F_b) y fuerzas en las diagonales (F_d) máximos en cada uno de los tres estados, para luego escoger el mayor de ellos que serán las fuerzas de diseño de las bridas y diagonales respectivamente.

En cada estado la fuerza F_{bmax} de compresión ocurrirá en la sección de M_{max} por ser el arco de bajo peralte (d=1.5%L) la influencia del momento es mayor que la de la fuerza normal por tanto de la fig. 4.1-d obtenemos

$$F_b = \pm M/2d + N/4 \dots \dots \dots (4.1)$$

F_b: fuerza en las bridas

M: momento flector.

N: fuerza normal.

De la ecuacion (4.1) se deduce:

$$Fb_{max} = \pm 100M_{max}/3L + N/4 \dots\dots\dots (4.2)$$

Fb_{max}: fuerza máxima en las bridas

M_{max}: Momento máximo

N: fuerza normal

La fuerza Fd_{max} de compresión en cada estado se obtendrá en la sección donde ocurre Q_{max}, donde para arcos con f/L=1/6, no varía mucho cosφ

$$Fd_{max} = \pm (Q_{max} \pm 0.16Fb) \cos\phi / 2 \sin\phi \dots\dots\dots (4.3)$$

Fd_{max}: fuerza máxima en las diagonales

Q_{max}: fuerza de corte máximo

Usar el mismo signo de Q_{max}

La fuerza Fe_{max} de compresión para el diseño de enlaces se obtendrá de Fb_{max}

$$Fe_{max} = 0.02(4 Fb_{max}) / \sin\theta_e \dots\dots\dots (4.4)$$

Fe_{max}: fuerza máxima en los enlaces

Resumiendo los valores de carga muerta Wd y carga viva WI en kg/m en cada estado tenemos: (Ver Tabla 1)

Tabla 1

Estado	1	2	3
Carga muerta Wd (kg/m)	4.0xS	8.0xS	28.0xS
Carga viva WI (kg/m)	19.0xS	30.0xS	5.0xS

4.1.5.- Fuerzas máximas en el estado 1

Tomando en consideración la teoría indicada en el capítulo anterior

Calculo de Fb_{max}

Para α=1/4 en X=0.15L donde ocurre M_{max}

$$M_{max} = -0.00744WI * L^2 \quad WI = 19S$$

$$M_{max} = -0.14136S * L^2$$

$$N=N_d+N_i=0.82764W_dL+0.58491W_iL, W_i=19S \quad W_d=4S$$

$$N=14.4238SL$$

Entonces:

$$F_{b_{\max}}=-100*(-0.14136SL^2)/3L+14.4238SL/4$$

$$F_{b_{\max}}=8.3179SL(\text{Kg})$$

$$F_{b_{\max}}=2620.154 \text{ Kg}$$

Calculo de $F_{d_{\max}}$

Sabemos que Q_{\max} es en $\alpha=0.3$ en las secciones $X=0$ y $X=L$

$$Q_{\max}=\pm 0.0860W_iL=\pm 0.0860(19S)L$$

$$Q_{\max}=1.634SL$$

Para $\alpha=0.3$ en $X=0$ $\text{Cos}\phi=0.8320$

$$M=0, \quad N=N_d+N_i=0.90138W_dL+0.67038W_iL$$

$$N=16.3427SL$$

$$F_b=N/4=16.3427SL/4=4.0856SL$$

Entonces:

$$F_{d_{\max}}=(1.634SL+0.16*4.0856SL)0.832/(2\text{sen}68.39)$$

$$F_{d_{\max}}=1.0236SL(\text{Kg})$$

$$F_{d_{\max}}=322.44\text{Kg}$$

4.1.6.- Fuerzas máximas en el estado 2

Se determinaran $F_{b_{\max}}$ y $F_{d_{\max}}$ en base a la teoría bajo carga simétrica a partir de los apoyos

-Cálculo de $F_{b_{\max}}$

para $X=0.15L$ $\alpha=0.25$

$$M_{\max}=0.00744W_iL^2 \quad W_i=30S$$

$$M_{\max}=0.2232SL^2$$

$$N=0.82764W_dL+0.24272W_iL=6.62112SL+7.2816SL$$

$$N=13.9027SL$$

$$F_{b\max} = 100(0.2232SL^2)/(3L) + 13.9027SL/4 = 10.91568SL$$

$$F_{b\max} = 3438.4 \text{ Kg}$$

Calculo de $F_{d\max}$

Como se vio en el capitulo anterior, Q_{\max} ocurre para $\alpha=0.2$ en las secciones $X=0$ y $X=L$

$$Q_{\max} = \pm 0.0860W_dL = 2.58SL$$

$$N = N_d + N_l = 0.9138W_dL + 0.23115W_lL$$

$$N = 14.1455SL$$

$$M = 0$$

$$F_d = 14.1455SL/4 = 3.53637SL$$

Entonces:

$$F_{d\max} = (2.58SL + 0.16 * 3.53637SL) 0.832 / (2 \text{sen} 68.39) = 1.30866SL / \text{sen} 68.39$$

$$F_{d\max} = 443.39 \text{ Kg}$$

4.1.7.- Fuerzas máximas en el estado 3

Se consideran las cargas permanentes de la estructura, carga viva por mantenimiento, las cargas climáticas y accidentales que produzcan los máximos esfuerzos en las bridas y diagonales

Cálculos de $F_{b\max}$

Tomaremos en cuenta la carga muerta, la de mantenimiento, efectos de temperatura $AT=10.C$ y desplazamientos de apoyos no se toma en cuenta efecto del viento por que tiende a aliviar los efectos de compresión

$$M_{\max} = M_l + M_{.10c} + M_{\lambda} = 0.00724W_lL^2 + H_{.10c}f + Hf$$

$$M_{\max} = 0.0362SL^2 + 0.6213A_bL + 3.5416A_bL$$

$$M_{\max} = (513.135 + 187.33Ab) \text{Kg} \quad Ab(\text{cm}^2)$$

$$N = N_d + N_l + N_{.10c} + N_{\lambda}$$

$$N=0.75W_dL+0.339W_lL-H_{10^{\circ}C}-H_{\lambda}$$

$$N=21SL+1.695SL-3.728A_b-21.250A_b$$

$$N=22.695SL-24.978A_b$$

$$N=7148.925-24.978A_b$$

Entonces:

$$F_{b_{\max}}=100(513.135+187.33A_b)/(3 \times 45)+(7148.925-24.978A_b)/4$$

$$F_{b_{\max}}=2167.3312+132.518A_b$$

Calculo de $F_{d_{\max}}$

Determinar Q_{\max} , por tanto habrá que considerar el cortante por carga viva, por un aumento de temperatura de $10^{\circ}C$ y por acción del viento, dado que los cortes máximos ocurren en las secciones extremas $X=0, X=L$ del arco

$$Q_{\max}=Q_l+Q_{10^{\circ}C}+Q_{sv}$$

$$Q_{\max}=-0.086W_lL-H_{10^{\circ}C}\text{sen}\phi-0.03997S_vL$$

$$Q_{\max}=-0.43SL-2.068A_b-0.364SL=-0.794SL-2.068A_b$$

F_b para esta sección $X=0$

$$N=N_d+N_l+N_{10^{\circ}C}+N_{sv}=0.90138W_dL+0.67023W_lL+H\cos\phi-0.8442S_vL$$

$$N=25.23SL+3.35115SL+2.982A_b-7.67SL$$

$$N=20.911SL+2.982A_b$$

$$F_b=N/4=5.2277SL+0.7455A_b$$

Entonces:

$$F_{d_{\max}}=(Q_{\max}+0.16F_b)\cos\phi/(2\text{sen}\theta_d)=(1.3565SL+18198A_b)/(2\text{sen}72)$$

$$F_{d_{\max}}=0.72952SL+0.97868A_b$$

$$F_{d_{\max}}=229.798+0.97868A_b$$

4.1.8.- Resultados del análisis estructural

A continuación presentamos los resultados de este método tradicional. (Ver tabla 2).

Estado	1	2	3
$F_{b_{max}}$ (Kg)	2620.154	3438.4	2167.33+132.5Ab
$F_{d_{max}}$ (Kg)	322.44	443.39	229.798+0.978Ab

-Comparando los resultados del primer y segundo estado se observa que el segundo es el más crítico.

-Comparando el segundo con el tercero previo a esto hay que dar valores a Ab en cm² que son secciones de ángulos 1"x1/8" hasta 2 ½"x3/16" determinando que de todas maneras el segundo estado es el más crítico.

-La fuerza de diseño $F_{e_{max}}$ para los enlaces se determina de la siguiente forma:

$$F_{e_{max}} = 0.02(4F_{b_{max}}) / (\sin \theta) = 0.02(4 \times 3438.4) / (\sin 35.216)$$

$$F_{e_{max}} = 477 \text{ Kg}$$

-Por tratarse de un hangar para aviones, no se considera templador de tal manera que se aprovecha todo el espacio hasta la parte más alta del arco (brida inferior), esto significa que se tendrá que calcular las columnas, para compensar el empuje del arco.

La tabla 3 nos muestra las fuerzas de compresión en Kg, de las bridas, diagonales y enlaces.

ELEMENTOS	FUERZAS
BRIDAS	$F_{b_{max}} = 3438.4 \text{ Kg}$
DIAGONALES	$F_{d_{max}} = 443.391 \text{ Kg}$
ENLACES	$F_{e_{max}} = 477 \text{ Kg}$

Aquí concluye el análisis estructural, utilizando un método de cálculo tradicional. Seguidamente en la segunda parte de este capítulo (punto 4.2) ejecutaremos el análisis estructural del arco Luz=45m pero esta vez haciendo uso del software SAP-90 para luego

comparar los resultados de ambos procedimientos. Recordar lo siguiente, las fuerzas obtenidas en el cálculo tradicional pertenecen a un solo elemento.

4.2.- Análisis estructural del arco mediante el software SAP-90

4.2.1.- Características del arco

La característica geométrica del arco que se va a analizar con el software, es la misma que se utilizó en la primera parte de este capítulo, con la diferencia que este será un arco biempotrado.

La luz de 45m del arco, nos obliga a fijar bien los apoyos, para que este tenga mayor estabilidad.

4.2.2.- Modelado del arco

Para modelar el arco con el programa, necesitamos saber la geometría, las dimensiones y el material que se va a usar, así como también las coordenadas de todos los nudos que conforman la estructura.

El modelado lo haremos con ayuda del editor (SAPIN). En un primer paso, el mayor trabajo está en la forma como plantear el modelo, siempre teniendo en cuenta el criterio ingenieril, por tanto la responsabilidad es del ingeniero que modela más no del programa. Cuando se ha concluido con el modelado, se graba la información, para luego en un segundo paso ingresar al programa SAP-90, donde esta vez corresponde al software realizar el análisis, obteniendo como resultado, fuerzas, momentos, fuerzas de corte, etc. También es factible la visualización gráfica de la estructura con la orden SAPLOT.

Para una mejor comprensión trataremos el modelo por partes.

A) Definición de la geometría

Estamos tratando un arco parabólico de luz 45m y flecha 7.5m., si comparamos la geometría de la parábola, con la geometría de un arco de circunferencia ambos con la misma flecha y luz, se observa una mínima diferencia despreciable, por tanto para facilitar la construcción asumiremos la geometría del arco parabólico como si fuera un arco de circunferencia.

En primer lugar definimos la geometría de la estructura teniendo en cuenta muchas consideraciones como por ejemplo, la cobertura a usar tiene una longitud útil de 1.7m y el peralte del arco es de 0.7m, por tanto la separación de las diagonales e inclinaciones debe estar definida, todo ello para ubicar bien las coordenadas de todo los nodos de la estructura. Con la ayuda del Auto-Cad se dibujó el esquema completo de la estructura, en él ubicamos la numeración de todos los nodos y el origen de coordenadas (ver Fig. 4.2).

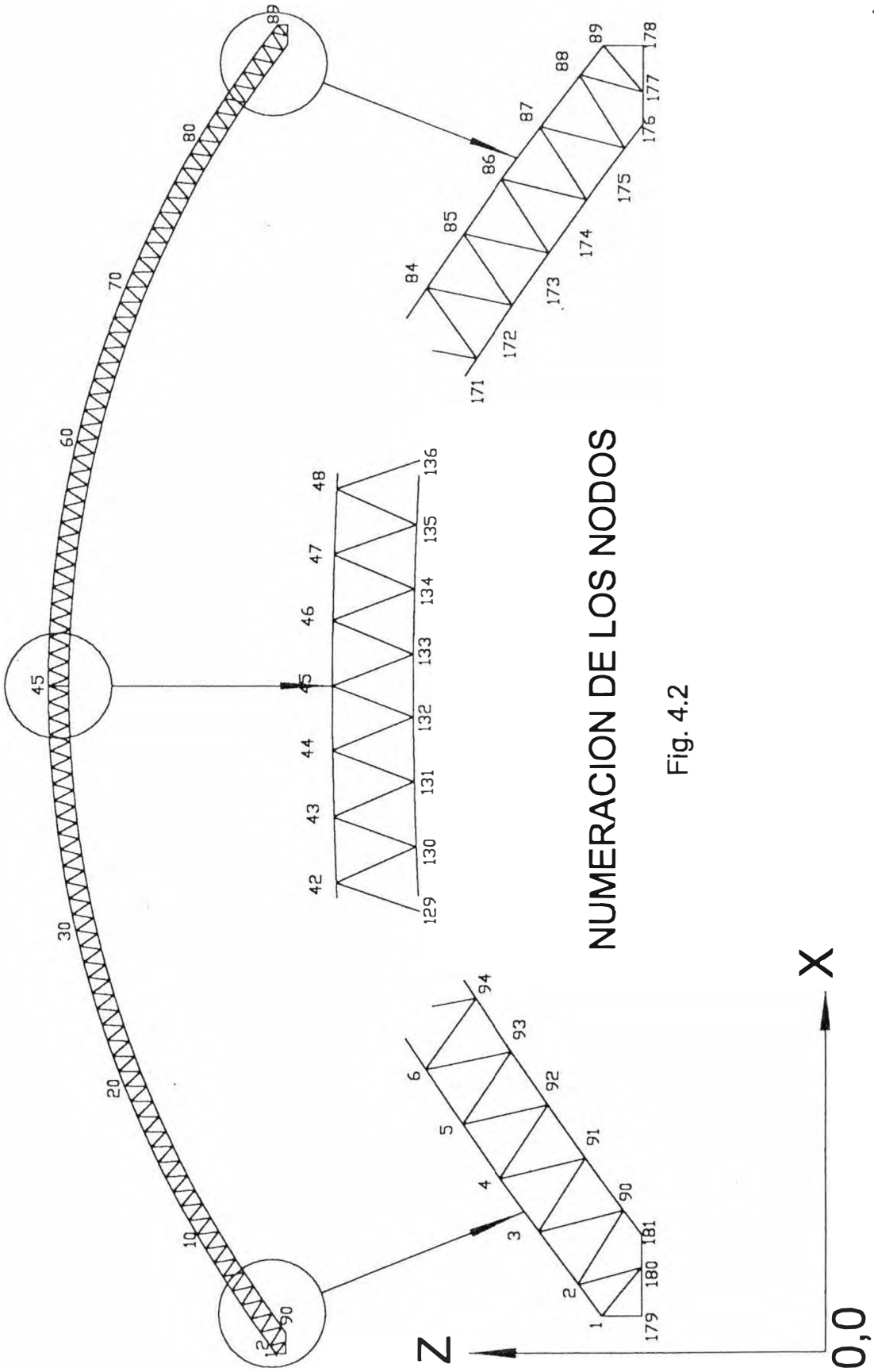
B) Ingresando al Sapin

- Inicialmente indicamos un título al modelo, luego un nombre para ser gravado como un archivo.

- Hacer malla.- Consiste en construir una planilla de dibujo o cuadrilátero con la opción localizador (LAYOUT), para el caso del arco 2 espacios en cada eje global X y Z.

C) Asignación de nodos

- De la Fig. 4.2 Asignamos al modelo los nodos 1, 2, 90, 179, 180, 181, 88, 89, 175, 176, 177 y 178 ingresando sus respectivas coordenadas, y con la opción generación cilíndrica asignamos los nodos desde 3 hasta 87 y desde 91 hasta 174, donde con estos hemos terminado de asignar las uniones de los elementos de la estructura, a continuación de la Fig. 4.2, mostramos el listado de todo los nodos con sus coordenadas.



NUMERACION DE LOS NODOS

Fig. 4.2

Coordenadas de los nodos correspondientesal arco luz 45m (en mm)

NODOS	X	Y	Z	NODOS	X	Y	Z
	.0	.000	30348.0	26	12477.0	.000	36662.8
2	267.4	.000	30549.0	27	13027.2	.000	36819.2
3	727.4	.000	30888.9	28	13579.7	.000	36967.4
4	1192.5	.000	31222.0	29	14134.4	.000	37107.3
5	1662.5	.000	31548.0	30	14691.0	.000	37238.9
6	2137.3	.000	31867.0	31	15249.6	.000	37362.2
7	2616.9	.000	32178.8	32	15810.0	.000	37477.0
8	3101.0	.000	32483.4	33	16372.0	.000	37583.5
9	3589.7	.000	32780.8	34	16935.6	.000	37681.5
10	4082.8	.000	33070.7	35	17500.5	.000	37771.1
11	4580.1	.000	33353.3	36	18066.8	.000	37852.2
12	5081.7	.000	33628.4	37	18634.1	.000	37924.8
13	5587.3	.000	33895.9	38	19202.6	.000	37988.9
14	6096.8	.000	34155.8	39	19771.9	.000	38044.5
15	6610.2	.000	34408.1	40	20341.9	.000	38091.6
16	7127.3	.000	34652.7	41	20912.7	.000	38130.1
17	7648.0	.000	34889.5	42	21483.9	.000	38160.1
18	8172.2	.000	35118.5	43	22055.5	.000	38181.5
19	8699.8	.000	35339.5	44	22627.4	.000	38194.4
20	9230.6	.000	35552.7	45	23199.4	.000	38198.7
21	9764.5	.000	35757.9	46	23771.4	.000	38194.4
22	10301.5	.000	35955.1	47	24343.3	.000	38181.6
23	10841.3	.000	36144.2	48	24914.9	.000	38160.2
24	11383.9	.000	36325.2	49	25486.1	.000	38130.2
25	11929.2	.000	36498.1	50	26056.8	.000	38091.7

NODOS	X	Y	Z	NODOS	X	Y	Z
51	26626.9	.000	38044.6	78	41317.2	.000	33628.9
52	27196.2	.000	37989.1	79	41818.8	.000	33353.8
53	27764.6	.000	37925.0	80	42316.1	.000	33071.3
54	28332.0	.000	37852.4	81	42809.2	.000	32781.3
55	28898.3	.000	37771.3	82	43297.9	.000	32484.0
56	29463.2	.000	37681.7	83	43782.1	.000	32179.4
57	30026.8	.000	37583.7	84	44261.6	.000	31867.6
58	30588.8	.000	37477.2	85	44736.5	.000	31548.7
59	31149.2	.000	37362.4	86	45206.5	.000	31222.6
60	31707.8	.000	37239.2	87	45671.6	.000	30889.6
61	32264.5	.000	37107.6	88	46131.6	.000	30549.6
62	32819.1	.000	36967.7	89	46401.0	.000	30348.0
63	33371.6	.000	36819.5	90	911.3	.000	30157.0
64	33921.8	.000	36663.1	91	1365.6	.000	30487.5
65	34469.6	.000	36498.4	92	1824.9	.000	30811.2
66	35014.9	.000	36325.6	93	2288.9	.000	31128.0
67	35557.5	.000	36144.6	94	2757.7	.000	31437.9
68	36097.4	.000	35955.5	95	3231.0	.000	31740.6
69	36634.3	.000	35758.3	96	3708.8	.000	32036.3
70	37168.3	.000	35553.1	97	4191.0	.000	32324.7
71	37699.1	.000	35340.0	98	4677.5	.000	32605.9
72	38226.7	.000	35118.9	99	5168.1	.000	32879.7
73	38750.9	.000	34889.9	100	5662.8	.000	33146.2
74	39271.6	.000	34653.2	101	6161.4	.000	33405.3
75	39788.7	.000	34408.6	102	6663.8	.000	33656.8
76	40302.1	.000	34156.4	103	7169.9	.000	33900.8
77	40811.6	.000	33896.4	104	7679.7	.000	34137.2

NODOS	X	Y	Z	NODOS	X	Y	Z
105	8192.9	.000	34365.9	132	22931.2	.000	37498.7
106	8709.5	.000	34586.9	133	23493.1	.000	37498.5
107	9229.3	.000	34800.1	134	24054.9	.000	37489.9
108	9752.3	.000	35005.5	135	24616.5	.000	37472.9
109	10278.3	.000	35203.1	136	25177.8	.000	37447.5
110	10807.2	.000	35392.7	137	25738.7	.000	37413.6
111	11338.9	.000	35574.4	138	26299.0	.000	37371.4
112	11873.3	.000	35748.2	139	26858.5	.000	37320.8
113	12410.1	.000	35913.9	140	27417.3	.000	37261.8
114	12949.5	.000	36071.5	141	27975.1	.000	37194.4
115	13491.1	.000	36221.0	142	28531.9	.000	37118.7
116	14034.9	.000	36362.4	143	29087.4	.000	37034.6
117	14580.7	.000	36495.7	144	29641.7	.000	36942.2
118	15128.5	.000	36620.7	145	30194.5	.000	36841.6
119	15678.1	.000	36737.5	146	30745.1	.000	36732.6
120	16229.4	.000	36846.1	147	31295.2	.000	36615.5
121	16782.2	.000	36946.4	148	31842.9	.000	36490.1
122	17336.5	.000	37038.4	149	32388.7	.000	36356.5
123	17892.1	.000	37122.1	150	32932.4	.000	36214.7
124	18448.9	.000	37197.5	151	33473.9	.000	36064.8
125	19006.8	.000	37264.5	152	34013.1	.000	35906.8
126	19565.6	.000	37323.1	153	34549.9	.000	35740.8
127	20125.2	.000	37373.4	154	35084.1	.000	35566.7
128	20685.6	.000	37415.3	155	35615.7	.000	35384.7
129	21246.4	.000	37448.7	156	36144.5	.000	35194.7
130	21807.8	.000	37473.8	157	36670.3	.000	34996.8
131	22369.4	.000	37490.5	158	37193.2	.000	34791.0

NODOS	X	Y	Z	NODOS	X	Y	Z
159	37712.9	.000	34577.4	171	43662.6	.000	31424.6
160	38229.3	.000	34356.1	172	44131.2	.000	31114.4
161	38742.4	.000	34127.1	173	44595.0	.000	30797.3
162	39252.0	.000	33890.4	174	45054.1	.000	30473.3
163	39758.0	.000	33646.1	175	45508.2	.000	30142.5
164	40260.2	.000	33394.2	176	45700.0	.000	30000.0
165	40758.7	.000	33134.8	177	45987.0	.000	30000.0
166	41253.2	.000	32868.0	178	46401.0	.000	30000.0
167	41743.6	.000	32593.8	179	.0	.000	30000.0
168	42229.9	.000	32312.3	180	412.7	.000	30000.0
169	42711.9	.000	32023.6	181	700.0	.000	30000.0
170	43189.5	.000	31727.6				

D) Designación de secciones

- En primer lugar elaboramos una "tabla de elementos" (con la opción Elem Table) que consiste en hacer un listado de todo los perfiles a utilizar en el modelamiento, entre ellos tenemos a los ángulos 1"x1/8", 1 ½"x1/8, 2"x1/8, 2"x3/16" cada uno de ellos con el material a que corresponde, propiedades físicas y mecánicas como son áreas de sus secciones, momentos de inercia respecto a los ejes locales, momentos de torsión. Etc. El ingreso de estas propiedades puede ser de dos maneras, utilizando la librería de perfiles que presenta el software ó ingresando las propiedades manualmente (con la opción USER en la tabla de propiedades).

E) Asignar los elementos conectando los nodos

Como en la tabla de elementos ya tenemos los perfiles a usar, asignaremos a las bridas superior e inferior ángulos de 2"x1/8", a las diagonales ángulos de 1"x1/8".

Activar, asignación de elementos (Assign Frame) y ubicarse en le perfil a usar.

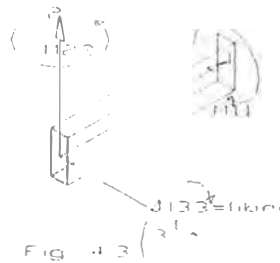
Especificar el sistema de coordenadas locales basado en vectores globales $L_p = n_i, 0$ en nuestro caso estamos trabajando en el plano X-Z por tanto $L_p = 2, 0$.

Para indicar si los nodos son del tipo rotula o pin, usar la opción "Libre (RELEASE)" o "No libre (NO RELEASE)"

Libre = No existe momento, fuerza, torsión, etc.

No libre = Existe momento, fuerza, torsión, etc.

Ejem:

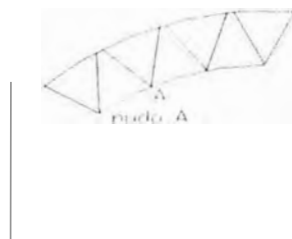


Si los perfiles asumidos satisfacen los condiciones de diseño estos serán los elegidos, en caso contrario, cambiar en la tabla de elementos el perfil requerido

F) restricciones

Como sabemos cada nodo esta asociado a seis grados de libertad, por tanto habrá que identificar cada uno de ellos en el arco con el grado de libertad inactivo (1) ó grado de libertad activo (0) según como corresponde.

Ejem:



Para armadura

Nodo A

d_x = Libre (Free)

d_y = Restringido (Restrains)

d_z = Libre (Free)

M_x = Restringido (Restrains)

M_y = Restringido (Restrains)

M_z = Restringido (Restrains)

Para Pórtico

Nodo A

d_x = Libre (Free)

d_y = Restringido (Restrains)

d_z = Libre (Free)

M_x = Restringido (Restrains)

M_y = libre (Free)

M_z = Restringido (Restrains)

G) Cargas

Construir la tabla de cargas con los datos obtenidos en el primer método de cálculo (punto 4.1), en la página siguiente observamos los grupos de figuras como son Fig.4.5, Fig. 4.6 y Fig. 4.7 en base a ellos elaboramos una tabla de siete cargas distribuidas con la opción cargas en el paño (elem table, span load).

Fig. 4.5		cargas distribuidas
(a) Carga muerta (1)	carga distribuida = 28 kg/m	1
(b) Carga viva (1)	carga distribuida = 133 kg/m	2
(c) Carga viva (2)	carga distribuida = 133 kg/m	
Fig. 4.6		
(a) Carga muerta (2)	carga distribuida = 56 kg/m	3
(b) Carga viva (3)	carga distribuida = 210 kg/m	4
(c) Carga viva (4)	carga distribuida = 210 kg/m	
Fig. 4.7		
(a) Carga muerta (3)	carga distribuida = 196 kg/m	5
(b) Carga viva (5)	carga distribuida = 35 kg./m	6
(c) Carga por cambio de temp.	carga horizontal = -17.18 kg	
(d) Carga por desplazam. de apoyos	carga horizontal = 97.96 kg	
(e) carga de viento	carga distribuida = 63.77 kg/m	7

1.-Considera Arco, Viguetas, Arriostres y Montaje

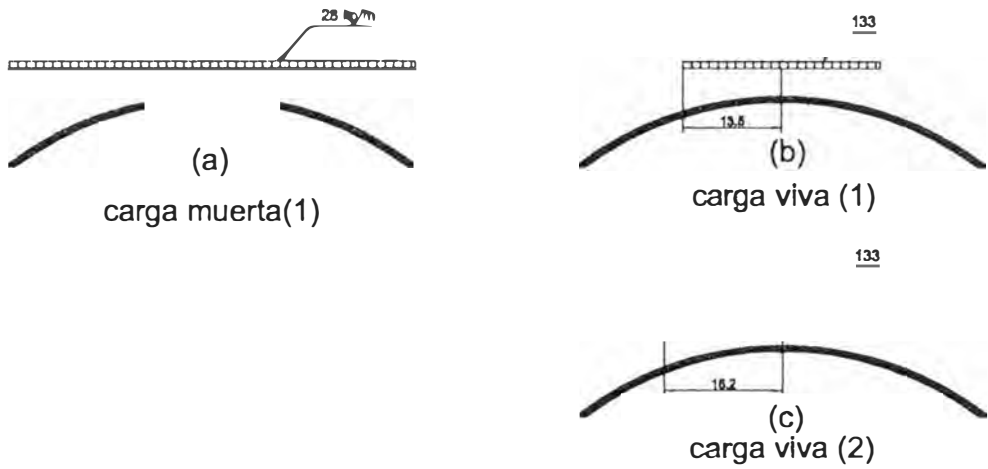


Fig. 4.5

2.-Considera Arco, Viguetas, Arriostres, Cubertura Aparatos de iluminacion y Montaje

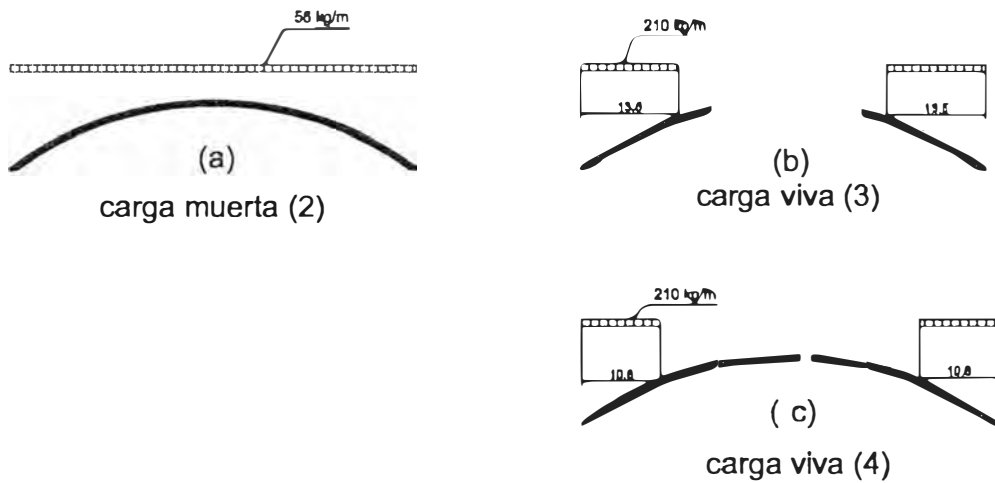


Fig. 4.6

3.- Considera cargas permanentes de la estructura, carga viva por mantenimiento, cargas climáticas y accidentales.

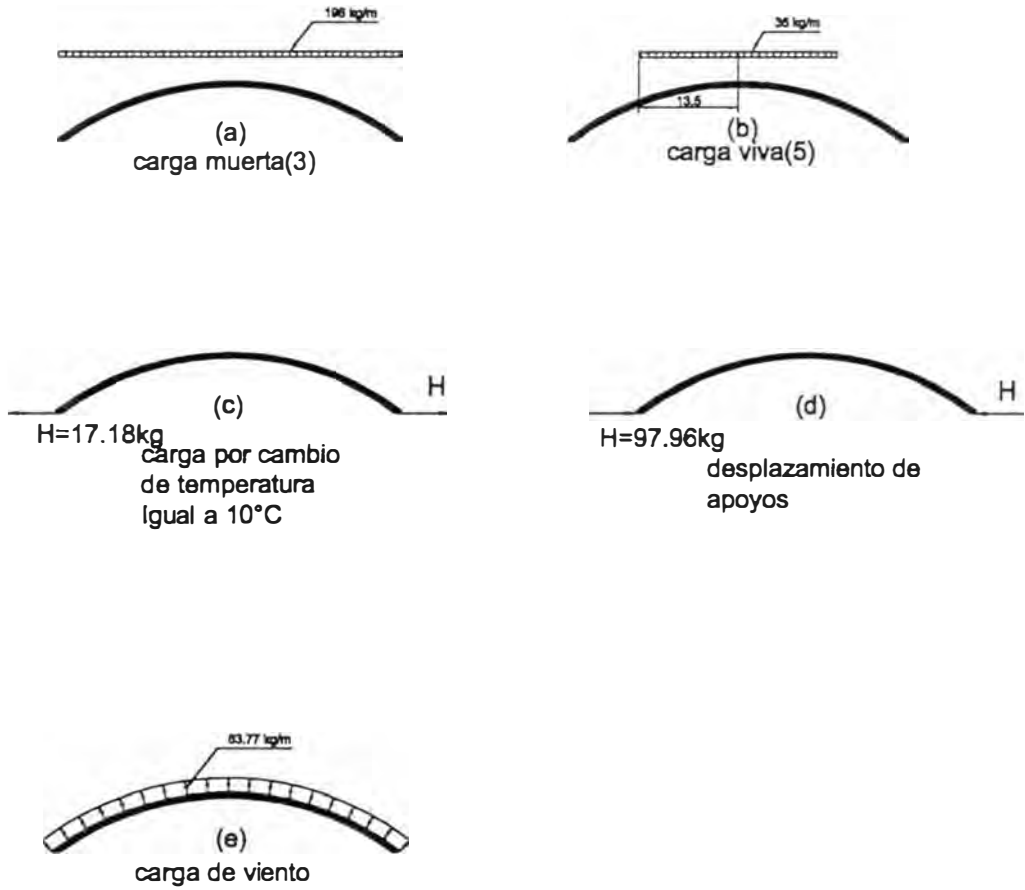


Fig. 4.7

H) Condiciones de Carga

Son 11 las condiciones de carga como se menciona en el punto (G), entonces (con la opción Loading – Load Condition) creamos 11 condiciones

I) Combinación de Carga

Para este proyecto asignaremos seis (6) combinaciones de carga (Load Condition), cada uno de ellos son grupos de condiciones de carga con sus respectivos multiplicadores, estos multiplicadores pueden ser de acuerdo a la AISC valores como 1.4, 1.2, 1.5, etc, dependiendo de las combinaciones, o pueden ser tomados a criterio de los diseñadores, como es el caso nuestro, los multiplicadores son todos uno (1).

Aquí concluye el modelamiento, luego se graba los datos ingresados y salimos del editor. Ejecutando el análisis se observa los resultados de fuerzas, desplazamientos y verificamos las bridas del arco con la relación de esbeltez, concluyendo en que los ángulos de 2"x1/8" asumidos, no reúnen las condiciones de diseño para la brida inferior, entonces deben ser reemplazadas por ángulos de 2"x3/16". A continuación mostramos de manera simplificada la información ingresada con el SAPIN.

DATOS INGRESADOS ATRAVEZ DEL EDITOR SAPIN

PARA EL ARCO LUZ = 45 m

Este es un archivo ARCO45 escrito por SAPIN

Unidades, fuerzas en kgf distancias en mm

SISTEMA

R=0 L=11 C=0 V=0 T=0.0001 P=0 W=0 Z=0

MALLA

XN=3 YN=2 ZN=3

0 23200 46401

0 1270

0 30000 38199

NODOS

	X=0	Y=0	Z=30348	
2	X=267.46	Y=0	Z=30549	
89	X=46401	Y=0	Z=30348	
90	X=911.35	Y=0	Z=30157	
176	X=45700	Y=0	Z=30000	
177	X=45987	Y=0	Z=30000	
178	X=46401	Y=0	Z=30000	
179	X=0	Y=0	Z=30000	
180	X=412.75	Y=0	Z=30000	
181	X=700.02	Y=0	Z=30000	
500	X=23200	Y=0	Z=0	
501	X=23200	Y=1270	Z=0	
500	X=23200	Y=0	Z=0	A=500,501,2,86,1,0.858,0,1
500	X=23200	Y=0	Z=0	A=500,501,90,85,1,0.8585,0,1

ESTRUCTURA

NM=3 NL=7 NSEC=0

1 A=624.51 J=0 I=1.2207E+05,9.7315E+05 AS=0,0 E=20389 G=7842 W=0.0048921\

M=4.9843E-07 TC=8.3E-06

2 A=922.58 J=0 I=2.2659E+05,1.4451E+06 AS=0,0 E=20389 G=7842 W=0.007227\

M=7.3633E-07 TC=8.3E-06

3 A=301.93 J=0 I=18002,1.1459E+05 AS=0,0 E=20389 G=7842 W=0.0023651\

M=2.4098E-07 TC=8.3E-06

WL=0,0,0 WG=0,0,-0.028 T=0,0,0

2 WL=0,0,0 WG=0,0,-0.133 T=0,0,0

3 WL=0,0,0 WG=0,0,-0.056 T=0,0,0

4 WL=0,0,0 WG=0,0,-0.21 T=0,0,0

5 WL=0,0,0 WG=0,0,-0.196 T=0,0,0

6 WL=0,0,0 WG=0,0,-0.035 T=0,0,0

7 WL=0,-0.06377,0 WG=0,0,0 T=0,0,0

1 179 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0

2 2 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

3 2 3 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

4 3 4 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

5 4 5 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

6 5 6 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

7 6 7 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

8 7 8 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

9 8 9 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

10 9 10 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

11 10 11 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

12 11 12 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

13 12 13 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

14 13 14 M=1,1,1 LP=2,0 MS= 0,0 NSL=1,0,0,3,4,4,5,0,0,0,7

346 83 171 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

347 171 84 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

348 84 172 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

349 172 85 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

350 85 173 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

351 173 86 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

352 174 86 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

353 174 87 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

354 87 175 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

355 175 88 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

356 88 177 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

357 177 89 M=3,3,1 LP=2,0 MS= 0,0

RESTRICCIONES

89 R=0,1,0,1,0,1

90 175 1 R=0,1,0,1,0,1

179 179 R=0,1,0,1,0,1

178 178 R=0,1,0,1,0,1

180 180 1 R=1,1,1,1,1,1

181 181 1 R=1,1,1,1,1,1

176 176 1 R=1,1,1,1,1,1

177 177 1 R=1,1,1,1,1,1

500 500 1 R=1,1,1,1,1,1

501 501 1 R=1,1,1,1,1,1

CARGAS

89 89 1 L=9 F= 17.18,0,0,0,0,0

L=9 F=-17.18,0,0,0,0,0

89 89 L=10 F=-97.96,0,0,0,0,0

L=10 F= 97.96,0,0,0,0,0

COMBINACIONES

C=1,1,0,0,0,0,0,0,0,0

2 C=1,0,1,0,0,0,0,0,0,0

3 C=0,0,0,1,1,0,0,0,0,0

4 C=0,0,0,1,0,1,0,0,0,0

5 C=0,0,0,0,0,0,1,1,1,0

6 C=0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,1

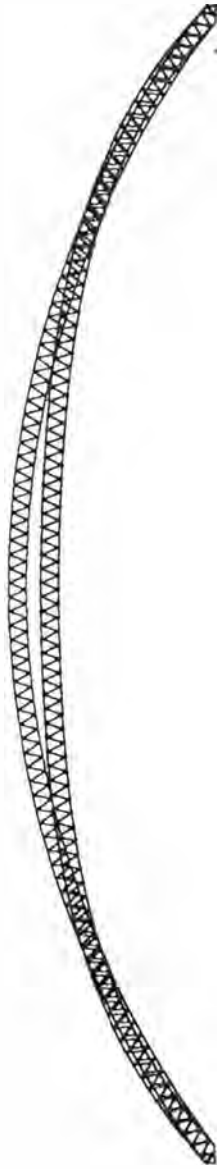
4.2.3.- Resultados del análisis

RANGO DE DESPLAZAMIENTOS MÁS SIGNIFICATIVOS
DESPLAZAMIENTO MAX. EN EL NODO 45

COMBINACION DE CARGA 1 - DESPLAZAMIENTOS "U"

NODOS	U(X)	U(Y)	U(Z)
21	-6.076285	.000000	4.694035
22	-5.405912	.000000	2.991553
23	-4.718878	.000000	1.114659
24	-4.028900	.000000	-.917447
25	-3.349109	.000000	-3.084251
26	-2.694807	.000000	-5.350687
27	-2.078495	.000000	-7.680147
28	-1.507522	.000000	-10.048215
29	-.988304	.000000	-12.429606
30	-.525748	.000000	-14.800247
31	-.123442	.000000	-17.136876
32	.216322	.000000	-19.417263
33	.492483	.000000	-21.620272
34	.705150	.000000	-23.725959
35	.855529	.000000	-25.715652
36	.945854	.000000	-27.572028
37	.979302	.000000	-29.279184
38	.959916	.000000	-30.822705
39	.892516	.000000	-32.189722
40	.782610	.000000	-33.368962
41	.636303	.000000	-34.350798
42	.460200	.000000	-35.127284
43	.261309	.000000	-35.692190
44	.046946	.000000	-36.041029
45	-.175371	.000000	-36.171068
46	-.398018	.000000	-36.081348
47	-.613368	.000000	-35.772680
48	-.813891	.000000	-35.247646
49	-.992257	.000000	-34.510587
50	-1.141437	.000000	-33.567584
51	-1.254795	.000000	-32.426437
52	-1.326193	.000000	-31.096627
53	-1.350082	.000000	-29.589282
54	-1.321594	.000000	-27.917130
55	-1.236635	.000000	-26.094445
56	-1.091965	.000000	-24.136989
57	-.885288	.000000	-22.061950
58	-.615326	.000000	-19.887864
59	-.281893	.000000	-17.634546
60	.114032	.000000	-15.323001
61	.570247	.000000	-12.975334
62	1.083256	.000000	-10.614684
63	1.648252	.000000	-8.265005
64	2.258923	.000000	-5.951465
65	2.908035	.000000	-3.698372
66	3.583147	.000000	-1.542197
67	4.269019	.000000	.482117
68	4.952656	.000000	2.354164

DEFORMADA DEL ARCO
EN LA COMBINACION DE CARGA 1



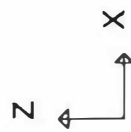
SAP90

FILE : ARCO45

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1

Fig. 4.8

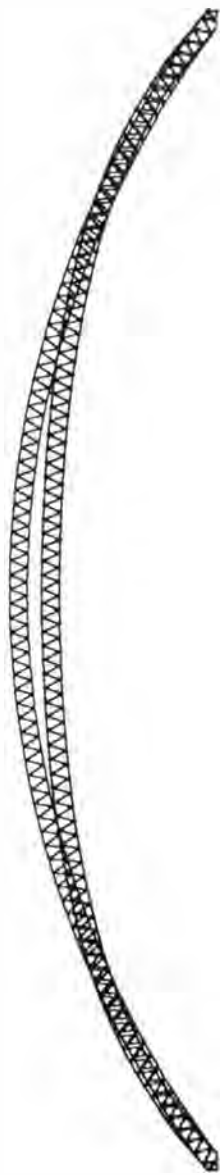


RANGO DE DESPLAZAMIENTOS MAS SIGNIFICATIVOS
DESPLAZAMIENTO MAX. EN EL NODO 45

COMBINACION DE CARGA 2 - DESPLAZAMIENTOS "U"

NODOS	U(X)	U(Y)	U(Z)
21	-5.163927	.000000	2.665153
22	-4.518226	.000000	.922826
23	-3.876874	.000000	-.939003
24	-3.249711	.000000	-2.900302
25	-2.645987	.000000	-4.939649
26	-2.073664	.000000	-7.036190
27	-1.539586	.000000	-9.169268
28	-1.049455	.000000	-11.318639
29	-.607863	.000000	-13.464538
30	-.218309	.000000	-15.587784
31	.116761	.000000	-17.669863
32	.395924	.000000	-19.693022
33	.618735	.000000	-21.640345
34	.785677	.000000	-23.495836
35	.898111	.000000	-25.244490
36	.958221	.000000	-26.872361
37	.968949	.000000	-28.366627
38	.933933	.000000	-29.715650
39	.857439	.000000	-30.909024
40	.744288	.000000	-31.937625
41	.599783	.000000	-32.793650
42	.429636	.000000	-33.470655
43	.239882	.000000	-33.963581
44	.036809	.000000	-34.268777
45	-.173131	.000000	-34.384016
46	-.383401	.000000	-34.308506
47	-.587458	.000000	-34.042892
48	-.778842	.000000	-33.589253
49	-.951251	.000000	-32.951094
50	-1.098624	.000000	-32.133329
51	-1.215226	.000000	-31.142256
52	-1.295716	.000000	-29.985534
53	-1.335234	.000000	-28.672145
54	-1.329468	.000000	-27.212353
55	-1.274726	.000000	-25.617657
56	-1.168008	.000000	-23.900743
57	-1.007068	.000000	-22.075420
58	-.790472	.000000	-20.156560
59	-.517662	.000000	-18.160031
60	-.189002	.000000	-16.102619
61	.194172	.000000	-14.001955
62	.629508	.000000	-11.876429
63	1.113603	.000000	-9.745105
64	1.641970	.000000	-7.627635
65	2.209014	.000000	-5.544150
66	2.808004	.000000	-3.515203
67	3.431097	.000000	-1.561545
68	4.069164	.000000	.295504
69	4.712499	.000000	2.035998
70	5.346081	.000000	3.629084

DEFORMADA DEL ARCO
EN LA COMBINACION DE CARGA 2



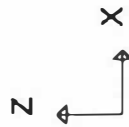
SAP90

FILE : ARCO45

DEFORMED SHAPE

LOAD : 2

Fig. 4.9

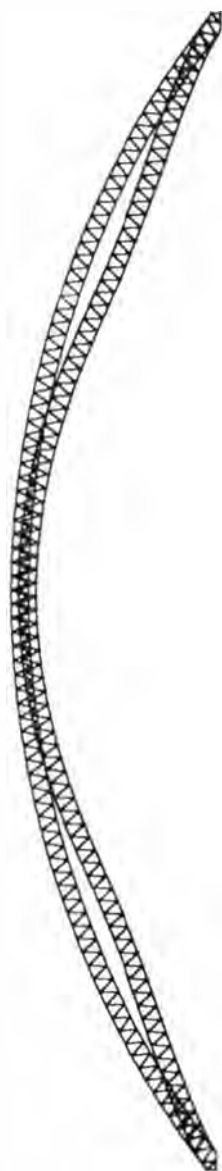


RANGO DE DESPLAZAMIENTOS MAS SIGNIFICATIVOS
DESPLAZAMIENTO MAX. EN LOS NUDOS 18, 45 Y 72

COMBINACION DE CARGA 3 - DESPLAZAMIENTO "U"

NODOS	U(X)	U(Y)	U(Z)
10	6.270033	.000000	-8.531865
11	6.695726	.000000	-9.584167
12	7.034195	.000000	-10.540372
13	7.280965	.000000	-11.379991
14	7.433750	.000000	-12.084635
15	7.492380	.000000	-12.638247
16	7.458715	.000000	-13.027332
17	7.336537	.000000	-13.241181
18	7.131439	.000000	-13.272092
19	6.850690	.000000	-13.115581
20	6.503091	.000000	-12.770578
21	6.098829	.000000	-12.239673
22	5.649239	.000000	-11.529112
23	5.166885	.000000	-10.649762
24	4.664379	.000000	-9.614177
25	4.159012	.000000	-8.457383
26	3.664728	.000000	-7.216786
27	3.188206	.000000	-5.910882
41	.021581	.000000	9.953830
42	.023488	.000000	10.426746
43	.039585	.000000	10.770899
44	.065313	.000000	10.983392
45	.095988	.000000	11.062466
46	.126858	.000000	11.007506
47	.153171	.000000	10.819041
48	.170234	.000000	10.498740
49	.173481	.000000	10.049414
50	.158533	.000000	9.475012
51	.121262	.000000	8.780612
52	.057855	.000000	7.972419
65	-3.913987	.000000	-8.088042
66	-4.416715	.000000	-9.238147
67	-4.916923	.000000	-10.268728
68	-5.397306	.000000	-11.144849
69	-5.845352	.000000	-11.854023
70	-6.248578	.000000	-12.385441
71	-6.595740	.000000	-12.732912
72	-6.876743	.000000	-12.893899
73	-7.082883	.000000	-12.869521
74	-7.206988	.000000	-12.664308
75	-7.243565	.000000	-12.286008
76	-7.188934	.000000	-11.745367
77	-7.041342	.000000	-11.055918
78	-6.801065	.000000	-10.233749
79	-6.470499	.000000	-9.297278
80	-6.054228	.000000	-8.267022
81	-5.559088	.000000	-7.165354
82	-4.994207	.000000	-6.016278
83	-4.371020	.000000	-4.845154
84	-3.703358	.000000	-3.678620

DEFORMADA DEL ARCO
EN LA COMBINACION DE CARGA 3



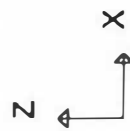
SAP90

FILE : ARCO45

DEFORMED SHAPE

LOAD : 3

Fig. 4.10

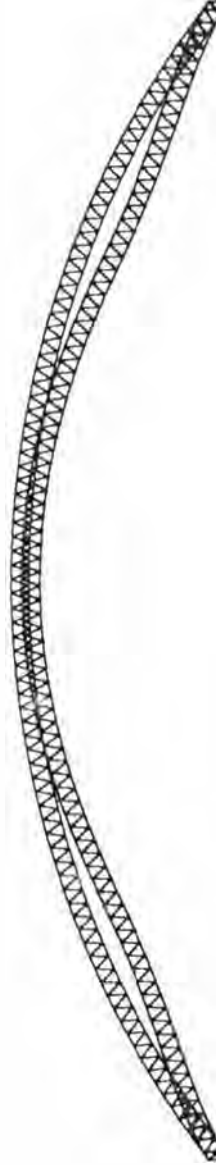


RANGO DE DESPLAZAMIENTOS MAS SIGNIFICATIVOS
DESPLAZAMIENTO MAX. EN LOS NODOS 16, 45 Y 74

COMBINACION DE CARGA 4 - DESPLAZAMIENTO "U"

NODOS	U(X)	U(Y)	U(Z)
9	4.989772	.000000	-6.444586
10	5.371589	.000000	-7.347499
11	5.673063	.000000	-8.163163
12	5.890317	.000000	-8.872823
13	6.021819	.000000	-9.460204
14	6.068293	.000000	-9.911759
15	6.032609	.000000	-10.216906
16	5.919658	.000000	-10.368259
17	5.736233	.000000	-10.361898
18	5.490802	.000000	-10.197416
19	5.193638	.000000	-9.878867
20	4.855516	.000000	-9.412055
21	4.493172	.000000	-8.824198
22	4.120599	.000000	-8.145117
23	3.744217	.000000	-7.387102
24	3.370480	.000000	-6.564223
40	.102496	.000000	6.485074
41	.081515	.000000	6.876475
42	.072404	.000000	7.186404
43	.072368	.000000	7.412585
44	.078503	.000000	7.553381
45	.087833	.000000	7.607794
46	.097348	.000000	7.575462
47	.104034	.000000	7.456665
48	.104911	.000000	7.252322
49	.097067	.000000	6.963990
50	.077692	.000000	6.593864
51	.044115	.000000	6.144775
52	-.006165	.000000	5.620191
65	-2.778355	.000000	-5.351978
66	-3.141413	.000000	-6.220752
67	-3.512886	.000000	-7.039137
68	-3.887449	.000000	-7.794223
69	-4.258717	.000000	-8.471996
70	-4.620354	.000000	-9.060209
71	-4.958366	.000000	-9.529138
72	-5.256015	.000000	-9.851651
73	-5.502628	.000000	-10.021991
74	-5.688016	.000000	-10.036147
75	-5.803807	.000000	-9.894566
76	-5.843303	.000000	-9.601205
77	-5.801710	.000000	-9.163484
78	-5.676255	.000000	-8.592013
79	-5.466317	.000000	-7.900370
80	-5.173531	.000000	-7.104851
81	-4.801877	.000000	-6.224232
82	-4.357765	.000000	-5.279518
83	-3.850077	.000000	-4.293668

DEFORMADA DEL ARCO
EN LA COMBINACION DE CARGA 4



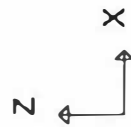
SAP90

FILE : ARCO45

DEFORMED SHAPE

LOAD : 4

Fig. 4.11

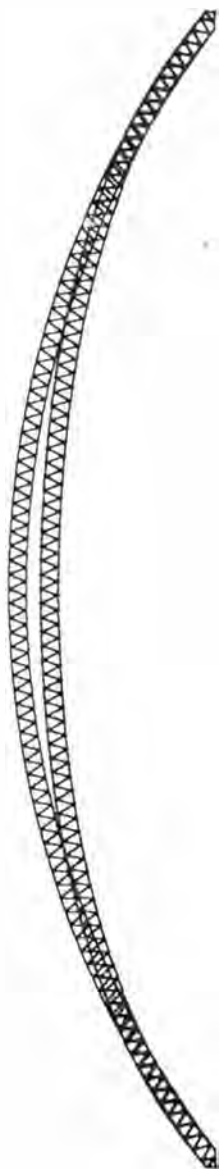


RANGO DE DESPLAZAMIENTOS MÁS SIGNIFICATIVOS
DESPLAZAMIENTO MAX. EN EL NODO 45

COMBINACION DE CARGA 5 - DESPLAZAMIENTOS "U"

NODOS	U(X)	U(Y)	U(Z)
21	-3.284197	.000000	-2.679924
22	-2.744898	.000000	-4.360138
23	-2.214363	.000000	-6.129909
24	-1.700541	.000000	-7.973238
25	-1.210708	.000000	-9.873491
26	-.751256	.000000	-11.814001
27	-.327713	.000000	-13.778057
28	.055275	.000000	-15.749048
29	.393949	.000000	-17.710563
30	.685434	.000000	-19.646501
31	.927728	.000000	-21.541171
32	1.119685	.000000	-23.379391
33	1.260989	.000000	-25.146586
34	1.352123	.000000	-26.828874
35	1.394334	.000000	-28.413150
36	1.389589	.000000	-29.887168
37	1.340525	.000000	-31.239614
38	1.250400	.000000	-32.460171
39	1.123035	.000000	-33.539581
40	.962748	.000000	-34.469702
41	.774296	.000000	-35.243550
42	.562806	.000000	-35.855345
43	.333699	.000000	-36.300542
44	.092625	.000000	-36.575858
45	-.154612	.000000	-36.679289
46	-.402132	.000000	-36.610123
47	-.644054	.000000	-36.368945
48	-.874566	.000000	-35.957629
49	-1.088005	.000000	-35.379333
50	-1.278929	.000000	-34.638475
51	-1.442189	.000000	-33.740710
52	-1.572999	.000000	-32.692894
53	-1.667003	.000000	-31.503048
54	-1.720343	.000000	-30.180306
55	-1.729716	.000000	-28.734865
56	-1.692434	.000000	-27.177920
57	-1.606474	.000000	-25.521600
58	-1.470530	.000000	-23.778893
59	-1.284053	.000000	-21.963569
60	-1.047289	.000000	-20.090093
61	-.761311	.000000	-18.173539
62	-.428039	.000000	-16.229491
63	-.050266	.000000	-14.273949
64	.368339	.000000	-12.323225
65	.823223	.000000	-10.393835
66	1.308953	.000000	-8.502395
67	1.819240	.000000	-6.665485
68	2.346912	.000000	-4.899653
69	2.884131	.000000	-3.220818
70	3.421183	.000000	-1.647413

DEFORMADA DEL ARCO
EN LA COMBINACION DE CARGA 5



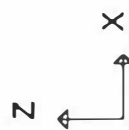
SAP90

FILE : ARCO45

DEFORMED SHAPE

LOAD : 5

Fig. 4.12

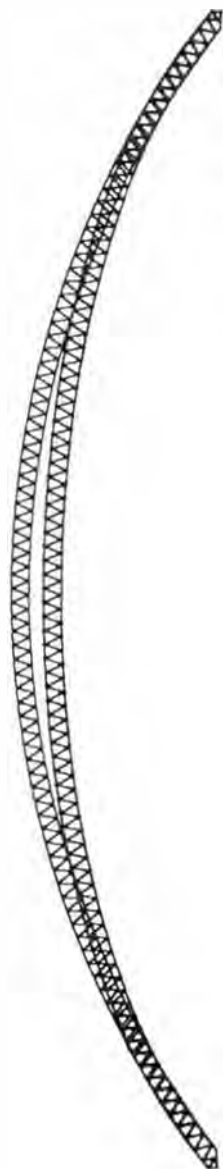


RANGO DE DESPLAZAMIENTOS MÁS SIGNIFICATIVOS
DESPLAZAMIENTO MAX. EN EL NODO 45

COMBINACION DE CARGA 6 - DESPLAZAMIENTO "U"

NODOS	U(X)	U(Y)	U(Z)
22	-3.048491	.000000	-1.805048
23	-2.562557	.000000	-3.321502
24	-2.088333	.000000	-4.911099
25	-1.632704	.000000	-6.553682
26	-1.201750	.000000	-8.249019
27	-.800773	.000000	-9.966785
28	-.434263	.000000	-11.695703
29	-.105901	.000000	-13.423644
30	.181450	.000000	-15.132729
31	.425733	.000000	-16.809430
32	.625682	.000000	-18.439669
33	.780805	.000000	-20.009906
34	.891354	.000000	-21.507226
35	.958294	.000000	-22.919427
36	.983261	.000000	-24.235090
37	.968520	.000000	-25.443658
38	.916920	.000000	-26.535493
39	.831832	.000000	-27.501945
40	.717101	.000000	-28.335396
41	.576982	.000000	-29.029314
42	.416073	.000000	-29.578287
43	.239258	.000000	-29.978060
44	.051629	.000000	-30.225557
45	-.141574	.000000	-30.318902
46	-.335041	.000000	-30.257429
47	-.523458	.000000	-30.041685
48	-.701579	.000000	-29.673428
49	-.864297	.000000	-29.155615
50	-1.006715	.000000	-28.492384
51	-1.124208	.000000	-27.689029
52	-1.212496	.000000	-26.751967
53	-1.267702	.000000	-25.688699
54	-1.286416	.000000	-24.507764
55	-1.265751	.000000	-23.218684
56	-1.203392	.000000	-21.831909
57	-1.097652	.000000	-20.358747
58	-.947511	.000000	-18.811294
59	-.752657	.000000	-17.202358
60	-.513517	.000000	-15.545376
61	-.231286	.000000	-13.854329
62	.092052	.000000	-12.143644
63	.453710	.000000	-10.428106
64	.850092	.000000	-8.722752
65	1.276791	.000000	-7.042770
66	1.728599	.000000	-5.403398
67	2.199526	.000000	-3.819786
68	2.682786	.000000	-2.307012
69	3.171012	.000000	-.879479
70	3.655048	.000000	.445932
71	4.124792	.000000	1.653364

DEFORMADA DEL ARCO
EN LA COMBINACION DE CARGA 6



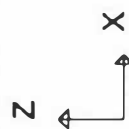
SAP90

FILE : ARCO45

DEFORMED SHAPE

LOAD : 6

Fig. 4.13



RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS MAS CRITICOS
 EN LAS SEIS COBINACIONES
 FUERZAS (KG), LONGITUD (mm), MOMENTOS (KGXmm)

ELT ID	COMB CARG.	FUER. AXIAL	DIST ENDI	PLANO 1-2	
				CORTE	MOMENT.
14 -----					
1	2019.62		.0	-6.16	2419.0
			572.0	6.55	2528.69
2	1808.50		.0	-6.48	2519.47
			572.0	6.23	2446.51
3	-4098.25		.0	-61.66	4858.80
			572.0	59.08	4119.64
4	-3646.17		.0	-61.09	4744.78
			572.0	59.64	4329.66
5	-119.23		.0	-45.17	5964.08
			572.0	43.79	5570.12
6	547.29		.0	-26.74	4045.75
			572.0	25.75	3763.55
15 -----					
1	2034.87		.0	-6.51	2505.30
			288.6	.00	1566.17
			572.0	6.39	2472.10
2	1765.49		.0	-6.86	2587.84
			304.2	.00	1544.18
			572.0	6.04	2352.92
3	-4263.71		.0	-62.30	4771.94
			290.7	.00	-4284.15
			572.0	60.27	4191.28
4	-3708.66		.0	-61.67	4690.77
			287.8	.00	-4185.33
			572.0	60.89	4466.00
5	-226.45		.0	-46.00	6009.62
			291.3	.00	-690.92
			572.0	44.31	5527.46
6	473.06		.0	-27.57	4108.26
			292.9	.00	70.31
			572.0	26.26	3734.86
45 -----					
1	-4970.36		.0	-46.17	2785.76
			286.8	.00	-3833.93
			572.0	45.92	2715.70
2	-4692.39		.0	-46.15	2999.69
			286.7	.00	-3616.03
			572.0	45.94	2937.55
3	696.01		.0	-15.98	2527.11
			285.3	.00	247.84
			572.0	16.05	2549.19
4	216.77		.0	-16.00	2177.94
			285.7	.00	-107.37
			572.0	16.03	2187.92
5	-5520.62		.0	-66.18	5052.94
			286.5	.00	-4428.62
			572.0	65.95	4984.87

FUERZAS (KG), LONGITUD (mm), MOMENTOS (KGXmm)

ELT ID	COMB CARG.	FUER. AXIAL	DIST ENDI	PLANO 1-2	
				CORTE	MOMENT
	6	-4316.18			
			.0	-47.92	3437.11
			286.6	.00	-3430.43
			572.0	47.73	3380.61
50	-----				
	1	-4150.41			
			.0	52.00	-21110.88
			561.9	52.00	8105.13
	2	-4694.52			
			.0	51.40	-20599.38
			561.9	51.40	8280.24
	3	-4242.19			
			.0	-30.88	14166.49
			561.9	-30.88	-3183.51
	4	-3408.92			
			.0	-28.52	12755.10
			561.9	-28.52	-3269.53
	5	-7904.34			
			.0	44.45	-16937.76
			561.9	44.45	8035.30
	6	-5854.58			
			.0	41.21	-16004.30
			561.9	41.21	7148.49
55	-----				
	1	-5863.07			
			.0	1.51	2601.82
			561.9	1.51	3452.82
	2	-6341.27			
			.0	1.32	2840.47
			561.9	1.32	3584.45
	3	-1585.29			
			.0	-2.94	-288.30
			561.9	-2.94	-1941.82
	4	-926.10			
			.0	-2.56	-619.61
			561.9	-2.56	-2055.49
	5	-8376.21			
			.0	.00	3112.95
			561.9	.00	3112.61
	6	-6530.80			
			.0	.26	2664.03
			561.9	.26	2809.45
56	-----				
	1	-6071.68			
			.0	1.25	2855.76
			561.9	1.25	3557.17
	2	-6518.26			
			.0	1.02	3078.47
			561.9	1.02	3649.58
	3	-1155.31			
			.0	-2.70	-704.63
			561.9	-2.70	-2223.62
	4	-558.95			
			.0	-2.25	-999.17
			561.9	-2.25	-2264.73
	5	-8358.75			
			.0	-.20	3166.82
			561.9	-.20	3053.04
	6	-6551.25			
			.0	.05	2753.80
			561.9	.05	2781.03
59	-----				
	1	-6430.12			
			.0	.35	3429.10
			561.9	.35	3625.99
	2	-6745.11			
			.0	-.00	3571.17
			561.9	-.00	3568.93

FUERZAS (KG), LONGITUD (mm), MOMENTOS (KGXmm)

ELT ID	COMB CARG.	FUER AXIAL	DIST ENDI	PLANO 1-2	
				CORTE	MOMENT
	3	-115.94	.0	-1.83	-1791.20
			561.9	-1.83	-2817.65
		236.29	.0	-1.19	-1924.39
			561.9	-1.19	-2593.07
	5	-8112.34	.0	-.83	3179.31
			561.9	-.83	2711.70
	6	-6412.73	.0	-.60	2865.52
			561.9	-.60	2528.88
60	-----				
		-6461.21	.0	.06	3541.03
			561.9	.06	3572.63
	2	-6720.12	.0	.34	3645.55
			561.9	-.34	3455.02
	3	138.91	.0	1.50	-2082.58
			561.9	-1.50	-2927.64
	4	391.27	.0	-.81	-2145.62
			561.9	-.81	-2598.98
	5	-7971.36	.0	-1.02	3124.06
			561.9	-1.02	2552.49
	6	-6305.75	.0	-.79	2841.72
			561.9	-.79	2397.63
96	-----				
	1	-875.91	.0	2.23	-584.89
			754.0	2.23	1092.87
	2	-884.50	.0	2.10	-533.58
			754.0	2.10	1050.71
	3	886.77	.0	-.51	123.34
			754.0	-.51	-263.70
	4	874.58	.0	-.26	25.66
			754.0	-.26	-168.93
	5	-542.95	.0	2.32	-607.64
			754.0	2.32	1142.98
	6	-567.59	.0	2.03	-532.51
			754.0	2.03	999.68
267	-----				
	1	-3609.50	.0	-1973.14	106725.71
			238.9	-1973.14	-364674.25
	2	-4133.02	.0	-1949.69	105639.55
			238.9	-1949.69	-360157.93
	3	-5258.54	.0	1086.59	57290.83
			238.9	1086.59	202305.70
	4	-4439.36	.0	996.68	-52739.73
			238.9	996.68	185374.86
	5	-7837.96	.0	-1736.95	94903.77
			238.9	-1736.95	-320067.76

FUERZAS (KG), LONGITUD (mm), MOMENTOS (KGXmm)

ELT ID	COMB CARG.	FUER. AXIAL	DIST ENDI	PLANO 1-2	
				CORTE	MOMENT
	6	-5661.12	.0	-1594.96	86918.11
			238.9	-1594.96	-294132.50
354		930.64	.0	12.75	-3074.43
			764.8	12.75	6677.92
	2	938.28	.0	12.61	-3037.34
			764.8	12.61	6610.14
	3	-1028.49	.0	-8.81	2437.49
			764.8	-8.81	-4302.43
	4	1013.03	.0	-8.24	2290.72
			764.8	-8.24	-4012.41
	5	524.33	.0	10.15	-2257.51
			764.8	10.15	5507.97
	6	581.18	.0	9.69	-2222.46
			764.8	9.69	5186.17
355		1379.83	.0	16.59	-7869.80
			744.6	16.59	4481.90
	2	1339.06	.0	16.47	-7803.44
			744.6	16.47	4462.47
	3	327.06	.0	-10.05	4726.24
			744.6	-10.05	-2755.78
	4	-227.29	.0	-9.42	4409.74
			744.6	-9.42	-2605.74
	5	1456.53	.0	14.15	-6723.10
			744.6	14.15	3815.41
	6	1255.31	.0	13.14	-6238.66
			744.6	13.14	3543.63

4.2.4.- Resumen de fuerzas max. y min. en cada combinación de carga

Combinación de carga 1

Min Elem. 60 F=-6461 Kg

Max Elem 15 F=2038 Kg

Combinación de carga 2

Min Elem. 59 F=-6745 Kg

Max Elem 14 F=1812 Kg

Combinación de carga 3

Min Elem. 267 F=-5259 Kg

Max Elem 96 F=886.8 Kg

Combinación de carga 4

Min Elem. 267 F=-4439 Kg Max Elem 96 F=874 6 Kg

Combinación de carga 5

Min Elem. 55 F=-8376 Kg Max Elem 355 F=1457 Kg

Combinación de carga 6

Min Elem. 56 F=-6551 Kg Max Elem 355 F=1255 Kg

Elementos críticos

Brida superior Elem. 45 Long=572mm (combinación 5)

Corresponde a 2Ls → F=-5520.6 Kg

Brida inferior Elem. 50 Long=561.9mm (combinación 5)

Corresponde a 2Ls → F=-7904.3 Kg

Diagonales Elem. 354 Long=764.8mm (combinación 3)

Corresponde a 2Ls → F=-1028.5Kg

4.2.5.- Comparación de resultados

Como se observa, el análisis realizado en el punto (4.1) nos da resultados diferentes que el análisis hecho por el programa, punto (4.2). A continuación mostramos una tabla de esfuerzos para los dos análisis, usando los ángulos del modelo es decir brida sup. L 2"x1/8" A=312.2mm², brida inf. L 2"x3/16" A=461.28mm² y diagonales L 1"x1/8" A=150.96mm². (Ver tabla 4).

Tabla 4

ELEMENTOS	ANALISIS TRADICIONAL	ANALISIS PROGRAMA SAP-90
	ESFUERZOS	ESFUERZOS
BRIDA SUP.	7.454Kg/mm ²	5.984Kg/mm ²
BRIDA INF.	7.454Kg/mm ²	8 567Kg/mm ²
DIAGONAL.	2.937Kg/mm ²	3 406Kg/mm ²

Los resultados dados por el programa se hizo en base a 6 combinaciones de carga. Los cálculos por el método tradicional son hechos tomando ciertas consideraciones. El software analiza la estructura, elemento por elemento, por tanto tenemos un panorama más real que los resultados del método tradicional.

4.2.6.- Diseño de elementos del arco

Se debe conocer que es el Instituto Americano de la construcción en acero (AISC). Se trata de un instituto de investigación, redacción de normas y divulgaciones de los conocimientos que sobre el uso del acero se van adquiriendo. Las especificaciones AISC mencionadas son reconocidos en Perú de acuerdo a lo indicado por el reglamento Nacional de construcciones.

Son dos los enfoques de diseño estructural en acero conforme a lo disponible a la fecha.

-Diseño por esfuerzos permisibles.

-Diseño por estados limites.

Para nuestro cálculo usaremos, la filosofía de diseño por esfuerzos permisibles, y los resultados obtenidos por el programa.

4.2.6.1.- Brida superior del arco

Elemento 45 (Ver Fig. 4.14) Long=22.5pulg F=-12.17Klb M=438.5 lbxpulg

Relación de esbeltez, asumiendo 2L 2"x1/8" r=0.626pulg. A=0.484pulg²

$KL/r = 1 \times 22.5 / 0.626 = 35.9$ (2Ls) $\rightarrow I = 0.29328 \text{ pulg}^4$

De Tabla 5 [For compresión members of 36-Ksc Specified yield stres steel]

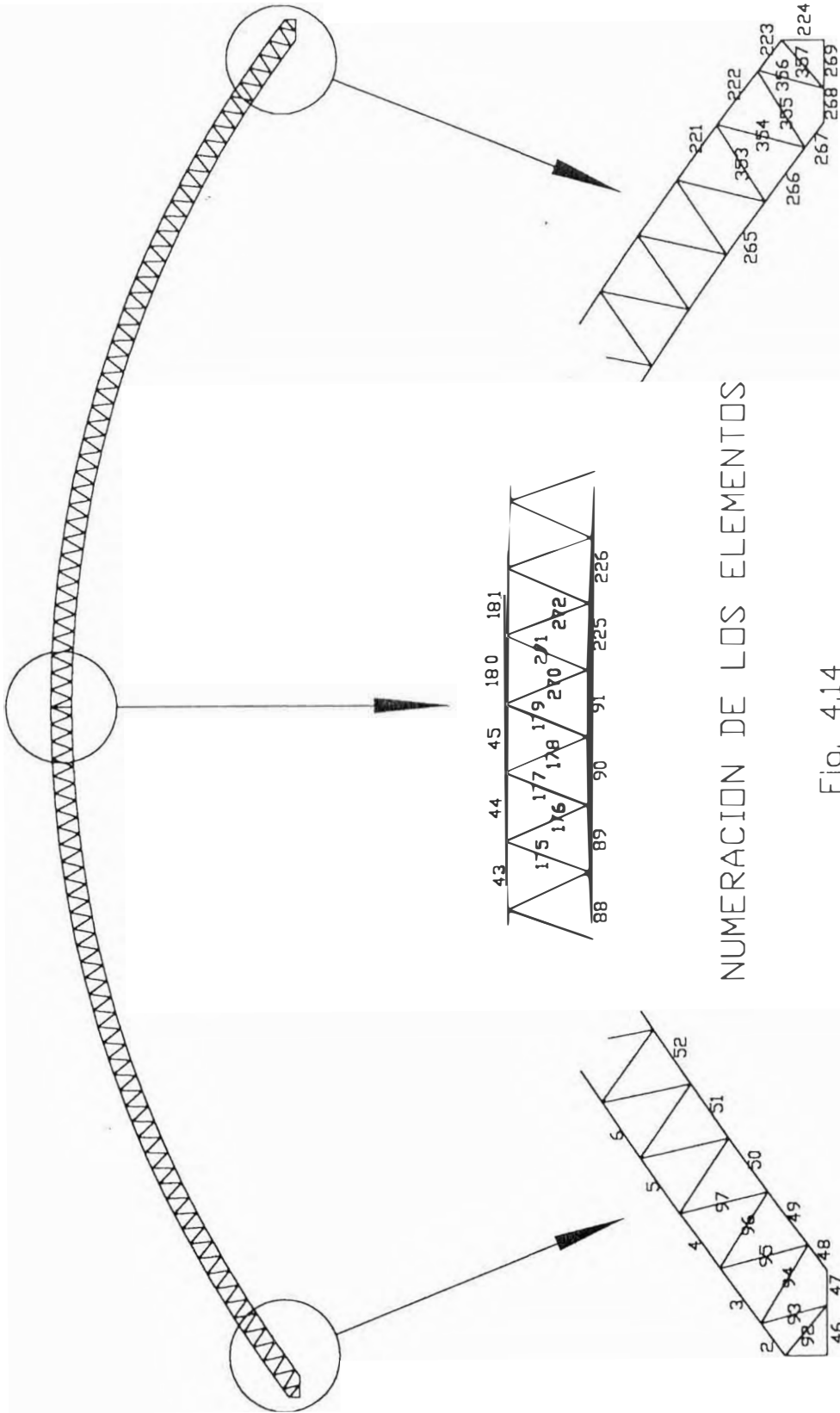
$F_a = 19.5 \text{ Klb/pulg}^2$

Sabemos que: $F/2A + MC/I \leq 19.5 \text{ Klb/pulg}^2$

C=1.4536 : distancia del C.G. de la sección del Ang. al extremo mas alejado

$12.17 / (2 \times 0.484) + 0.4385 \times 1.4536 / 0.29328 = 14.74 \text{ Klb/pulg}^2 < 19.5 \text{ Klb/pulg}^2$ ¡ok!

Usar en brida superior angs de 2"x1/8"



NUMERACION DE LOS ELEMENTOS

Fig. 4.14

4.2.6.2.- Brida inferior del arco

El mismo procedimiento que la brida superior

Elemento 50 (Ver Fig. 4.14) Long=22.1pulg F=-17.42Klb M=1470 lbxpulg

Relación de esbeltez, Asumiendo 2L2"x3/16" $r=0.617$ " $A=0.715$ pulg²

$KL/r=1 \times 22.1/0.617=35.81$ (2Ls) $I=0.54438$ pulg⁴

De Tabla 5 [For compresión members of 36-Ksc Specified yield stres steel]

$F_a=19.5$ Klb/pulg²

Sabemos que: $F/2A+MC/I \leq 19.5$ Klb/pulg²

$C=1.4308$: distancia del C G. De la sección del Ang. Al extremo más alejado

$17.42/(2 \times 0.715)+1.47 \times 1.4308/0.54438=16.04$ Klb/pulg² < 19.5 Klb/pulg² ¡ok!

Usar en brida inferior ang. de 2"x3/16"

4.2.6.3.- diagonales

Elemento 354 Long=30.11pulg F=-2.267Klb M=373.4 lbxpulg²

Asumiendo 2L 1"x1/8" $r=0.304$ pulg $A=0.234$ pulg²

Para 2Ls $I=0.04325$ pulg⁴ $C=0.70416$ pulg

$KL/r=1 \times 30.11/0.304=99$

De Tabla 5 $F_a=13.1$ Klb/pulg²

$2.267/(2 \times 0.234)+0.3734 \times 0.70416/0.04325=10.92$ Klb/pulg² < 13.1 Klb/pulg² ¡ok!

Usar en diagonales Angs. de 1"x1/8"

4.2.6.4.- Enlaces

$F_{e_{max}}=0.02(4F_b)/\text{sen}\theta_e=0.02(4 \times 17.42\text{klb})/\text{sen}35.216$

$F_{e_{max}}=2.416$ Klb

Asumiendo L1x1/8" $l_{og}=27.3$ pulg (de fig 4.1)

$KL/r=1 \times 27.3/0.304=89.8$

De Tabla 5 $F_a=14.32$ Klb/pulg²

$F_{e_{max}}/(2 \times A)=2.416\text{Klb}/(2 \times 0.234\text{pulg}^2)=5.16$ Klb/pulg²

5.16 Klb/pulg² < 14.32 Klb/pulg² ¡ok!

Usar Ang. 1"x1/8" para los enlaces

Como se puede ver los resultados del análisis concuerda con la verificación de los perfiles, significa que los ángulos asumidos para realizar el análisis estructural son correctos. El desplazamiento máximo del arco se percibe en la combinación de carga 5, en el centro del arco y toma como valor 36.67mm, generalmente este desplazamiento es mínimo, y en la práctica puede tomar como máximo un valor aproximadamente igual a la luz/1000.

4.2.7.- Diseño de los pernos de anclaje

Los nodos 176 y 177 de Fig 4.2 esta totalmente restringido por tanto en ellos se manifiesta las Fuerza de corte y momentos más críticos que van actuar directamente en los pernos de anclaje.

Resultados de la combinación de carga 5 en los nodos 176 y 177

Nodo	F(x) (Kg)	F(z) (Kg)	M(y) (Kgxmm)
176	-7327	3281	-320100
177	195	1735	-154200

-De acuerdo al criterio del máximo esfuerzo cortante¹.

$$F_e = (F_t^2 + 4F_s^2)^{1/2} \quad (4.5)$$

Donde Fe: fuerza de tracción en el perno

Ft: fuerza de tracción producido por la carga de momento flector

Fs: carga de corte actuante.

-Determinación de la fuerza de tracción producido por la carga de momento flector.

$$F_t = Mx C_i / \sum C_j^2 \quad (4.6)$$

Ft: carga de tracción en el perno.

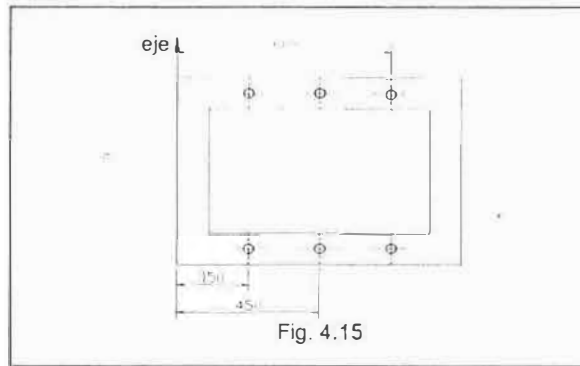
M: momento actuante.

Ci: distancia entre el eje de pivote y el perno.

Cj: distancia entre el eje de pivote y un perno cualquiera

M= 474300 Kgxmm (de los nodos 176 y 177).

¹ Diseño de Elementos de Máquinas J Hori A 1990



De la Fig. 4.15

$C_i = 600\text{mm}$.

$$\Sigma C_i^2 = 2(150^2 + 450^2 + 600^2) = 1170000\text{mm}^2$$

$$F_t = 474300 \times 600 / 1170000 = 243.2 \text{ Kg.}$$

Carga de corte F_s en un perno.

$$F_s = (195 - 7327) / 6 = -1188.6 \text{ Kg.}$$

Entonces en la ecuación (4.5)

$$F_e = (243.2^2 + 4 \times 1188.6^2)^{0.5} = 2389.6 \text{ kg}$$

A F_e sumar la fuerza por acción del viento, debido a la presión de succión (arco modelado en el plano XZ)

Del análisis solo por acción del viento en los nodos 176 y 177 se tiene.

NODOS	$F(z)$ Kg
176.....	1197
177.....	282.4

$$F_{e_{total}} = 2389.6 + (1197 + 282.4) / 6 = 2636.2 \text{ Kg.}$$

Sabemos

$$A_s = F_{e_{total}} / S_t. \quad (4.7)$$

A_s : Area de esfuerzo.

S_t : Esfuerzo permisible para temperaturas desde -30°C a 40°C (tablas de J. Hori)

$$A_s = 2636.2 \text{ Kg} / 13.2 \text{ Kg/mm}^2 = 199.7\text{mm}^2$$

Entonces usar 6 pernos de $\phi 3/4" \times 4"$ (en cada apoyo).

TABLA 5

Allowable Stress For Compression Members of 36-ksi Specified Yield Stress Steel

 $F_y = 36$ Ksi

Kl/r	Fa (Ksi)	Kl/r	Fa (Ksi)	Kl/r	Fa (Ksi)	Kl/r	Fa (Ksi)	Kl/r	Fa (Ksi)
1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88
16	20.83	56	17.81	96	13.43	136	8.07	176	4.82
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77
40	19.19	80	15.35	120	10.28	160	5.83	200	3.73

CAPITULO 5

ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS AL ARCO

5.1.- Viguetas

Son elementos que van montados en el arco es decir sirven de apoyo de las planchas para cobertura, las planchas a utilizar serán de eternit 1.8x1.10, por lo cual las viguetas deben soportar un peso en el área de 1.7x7m, 1.7m es medida útil de la cobertura eternit perfil 4.

5.1.1.- Clasificación de viguetas

Viguetas típicas.- Son las que trabajan soportando el peso de las planchas de cobertura, así como estos también tenemos a las viguetas tipo flecha, viguetas trico etc.

Viguetas de compresión.- Son los que trabajan amarrando a los arcos y también soportando planchas de cobertura estas viguetas son utilizados cuando tenemos arcos de 20m de luz para arriba, por cada vigueta de compresión se usa tres viguetas típicas.

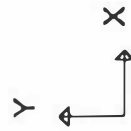
5.1.2.- Modelado y diseño de viguetas típicas

como ya se indico las viguetas típicas soportarán el peso de un área de 1.7x7m , 1.7 es la separación entre viguetas, 7 es la longitud de la vigueta, carga de diseño 45Kg/m², este es un valor muy utilizado en la práctica. En la Fig. 5.1 se muestra la numeración de los nodos.

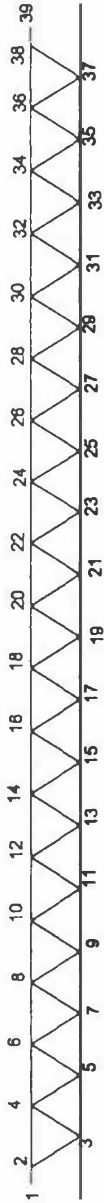
SAP90

FILE : VIGTI7

Fig 5.1



VIGUETA TIPICA LONG 7m



NUMERACION DE LOS NODOS

DATOS INGRESADOS ATRAVES DEL EDITOR SAPIN

VIGUETA TIPICA LONG=7m

Este es un archivo VIGTI7 escrito por SAPIN

Las unidades son fuerzas (kg) y longitudes (mm)

SISTEMA

R=0 L=1 C=0 V=0 T=0 0001 P=0 W=0 Z=0

MALLA

XN=39 YN=2 ZN=1

NODOS

X=0 Y=300 Z=0

2 X=100 Y=300 Z=0

3 X=288.87 Y=0 Z=0

4 X=477.77 Y=300 Z=0

5 X=666.65 Y=0 Z=0

6 X=855.55 Y=300 Z=0

7 X=1044.4 Y=0 Z=0

8 X=1233.3 Y=300 Z=0

9 X=1422.2 Y=0 Z=0

32 X=5766.6 Y=300 Z=0

33 X=5955.5 Y=0 Z=0

34 X=6144.3 Y=300 Z=0

35 X=6333.2 Y=0 Z=0

36 X=6522 Y=300 Z=0

37 X=6710.9 Y=0 Z=0

38 X=6899.9 Y=300 Z=0

39 X=6999.7 Y=300 Z=0

ESTRUCTURA

NM=3 NL=1 NSEC=0

1 A=301.93 J=0 I=18002,63475 AS=0,0 E=20389 G=7842 W=0.0023651 M=2.4098E-07\

TC=8.3E-06

2 A=70.968 J=0 I=402.83,402.83 AS=0,0 E=20389 G=7842 W=0.00055592\

M=5.6642E-08 TC=8.3E-06

3 A=129.03 J=0 I=1300.7,1300.7 AS=0,0 E=20389 G=7842 W=0.0010108\

M=1.0299E-07 TC=8.3E-06

WL=0,0,0 WG=0,-0.081486,0 T=0,0,0

1 2 M=1,1,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

33 14 15 M=2,2,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

34 15 16 M=2,2,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

35 16 17 M=2,2,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

36 17 18 M=2,2,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

37 18 19 M=2,2,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

38 19 20 M=2,2,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

72 33 35 M=3,3,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

73 35 37 M=3,3,1 LP=1,0 LR=0,0,0,0,0,1 MS= 0,0

RESTRICCIONES

3 33 R=0,0,1,1,1,0

35 35 R=0,0,1,1,1,0

36 36 R=0,0,1,1,1,0

37 37 R=0,0,1,1,1,0

2 2 R=1,1,1,1,1,0

38 38 R=1,1,1,1,1,0

1 R=1,1,1,1,1,1

39 39 R=1,1,1,1,1,1

RESULTADOS DEL ANALISIS
 MAX. DESPLAZAMIENTO EN EL NODO 20
 VALORES EN mm. (modelado en el plano X-Y)

COMBINACION DE CARGA 1 - DESPLAZAMIENTOS "U"

NODOS	U(X)	U(Y)	U(Z)
1	000000	.000000	.000000
2	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	-1.291151	-.887452	.000000
4	.052945	-1.808689	.000000
5	-1.251706	-2.712509	.000000
6	.088061	-3.638339	.000000
7	-1.168690	-4.496750	.000000
8	.106283	-5.366898	.000000
9	-1.050048	-6.152969	.000000
10	.110335	-6.941545	.000000
11	-.900743	-7.625373	.000000
12	.102505	-8.303889	.000000
13	-.726528	-8.862670	.000000
14	.085185	-9.410509	.000000
15	-.532822	-9.825899	.000000
16	.060738	-10.226068	.000000
17	-.325285	-10.484621	.000000
18	.031559	-10.725160	.000000
19	-.109308	-10.819127	.000000
20	.000006	-10.893148	.000000
21	.109329	-10.819086	.000000
22	-.031547	-10.725167	.000000
23	.325193	-10.484817	.000000
24	-.060744	-10.225910	.000000
25	.532727	-9.826423	.000000
26	-.085181	-9.410875	.000000
27	.726539	-8.862752	.000000
28	-.102496	-8.304564	.000000
29	.900765	-7.625329	.000000
30	-.110332	-6.941131	.000000
31	1.050023	-6.153394	.000000
32	-.106284	-5.366923	.000000
33	1.168695	-4.496772	.000000
34	-.088065	-3.638583	.000000
35	1.251704	-2.712752	.000000
36	-.052958	-1.809304	.000000
37	1.291154	-.888058	.000000
38	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
39	.000000	.000000	.000000

SAP90

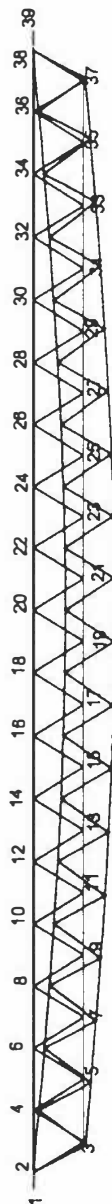
FILE : VIGTI7

DEFORMED SHAPE

LOAD : 1

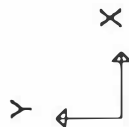
Fig. 5.2

VIGUETA TIPICA LONG 7m



MAXIMA DEFORMADA DE LA VIGUETA

EN EL NODO 20



RESULTADOS DE FUERZAS EN KG, DIST. EN mm
FUERZAS EN LOS ELEMENTOS

ELT ID	COND CARGA	FUERZA AXIAL	DIST ENDI	PLANO 1-2 F. CORT.	MOMENT
9	1	-475.59	.0	15.53	-160.04
			190.6	.00	1320.40
			377.7	-15.24	-105.56
10	FUERZA MAX. BRIDA SUP.-----				
	1	-514.27	.0	15.43	-115.75
			189.4	00	1346.09
			377.7	-15.34	-98.24
11	FUERZA MAX. BRIDA SUP.-----				
		-514.28	.0	15.34	-98.21
			188.2	.00	1345.41
			377.7	-15.44	-117.14
12	1	-475.61	.0	15.26	-107.01
			187.2	00	1321.10
			377.9	-15.54	-160.25
22	1	-258.71	.0	-.63	92.85
			354.5	-.63	-132.12
23	FUERZA MAX. DIAGONALES-----				
	1	284.65	.0	-.60	133.34
			354.5	-.60	-78.57
24	FUERZA MAX. DIAGONALES-----				
	1	-283.99	.0	.02	.51
			354.5	.02	6.56
25	1	232.43	.0	-.18	30.48
			354.5	-.18	-32.99
64	1	1503.54	.0	.03	55.45
			377.9	.03	66.12
65	FUERZA MAX. EN BRIDA INF.-----				
	1	1522.87	.0	.00	61.72
			377.7	.00	61.71
66	1	1503.56	.0	-.03	66.13
			377.7	-.03	55.40

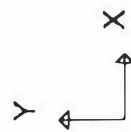
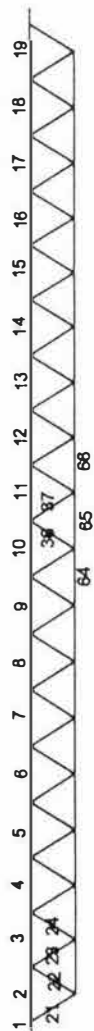
SAP90

FILE : VIGTI7

UNDEFORMED SHAPE

Fig. 5.3

NUMERACION DE LOS ELEMENTOS



DISEÑO DE ELEMENTOS DE VIGUETABRIDA SUPERIOR (Elem. 11, ver Fig. 5.3)

De resultados obtenidos en el análisis tenemos:

$$F_{\max} = -514.28 \text{ Kg} = -1133.7 \text{ lb}$$

$$\text{Long} = 377.7 \text{ mm} = 14.87 \text{ pulg}$$

$$M = 1345.41 \text{ Kg}\cdot\text{mm} = 116.76 \text{ lb}\cdot\text{pulg}$$

Relación de esbeltez asumiendo 2L 1"x1/8" $r = 0.304$ $A = 0.468$

$$KL/r = 1 \times 14.87 / 0.304 = 48.91 \quad (2Ls) I = 0.04325 \text{ pulg}^4 \quad C = 0.70416 \text{ pulg}$$

De Tabla 5 $F_a = 18.44 \text{ Klb/pulg}^2$

$$1.1337 / (2 \times 0.234) + 0.11676 \times 0.70416 / 0.04325 = 4.32 \text{ Klb/pulg}^2$$

$$4.32 \text{ Klb/pulg}^2 < 18.4 \text{ Klb/pulg}^2 \quad \text{¡ok!}$$

Brida superior Usar L 1"x1/8"

BRIDA INFERIOR (Elem. 65)

$$F_{\max} = 1522.87 \text{ Kg} = 3357.16 \text{ lb}$$

$$\text{Long} = 377.7 \text{ mm} = 14.87 \text{ pulg}$$

Asumiendo Fe liso $\phi 1/2$ $A = 0.2 \text{ pulg}^2$ $r = 0.125 \text{ pulg}$

$$KL/r = 1 \times 14.87 / 0.125 = 118.96 \quad F/A = 3357.16 / 0.2 = 16.785 \text{ Klb/pulg}^2 < 21.6 \text{ Klb} \quad \text{¡ok!}$$

Brida Inferior Usar Fe. liso $\phi 1/2$ "

DIAGONALES (Elem. 24)

$$F_{\max} = -283.99 \text{ Kg} = 626.05 \text{ lb}$$

$$\text{Long} = 354.5 \text{ mm} = 13.95 \text{ pulg}$$

Asumiendo Fe liso $\phi 3/8$ " $A = 0.11 \text{ pulg}^2$ $r = 0.0938 \text{ pulg}$

Relación de esbeltez

$$KL/r = 1 \times 13.95 / 0.0938 = 148.72 \quad \text{De Tabla 5 } F_a = 6.73 \text{ Klb/pulg}^2$$

$$F/A = 626.05 / 0.11 = 5.6914 \text{ Klb/pulg}^2 < 6.73 \text{ Klb/pulg}^2 \quad \text{¡ok!}$$

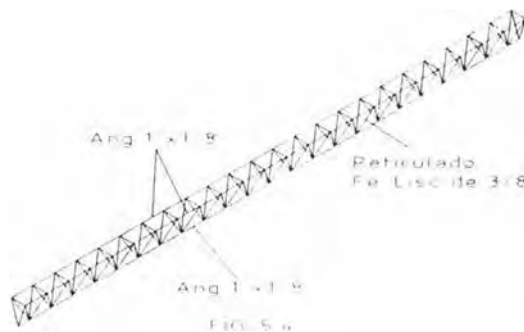
Usar Fe liso $\phi 3/8$ "

El programa nos da como resultados los desplazamientos de los nodos, y se observa que el máximo desplazamiento se da en el nodo 20. Por normas técnicas de edificación la flecha de las viguetas no debe pasar 20mm, para nuestro caso tenemos una flecha max. de -10.89mm.

5.1.3.- Viguetas de compresión

La forma geométrica de estas viguetas son similares a las viguetas típicas en longitud, pero la sección es de forma triangular, el método de cálculo o modelamiento es similar al de la vigueta típica, por tanto seleccionaremos de un banco de datos de la siguiente manera:

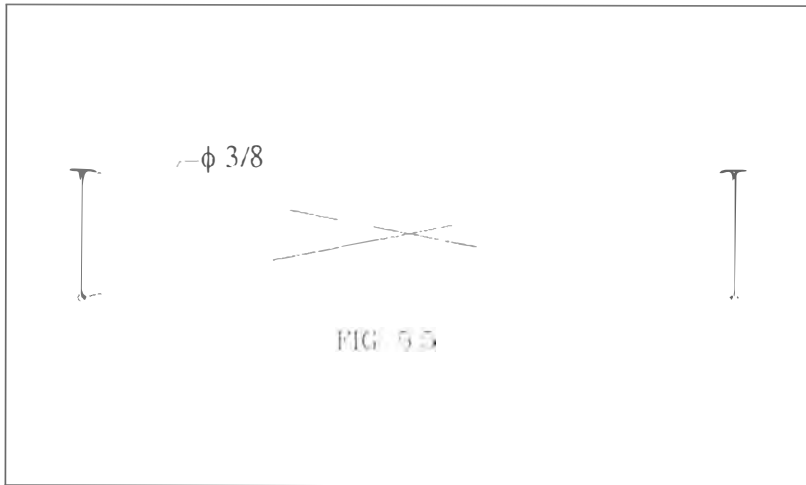
- Los vértices están formados por perfiles angulares
- El reticulado por Fi. Liso, observar fig.5.4



5.2.- Arriostres de vigueta

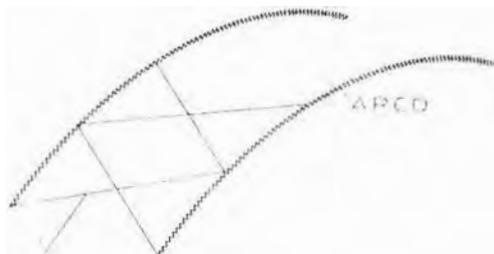
Los arriostres de vigueta llamados también cruz de San Andrés, son elementos que amarran a las viguetas consecutivamente, cuando la distancia entre arcos es de 6m ó menos se utiliza un arriostre de vigueta, cuando la distancia entre arcos es de 6.3m ó más se utiliza dos arriostres de vigueta y este es el caso de nuestro proyecto. La función principal de los arriostres es eliminar el pandeo flexo-torcional de las viguetas .

Material del arriostre Fe.liso $\phi 3/8"$ ver fig 5.5



5.3.- Arriostres de arco

Para las acciones de los sismos en la dirección longitudinal de la estructura de acero es necesario contar con las diagonales en x llamados arriostres de arco. Estos elementos amarra los arcos de tres en tres viguetas ó dependiendo de la separación de arcos. Material del arriostre Fe. Liso $\phi 1/2"$ ver fig. 5.6



Arriostres de arco
Fig 5.6

5.4.- Cobertura

En coberturas tenemos una variedad en el mercado, entre ellos podemos mencionar por ejemplo a eternit que proporcionan medidas desde 1.83 á 3.05m de longitud y 1.10m de ancho, de acuerdo al espesor, tenemos al perfil gran onda, perfil 4NG.

Otros fabricantes, Fibraforte, Fam Perú, Cindutec etc Ver. Tabla 6

Tabla 6

COBERTURA						
DESCRIPCIÓN	MEDIDAS PRODUCTO mxm	MEDIDAS ÚTILES Mxm	PESO UNIDAD KG	ESP mm	AREA UTIL m2	Kg/m2
ETERNIT						
PERFIL	1.83x1.10	1.69x1.05	19.2	5	1.77	10.82
GRAN ONDA	2.44x1.10	2.30x1.05	25.7	5	2.42	10.64
PERFIL 4	3.05x1.10	2.91x1.0	32	5	2.91	10.99
NG	1.83x1.10	1.69x1.0	12	4	1.69	7.1
	2.44x1.10	2.30x1.0	16	4	2.3	6.96
FIBRAFORTE						
ECOTECHO	1.83x0.9	1.7x0.8	2.65	1.3	1.36	1.95
ESTANDAR	2.44x0.9	2.3x0.8	3.53	1.3	1.85	1.91
	3.05x0.9	2.9x0.8	4.41	1.3	2.34	1.89
DURATECHO	1.83x1.10	1.7x0.8	4.32	1.8	1.36	3.18
ESTANDAR	2.44x1.10	2.3x0.8	5.76	1.8	1.85	3.12
	3.05x1.10	2.9x0.8	7.2	1.8	2.34	3.08
SUPERFORTE	1.83x1.10	1.7x0.8	19.2	2.7	1.36	14.12
ESTANDAR	2.44x1.10	2.31x0.8	25.7	2.7	1.85	13.91
	3.05x1.10	2.92x0.8	32	2.7	2.34	13.7
TRASLUCIDA	1.83x1.10	1.7x0.8	3.69	1.8	1.36	2.71
CLIMATIZADA	2.44x1.10	2.3x0.8	4.92	1.8	1.85	2.66
	3.05x1.10	2.9x0.8	6.16	1.8	2.34	2.64
FAM PERU						
CALAMINA	1.83X0.83	1.7X0.72	1.35	0.3	1.21	1.12
ONDULADA	2.4X0.83	2.3X0.72	1.77	0.3	1.62	1.09
	1.83X0.813	1.7X0.69	1.81	0.4	1.16	1.56
	2.4X0.813	2.3X0.69	2.37	0.4	1.55	1.53
	1.83X0.813	1.7X0.69	2.26	0.5	1.16	1.95
	2.4X0.813	2.3X0.69	2.96	0.5	1.55	1.91
	3X0.813	2.9X0.69	3.71	0.5	1.97	1.89
CALAMINA						
TRAPEZOIDAL	5.8X0.94	5.65X0.82	7.14	0.5	4.63	1.54
CINDUTEC						
CINDU	5X0.87	4.9X0.79	23.05	2	3.832	6.015

CAPITULO 6

COSTOS DE FABRICACION Y MONTAJE

En este capítulo trataremos tres puntos importantes, los costos de materiales, costos de fabricación y costos de montaje. Según plano se cubrirá un área de 45mx63m. Las columnas son de concreto y existentes.

6.1.- Costos de materiales

6.1.1.- Especificaciones técnicas de los materiales

De todo los tipos de acero que se puede producir, los que más interesan para la construcción son los aceros estructurales adecuados para resistir esfuerzos los que deben seguir cuidadosamente las indicaciones de las normas de fabricación correspondientes. Vamos a seguir las normas ASTM para descripción de los diferentes grados de aceros que ofrece el mercado internacional tanto para perfiles como para pernos y soldaduras

Material : acero estructural A-36

Peso específico : 7.85 gr/cm³

Resistencia mecánica

Resistencia a la fluencia $F_y=2530\text{Kg/cm}^2=36\text{Ksi}$

Resistencia a la fractura $F_u=4080\text{Kg/cm}^2=58\text{Ksi}$

6.1.2.- Especificaciones técnicas de soldadura

Los electrodos se emplean como material de relleno y para nuestro caso utilizaremos los siguientes.

Soldadura de penetración E6011 $F_y=50\text{Ksi}$ $F_u=62\text{Ksi}$

Soldadura de resistencia E7018 $F_y=60\text{Ksi}$ $F_u=72\text{Ksi}$

6.1.3.- Elementos de toda la estructura según planos

Arcos	11 unid	Luz =45m	flecha=7.5mt
Vigueta típica:	189 unid.	Long =7m	peralte =0.3m
Vigueta de compresión:	72 unid.	Long =7m	peralte =0.3m
Arriostres de vigueta:	1728 ml de Fe. liso	ϕ 3/8"	
Arriostres de arco:	972 ml de Fe. liso	ϕ 1/2"	
Cobertura	1764 unid	De eternit perfil 4NG	1.8x1 10
Ganchos de fijación	4410 unid.		

Tabla 7
COSTO DE ARCO POR UNIDAD

DESCRIPCION

LUZ :	45
FLECHA:	7.50
PERALTE:	0.7
ANCHO	0.4

METRADO	MATERIAL	LONG. (m)	PESO (kg)	AREA PIN (m2/m)	UNID.	\$/UND.	PREC.T. (\$)
BRIDAS	ANG 2X3/16	101.1	367.9	20.54	16.85	15.54	261.81
	ANG 2X1/8	101.1	248.8	20.54	16.85	11.42	192.40
DIAGONALES	ANG 1"X1/8"	262	312.6	26.62	43.67	4.5	196.50
ENLACE VERTICAL	ANG 1"X1/8"	70	83.5	7.11	11.67	4.5	52.50
ENLACE DIAGONAL	ANG 1"X1/8"	107.7	128.5	10.95	17.95	4.5	80.80
ANCLAJE	Fe. Li. 3/4"	12	26.9	0.72	2.00	8.13	16.26
PL ESTRUC..DE APOYO	PL 3/8"X1580X3000		235.8	6.323	0.667	171	114.057
PL ESTRUC. EXTRE SUP.	PL 1/4"X1520X3000		91.6	3.648	0.4	112.2	44.88
PL ESTRUC. EXTRE. INF.	PL 3/16"X1520X6000		75.1	4.250	0.233	157.8	36.77
PERNOS DE 3/4"X4" C/TUERCA Y ARANDELA					12	5	60.00
PERNOS DE 5/8"X3" C/TUERCA Y ARANDELA					10	2	20.00
			1404	92.80			914.33

COSTO DE VIGUETA TIPICA POR UNIDAD

CANTIDAD	1
DESCRIPCION	
LARGO (m)	7
PERALTE (m)	0.3

MATERIAL	LONG. (m)	PESO (kg)	AREA (m2)	UND.	\$/UND.	\$ TOTAL
ANG.1"X1/8"	14	16.7	1.42	2.33	4.50	10.50
FE. LISO 3/8"	14	7.84	0.42	2.3	2.34	5.5
FE. LISO 1/2"	7	6.93	0.28	1.2	3.93	4.6
		31.47	2.12			20.55

COSTO DE LA VIGUETA DE COMPRESION POR UNIDAD

DESCRIPCION

LARGO(m)	7
PERALTE(m)	0.3
ANCHO(m)	0.2

MATERIAL	LONG.	PESO	AREA	UND.	\$/UND.	\$ TOTAL
ANG.1 "x1/8"	21	25.05	2.13	3.5	4.50	15.75
Fe.Liso. 3/8"	31.83	17.83	0.95	5.31	2.34	12.42
TOTAL		42.88	3.09			28.17

COSTO DE ARRIOSTRES DE VIGUETAS

MATERIAL	LONG.	PESO	AREA	UND.	\$/UND.	\$ TOTAL
Fe.Liso.3/8"	1854	1038	55.43	309.00	2.34	723.06
		KG/ml=	0.56			
		m2/ml=	0.0299			
		\$/ml=	0.39			

COSTO DE ARRIOSTRES DE ARCO

MATERIAL	LONG.	PESO	AREA	UND.	\$/UND.	\$ TOTAL		
Fe.Liso 1/2"	972	933.1	38.78	162	3.93	636.66		
	kg/ml=	0.96						
	m2/ml	0.04						
	\$/ml	0.655						
PROYECTO :	HANGAR							
AREA(m2)	2923							
LUZ(m)	45							
DESCRIPCION	UND.	CANT.	P.UNIT.	KG/UN D.	KG	M2/UND.	M2 PINT.	P.TOTAL
			(\$)					
ARCO	UND	11	914.33	1403.9	15442.7	92.80	1020.79	10057.61
L=45X7m								
VIGUETA TIPICA	UNID	207	20.55	31.47	6514.704	2.12	438.90	4252.82
L=7X0,3m								
VIGUETA DE COMP	UNID	72	28.17	42.88	3087.361	3.09	222.15	2027.90
L=7X0,3m								
ARRIOSTRES DE VI	ml	1854	0.39	0.56	1038.24	0.03	55.43	723.06
Fe.co 3/8"								
ARRIOSTRES DE AR	ml	972	0.655	0.99	962.28	0.04	38.78	636.66
Fe.co 1/2"								
GANCHOS' ETERNIT		4725	0.15					708.75
			SUB TOTAL		27045.3		1776.06	18406.79
SOLDADURA	KG	1003.38	1.7					1705.75
ANTICORROSIVO	GLN	88.80	6.0					532.82
PINT.ESMALTE	GLN	88.80	7.0					621.62
DISOLVENTE	GLN	88.80	3.8					338.34
WAYPE	KG	44.40	1.1					47.95
OXIGENO	9M3	9.00	18.0					162.00
PROPANO	45KG	2.00	40.0					80.00
DISCO DE DESVASTE	UND	30.00	3.8					114.30
					TOTAL DE ESTRUCTURA			22009.57
COBER/ETERNIT	und	1890	8					15120.00
PERF.4NG								
1,83m x 1,10m								
						COSTO TOTAL		37129.57
			RESUMEN					
			C/ETERNIT					
			\$/m2	\$/kg	Kg/m2	total \$		
ESTRUCTURA		7.53		0.681	9.25	22009.6		
COBERTURA		5.17				15120.0		
TOTAL		12.70				37129.6		

6.2.- Costos de fabricación

La fabricación de las estructuras se efectuará cumpliendo los requerimientos de los planos.

Los soldadores deberán ser evaluados y calificados para este tipo de trabajo. Si fuese posible la calificación se efectuará por inspección radiografía; la misma que posee los siguientes criterios de aceptación:

No se aceptarán faltas de penetración.

No se aceptarán faltas de fisión

No se aceptarán ningún tipo de fisuras

6.2.1.- Memoria descriptiva de las fabricaciones

A).- Habilitado de materiales.

Todos los materiales serán habilitados según los siguientes procesos:

a) Corte.- Se realizará con oxícorde de acuerdo a medidas detalladas en los planos.

b) Agujereado.- De planchas, perfiles de acuerdo a medidas del plano. Esta operación se realizará con una prensa o con un taladro.

c) Soldeo.- Los retazos provenientes del corte de varillas y perfiles de 6.00m., serán unidos mediante soldadura para obtener nuevos elementos.

B).- Fabricación de arcos.

Realizado a partir de perfiles angulares, comprende los siguientes procesos:

a) Armado.- Operación que consiste en construir el arco de acuerdo a la geometría indicada en el plano, uniendo las partes principales mediante pequeños puntos de soldadura.

b) Soldeo.- Operación complementaria a la anterior; consiste en soldar todas las piezas sueltas o soldadas ligeramente durante la operación de armado.

C).- Fabricación de viguetas .

Realizado a partir de perfiles angulares y varillas, los procesos que involucra son:

a) Dobles.- El elemento diagonal será obtenido por dobles, para lo cual se construirá una plantilla de acuerdo a las medidas del plano.

b) Soldeo - Mediante esta operación se unirán los diagonales con los perfiles angulares.

3.2.2.- Costos

detallados en la Tabla 8

Tabla 8
PRESUPUESTO DE FABRICACIÓN

FABRICACION PARA UN ARCO DE LUZ =45m

DESCRIPCION	PARTICIPANTE	# DE PARTICI	\$/ (HORA/H.)	HORA/H.	SUB TOTAL \$
TRAZO	MAESTRO	1	1.375	16	22
	AYUDANTE	1	0.75	16	12
HABILITADO DE	OFICIALES	2	1	16	32
MATERIALES	AYUDANTE	2	0.75	16	24
ARMADO	MAESTRO		1.375	56	77
	AYUDANTE		0.75	56	42
	SOLDADOR		1.125	56	63
SOLDADA	SOLDADOR	1	1.125	32	36
LIMPIEZA	AYUDANTE	2	0.75	8	12
PINTURA	AYUDANTE	2	0.75	8	12
TOTAL/UND					332

FABRICACION DE VIGUETA L = 7m

DESCRIPCION	PARTICIPANTE	# DE PARTICI	\$/ (HORA/H.)	HORA/H.	SUB TOTAL \$
HABILITADO	MAESTRO	1	1.375	1	1.375
ARMADO	MAESTRO		1.375	0.25	0.34375
	AYUDANTE		0.75	0.25	0.1875
SOLDADO	SOLDADOR		1.125	0.5	0.5625
PINTU(2manos)	AYUDANTE		0.75	0.5	0.375
TOTAL/UND					2.84375

RESUMEN

ITEM	DESCRIPCION	PARCIAL	SUB TOTAL	TOTAL	\$/KG
1.0	MANO DE OBRA	4547.78			
2.0	USO DE MAQUIN				
2.1	DEPRECIACION	67.00			
3.0	GASTOS Gen.	461.48			
	FABRICACIONES		5076.26		
4.0	Uti(15%)		761.44		
COSTO TOTAL DE FABRICACIONES				5837.70	0.25

6.3.- Costos de montaje

6.3.1.- Especificaciones técnicas de montaje

El objetivo es definir algunas de las modalidades a ser empleadas por el montajista en la ejecución de la obra.

Las obras a ejecutarse serán:

- Montaje de arcos.
- Montaje de arriostres de arcos
- Montaje de viguetas.
- Montaje de arriostres de viguetas
- Montaje de cobertura.

El procedimiento que sigue el responsable del montaje tendrá como fin lograr una excelente calidad en la instalación de todas las partes. Algunas de las pautas a seguir son:

- a) Controlar las medidas generales de todos los elementos antes y después del montaje.
- b) Ensamblar las siguientes partes usando los planos de disposición.
- c) Verificar el alineamiento y la nivelación de las partes en forma permanente.

Equipos y herramientas

Equipos:

- Máquinas de soldar eléctrica.
- Esmeriles angulares.
- Dos grúas o dos equipos de maniobra.
- Diez cuerpos de andamios.

Herramientas:

- Llaves mixtas.
- Sogas.
- Tornillo de banco de 8".
- Arco de cierra manual
- Winchas métricas.
- Otras herramientas menores necesarias.

6.3.2.- Memoria descriptiva

A).- Montaje de arcos

Antes de realizarlo verificar la distancia entre sus extremos, la misma que deberá coincidir con la distancia entre ejes de las columnas que soportarán a los arcos. El montaje se realizará con el apoyo de dos grúas ó mediante maniobras adecuadas para tal fin.

B).- Montaje de arriostres de arcos

Antes de realizar esta operación se procederá a distribuir los arriostres debajo de sus respectivas posiciones. Luego se izarán en forma manual, asegurándolos mediante soldadura.

C).- Montaje de viguetas

Se realizará la distribución de las mismas debajo de sus respectivas posiciones. Posteriormente serán montadas en forma manual y asegurados a los arcos mediante soldadura.

D).- Montaje de arriostres de viguetas

Se procederá de la misma manera que la parte (B)

E).- Montaje de cobertura

Para realizar esta operación se levantarán paulatinamente en lugares establecidos previamente sobre las viguetas paquetes de cobertura (eternit) que posteriormente serán tendidas partiendo de los extremos, paralelamente a ello, la cobertura será asegurada a las viguetas mediante ganchos de sujeción

6.3.3.- Costos

Detallados en la Tabla 9.

Tabla 9

PRESUPUESTO DE MONTAJE					
MONTAJE DE UN ARCO					
Tipo de cambio \$1=3.2 soles					SUB TOTAL
DESCRIPCION	PARTICIPANTE	# DE PART	\$/((HORA/H.)	HORA/H.	\$
ALQUILER	GRUA	2			562.5
MANIOBRAS	MAESTRO	1	1.375	3.2	4.4
	AYUDANTE	5	0.75	3.2	12
	SOLDADOR	2	1.125	3.2	7.2
				TOTAL	586.1
MONTAJE DE UNA VIGUETA					
Tipo de cambio \$1=3.2 soles					SUB TOTAL
DESCRIPCION	PARTICIPANTE	# DE PART	\$/((HORA/H.)	HORA/H.	\$
COLOCACION DE	AYUDANTE	2	0.75	0.5336	0.80
VIGUETAS	SOLDADOR	2	1.125	0.5336	1.2006
				TOTAL	2.00
MONTAJE DE UN ARRIOSTRE DE VIGUETA					
Tipo de cambio \$1=3.2 soles					SUB TOTAL
DESCRIPCION	PARTICIPANTE	# DE PART	\$/((HORA/H.)	HORA/H.	\$
COLOCACION DE	AYUDANTE	1	0.75	0.3336	0.25
ARRIOSTRES	SOLDADOR	1	1.125	0.3336	0.3753
				TOTAL	0.63
MONTAJE DE UN ARRIOSTRE DE ARCO					
Tipo de cambio \$1=3.2 soles					SUB TOTAL
DESCRIPCION	PARTICIPANTE	# DE PART	\$/((HORA/H.)	HORA/H.	\$
COLOCACION DE	AYUDANTE	1	0.75	0.8000	0.60
ARRIOSTRES	SOLDADOR	2	1.125	0.8000	1.8
				TOTAL	2.40
MONTAJE DE COBERTURAS/m2					
Tipo de cambio \$1=3.2 soles					SUB TOTAL
DESCRIPCION			AREA m2	\$/m2	\$
COLOCACION DE COBERTURAS			1	0.6250	0.63
				TOTAL	0.63
RESUMEN					
ITEM	DESCRIPCION	PARCIAL	SUB TOTAL	TOTAL	\$/KG DE AC
1.0	MANO DE OBRA Y SUPERVICION	3580.62			
2.0	DEPREC. DE MAQ	133.00			
3.0	ALQUI. DE GRUA	6187.50			
4.0	GASTOS Gen.	990.11			
	MONTAJE		10891.23		
5.0	Uti(15%)		1633.68		
	COSTO TOTAL DE MONTAJE			12524.92	0.53

6.4.- Costo total

Ver tabla 10

TABLA 10

PROYECTO ESTRUCTURA Y COBERTURA
PARA HANGAR 45mX63m

PRESÜPUESTO GENERAL		PARCIAL	SUB TOTAL	TOTAL
ITEM	ESPECIFICACION	\$	\$	\$
	MATERIALES			
1.1	ESTRÜCTURA EN ACERO	22009.6		
1.2	COBERTURA(Techo)	15120		
	TOTAL ESTIMADO EN (\$)		37129.6	
	FABRICACIONES			
2.1	FABRICACIONES EN ACERO	5076.26		
2.2	Util.(15%)	761.439		
	TOTAL ESTIMADO EN (\$)		5837.70	
	MONTAJE			
3.1	MONTAJE EN GENERAL	10891.23		
3.2	Util.(15%)	1633.6845		
	TOTAL ESTIMADO EN (\$)		12524.91	
	TOTAL (MAT. FABR. Y MONT.)			55492.2135

CONCLUSIONES

- 1.- La estructura del arco es modelado en el plano xz, entonces para todo los elementos el eje local será paralelo al eje y, por lo que las restricciones hay que tomarlas teniendo en cuenta los ejes en que estamos trabajando, determinamos al final en función de las restricciones, 531 grados de libertad para la estructura completa, por tanto nuestra matriz de rigidez del conjunto será $K = []_{531 \times 531}$.
- 2.- El análisis estructural del arco en base a seis combinaciones de carga realizado por el software, nos ha permitido determinar el comportamiento de cada uno de los elementos que conforman, lo que sería muy trabajoso realizar por nuestros métodos tradicionales.
- 3.- La combinación de carga 5 nos da como resultados los máximos valores en fuerzas axiales, por tanto se han considerado estos resultados para seleccionar nuestros perfiles.
- 4.- Para modelar la estructura en una primera oportunidad asumimos en las bridas superior e inferior ángulos de 2"x2"x1/8", donde estos no cumplieron las condiciones de diseño, por tanto se reemplazaron con ángulos de 2"x2"x3/16", de esta manera realizamos un análisis iterativo, hasta que concluimos en perfiles ya indicados en el capítulo 4. Con respecto a los desplazamientos máximos permitidos, por normas técnicas estos generalmente son pequeños, como se observa en la combinación de carga 5, obteniendo un máximo desplazamiento de 36.67mm. siendo este un valor satisfactorio.
- 5.- El arco elegido no lleva templador ni colgadores como usualmente se usa, por tanto los apoyos deben estar fijados con pernos y agujeros ligeramente ensanchados en la dirección horizontal en el eje x, para que pueda desfogar los esfuerzos producidos por cargas

climáticas o accidentales, es más las columnas de concreto deben estar calculadas para soportar la fuerza de empuje que el arco genera.

6.- En una armadura se toma en cuenta a los nodos como si fueran empernadas, de esta manera desaparecen los momentos, solo existen fuerzas axiales, pero en realidad todo los nodos del arco serán soldadas, significa que deben existir esfuerzos producto de los momentos, por tanto en nuestro cálculo se ha considerado los momentos aunque son valores pequeños que no influye mucho en los resultados

7 - Estrictamente estudiar un elemento curvo es tan complejo, por tanto hemos ideado el arco formado por elementos rectos de nodo a nodo, de esta manera conseguimos resultados satisfactorios, en caso contrario si aumentamos las particiones hasta conseguir un elemento curvo real, nuestra matriz de rigidez será tan grande, por tanto es posible que nuestro computador y software no tendrá capacidad para resolver un sistema de gran magnitud.

8.- Dada la magnitud del arco, es conveniente construir dos semi-arcos, donde los extremos superiores se unirán por juntas empernadas, este criterio es usual en la practica por razones de comodidad en el montaje.

9.- Hacemos presente que el arco en su conjunto no trabaja a torsión, por tanto no esta diseñado para soportar cargas de este tipo, se recomienda tener precauciones en el montaje, teniendo presente que en los elementos de la estructura intervienen las fuerzas axiales, momentos y en menor escala fuerzas de corte.

10.- Cualquier programa de análisis estructural es tan solo una herramienta para agilizar cálculos, por tanto es responsabilidad del ingeniero si el resultado del análisis esta con error, entonces el criterio ingenieril nunca dejará de ser más importante.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE ACERO".
Vicente Cudos Samblancat
H. Blume Ediciones Rosario 1978.
- 2.- "DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO".
Luis F. Zapata Baglietto.
Ingeniería Estructural S. R. L 1997.
- 3.- "EFECTO DEL VIENTO SOBRE LAS ESTRUCTURAS"
Tesis. José F Escalante Sanchez
Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil 1986
- 4.- "EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS".
O. C. Zienkiewicz.
McGraw-Hill Book Company 1994
- 5.- "EL PROYECTISTA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS".
Robert Nonnast.
Paraninfo S. A. 1995
- 6 - "DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS".
Juan J. Hori A.
Ediciones CEFIM. 1990
- 7.- "MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION"
AISC 1973
- 8.- "Manual de SAP90."
Centro Peruano – Japones de Investigación Sismid y mitigación de Desastres (CISMID).
- 9.- "METHODS OF STRUCTURAL ANALYSIS".
William E. Saul y Alain H. Peyrot.
ASCE 1976.
- 10.- "PÓRTICOS Y ARCOS".
Leontovich Valerian.
Compañía Editorial Continental S.A. 1974.
- 11.- "CÁLCULO DE RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS
POR MÉTODOS MATRICIALES Y DE ELEMENTOS FINITOS".
Dr. Frans R. Willems.
(actualmente no publicados).