



T  
624.171  
ESP  
C.2

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica  
Y Ciencias de la Producción**

**" COMPARACION DE ANALISIS Y DISEÑO DE  
ARMADURAS IDEALES Y ARMADURAS REALES "**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de :**

**INGENIERO MECANICO**

**Presentado por:**



**JAVIER EDUARDO ESPINOZA CHAPARRO**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**1999**

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Alfredo Torres Director de Tesis, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.

# **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES**

**A LA MEMORIA DE MI  
HERMANO**

**A MI ESPOSA**

**A MI HERMANA**

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.

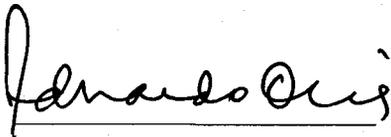
DELEGADO DEL DECANO

DE LA FIMCP



Ing. Alfredo Torres G.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orcés P.

VOCAL



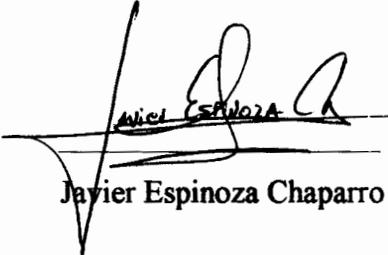
Ing. Edmundo Villacís M.

VOCAL

## **DECLARACION EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la Espol).



Javier Espinoza Chaparro

## **RESUMEN**

La asunción de la hipótesis de analizar una Armadura como IDEAL, lleva a la generación de errores en las fuerzas que se obtienen para las barras, en relación a las ARMADURAS REALES, estos errores son pequeños para armaduras que trabajan como techos, pero para estructuras como PUENTES, estos errores son apreciables y la incertidumbre que se genera por el análisis ideal es para el lado catastrófico, y no da un margen de seguridad.

Se desarrollarán el análisis y diseño tanto para armaduras ideales como reales, se tomará la sección circular para marcar una diferencia de fácil comprensión entre los tipos de armaduras ya mencionados, y posteriormente se empleará los perfiles apropiados para la construcción de armaduras, para demostrar las fallas en la idealización de armaduras.

Para esta demostración se ha creado un programa en computadora que facilitará la resolución de cálculos y tanteos laboriosos.

# INDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>II</b>
<b>INDICE GENERAL .....</b>	<b>III</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>SIMBOLOGIA .....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>01</b>
<b>I. ANALISIS DE ARMADURAS IDEALES .....</b>	<b>02</b>
<b>1.1. Fuerzas Internas en las Barras .....</b>	<b>02</b>
<b>1.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....</b>	<b>03</b>
<b>1.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....</b>	<b>03</b>
<b>1.2. Formulación Matricial del Análisis de Armaduras</b>	
<b>Estáticamente Determinadas .....</b>	<b>08</b>
<b>II. ANALISIS DE ARMADURAS REALES .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Fuerzas Internas en las Barras .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1. Rotación de las Barras "Método del Trabajo Virtual" .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2. Momentos de Empotramiento Perfecto en las Barras .....</b>	<b>21</b>

2.1.2.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....	21
2.1.2.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....	22
2.1.3. Momentos Secundarios Generados en Cada Barra .....	23
2.1.3.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....	23
2.1.3.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....	26
2.1.4. Formulación Matricial del Método de Distribución de Momentos, Aplicación en Armaduras .....	26
2.1.5. Fuerzas Cortantes en Cada Barra .....	34
2.1.5.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....	36
2.1.5.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....	37
2.1.6. Fuerzas Axiales en las Barras .....	37
2.1.6.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....	38
2.1.6.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....	42
 III. DISEÑO DE ARMADURAS IDEALES .....	 43
3.1. Diseño de Miembros Sujetos a Tensión .....	43
3.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....	44
3.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....	45
3.2. Diseño de Miembros Sujetos a Compresión .....	45
3.2.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....	48
3.2.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....	48



<b>IV. DISEÑO DE ARMADURAS REALES .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1. Diseño de Miembros Sujetos a Flexo - Tensión .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2. Diseño de Miembros Sujetos a Flexo - Compresión .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....</b>	<b>57</b>
<b>V. PROGRAMA EN COMPUTADOR .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1. Formulario para Ingreso de Coordenadas .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2. Formulario para Ingreso de Cargas .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3. Formulario para el Análisis de Armaduras Ideales .....</b>	<b>67</b>
<b>5.4. Formulario para el Diseño de Barras en Armaduras Ideales .....</b>	<b>69</b>
<b>5.5. Formulario para obtener el Análisis de Armaduras Reales .....</b>	<b>73</b>
<b>5.6. Formulario para el Diseño de Barras de Armaduras Reales .....</b>	<b>75</b>
<b>5.7. Formulario para Diseñar un Solo Elemento .....</b>	<b>76</b>
<b>5.8. Formularios para Consultar las Propiedades de Perfiles .....</b>	<b>81</b>
<b>5.9. Formulario para Imprimir Reportes de Perfiles .....</b>	<b>84</b>
<b>5.10. Base de Datos de Los Perfiles .....</b>	<b>86</b>
<b>5.11. Limitaciones del Programa .....</b>	<b>86</b>
<b>5.12. Guía para Cargar el Programa .....</b>	<b>87</b>
<b>VI. COMPARACION DE RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>

<b>6.1. Comparación entre el Análisis de las Armaduras</b>	
<b>Ideales y Reales .....</b>	<b>89</b>
<b>6.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....</b>	<b>89</b>
<b>6.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....</b>	<b>91</b>
<b>6.2. Comparación entre el Diseño de las Armaduras</b>	
<b>Ideales y Reales .....</b>	<b>93</b>
<b>6.2.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular .....</b>	<b>93</b>
<b>6.2.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W .....</b>	<b>95</b>
<b>VII. COMCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>104</b>

## **ABREVIATURAS**

<b>AISC</b>	American Institute of Steel Contruction
<b>DLL</b>	Dinamic Link Library
<b>K</b>	Mil libras
<b>Ksi</b>	Mil libras por Pulgada Cuadrada
<b>K-pie</b>	Mil libras pie
<b>L</b>	Longitud de la barra
<b>MEP</b>	Momento de Empotramiento Perfecto
<b>Psi</b>	Libras por Pulgada Cuadrada

## SIMBOLOGIA

<b>A<sub>ij</sub></b>	=	Fuerza Axial en la Barra ij
<b>E</b>	=	Módulo de elasticidad del material [Psi]
<b>F<sub>t</sub></b>	=	Esfuerzo de Tensión Permitido [ Ksi ]
<b>f<sub>t</sub></b>	=	Esfuerzo Actual de Tensión [ Ksi ]
<b>F<sub>c</sub></b>	=	Esfuerzo de Compresión Permitido [ Ksi ]
<b>f<sub>c</sub></b>	=	Esfuerzo Actual de Compresión Ksi
<b>F<sub>b</sub></b>	=	Esfuerzo de Flexión Permitido Ksi ]
<b>f<sub>b</sub></b>	=	Esfuerzo Actual de Flexión [ Ksi ]
<b>I</b>	=	Inercia de la sección transversal [ Plg <sup>4</sup> ]
<b>k</b>	=	Factor de rigidez
<b>L<sub>e</sub></b>	=	Longitud Efectiva de la Barra
<b>M<sub>ij</sub></b>	=	Momento en la Barra ij
<b>{M}</b> <sup>fix</sup>	=	Matriz Momento de Empotramiento Perfecto
<b>[ D ]</b>	=	Matriz Distribución
<b>[ C ]</b>	=	Matriz Transporte (Carry Over)
<b>r</b>	=	Radio de Giro Mínimo
<b>u</b>	=	Fuerza unitaria aplicada en trabajo virtual
<b>V<sub>ij</sub></b>	=	Fuerza Cortante en la Barra ij
<b>ψ</b>	=	Rotación de la barra en radianes
<b>Σ F<sub>x</sub></b>	=	Sumatoria de Fuerzas en X
<b>Σ F<sub>y</sub></b>	=	Sumatoria de Fuerzas en Y

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Peralte recomendado para Armaduras .....	04
Figura 1.2.	Enumeración de nudos .....	04
Figura 1.3.	Enumeración de barras .....	05
Figura 1.4.	Dimensiones y cargas para la armadura tipo techo .....	05
Figura 1.5.	Fuerzas internas en las barras de la armadura tipo techo .....	06
Figura 1.6.	Armadura tipo puente .....	07
Figura 1.7.	Fuerzas internas en las barras de armadura tipo puente .....	08
Figura 1.8.	Fuerzas internas de la barra # 5 .....	09
Figura 1.9.	Fuerzas ordenadas en forma ascendente .....	15
Figura 2.1.	Disposición de los momentos de empotramiento perfecto en cada barra .....	17
Figura 2.2.	Fuerzas internas producto del par unitario aplicado a la barra # 1 .....	18
Figura 2.3.	Angulos de rotación de cada barra para la armadura tipo techo .....	20
Figura 2.4.	Angulos de rotación de cada barra para la armadura tipo puente .....	20
Figura 2.5.	Momentos de empotramiento perfecto de cada barra de la armadura tipo techo .....	22
Figura 2.6.	Momentos de empotramiento perfecto de cada barra de la armadura tipo puente .....	22
Figura 2.7.	Método de distribución de momentos para la armadura tipo techo ...	24
Figura 2.8.	Momentos secundarios en cada barra de la armadura tipo techo .....	25
Figura 2.9.	Momentos secundarios en cada barra de la armadura tipo puente .....	26
Figura 2.10.	Disposición numerada de los momentos sobre la estructura tipo techo .....	27
Figura 2.11.	Matriz momentos de empotramiento perfecto .....	27
Figura 2.12.	Disposición numerada de los factores de distribución .....	28
Figura 2.13.	Nomenclatura de esfuerzos en las barras .....	34
Figura 2.14.	Fuerza cortante en las barra # 5 .....	35
Figura 2.15.	Fuerzas cortantes y momentos secundarios para cada barra De la armadura tipo techo .....	36
Figura 2.16.	Fuerzas cortantes y momentos secundarios para cada barra de la armadura tipo puente .....	37
Figura 2.17.	Diagrama de cuerpo libre del nudo # 1 de la armadura tipo techo .....	38

Figura 2.18.	Diagrama de cuerpo libre del nudo # 2 de la armadura tipo techo .....	39
Figura 2.19.	Diagrama de cuerpo libre del nudo # 6 de la armadura tipo techo .....	40
Figura 2.20.	Fuerzas axiales, cortantes y momentos para cada barra de la armadura tipo techo .....	41
Figura 2.21.	Fuerzas axiales, cortantes y momentos para cada barra de la armadura tipo puente .....	42
Figura 3.1.	Diámetros seleccionados para las barras obtenidas por el diseño ideal para la armadura tipo techo .....	48
Figura 3.2.	Perfiles seleccionados para las barras obtenidas por el diseño ideal para la armadura tipo puente .....	49
Figura 4.1.	Diámetros seleccionados para las barras obtenidas por el diseño Real para la armadura tipo techo .....	56
Figura 4.2.	Perfiles seleccionados para las barras obtenidas por el diseño Real para la armadura tipo puente .....	58
Figura 5.1.	Diagrama de Bloque del Programa .....	61
Figura 5.2.	Diagrama de Flujo de los Datos .....	62
Figura 5.3.	Menú Principal y Formulario para Ingreso de Coordenadas .....	64
Figura 5.4.	Formulario para el Ingreso de Cargas .....	66
Figura 5.5.	Formulario para obtener el Análisis de Armaduras Ideales .....	68
Figura 5.6.	Formulario para el Diseño de Barras de Armaduras Ideales .....	71
Figura 5.7.	Formulario para obtener el Diseño de las Barras en Armaduras Ideales con Sección Circular .....	72
Figura 5.8.	Formulario para el Análisis de Armaduras Reales .....	74
Figura 5.9.	Formulario para el Diseño de Barras de Armaduras Reales .....	78
Figura 5.10.	Formulario para obtener el Diseño de Barras de Armaduras Reales con Sección Circular .....	79
Figura 5.11.	Formulario para obtener el Diseño de un a sola Barra por Tensión, Compresión o Combinación .....	80
Figura 5.12.	Formularios para Consultar las Propiedades de Perfiles .....	82
Figura 5.13.	Formulario Consulta General de Propiedades de Perfiles .....	83
Figura 5.14.	Formulario para Impresión de Reportes de Perfiles .....	85
Figura 6.1.	Análisis Ideal en aplicación con sección circular .....	90
Figura 6.2.	Análisis Real en aplicación con sección circular .....	91
Figura 6.3.	Análisis Ideal en aplicación con sección " W " .....	92
Figura 6.4.	Análisis Real en aplicación con sección " W " .....	93
Figura 6.5.	Diferencia en áreas entre el Diseño Ideal y Real en aplicación con sección circular .....	94
Figura 6.6.	Diferencia en áreas entre el Diseño ideal y Real en aplicación con sección " W " .....	95

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cosenos directores de las 13 barras .....	10
Tabla 1.2. Matriz 16x16 aumentada .....	13
Tabla 1.3. Matriz 16x16 aumentada con los valores reemplazado .....	14
Tabla 2.1. Rotación del la barra # 1 por medio del trabajo Virtual .....	19
Tabla 2.2. Angulo de rotación de las 13 barras para la armadura tipo techo .....	19
Tabla 2.3. Momento de empotramiento perfecto para la armadura tipo techo .....	21
Tabla 2.4. Momentos secundarios en cada barra para armadura tipo techo .....	25
Tabla 2.5. Matriz distribución (26x26) con el orden de los factores de distribución .....	31
Tabla 2.6. Matriz transporte (26x26) con el orden de los factores de transmisión .....	32
Tabla 2.7. Matriz momentos secundarios (26x40) .....	33
Tabla 3.1. Diámetros seleccionados para las barras sometidas a Tensión de la armadura tipo techo .....	45
Tabla 3.2. Perfiles seleccionadas para las barras sometidas a Tensión de la armadura tipo puente .....	46
Tabla 3.3. Diámetros seleccionados para las barras sometidas a Compresión de la armadura tipo techo .....	47
Tabla 3.4. Perfiles seleccionados para las barras sometidas a Compresión de la armadura tipo techo .....	48
Tabla 4.1. Diámetros seleccionados para las barras sometidas " flexo - tensión " de la armadura tipo techo .....	52
Tabla 4.2. Perfiles seleccionados para las barras sometidas " flexo - tensión " de la armadura tipo puente .....	53
Tabla 4.3. Perfiles seleccionados para las barras sometidas flexo - compresión de la armadura tipo puente .....	55
Tabla 4.4. Perfiles seleccionados para las barras sometidas flexo - compresión de la armadura tipo puente .....	57

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es probar la diferencia que existe entre el ANÁLISIS y DISEÑO de ARMADURAS IDEALES donde solo se toma en cuenta los esfuerzos axiales de tensión y compresión, , y EL ANÁLISIS Y DISEÑO de ARMADURAS REALES donde se las considera como un "*Pórtico Rígido*" debido a la incapacidad de las uniones de la estructura a girar libremente, donde se van a generar fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flectores en las secciones transversales de las barras. Estos esfuerzos que no aparecen en las armaduras ideales se denominan "*Esfuerzos Secundarios*" , mientras que las fuerzas de tensión y compresión se las denominan "*Esfuerzos Primarios*".

Por años en la construcción de estructuras metálicas se ha venido diseñando en base a la asunción de que las mismas son estructuras ideales, lo cual simplifica relativamente los cálculos, dejando un margen de error apreciable, pero con la facilidad de disponer de una computadora , la resolución de estructuras Reales es mucho más sencilla y segura para los usuarios, el desarrollo de este material refleja dicho avance en nuestro medio.

## 1.0 ANÁLISIS DE ARMADURAS IDEALES.

El análisis de una armadura bajo la condición de ideal conlleva a la asunción de las siguientes hipótesis:

- Las barras están unidas entre sí en sus extremos por nudo de pasador sin rozamiento
- Todas las cargas exteriores y las reacciones (incluyendo el peso de las barras) están aplicadas en los nudos.
- Los ejes de todas las barras son rectos, coinciden con las líneas que unen los centros de los nudos, y están en el plano que contiene también las líneas de acción de todas las cargas y reacciones.

Estas hipótesis conducen a que en el **ANÁLISIS IDEAL** solo se limita a la *determinación de fuerzas axiales de tensión y compresión*, en las barras de la armadura, conocidos como "*Fuerzas Primarios*".

### 1.1. Fuerzas Internas en las Barras .

La determinación de las fuerzas internas para armaduras ideales estáticamente determinadas se la puede realizar mediante la simple estática con el método de los nudos o de las secciones, pero en nuestro caso la resolución la haremos mediante un *arreglo matricial*, que se puede generalizar para cualquier estructura que se

sujete a las condiciones ya mencionadas, esto se lo hace para llevar la resolución del problema a un algoritmo, el mismo que usará en el programa de computadora donde generalmente se trabaja con matrices.

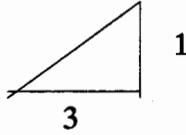
### 1.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular.

Para facilitar la apreciación de la diferencia entre tomar una armadura como ideal y real, se ha elegido la sección circular, como un ejemplo puramente didáctico por la siguientes razones:

- Todos los resultados se ven reflejados en una sola dimensión incógnita que es el radio de cada barra.
- La armadura que vamos a asociar con la *SECCIÓN CIRCULAR* es *LA TIPO TECHO*, que en general no soportan grandes cargas. Para nuestro ejemplo hemos tomado una carga en cada nodo de 6000 Lbs como una carga muy conservadora para el peso del techo .
- La luz de la armadura es pequeña ya que el objetivo de este trabajo no es analizar una estructura muy compleja sino como se comportan las armaduras reales.
- La relación de alto a ancho (peralte) es de  $1.9 / 5.8 = 0.328$  para mantener el peralte recomendado de "1 / 3 ".
- El número de barras y nudos es fijo: 13 y 8 respectivamente, debido a que el programa de computadora ha sido desarrollado de esa manera.

**FIGURA 1.1.**

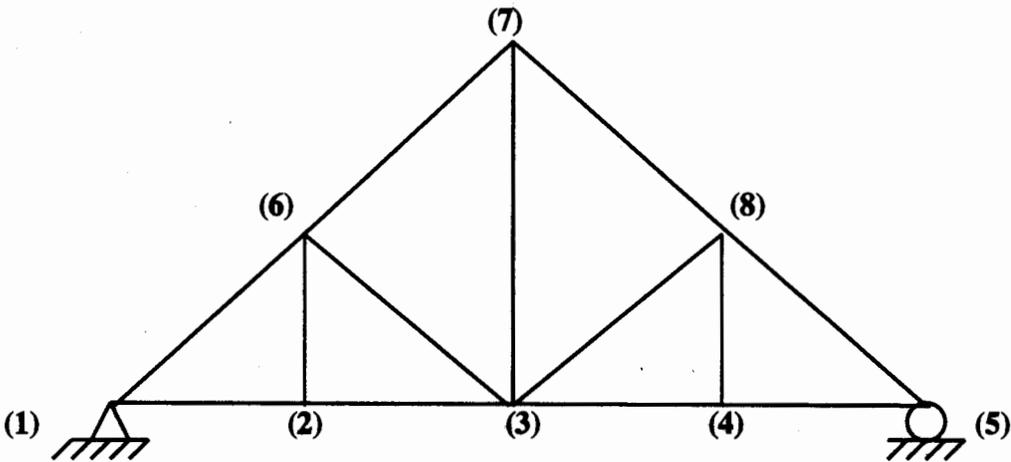
**PERALTE RECOMENDADO PARA ARMADURAS**



- La numeración de las barras y los nudos ( van entre paréntesis para no confundirse) lleva un orden que no se puede cambiar ya que se lo necesitará para la resolución matricial del problema.

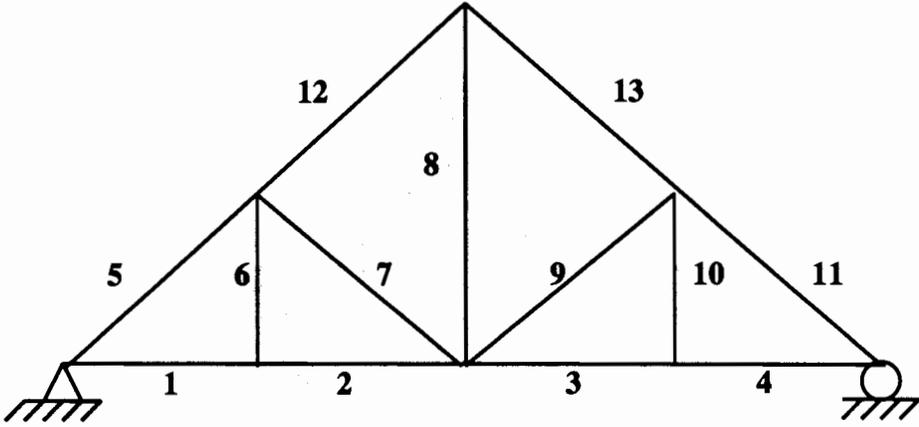
**FIGURA 1.2.**

**ENUMERACIÓN DE NUDOS**



**FIGURA 1.3.**

**ENUMERACIÓN DE LAS BARRAS.**



**FIGURA 1.4.**

**DIMENSIONES Y CARGAS PARA LA ARMADURA TIPO TECHO**

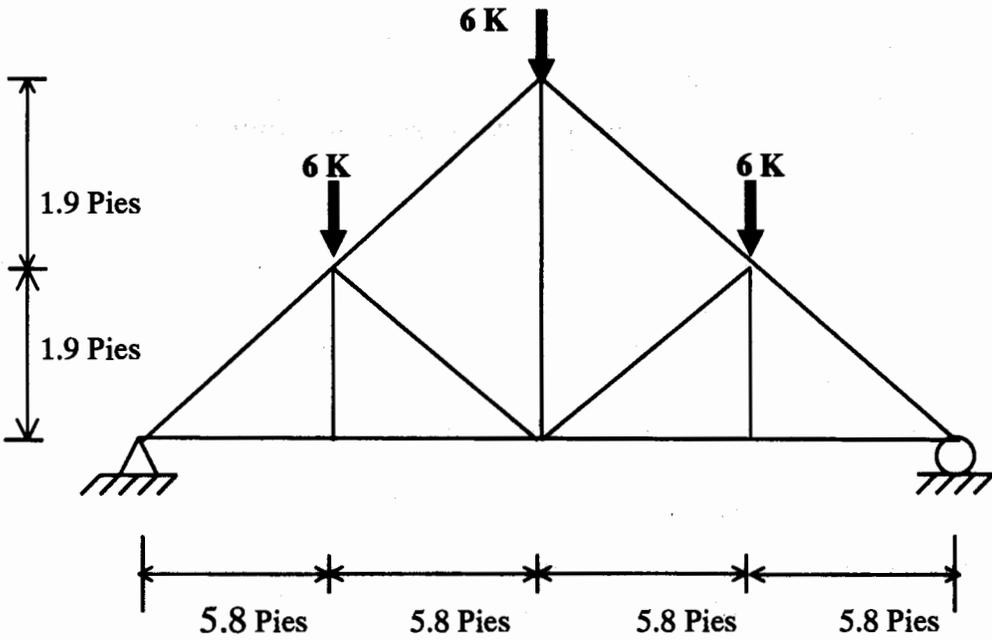
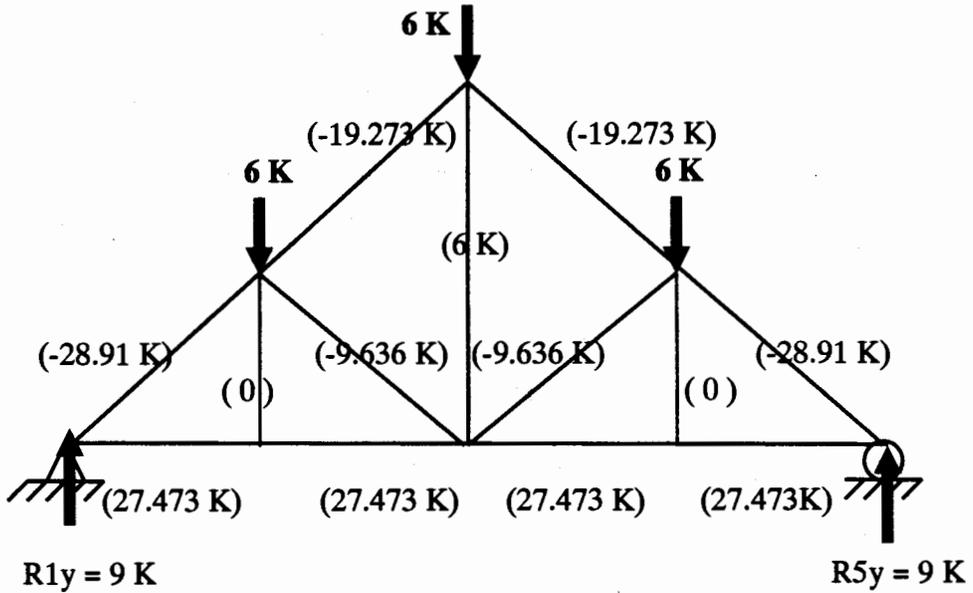


FIGURA 1.5.

FUERZAS INTERNAS EN LAS BARRAS DE LA ARMADURA

TIPO TECHO



1.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

Se ha elegido además de la sección circular una sección W asociada a una estructura tipo puente por las siguientes razones:

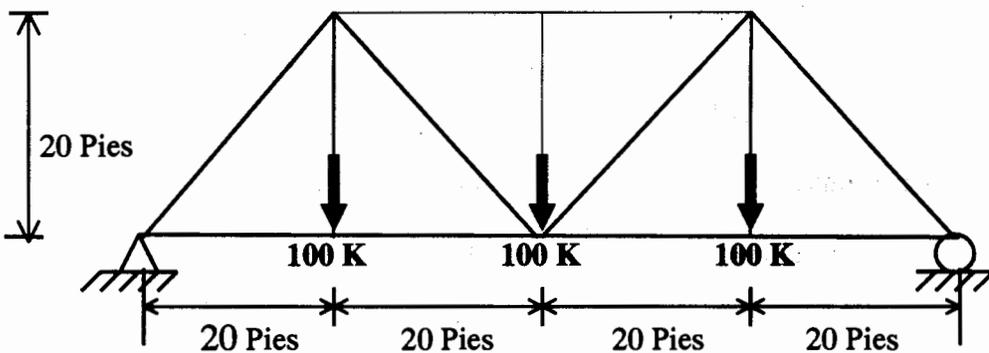
- La sección W es la más aconsejable para absorber momento, por que con una pequeña área posee gran inercia ya que concentra casi toda el área en sus alas.
- Las estructuras tipo puente soportan cargas más elevadas que las estructuras tipo techo.

- Cada tramo de la armadura es de 20 pies, con este valor no controla la relación de esbeltez el dimensionamiento del perfil sino el esfuerzo que se genera.
- La luz de la armadura tipo puente es de 80 Pies que es un problema bastante real.
- El alto de la armadura está dado para que pase un camión de 14.4 Pies (4.40 mts) de alto.
- El número de barras y nudos es igual que para el caso anterior, ya que solo se ha modificado la ubicación del nodo 7, en la parte del capítulo 5.4., que toma los perfiles W para el diseño de las barras en lugar de calcular una dimensión como lo es para el ejemplo de barras circulares.

Con estos dos tipos de estructuras y secciones se planea cubrir la mayoría de incógnitas con respecto a la incertidumbre que se produce al despreciar los momentos flexionantes que se generan.

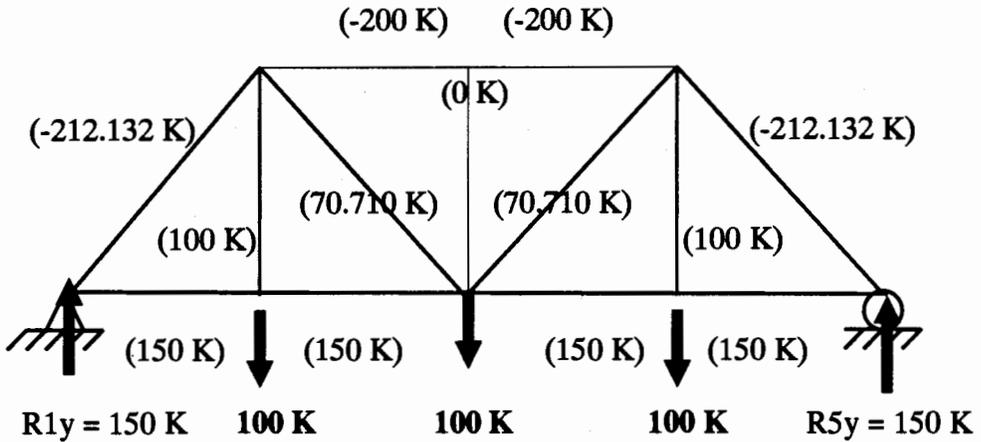
**FIGURA 1.6.**

**ARMADURA TIPO PUENTE**



**FIGURA 1.7**

**FUERZAS INTERNAS EN LAS BARRAS DE LA ARMADURA  
TIPO PUENTE**



**1.2. Formulación Matricial del Análisis de Armaduras Estáticamente Determinadas.**

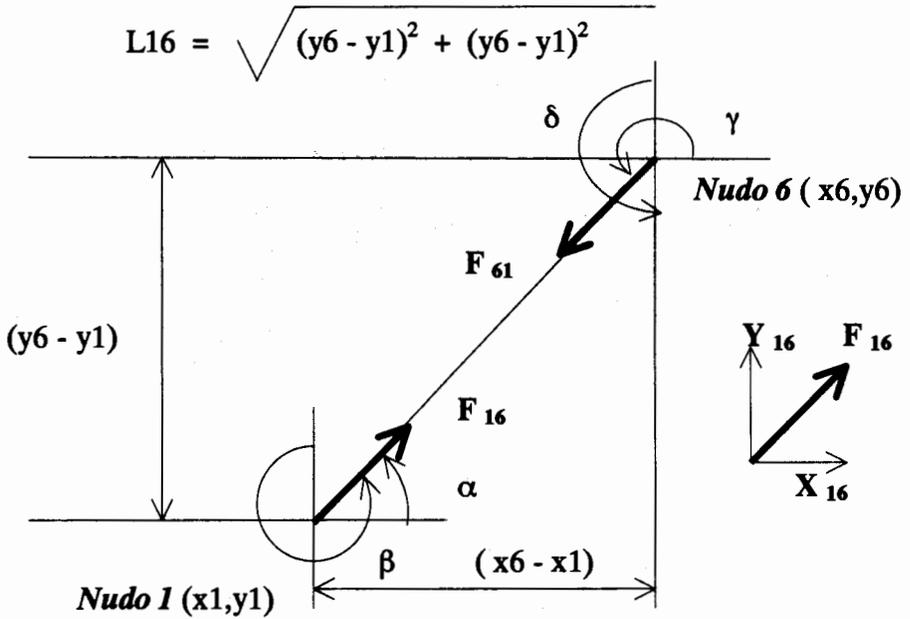
Para exponer este método se tomará como referencia el problema del Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular, que es una armadura tipo techo.

La formulación matricial para el análisis de armaduras estáticamente determinadas se basa en el métodos de los nudos. Cada nudo constituye un sistemas de fuerzas coplanares concurrentes para el cual pueden escribirse dos ecuaciones ( en "X" y "Y " ) independientes de equilibrio.

Se aislará la *barra 5 del Ejemplo 1* para denotar los cosenos directores (dan los ángulos medidos en sentido contrario al de las manecillas del reloj a partir de los ejes X y Y ) como lo indica la figura 1.8.

**FIGURA 1.8.**

**FUERZAS INTERNAS DE LA BARRA # 5**



La fuerza  $F_{16}$  se descompone en sus componentes  $X_{16}$  y  $Y_{16}$  y estas son :

$$X_{16} = F_{16} \cos \gamma = F_{16} \frac{x_6 - x_1}{L_{16}} = F_{16} l_{16}$$

$$Y_{16} = F_{16} \cos \delta = F_{16} \frac{y_6 - y_1}{L_{16}} = F_{16} m_{16}$$

Los valores de  $l_{ij}$  y  $m_{ij}$  son los cosenos directores en las direcciones "X" y "Y" respectivamente.

En la tabla 1.1. se denotan las barras con su respectivo orden de nudos (inicio y fin), para obtener los cosenos directores, este orden será usado en el flujo del

**FORMULARIO ANALISIS DE ARMADURAS IDEALES** del Capítulo 5.3

para determinar las fuerzas internas de las barras.

**TABLA 1.1.**

**COSENOS DIRECTORES DE LAS 13 BARRAS**

# de Barra	Miembro $ij$	$x_i - x_j$ Pies	$y_i - y_j$ Pies	$l_{ij}$ Pies	$l_{ij}/l$	$m_{ij}$
1	12	$5.8 - 0 = 5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	1	0
	21	$0 - 5.8 = -5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	-1	0
2	23	$5.8 - 11.6 = 5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	1	0
	32	$11.6 - 5.8 = 5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	-1	0
3	34	$17.4 - 11.6 = 5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	1	0
	43	$11.6 - 17.4 = -5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	-1	0
4	45	$23.2 - 17.4 = 5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	1	0
	54	$17.4 - 23.2 = -5.8$	$0 - 0 = 0$	5.8	-1	0
5	16	$5.8 - 0 = 5.8$	$1.9 - 0 = 1.9$	6.1	0.9508	0.3115
	61	$0 - 5.8 = -5.8$	$0 - 1.9 = -1.9$	6.1	-0.9508	-0.3115
6	26	$5.8 - 5.8 = 0$	$1.9 - 0 = 1.9$	1.9	0	1
	62	$5.8 - 5.8 = 0$	$0 - 1.9 = -1.9$	1.9	0	-1
7	36	$5.8 - 11.6 = -5.8$	$1.9 - 0 = 1.9$	6.1	-0.9508	0.3115
	63	$11.6 - 5.8 = 5.8$	$0 - 1.9 = -1.9$	6.1	0.9508	-0.3115
8	37	$11.6 - 11.6 = 0$	$3.8 - 0 = 3.8$	3.8	0	1
	73	$11.6 - 11.6 = 0$	$0 - 3.8 = -3.8$	3.8	0	-1
9	38	$17.4 - 11.6 = 5.8$	$1.9 - 0 = 1.9$	6.1	0.9508	0.3115
	83	$11.6 - 17.4 = -5.8$	$0 - 1.9 = -1.9$	6.1	-0.9508	-0.3115
10	48	$17.4 - 17.4 = 0$	$1.9 - 0 = 1.9$	1.9	0	1
	84	$17.4 - 17.4 = 0$	$0 - 1.9 = -1.9$	1.9	0	-1
11	58	$17.4 - 23.2 = -5.8$	$1.9 - 0 = 1.9$	6.1	-0.9508	0.3115
	85	$23.2 - 17.4 = 5.8$	$0 - 1.9 = -1.9$	6.1	0.9508	-0.3115
12	67	$11.6 - 5.8 = 5.8$	$3.8 - 1.9 = 1.9$	6.1	0.9508	0.3115
	76	$5.8 - 11.6 = -5.8$	$1.9 - 3.8 = -1.9$	6.1	-0.9508	-0.3115
13	78	$17.4 - 11.6 = 5.8$	$1.9 - 3.8 = -1.9$	6.1	0.9508	-0.3115
	87	$11.6 - 17.4 = -5.8$	$3.8 - 1.9 = 1.9$	6.1	-0.9508	0.3115

Una vez que se determinan los cosenos directores como se puede apreciar en la **TABLA 1.1.**, se procede a la ubicación de los mismos en forma de matriz, y es la representación de las ecuaciones de equilibrio tanto en "X" como "Y" de los nudos, es decir que, como hay 8 nudos se podrán escribir 16 ecuaciones, donde las incógnitas son las 13 fuerzas en las barras, y las 3 reacciones correspondientes a la *condición de simplemente apoyado*, como se lo ve en la **TABLA 1.2.**, es por esto que, este arreglo matricial es solo válido para armaduras estáticamente determinadas de 8 nudos y 13 barras.

Por lo que la forma de matricial de las fuerzas en las barras es igual a :

$$[ Q ] = [ C ]^{-1} \{ P \}$$

[ Q ] : Matriz de Fuerzas en las Barras

[ C ]<sup>-1</sup> : Matriz Inversa de Coeficientes de Cosenos Directores

{ P } : Vector Carga

Para efectos de resolver el problema numérico, las Cargas de la estructura se la coloca dentro de la matriz de coeficientes con signo negativo en la columna 17, por lo que se la denomina **MATRIZ AUMENTADA (16 X 17)**. Con lo que al encontrar la inversa de la matriz, se logra obtener las fuerzas en las barras, las mismas que se encuentran en la columna 17 de la matriz. De esta manera el problema se centra en encontrar la inversa de la matriz.

En el **ANEXOS**, se encuentra el **DIAGRAMA DE FLUJO** para resolver la **MATRIZ INVERSA AUMENTADA** por medio del método de "EL

**PIVOTE MAYOR**", las fuerzas internas resultantes se las encontrará en la columna 17 de la matriz, ordenadas según la numeración de las barras expuesta anteriormente.

A continuación se detalla la forma general de la matriz de cosenos directores en la **TABLA 1.2.** y en la **TABLA 1.3.** se encuentra la matriz de cosenos directores con sus valores correspondiente.

Este procedimiento se lo ha automatizado y está en el submenú **FORMULARIO ANALISIS DE ARMADURAS IDEALES "** del programa del expuesto en el **CAPÍTULO 5.3,** con lo que cambiando las dimensiones de la estructura y las cargas se podrá resolver una infinidad de problemas similares.

MATRIZ 16X16 AUMENTADA PARA EL EJEMPLO CON SECCION CIRCULAR

Fila	Barra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	R1X	R1Y	R5Y	Cargas	Externas
1	$\Sigma$ FX (1)	L12				L16									1			0	- P1X
2	$\Sigma$ FY (1)	m12				m16										1		0	- P1Y
3	$\Sigma$ FX (2)	L21	L23			L26												0	- P2X
4	$\Sigma$ FY (2)	m21	m23			M26												0	- P2Y
5	$\Sigma$ FX (3)		L32	L34			L36	L37	L38									0	0
6	$\Sigma$ FY (3)		m32	m34			m36	m37	m38									0	- P3Y
7	$\Sigma$ FX (4)			L43	L45						L48							0	- P4X
8	$\Sigma$ FY (4)			m43	M45						m48							0	- P4Y
9	$\Sigma$ FX (5)				L54							L58						0	- P5X
10	$\Sigma$ FY (5)				M54							m58				1		0	- P5Y
11	$\Sigma$ FX (6)					L61	L62	L63					L67					0	- P6X
12	$\Sigma$ FY (6)					m61	m62	m63					m67					- P6Y	- P6Y
13	$\Sigma$ FX (7)								L73				L76	L78				0	0
14	$\Sigma$ FY (7)								m73				m76	m78				- P7Y	- P7Y
15	$\Sigma$ FX (8)			L83	L84							L85		L87				0	- P8X
16	$\Sigma$ FY (8)			m83	M84							m85		m87				- P8Y	- P8Y

Nota .- En lugar de colocar ceros en las filas y columnas de la matriz se ha dejado espacios en blanco para su mejor entendimiento

MATRIZ 16X16 AUMENTADA CON LOS VALORES REEMPLAZADOS  
 PARA EL EJEMPLO CON SECCION CIRCULAR

Fila	Barra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	R1X	R1Y	R5Y	Cargas		
1	$\Sigma FX (1)$	1				0.9508									1			0	- P1X	
2	$\Sigma FY (1)$	0				0.3115										1			0	- P1Y
3	$\Sigma FX (2)$	-1	1				0												0	- P2X
4	$\Sigma FY (2)$	0	0				1												0	- P2Y
5	$\Sigma FX (3)$		-1	1				-0.9508	0	0.9508									0	0
6	$\Sigma FY (3)$		0	0				0.3115	1	0.3115									0	- P3Y
7	$\Sigma FX (4)$			-1	1						0								0	- P4X
8	$\Sigma FY (4)$			0	0						1								0	- P4Y
9	$\Sigma FX (5)$				-1							-0.9508							0	- P5X
10	$\Sigma FY (5)$				0							0.3115					1		0	- P5Y
11	$\Sigma FX (6)$					-0.9508	0	0.9508					0.9508						0	- P6X
12	$\Sigma FY (6)$					-0.3115	-1	-0.3115					0.3115					6000		- P6Y
13	$\Sigma FX (7)$								0				-0.9508	0.9508					0	0
14	$\Sigma FY (7)$								-1				-0.3115	-0.3115				6000		- P7Y
15	$\Sigma FX (8)$									-0.9508	0	0.9508		-0.9508					0	- P8X
16	$\Sigma FY (8)$									-0.3115	-1	-0.3115		0.3115				6000		- P8Y

Nota .- En lugar de colocar ceros en las filas y columnas de la matriz se ha dejado espacios en blanco para su mejor entendimiento

FIGURA 1.9.

## FUERZAS ORDENADAS EN FORMA ASCENDENTE PARA EL EJEMPLO

## CON SECCION CIRCULAR

$$[Q] = [C]^{-1} \{P\} = \left\{ \begin{array}{l} F 12 \\ F 23 \\ F 34 \\ F 45 \\ F 16 \\ F 26 \\ F 36 \\ F 37 \\ F 38 \\ F 48 \\ F 58 \\ F 67 \\ F 78 \\ R 1x \\ R 1y \\ R 5y \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} + 27.473 \\ + 27.473 \\ + 27.473 \\ + 27.473 \\ - 28.910 \\ 0 \\ - 9.636 \\ + 6.000 \\ - 9.636 \\ 0 \\ - 28.910 \\ - 19.273 \\ - 19.273 \\ 0 \\ + 9.000 \\ + 9.000 \end{array} \right\} \quad \text{todo en K}$$

## 2.0 ANALISIS DE ARMADURAS REALES.-

Los pasadores de una armadura real no están siempre sin rozamiento, además las armaduras modernas se hacen con nudos roblonados o soldados, de modo que no pueda haber cambios esenciales en los ángulos entre las barras que se juntan en un nudo. Aunque las cargas están aplicadas en los nudos

Una armadura con nudos rígidos es en realidad un pórtico rígido, por lo tanto en la sección transversal de las barras se generarán fuerzas axiales, cortantes y *momentos flexionantes*. Estas fuerzas internas que no aparecen en las armaduras ideales se las conoce como "Esfuerzos Secundarios".

### 2.1. FUERZAS INTERNAS EN LAS BARRAS.-

Para determinar estos esfuerzos secundarios se establecerá la siguiente hipótesis:

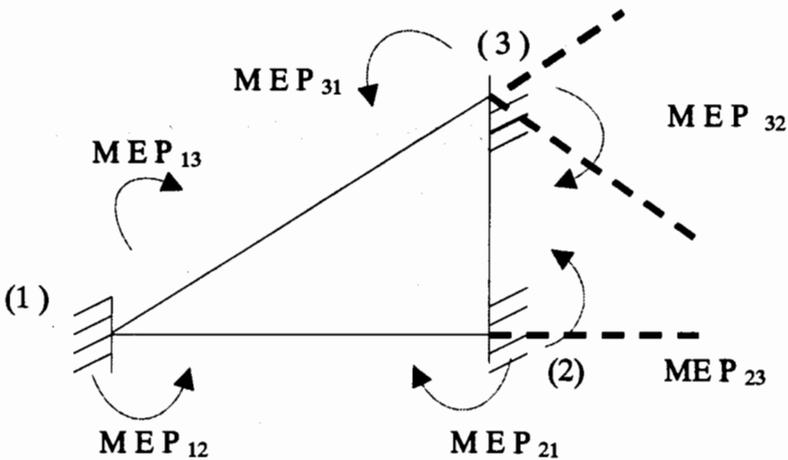
- Las barras están unidas entre sí en sus extremos con nudos rígidos.

La introducción de estos *momentos flexionantes* convierte a la armadura estáticamente determinada en indeterminada, por lo que no se podrá resolver dicha armadura por la simple estática, esto llevará la asunción de áreas e inercias para la determinación de estas *fuerzas internas*. Introduciremos las áreas obtenidas a partir del **DISEÑO DE MIEMBROS SUJETOS A TENSIÓN O COMPRESIÓN DE ARMADURAS IDEALES** del **CAPITULO 3** , como una aproximación muy buena, ya que las áreas necesarias para soportar los

esfuerzos secundarios no difieren mayormente de los esfuerzos primarios y el objetivo de este trabajo es justamente ver esa diferencia .

Con las áreas e inercias asumidas podemos obtener los ángulos de rotación real de cada barra de la estructura, empleando el método del trabajo virtual. Con los ángulos que gira cada barra hallaremos los momentos de empotramiento perfecto producto de la rigidez de los nudos ver detalle en la figura 2.1.

**FIGURA 2.1**  
**DISPOSICIÓN DE LOS MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO**  
**PERFECTO EN CADA BARRA**



Se aplicará el método de distribución de momentos para distribuir los *momentos de empotramiento perfecto* y encontrar los *momentos secundarios*. Con estos momentos secundarios encontraremos las *fuerzas cortantes* en cada barra, y así por estática encontrar las *fuerzas axiales* internas de cada barra. <sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Análisis Elemental de Estructuras NORRIS & WILBUR / pág 386

Se mostrará la metodología del ANALISIS solo para el EJEMPLO DE LA ESTRUCTURA TIPO TECHO DE SECCION CIRCULAR y se expondrá los resultados directamente para los dos ejemplos, la estructura tipo TECHO y PUENTE.

### 2.1.1. Rotación de Las Barras "Método del Trabajo Virtual" .

Para determinar la rotación (Angulo de Rotación) real de cada barra utilizaremos el método del trabajo virtual, se lo expondrá solo para la barra # 1 del ejemplo # 1

$$\theta_{\text{barra}} = \frac{1}{L_{\text{barra}} E} \sum \frac{F \cdot u \cdot L}{A}$$

#### 2.1.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular.

FIGURA 2.2

FUERZAS INTERNAS PRODUCTO DEL PAR UNITARIO APLICADO A LA BARRA # 1

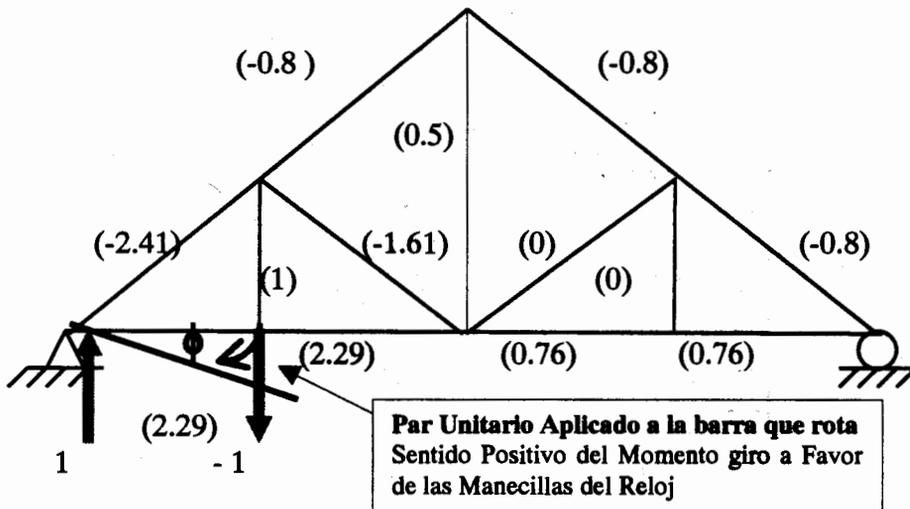


TABLA 2.1

## ROTACIÓN DE LA BARRA # 1 POR MEDIO DEL TRABAJO VIRTUAL

Barra	Long(Pies)	Area (plg <sup>2</sup> )	Fuerza(L.bs)	u(f. unitaria)	[LxFxu/A]
1	5.8	1.272	27473	2.29	3442418.7
2	5.8	1.272	27473	2.29	3442418.7
3	5.8	1.272	27473	0.76	1142462.1
4	5.8	1.272	27473	0.76	1142462.1
5	6.103	3.617	-28910	-2.41	1410721.4
6	1.9	0.985	0	1	0.0
7	6.103	2.584	-9636	-1.61	439698.3
8	3.8	0.985	6000	0.5	138883.2
9	6.103	2.584	-9636	0	0.0
10	1.9	0.985	0	0	0.0
11	6.103	3.617	-28910	-0.8	468289.2
12	6.103	2.95	-19273	-0.8	382773.5
13	6.103	2.95	-19273	-0.8	382773.5
				$\Sigma$	12,392,900.92
				Angulo [rad]	0.006146

TABLA 2.2

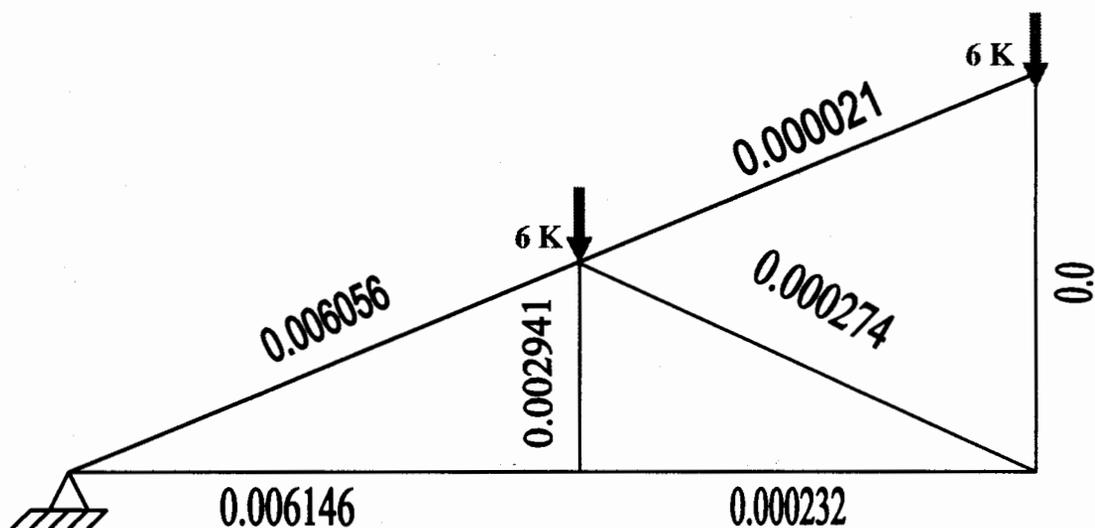
## ANGULOS DE ROTACIÓN DE 13 BARRAS PARA LA ARMADURA TIPO

## TECHO

# de Barra	Angulo [rad]
1	$\psi 1 = 0.006146$
2	$\psi 2 = 0.000232$
3	$\psi 3 = -0.000232$
4	$\psi 4 = -0.006146$
5	$\psi 5 = 0.006056$
6	$\psi 6 = 0.002941$
7	$\psi 7 = 0.000274$
8	$\psi 8 = 0$
9	$\psi 9 = -0.000274$
10	$\psi 10 = -0.002941$
11	$\psi 11 = -0.006056$
12	$\psi 12 = 0.000021$
13	$\psi 13 = -0.000021$

FIGURA 2.3

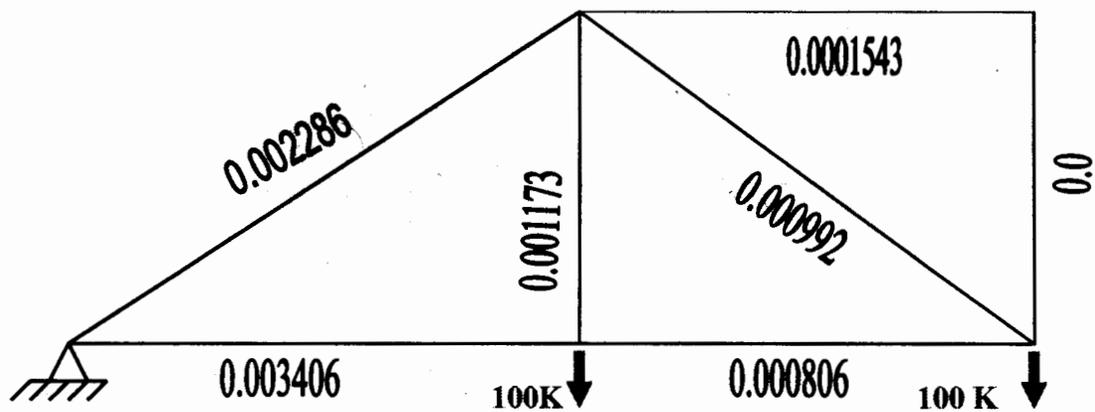
ANGULO DE ROTACIÓN DE CADA BARRA  
PARA ARMADURA TIPO TECHO [RADIANES]



#### 2.1.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

FIGURA 2.4

ANGULOS DE ROTACIÓN DE CADA BARRA  
PARA ARMADURA TIPO PUENTE [RADIANES]



### 2.1.2. Momentos de Empotramiento Perfecto.-

Una vez calculadas las rotaciones de las barras se puede calcular los momentos de empotramiento perfecto que se producen si todos los nudos están fijos contra el giro, por medio de la ecuación:

$$M_{ab} = -6 (E \psi) k$$

$$k = \frac{I}{L}$$



#### 2.1.2.1. Ejemplo 2 Aplicación con Sección Circular

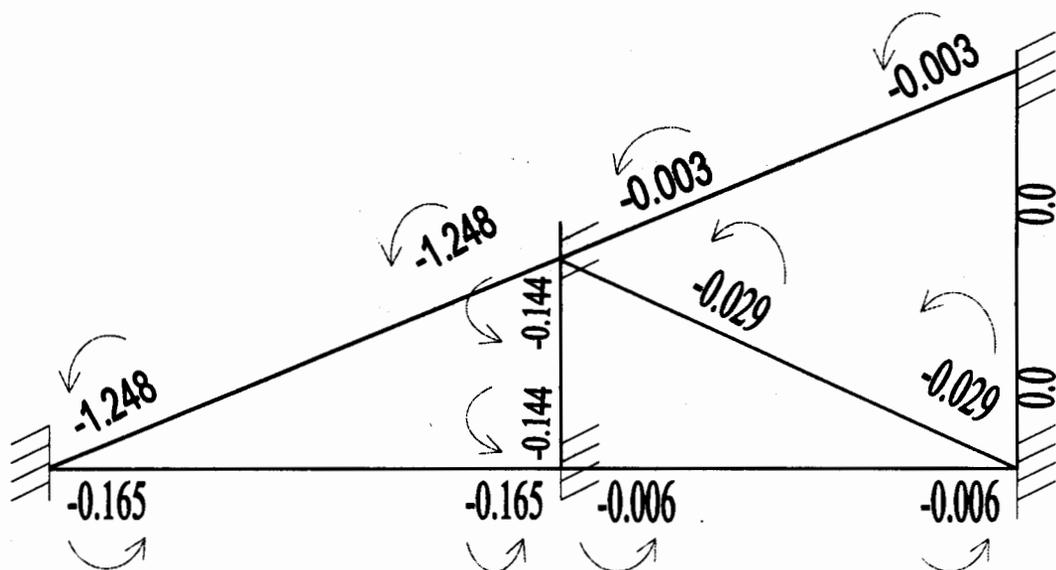
TABLA 2.3

#### MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO PARA EJEMPLO 1

# Barra	M fix [Lbs. Plg]	M fix [K - Pie]
1	-1980	- 0.165
2	-74	-0.006
3	74	0.006
4	1980	0.165
5	-14980	-1.248
6	-1725	-0.144
7	-351	-0.029
8	0	0
9	351	0.029
10	1725	0.144
11	14980	1.248
12	-36	-0.003
13	36	0.003

FIGURA 2.5

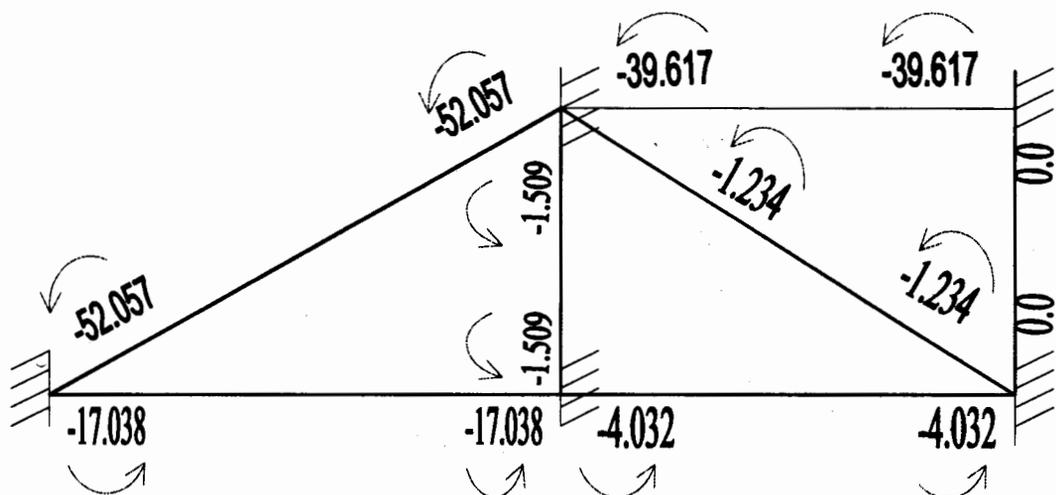
MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO PARA CADA BARRA  
DE LA ARMADURA TIPO TECHO [ K - Pie ]



2.1.2.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

FIGURA 2.6

MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO PARA CADA BARRA  
DE LA ARMADURA TIPO PUENTE [ K - Pie ]



### **2.1.3. Momentos Secundarios Generados en Cada Barra.**

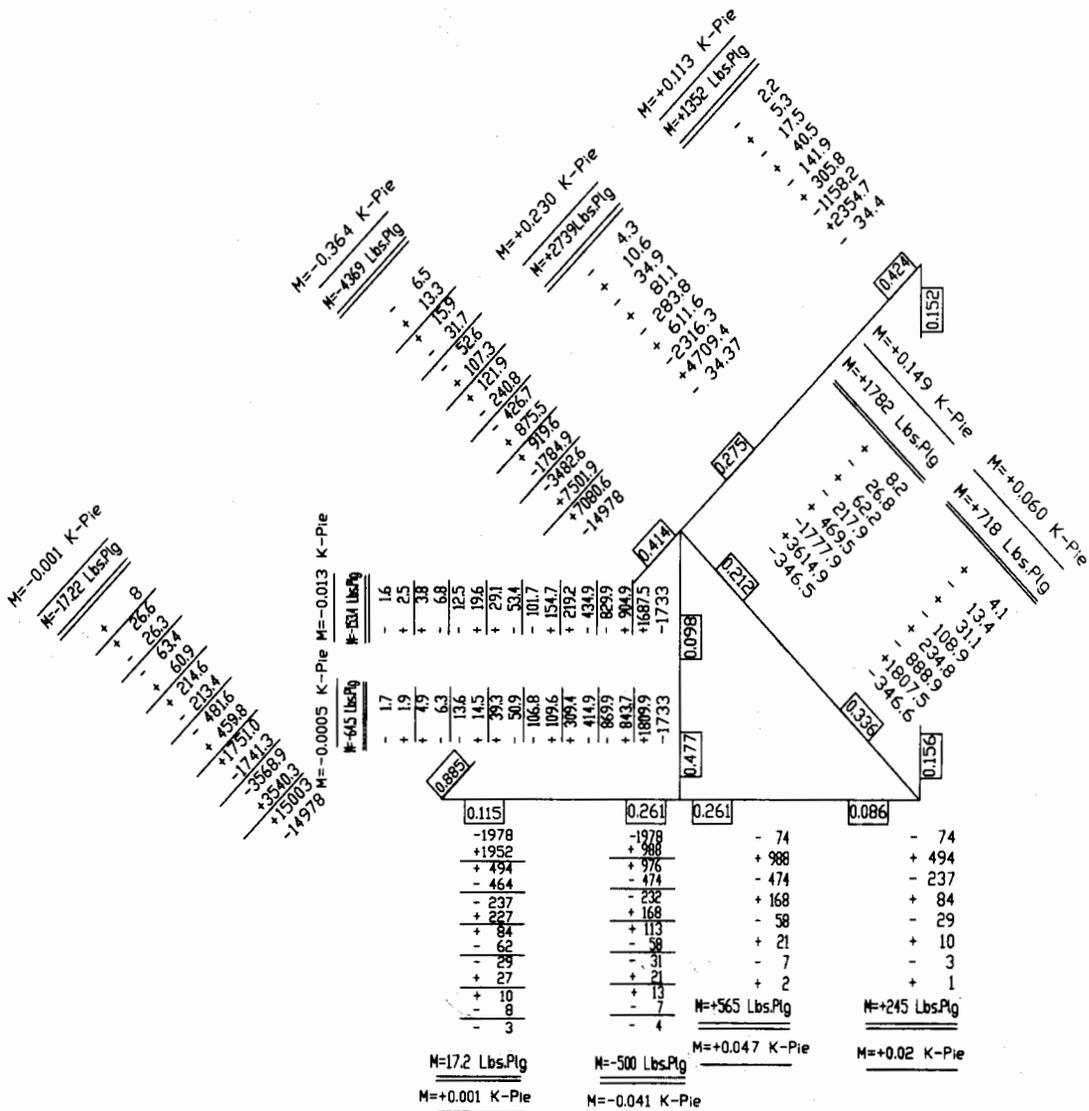
Los momentos de empotramiento perfecto se distribuyen y transmiten según el método de cross hasta obtener los momentos definitivos, que se los conoce como "*MOMENTOS SECUNDARIOS*".

#### **2.1.3.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular.**

Como la armadura es simétrica, tanto en dimensiones como en cargas solo se analizará la mitad de la estructura, además los nudos 3 y 7 solo transmiten los momentos y no distribuyen los mismos. En la **FIGURA 2.7** se encuentra el método de distribución de momentos en forma manual.

FIGURA 2.7

METODO DE DISTRIBUCION DE MOMENTOS PARA LA ARMADURA TIPO TECHO



2.1.3.2. Ejemplo 2 Aplicación de la Matriz de Rigidez para una Sección W TABLA 2.4.

## MOMENTOS SECUNDARIOS EN CADA BARRA PARA ARMADURA

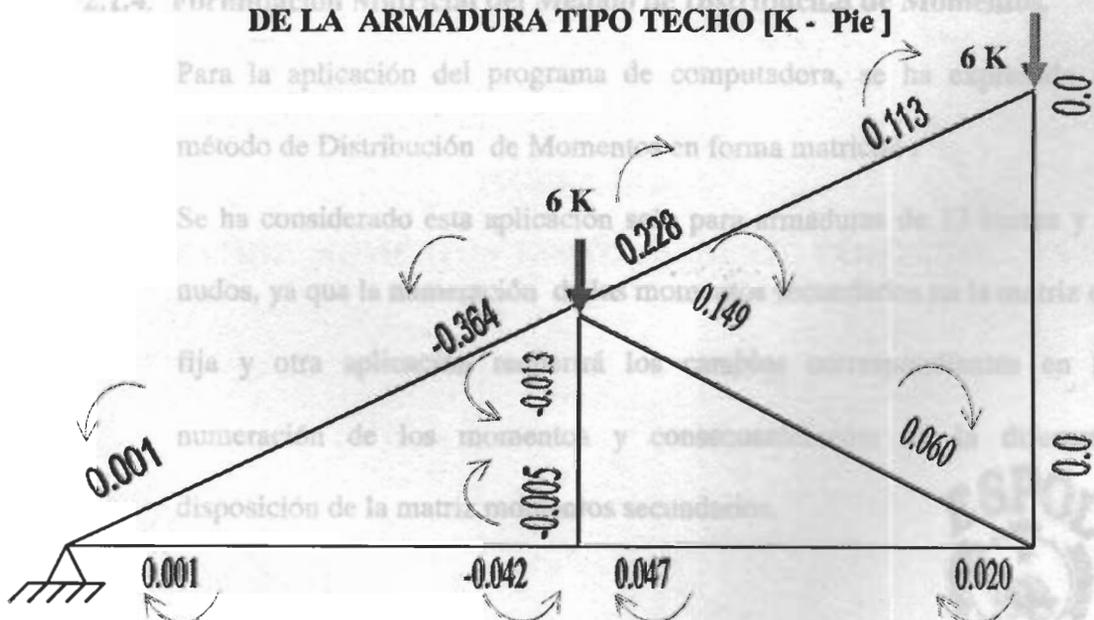
## MOMENTOS SECUNDARIOS PARA CADA BARRA TIPO TECHO

Barra	Mom. Secundario 1 [K - Pie]	Mom. Secundario 2 [K - Pie]
1	0.001	-0.042
2	0.047	0.020
3	-0.020	-0.047
4	0.042	-0.001
5	-0.001	-0.364
6	-0.005	-0.013
7	0.149	0.060
8	00	00
9	-0.060	-0.149
10	0.005	0.013
11	0.364	0.001
12	0.228	0.113
13	-0.113	-0.228

FIGURA 2.8.

## MOMENTOS SECUNDARIOS PARA CADA BARRA

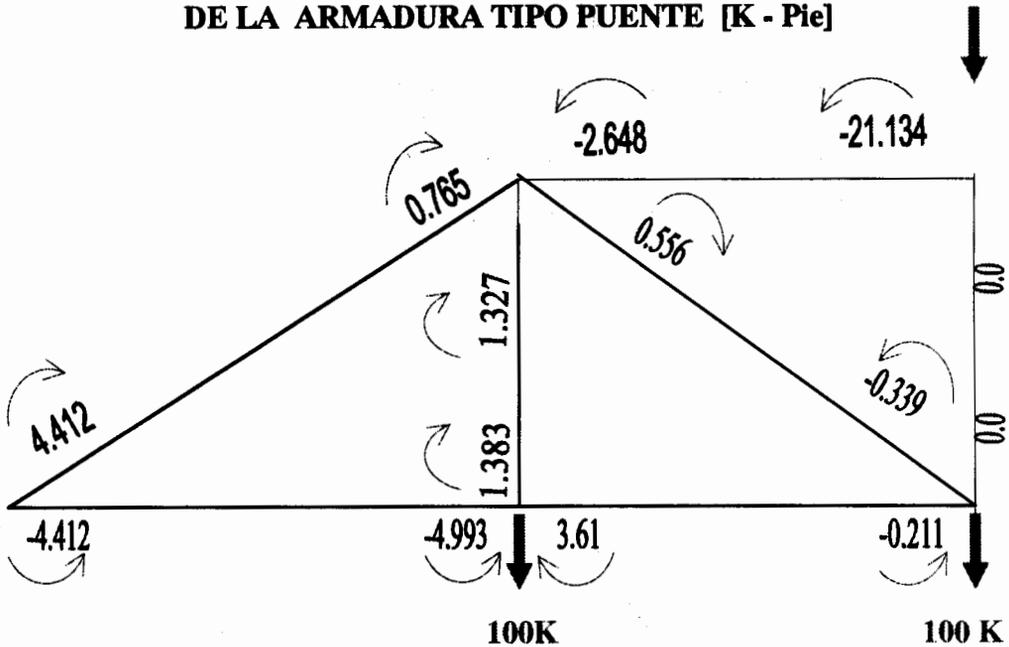
## DE LA ARMADURA TIPO TECHO [K - Pie]



### 2.1.3.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

FIGURA 2.9

#### MOMENTOS SECUNDARIOS PARA CADA BARRA DE LA ARMADURA TIPO PUENTE [K - Pie]



### 2.1.4. Formulación Matricial del Método de Distribución de Momentos.

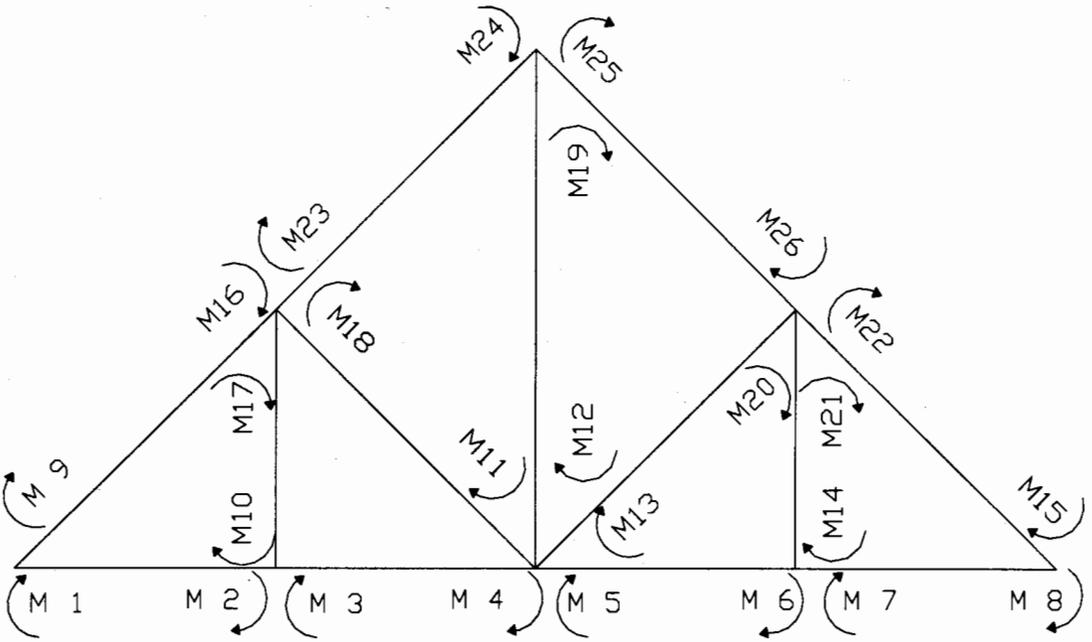
Para la aplicación del programa de computadora, se ha expresado el método de Distribución de Momentos en forma matricial.

Se ha considerado esta aplicación solo para armaduras de 13 barras y 8 nudos, ya que la numeración de los momentos secundarios en la matriz es fija y otra aplicación requerirá los cambios correspondientes en la numeración de los momentos y consecuentemente en la diferente disposición de la matriz momentos secundarios.

Consideremos el ejemplo de la armadura tipo techo de la **Figura 2.10** ,  
donde la disposición de los momentos es la siguiente:

**FIGURA 2.10**

**DISPOSICIÓN NUMERADA DE LOS MOMENTOS DE  
EMPOTRAMIENTO PERFECTO SOBRE LA ARMADURA TIPO TECHO**



**FIGURA 2.11.**

**MATRIZ MOMENTOS EMPOTRAMIENTO PERFECTO**

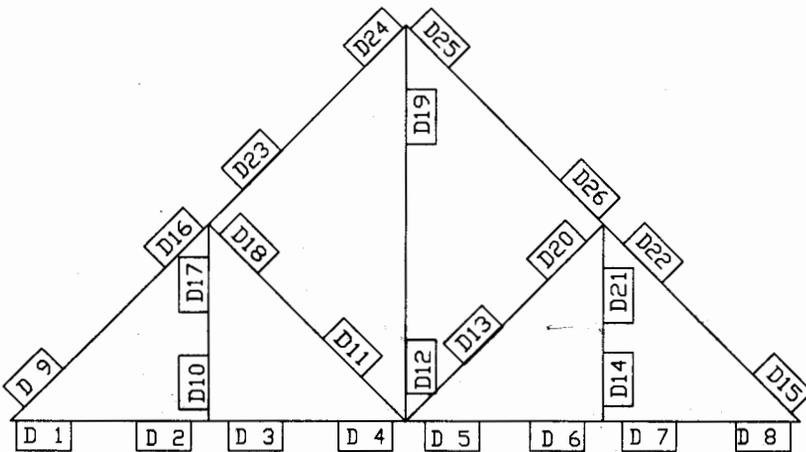
$$\{ M \}_{\text{fix}} = \left\{ \begin{array}{l} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ M_{24} \\ M_{25} \\ M_{26} \end{array} \right\}_{\text{fix}} \quad 26 \times 1$$

Como el método de distribución consiste en empotrar y soltar alternativamente los nudos hasta que se logre un equilibrio, esto se logra distribuyendo y transportando los momentos que empotrarnos. Por lo cual debemos de establecer la Matriz Distribución y la Matriz Transporte, y posteriormente aplicar el método.

La " MATRIZ DISTRIBUCIÓN " y la " MATRIZ TRANSPORTE " para la armadura de 13 barras y 8 nudos quedan definidas en la **Tabla 2.5.** y la **Tabla 2.6** respectivamente en base al orden de los factores de distribución tomado de la **Figura 2.12.**

**FIGURA 2.12**

**DISPOSICIÓN NUMERADA DE LOS FACTORES DE DISTRIBUCIÓN.**



Ya con las matrices Distribución y Transportes definidas, solo queda distribuir y transportar los momentos, para lo cual el mecanismo lo podemos expresar en forma de serie de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \{M\}_{(26 \times n)} = & \{M\}^f_{(26 \times 1)} + \underbrace{[D] \left( \{M\}^f \right)}_{\text{Término anterior}}_{(26 \times 1)} + \underbrace{[C] \left( [D] \{M\}^f \right)}_{\text{Término anterior}}_{(26 \times 1)} \\ & + \underbrace{[D] \left( [C] [D] \{M\}^f \right)}_{\text{Término anterior}}_{(26 \times 1)} + \underbrace{[C] \left( [D] [C] [D] \{M\}^f \right)}_{\text{Término anterior}}_{(26 \times 1)} + \dots \end{aligned}$$

Es decir la serie se la puede expresar en una matriz de (26 x n), donde "n" depende de cuantos términos de la serie se quiera, entre más términos tenga la serie, más aproximado es el valor de los momentos secundarios, para nuestro caso " n = 40 ", con lo que se logra un valor muy exacto.

Como se puede observar la primera columna de la serie corresponde a los momentos de empotramiento perfecto [M fix] y los términos siguientes son el resultado de multiplicar el término anterior por el factor de distribución (si el término es par) o por el factor de transporte (si es impar). Finalmente sumando los elementos de las filas de la Matriz que contienen la serie se obtienen los momentos secundarios:

En la **Tabla 2.7.** se muestra la matriz que contiene la serie con el número de iteraciones en cada columna y en la última columna está la sumatoria de todas las filas y los valores concuerdan con los de la **Figura 2.7** demostrando el grado de exactitud del método matricial.

Esta metodología se la aplica en el formulario **ANALISIS DE ARNADURAS REALES** del **CAPÍTULO 5.5**, para la determinación de los momentos secundarios.



TABLA 2.6

MATRIZ TRANSPORTE (26X26) CON EL ORDEN DE LOS FACTORES DE TRANSMISIÓN <sup>(1)</sup>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
1																												
2	1/2																											
3																												
4			1/2																									
5				1/2																								
6					1/2																							
7						1/2																						
8							1/2																					
9								1/2																				
10									1/2																			
11										1/2																		
12											1/2																	
13												1/2																
14													1/2															
15														1/2														
16															1/2													
17																1/2												
18																	1/2											
19																		1/2										
20																			1/2									
21																				1/2								
22																					1/2							
23																						1/2						
24																							1/2					
25																								1/2				
26																										1/2		

TABLA 2.7

MATRIZ MOMENTOS SECUNDARIOS (26X40)

$$\{M\}_{(26 \times 40)} = \{M\}^f + [D] (\{M\}^f) + [C] ([D] \{M\}^f) + [D] ([C] [D] \{M\}^f) + \dots$$

Numero de iteracion

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Fila 41
M1	-1978	1952	494	-464	-237	227	84	-62	-29	27	10	-8	-3.71	3.46	1.36	17
M2	-1978	988	976	-474	-232	188	113	-58	-31	21	13	-7	-4.13	2.71	1.73	-500
M3	-74.76	988	0	-474	0	168	0	-58	0	21	0	-7	0	2.71	0	565
M4	-74.76	0	494	0	-237	0	84	0	-29	0	10	0	-3.71	0	1.36	245
M5	74.76	0	-494	0	237	0	-84	0	29	0	-10	0	3.72	0	-1.36	-245
M6	74.76	-988	0	474	0	-168	0	58	0	-21	0	7	0	-2.71	0	-665
M7	1978	-988	-976	474	232	-168	-113	58	31	-21	-13	7	4.13	-2.71	-1.72	500
M8	1978	-1952	-494	464	237	-227	-84	62	29	-27	-10	8	3.72	-3.46	-1.36	-17
M9	-14978	15003	3640	-3669	-1741	1750	469	-481	-213	214	60	-63	-26	26.56	7.96	-17
M10	-1733	1809	843	-869	-414	309	109	-106	-50	39	14	-13	-6.26	4.97	1.9	-64
M11	-346	0	1807	0	-888	0	234	0	-108	0	31	0	-13	0	4.07	718
M12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M13	346	0	-1807	0	888	0	-234	0	108	0	-31	0	13	0	-4.07	-718
M14	1733	-1809	-843	869	414	-309	-109	106	50	-39	-14	13	6.26	-4.97	-1.9	64
M15	14978	-15003	-3640	3669	1741	-1750	-469	481	213	-214	-60	63	26.3	-26.56	-7.97	17
M16	-14978	7080	7501	-3482	-1784	919	875	-426	-240	121	107	-52	-31	15.96	13.3	-4369
M17	-1733	1687	904	-829	-434	219	154	-101	-53	29	19	-12	-6.8	3.8	2.48	-153
M18	-346	3614	0	-1777	0	469	0	-217	0	62	0	-26	0	8.15	0	1782
M19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M20	346	-3614	0	1777	0	-469	0	217	0	-62	0	26	0	-8.15	0	-1782
M21	1733	-1687	-904	829	434	-219	-154	101	53	-29	-19	12	6.8	-3.8	-2.48	153
M22	14978	-7080	-7501	3482	1784	-919	-875	426	240	-121	-107	52	31	-15.96	-13.27	4369
M23	-34.38	4709	0	-2316	0	611	0	-283	0	81	0	-34	0	10.61	0	2799
M24	-34.38	0	2354	0	-1159	0	305	0	-141	0	40	0	-17	0	5.31	1352
M25	34.38	0	-2354	0	1159	0	-305	0	141	0	-40	0	17	0	-5.3	-1352
M26	34.38	-4709	0	2316	0	-611	0	283	0	-81	0	34	0	-10.61	0	-2799

### 2.1.5. Fuerzas Cortantes en Cada Barra.

Para un mejor entendimiento de los valores expuestos sobre la armadura se ha dado una nomenclatura tanto a los momentos secundarios , fuerzas cortantes y fuerzas axiales de las barras que se describe a continuación:

Momento Secundarios : Color Rojo [  $M_{ij}$  ] en la dirección de la barra.

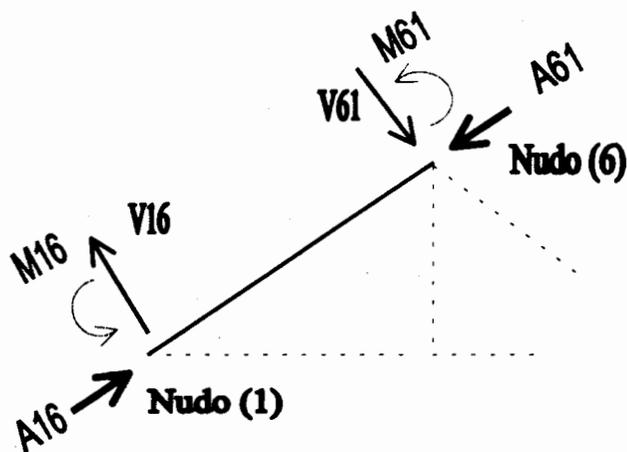
Fuerza Cortante : Color Azul [  $V_{ij}$  ] perpendicular a la barra.

Fuerza Axial : Color Negro [  $A_{ij}$  ] en la dirección de la barra.

Esta forma de identificación se llevará también al programa de computadora para su fácil identificación.

**FIGURA 2.13**

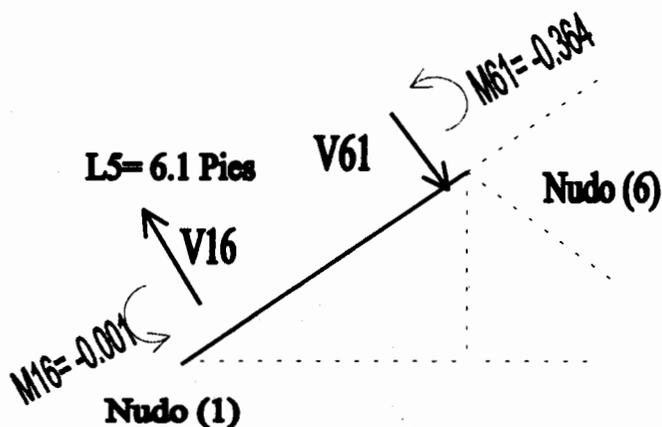
### NOMENCLATURA DE ESFUERZOS EN LAS BARRAS



Con los valores obtenidos de los momentos secundarios se calculan las fuerzas cortantes actuantes en cada barra, que actúan perpendiculares a las barras. Aislaremos la barra # 5 para hacer los cálculos demostrativos.

FIGURA 2.14

FUERZAS CORTANTES EN LA BARRA # 5 [K]



$$\underline{\Sigma M (1) = 0} \quad (+)$$

$$V16 = \frac{M16 + M61}{L5} = \frac{0.001 + 0.364}{6.1} = 0.060 \text{ K}$$

$$\underline{\Sigma M (6) = 0} \quad (+)$$

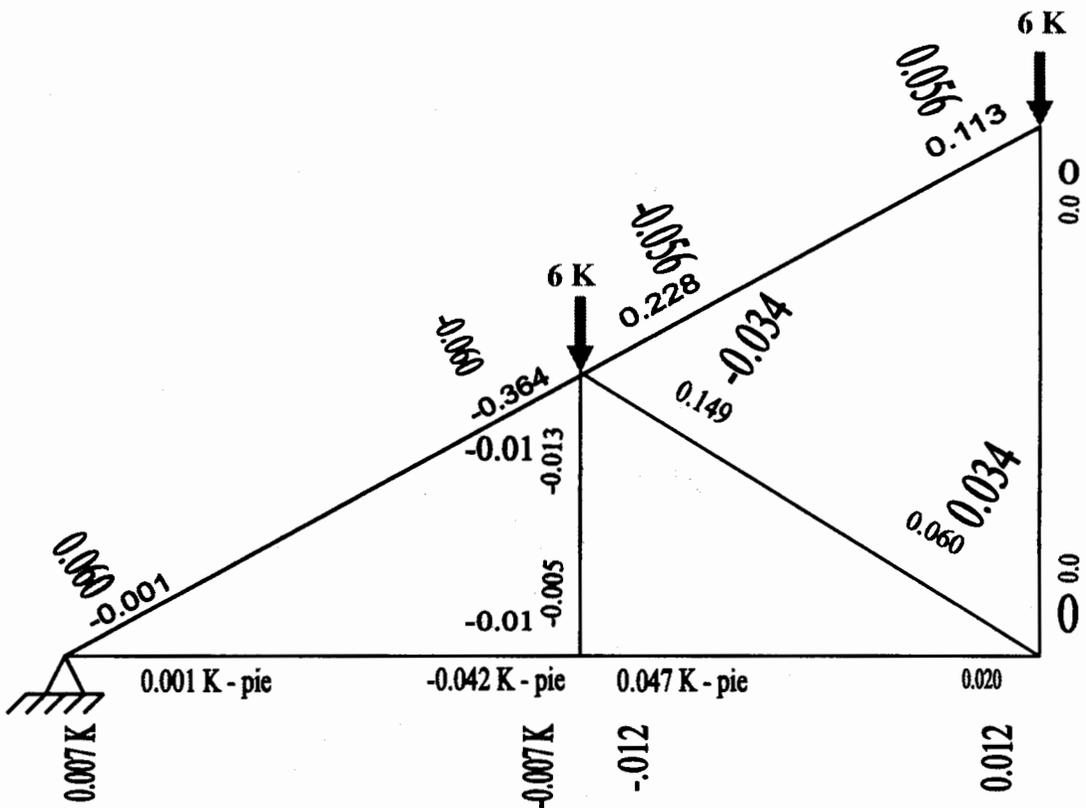
$$V61 = \frac{-M16 - M61}{L5} = \frac{-0.001 - 0.364}{6.1} = -0.060 \text{ K}$$

Por lo que las fuerzas cortantes para la armadura son :

### 2.1.5.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular.

FIGURA 2.15

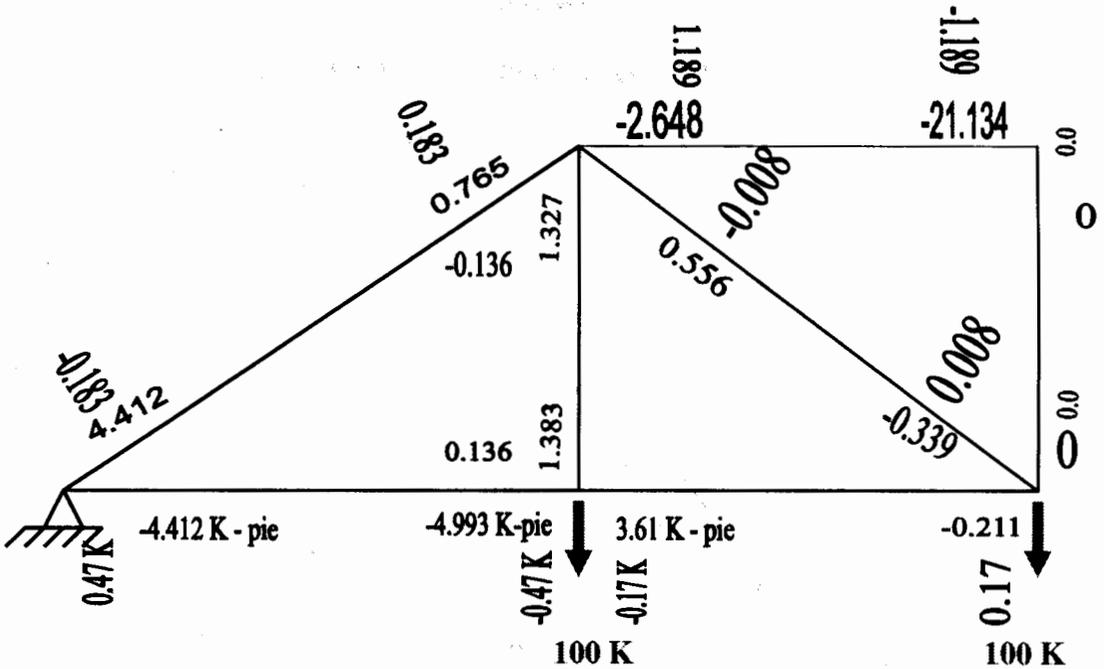
FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS SECUNDARIOS PARA CADA BARRA DE LA ARMADURA TIPO TECHO



### 2.1.5.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

FIGURA 2.16

### FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS SECUNDARIOS PARA CADA BARRA DE LA ARMADURA TIPO PUENTE



### 2.1.6. Fuerzas Axiales en las Barras.

Para determinar las fuerzas axiales en cada barra, se deben colocar las Fuerzas Cortantes en los nudos, tomando en consideración la acción igual reacción, es decir el signo del cortante aplicado en el nudo debe ser contrario al obtenido en el extremo de la barra.

Las reacciones de la armadura son determinadas por la estática, ya que los cortantes son fuerzas internas y no entran como cargas.

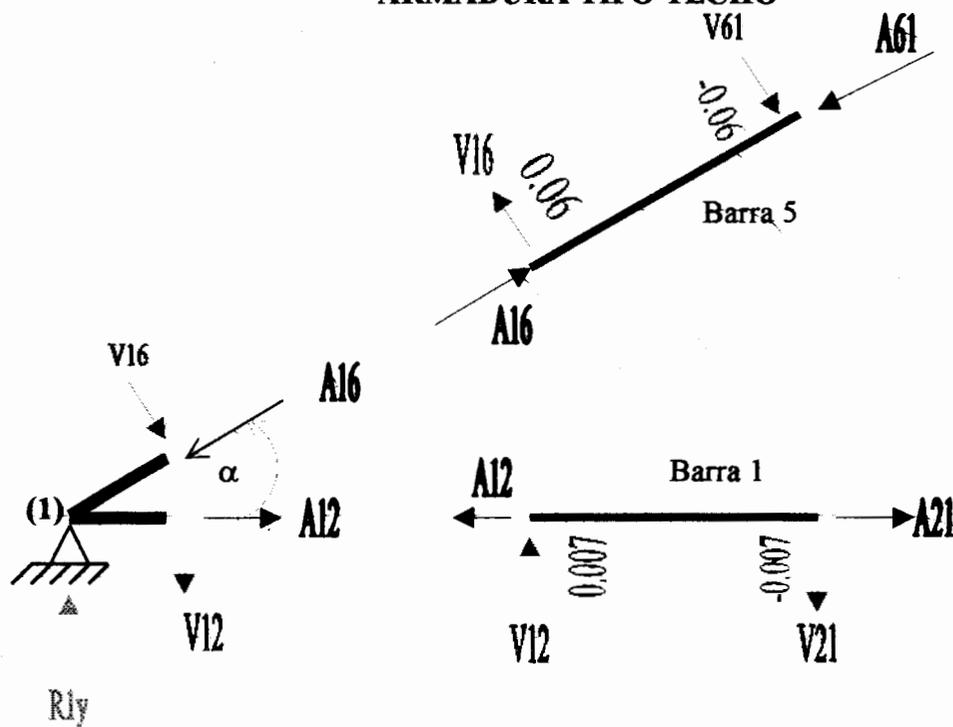
### 2.1.6.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular.

A continuación detallamos los diagramas de cuerpo libre de los nudos #1, 2, 6 del ejemplo con sección circular aplicado a armaduras tipo techo.

FIGURA 2.17

#### DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL NUDO # 1 DE LA

#### ARMADURA TIPO TECHO



$$\underline{\Sigma F_y = 0}$$

$$R_{1y} - V_{12} - V_{16} \text{ Sen } (90-\alpha) - A_{16} \text{ Sen } \alpha = 0$$

$$A_{16} = 28.705 \text{ K (Compresión)}$$

$$A_{61} = A_{16} = 28.705 \text{ K (Compresión)}$$

$$\underline{\Sigma F_x = 0}$$

$$\overset{\times}{A_{12}} + \overset{\checkmark}{V_{16}} \text{Cos}(90-\alpha) - \overset{\checkmark}{A_{16}} \text{Cos} \alpha = 0$$

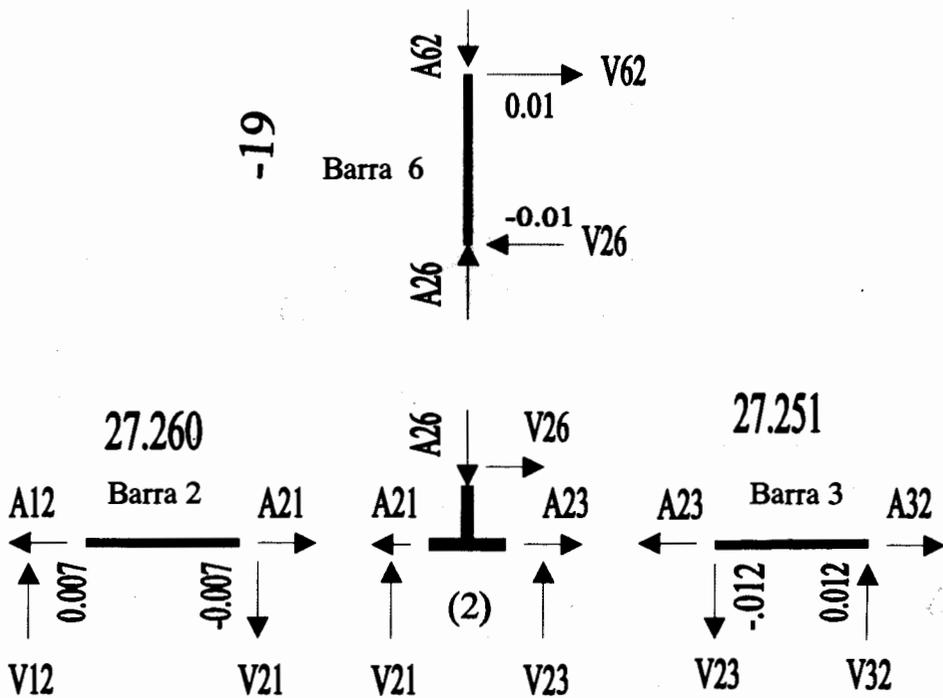
$$A_{12} = 27.260 \text{ K (Tensión)}$$

$$A_{21} = A_{12} = 27.260 \text{ K (Tensión)}$$

FIGURA 2.18

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL NUDO #2

DE LA ARMADURA TIPO TECHO



$$\underline{\Sigma F_y = 0}$$

$$\overset{\checkmark}{V_{21}} + \overset{\checkmark}{V_{23}} - \overset{\times}{A_{26}} = 0$$

$$A_{26} = 0.019 \text{ K (Compresión)}$$

$$A_{62} = A_{26} = 0.019 \text{ K (Compresión)}$$

$$\underline{\Sigma F_x = 0}$$

$$\begin{array}{ccc} \checkmark & \times & \checkmark \\ -A_{21} + A_{23} + V_{26} = 0 \end{array}$$

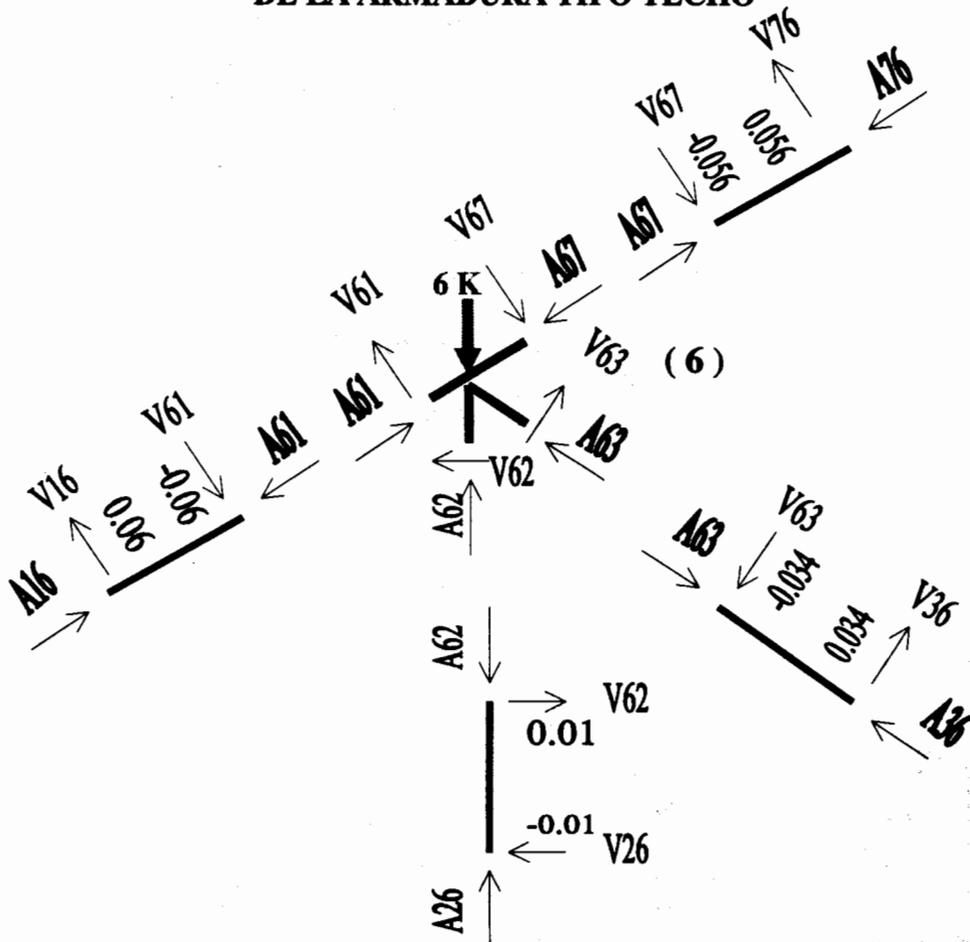
$$A_{23} = 27.251 \text{ K (Tensión)}$$

$$A_{32} = A_{23} = 27.251 \text{ K (Tensión)}$$

**FIGURA 2.19**

**DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL NUDO # 6**

**DE LA ARMADURA TIPO TECHO**



$$\Sigma F_y = 0$$

$$\begin{aligned} & \checkmark A_{61} \text{ Sen } \alpha + \checkmark A_{62} + \checkmark A_{63} \text{ Sen } \alpha - \times A_{67} \text{ Sen } \alpha + \times V_{61} \text{ Sen}(90-\alpha) + \\ & \checkmark V_{63} \text{ Sen}(90-\alpha) - \checkmark V_{67} \text{ Sen}(90-\alpha) - 6.000 = 0 \end{aligned}$$

$$A_{16} = 28.705 \text{ K (Compresión)}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\begin{aligned} & \checkmark A_{61} \text{ Cos } \alpha - \times A_{63} \text{ Cos } \alpha - \times A_{67} \text{ Cos } \alpha - \checkmark V_{61} \text{ Cos}(90-\alpha) - \checkmark V_{62} + \\ & \checkmark V_{63} \text{ Cos}(90-\alpha) + \checkmark V_{67} \text{ Cos}(90-\alpha) = 0 \end{aligned}$$

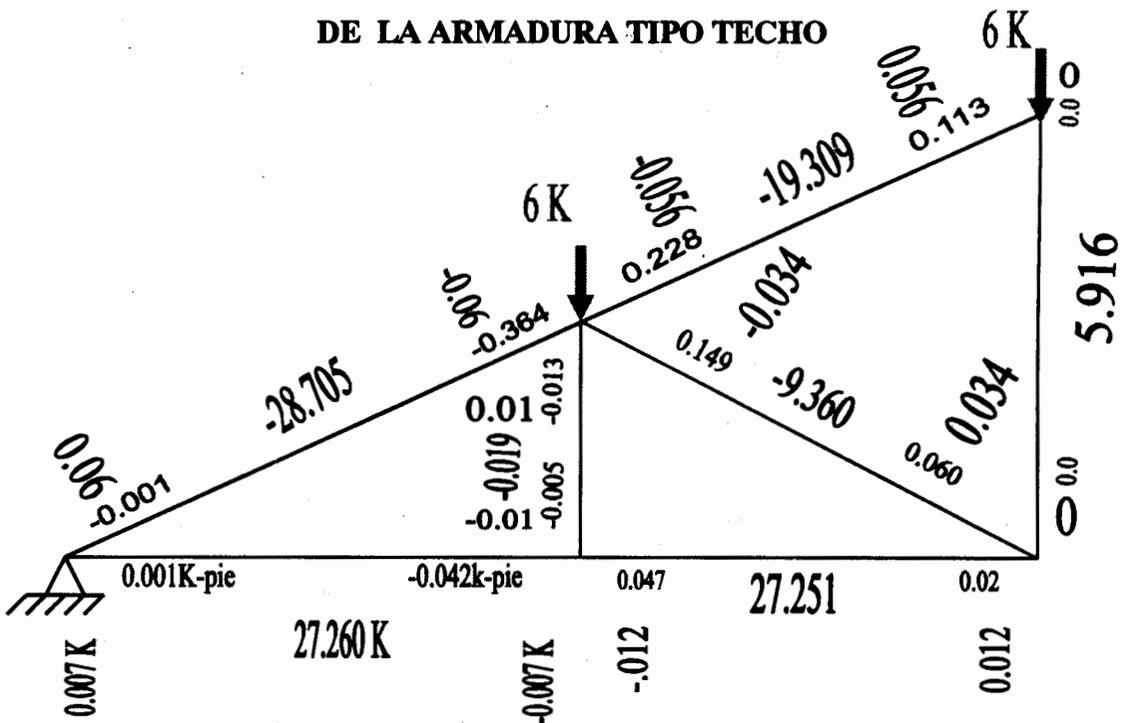
$$A_{63} = 9.360 \text{ K (Compresión)}$$

$$A_{63} = 19.309 \text{ K (Compresión)}$$

FIGURA 2.20

FUERZAS AXIALES, CORTANTES Y MOMENTOS PARA CADA BARRA

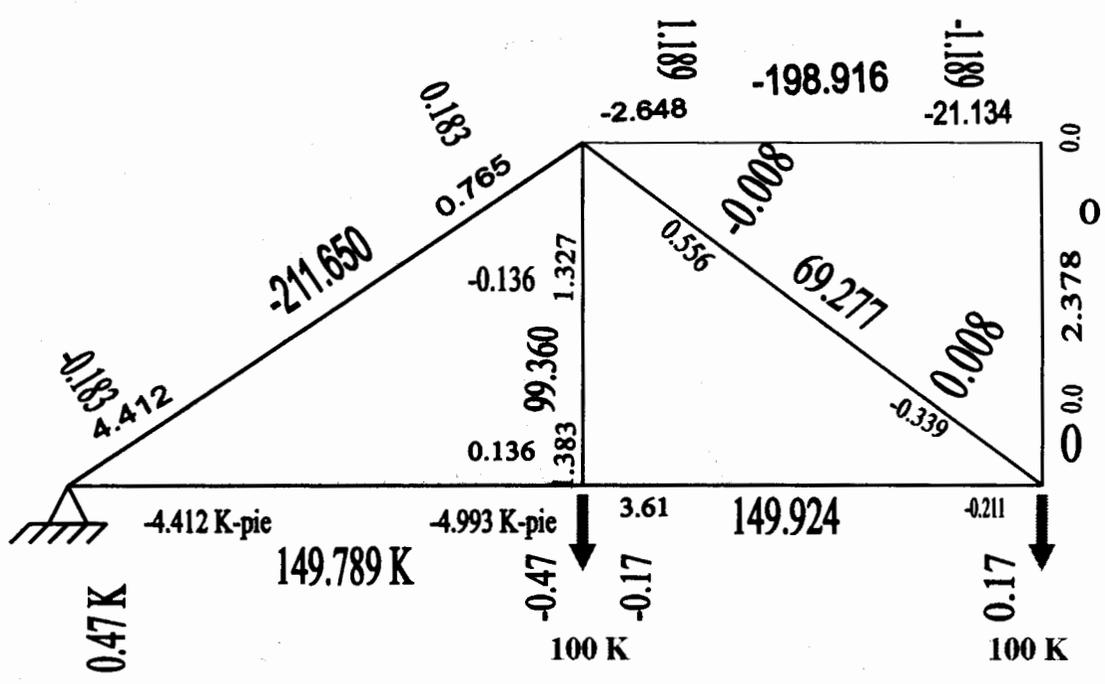
DE LA ARMADURA TIPO TECHO



2.1.6.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

FIGURA 2.21

FUERZAS AXIALES, CORTANTES Y MOMENTOS PARA CADA BARRA DEL EJEMPLO PARA ARMADURA TIPO PUENTE.





### 3.0 DISEÑO DE ARMADURAS IDEALES

Los miembros de las Armaduras Ideales solo están sometidas a esfuerzos de Tensión y compresión y diseñamos los mismos según las recomendaciones del Manual del "AISC".

Solo se expondrán las principales fórmulas usadas y los valores de diseño que satisfacen dichas fórmulas tanto para la armadura tipo techo como tipo puente, para un detalle más explicativo se requerirá los conocimientos del curso de "Diseño de Estructuras de Acero I", ya que el objetivo de este trabajo es demostrar la diferencia entre el diseño de Armaduras Ideales y Armaduras Reales.

#### 3.1. Diseño de miembros sujetos a esfuerzos de tensión.

Las barras sometidas a fuerzas de tensión deben cumplir los siguientes requerimientos del Manual del "AISC".

$$F_t = 0.6 F_y \quad (1.5.1.1 \text{ AISC})$$

$$f_t = P / A_{\text{neta}}$$

$$f_t \leq F_t$$

Para miembros principales se debe cumplir la relación de esbeltez

$$L / r_{\text{giro min}} \leq 240 \quad (1.8.4 \text{ AISC})$$

Para miembros secundarios se debe cumplir la relación de esbeltez

$$L / r \text{ giro min } \leq 300 \text{ (1.8.4 AISC)}$$

### 3.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular.

Como se explicó en el capítulo 1.1. la *sección circular no es la más apropiada para trabajar como elementos en Armaduras*, ya que no posee gran inercia para una determinada área y a medida que los miembros son muy largos quien rige es la relación de esbeltez y no el esfuerzo desarrollado.

Para este ejemplo la sección circular es elegida por la facilidad de ver la diferencia (en el Radio de la Barra) que se produce en el incremento del área cuando se diseña considerando las fuerzas secundarias en el Diseño Real que cuando se diseña considerando a la armadura como ideal.

Los valores de Diseño para las barras sometidas a fuerzas de tensión para la armadura tipo techo son:

TABLA 3.1

**DIÁMETROS SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS A  
TENSIÓN DE LA ARMADURA TIPO TECHO**

Barra	Designación. [Plg]	A neta [Plg <sup>2</sup> ]	Esfuerzo Actual tensión [Ksi]	Esfuerzo Prmsble. Tensión [Ksi]	R giro mínimo
1	φ 1.27	1.272	21598	21600	218
2	φ 1.27	1.272	21598	21600	218
3	φ 1.27	1.272	21598	21600	218
4	φ 1.27	1.272	21598	21600	218
6	φ 1.12	0.985	0	21600	163
8	φ 1.12	0.985	6091	21600	163
10	φ 1.12	0.985	0	21600	163

### 3.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

A diferencia de lo expuesto, los perfiles W , I , T, y C, son óptimos ya que concentran casi toda su área en las alas aumentando su inercia considerablemente.

TABLA 3.2

SECCIONES SELECCIONADAS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS A  
TENSION DE LA ARMADURA TIPO PUENTE

Barra	Designación.	A neta [Plg <sup>2</sup> ]	Esfzo. Actual Tensión	Esf. Prmsble. Tensión	R giro mín.	R giro yy
1	W 8 X 24	7.08	21186	21600	1	1.61
2	W 8 X 24	7.08	21186	21600	1	1.61
3	W 8 X 24	7.08	21186	21600	1	1.61
4	W 8 X 24	7.08	21186	21600	1	1.61
6	W 5 X 16	4.68	21367	21600	0.8	1.27
7	W 6 X 15	4.43	15961	21600	1.13	1.46
8	W 6 X 9	2.68	0	21600	0.8	0.905
9	W 6 X 15	4.43	15961	21600	1.13	1.46
10	W 5 X 16	4.68	21367	21600	0.8	1.27

### 3.2. Diseño de miembros sujetos a esfuerzos de Compresión.

Las barras principales sometidas a fuerzas de compresión deben cumplir los siguientes requerimientos del Manual del "AISC"

Si:  $Le/r \leq Cc$  entonces Aplicamos:

$$Cc = (2 \pi^2 E / Fy)^{1/2}$$

$$Fa = \frac{[1 - 0.5 ((Le/r) / Cc)^2] Fy}{5/3 + 3/8 ((Le/r) / Cc) - 1/8 ((Le/r) / Cc)^3} \quad (1.5.1 \text{ AISC})$$

Si:  $Le/r > Cc$  entonces Aplicamos:

$$F_a = \frac{\pi^2 E}{23 / 12 (L_e / r)^2} \quad (1.5.2 \text{ AISC})$$

Para elementos secundarios si su relación de esbeltez excede 120

Si :  $L_e / r > 120$  entonces

$$F_a = \frac{F_a \text{ (de la Ecuación 1.5.1 ó 1.5.2)}}{1.6 - L / (200 r)} \quad (1.5.3 \text{ AISC})$$

### 3.2.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular.

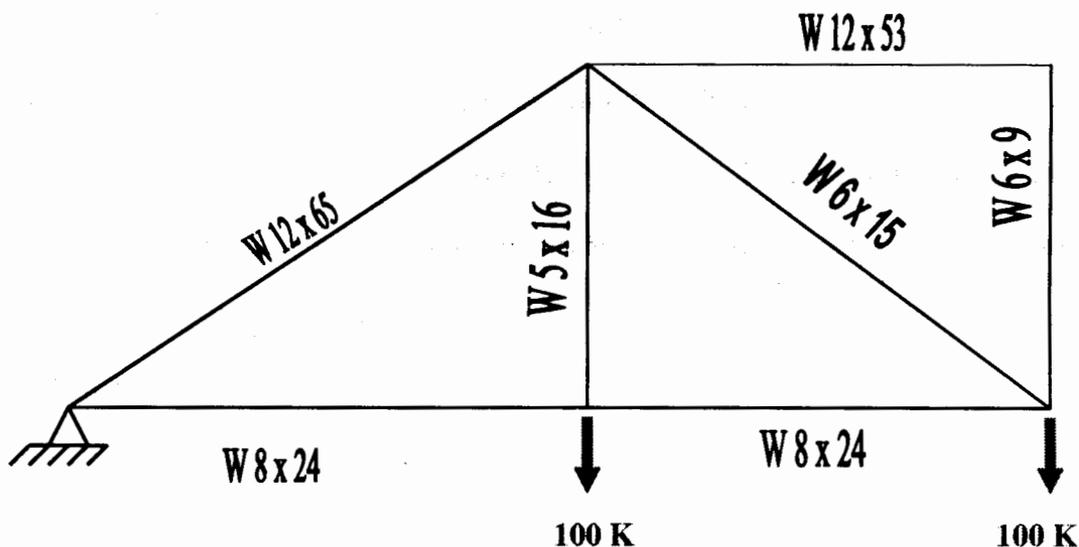
**TABLA 3.3**

#### **DIÁMETROS SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN DE LA ARMADURA TIPO TECHO**

Barra	Designación. [Plg]	A neta [Plg <sup>2</sup> ]	Esfuerzo Actual Comp.	Esfuerzo Prmsble. Comp.
5	φ 2.146	3.617	7993	8022
7	φ 1.814	2.584	3729	3739
9	φ 1.814	2.584	3729	3739
11	φ 2.146	3.617	7993	8022
12	φ 1.938	2.95	6533	6542
13	φ 1.938	2.95	6533	6542

FIGURA 3.2

**PERFILES SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS  
A FUERZA AXIAL DE LA ARMADURA TIPO PUENTE.**



**3.3. Diseño de miembros que no soportan carga.**

En el caso de la *ARMADURA TIPO TECHO*, las barras que no soportan carga se ha asumido el área de 1 Pulgada Cuadrada, con su correspondiente diámetro y para *LA ARMADURA TIPO PUENTE* el área del perfil asumido es de 2.68 pulgadas cuadrada, en ambos casos los valores deben de cumplir con las relaciones de esbeltez mínimas para sus respectivas longitudes.

#### 4.0. DISEÑO DE ARMADURAS REALES.

Del análisis realizado a las Armaduras considerándolas como reales se obtuvo tres fuerzas actuando sobre cada miembro de la estructura: Fuerza Axial, Fuerza Cortante y Momento Flector, por lo tanto el diseño de dichos miembros está sujeto a la combinación de esfuerzos y regido a las recomendaciones que da el Manual del "AISC".

Al igual que en el Capítulo tres sólo se expondrán los resultados generales de las armaduras.

##### 4.1. Diseño de miembros sujetos a esfuerzos de flexión y tensión .

Los miembros de la armadura sujetos a esfuerzos combinados de tensión más flexión deben cumplir con las especificaciones dadas en las siguientes fórmulas del manual del "AISC":

$$\underbrace{\frac{f_a}{0.6 F_y}}_{\% \text{ de Tensión}} + \underbrace{\frac{f_b}{F_b}}_{\% \text{ de Flexión}} \leq 1 \quad (1.6 - 1 b \text{ AISC})$$

y además se debe de cumplir que el esfuerzo de compresión generado por la flexión debe ser menor al esfuerzo compresión:

$$f_b \left| \begin{array}{c} < = \\ \text{Compresión} \end{array} \right. F_b \left| \begin{array}{c} \\ \text{Compresión} \end{array} \right.$$

Donde:

$f_a$  = Esfuerzo actual en Tensión (carga axial)

$f_b$  = Esfuerzo actual de Flexión (Momento flector)

## 4.1.1. Ejemplo 1 Aplicac

Tabla 4.1

DIÁMETROS SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS " FLEJO - TENSION " DE LA ARMADURA

TIPO TECHO.

Barra	Desig-nación.	A neta [Pig <sup>2</sup> ]	Esfzo. Actual tensión	Esfuerzo Prmsble. Tensión	Esfzo. Actual Flexión	Esfuerzo Prmsble. Flexión	% ten.	% flex.	% Total	1.6-1 b AISC	Le rgire
1	φ 1.3298	1.389	19627	21600	2168	23760	0.9	0.1	1	<= 1	180 < 240
2	φ 1.337	1.404	19410	21600	2408	23760	0.9	0.1	1	<= 1	179 < 240
3	φ 1.337	1.404	19410	21600	2408	23760	0.9	0.1	1	<= 1	179 < 240
4	φ 1.3298	1.389	19627	21600	2168	23760	0.9	0.1	1	<= 1	180 < 240
6	φ 1.12	1	0	21600	0	23760	0				81 < 300
8	φ 1.12	1	6091	21600	0	23760	0.28		0.28	<= 1	163 < 300
10	φ 1.12	1	0	21600	0	23760	0				81 < 300

Tabla 4.2

PERFILES SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS " FLEXO - TENSION " DE LA ARMADURA TIPO PUENTE.

Ba- rra	Desgn	A neta [Pig <sup>2</sup> ]	Esfzro. Actual tension	Esfzro. Prmbl. Tension	Esfzo. actual Flexion	Esf. Prmsbl Flexion	% Tens.	% Flexn.	% Total	1.6-lb AISC	Long [pies]	LC [pies]	LU [pies]
1	W8X28	8.25	18156	21600	2465	23760	0.84	0.104	0.944	< 1	20	6.9	17.45
2	W8X28	8.25	18172	21600	1782	23760	0.841	0.075	0.916	< 1	20	6.9	17.45
3	W8X28	8.25	18172	21600	1782	23760	0.841	0.075	0.916	< 1	20	6.9	17.45
4	W8X28	8.25	18156	21600	2465	23760	0.84	0.104	0.944	< 1	20	6.9	17.45
6	W5X19	5.54	17935	21600	1627	23760	0.83	0.068	0.899	< 1	20	5.31	19.44
7	W6X15	4.43	15638	21600	686	21600	0.725	0.032	0.757	< 1	28.28	6.32	12.04
8	W6X9	2.68	0	0	0	0	0	0	0	< 1	20	0	0
9	W6X15	4.43	15638	21600	686	21600	0.725	0.032	0.757	< 1	28.28	6.32	12.04
10	W5X19	5.54	17935	21600	1627	23760	0.83	0.068	0.899	< 1	20	5.31	19.44

#### 4.2. Diseño de miembros sujetos a Flexo - Compresión.

Las barras sujetas a esfuerzos combinados de flexión más compresión deben cumplir con las especificaciones dadas en las siguientes formulas del manual del "AISC"

$$\underbrace{\frac{f_a}{F_a}}_{\% \text{ de Compresión}} + \underbrace{\frac{C_m f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e'}\right) F_b}}_{\% \text{ de Flexión}} \leq 1 \quad (1.6 - 1a)$$

y además se debe de cumplir que:

$$\frac{F_a}{0.6 F_y} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (1.6 - 1b)$$

Donde:

$f_a$  = Esfuerzo actual en compresión (carga axial)

$F_a$  = Esfuerzo permisible máximo en compresión (carga axial)

$f_b$  = Esfuerzo actual en flexión (momento)

$F_b$  = Esfuerzo permisible máximo en flexión (momento)

TABLA 4.3

DIÁMETROS SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS "FLEXO - COMPRESIÓN " DE LA  
ARMADURA TIPO TECHO.

Barra	Designación.	A neta [Pig <sup>2</sup> ]	Esfzo. Actual Comp.	Esí. Prmsble. Comp.	R giro mín.	Esfzo. Actual Flexión	Esí. Prmsble. Flexión (Compacta)	% Comp.	% Flex.	% Total	1.6 - 1a AISC
5	φ 2.34	4.3	6675	9525	218	3472	23760	0.7	0.292	0.992	< 1
7	φ 1.74	2.378	3936	5268	218	3457	23760	0.746	0.252	0.998	< 1
9	φ 1.74	2.378	3939	5268	218	3457	23760	0.746	0.252	0.998	< 1
11	φ 2.34	4.3	6675	9525	218	3472	23760	0.7	0.292	0.992	< 1
12	φ 2.08	3.39	5682	7535	163	3096	23760	0.754	0.213	0.967	< 1
13	φ 2.08	3.39	5682	7535	163	3096	23760	0.754	0.213	0.967	< 1

FIGURA 4.1

DIÁMETROS SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS OBTENIDAS DEL  
DISEÑO REAL PARA LA ARMADURA TIPO TECHO

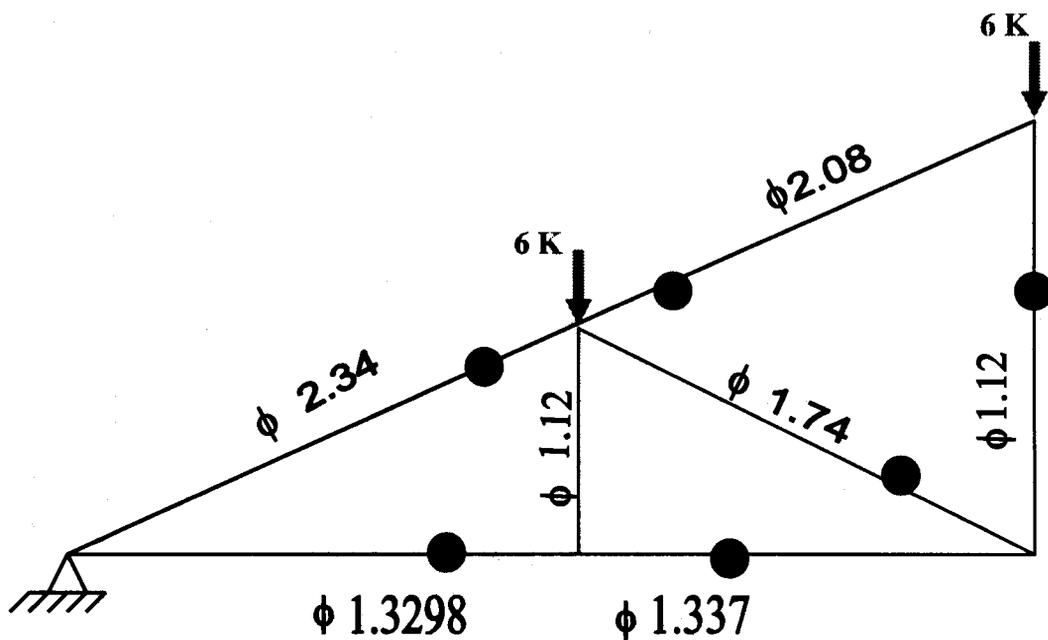


TABLA 4.4

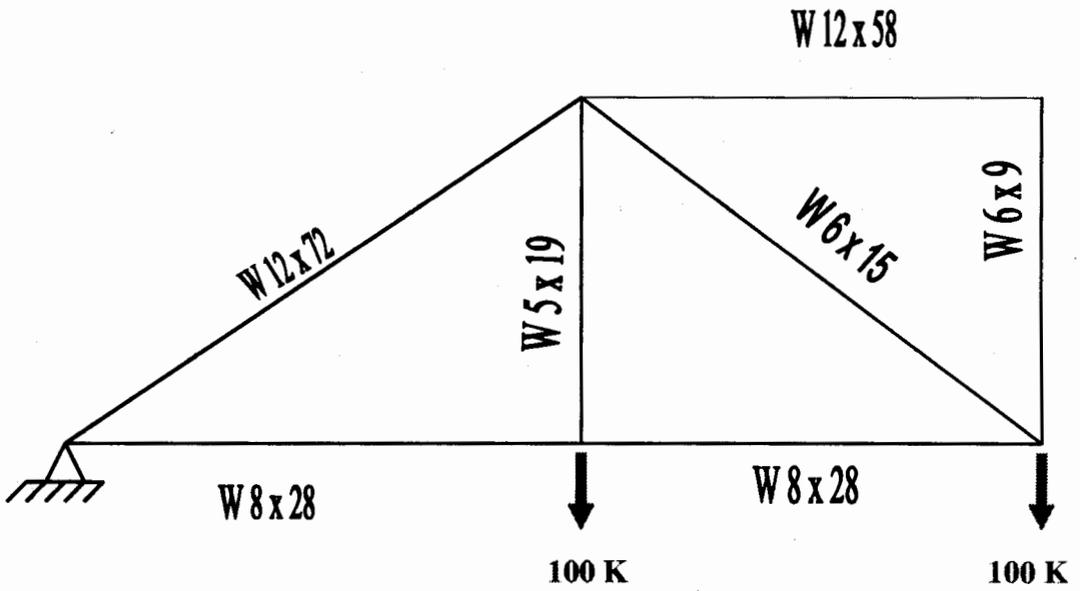
## PERFILES SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS SOMETIDAS FLEJO - COMPRESIÓN DE LA ARMADURA

## TIPO PUENTE

Barras	Designación	Área [Pig <sup>2</sup> ]	Esfzo. Actual Comp.	Esfzo. Prmsbl Comp.	Esfzo. actual Flexión	Esf. Prmsbl Flexión (Compacta)	% Comp.	% Flex.	% Total	1.6- 1a AISC	Long [pies]	LC [pies]	LU [pies]
5	W12X72	21.1	10029	11451	544	21600	0.876	0.018	0.894	< 1	28.28	12.71	30.49
11	W12X72	21.1	10029	11451	544	21600	0.876	0.018	0.894	< 1	28.28	12.71	30.49
12	W12X58	17	11704	13525	3251	21600	0.865	0.099	0.964	< 1	20	10.57	24.33
13	W12X58	17	11704	13525	3251	21600	0.865	0.099	0.964	< 1	20	10.57	24.33

FIGURA 4.2.

PERFILES SELECCIONADOS PARA LAS BARRAS OBTENIDAS DEL  
DISEÑO REAL PARA LA ARMADURA TIPO PUENTE.



## 5.0 PROGRAMA DE COMPUTADOR.

El programa está orientado en forma de un menú principal y sus respectivos submenús para facilitar :

- La introducción y selección de valores con la ayuda del "Mouse" .
- La ayuda gráfica por medio de dibujos explicativos de las armaduras.
- La visualización progresiva de los resultados expuestos en pantallas o formularios.
- El poder trabajar bajo ambiente "Windows" (Diversas Pantallas activadas) .

Para los cálculos iterativos no se necesita de recurrir al manual del "AISC", ya que se dispone de estos registros en la base de datos del programa.

En la Figura 5.1 se expone el diagrama de bloque del programa principal con sus respectivos submenús .

La secuencia de introducción de datos y presentación de resultados está detallada en la Figura 5.2 .

Los pasos a seguir para la correcta definición de la estructura son los siguientes:

- Seleccionar el tipo de armadura a analizar (tipo Puente o Techo).
- Introducir las coordenadas de la estructura ( Pantalla Ingreso Coordenadas )
- Colocar las cargas sobre la estructura ( Pantalla Ingreso de Cargas)

Una vez definida la armadura y sus cargas el programa presenta los resultados en el siguiente orden:

- **Análisis de Armaduras ideales ( Fuerzas de Tensión y Compresión )**
- **Diseño de Armaduras Ideales**
- **Análisis de Armaduras Reales ( Fuerzas de Tensión, Compresión, Cortante y Flexión )**
- **Diseño de Armaduras Reales**

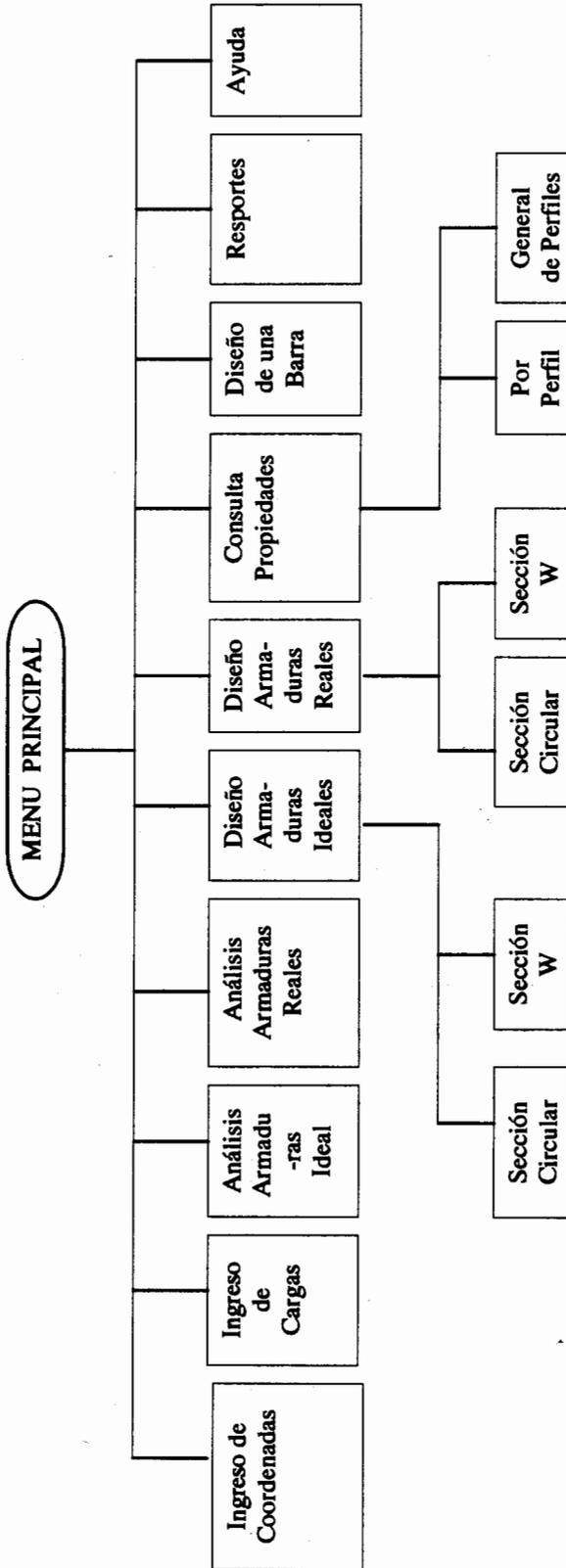
Además el programa tiene las siguientes aplicaciones que complementan el objetivo de esta tesis:

- **Consultar las dimensiones de los diferentes perfiles del Manual del "AISC" en el submenú "Consulta Perfiles".**
- **Imprimir las propiedades de los perfiles del Manual del "AISC" submenú " Reportes ".**
- **Diseñar un solo elemento de barra que esté sometido a Tensión , Compresión y Flexión o una combinación de los mismos.**
- **Resolver sistemas de ecuaciones lineales ( Submenú " Ecuaciones " )**

El detalle del contenido de cada pantalla o formulario se detallará en su respectivo submenú.

FIGURA 5.1

DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROGRAMA





## 5.1. Formulario para Ingreso de Coordenadas

La Figura 5.3 muestra en detalle la *Pantalla para Ingreso de Coordenadas*.

Los aspectos que se deben tomar en cuenta para la introducción de los valores son:

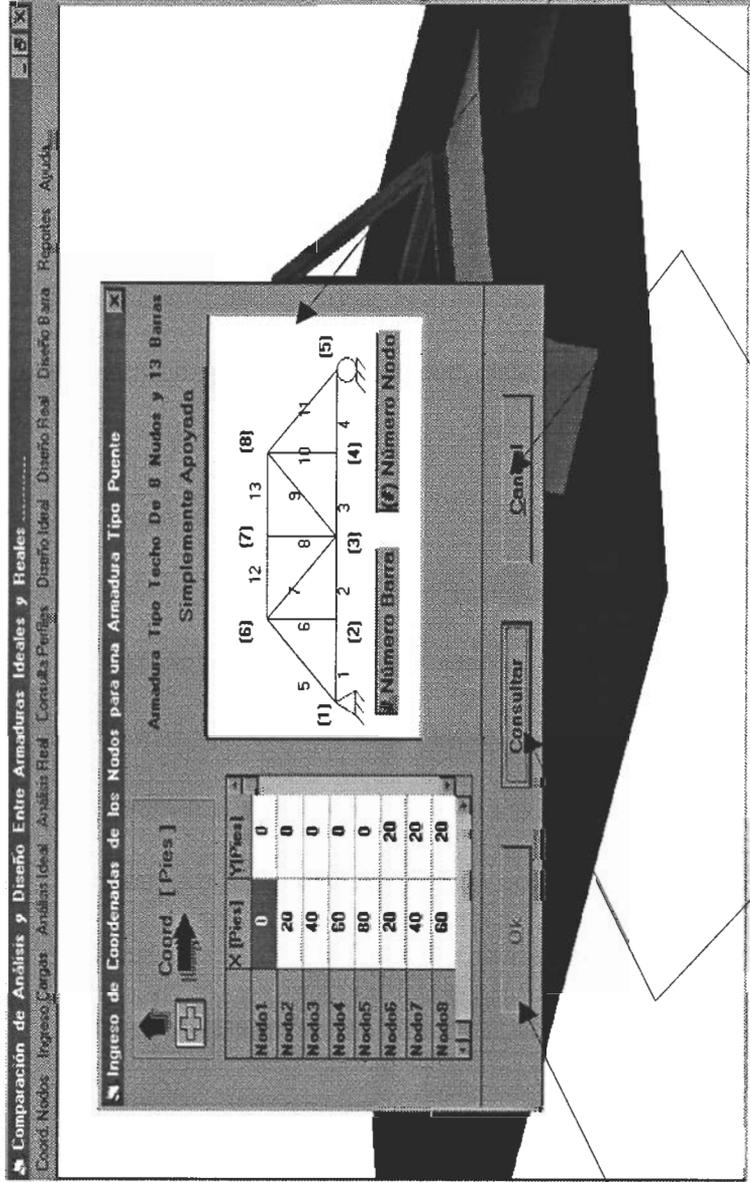
- El formulario enumera los nodos automáticamente
- Ubicación correcta de los nodos en base al dibujo de ayuda del formulario
- Las dimensiones están dadas en Pies
- El nodo de referencia es el # 1 con coordenadas fijas de ( 0,0 )

Los pasos para la correcta introducción de las coordenadas de la armadura son los siguientes:

- Presionar el botón *Guardar* cada vez que se ha digitado las componentes "X" y "Y" de la coordenada para que lo almacene en memoria.
- Terminado de ingresar todos los nodos el programa activa el botón *Consultar* y permite la consulta de los mismos
- Presionar el botón *Cancelar*, que permite el cambio a la *pantalla Ingreso de Cargas* automáticamente.

FIGURA 5.3

MENÚ PRINCIPAL Y FORMULARIO PARA INGRESO DE COORDENADAS.



**Dibujo de Armadura Tipo Punte** con sus Respetivos Orden de los Nodos. Se Activa Cuando se Elije el tipo de Armadura

**Botón Cancel:** Cambia a la siguiente pantalla Ingreso de Cargas

**Botón Consultar:** Muestra en Pantalla todos los Nodos Ingresados

**Botón Ok :** Almacena la Coordenada de cada Nodo (Presionar Cada vez que se Ingrese un Nodo)

## 5.2. Formulario para Ingreso de Cargas.

En la Figura 5.4 se detalla los controles de la pantalla para el ingreso de cargas.

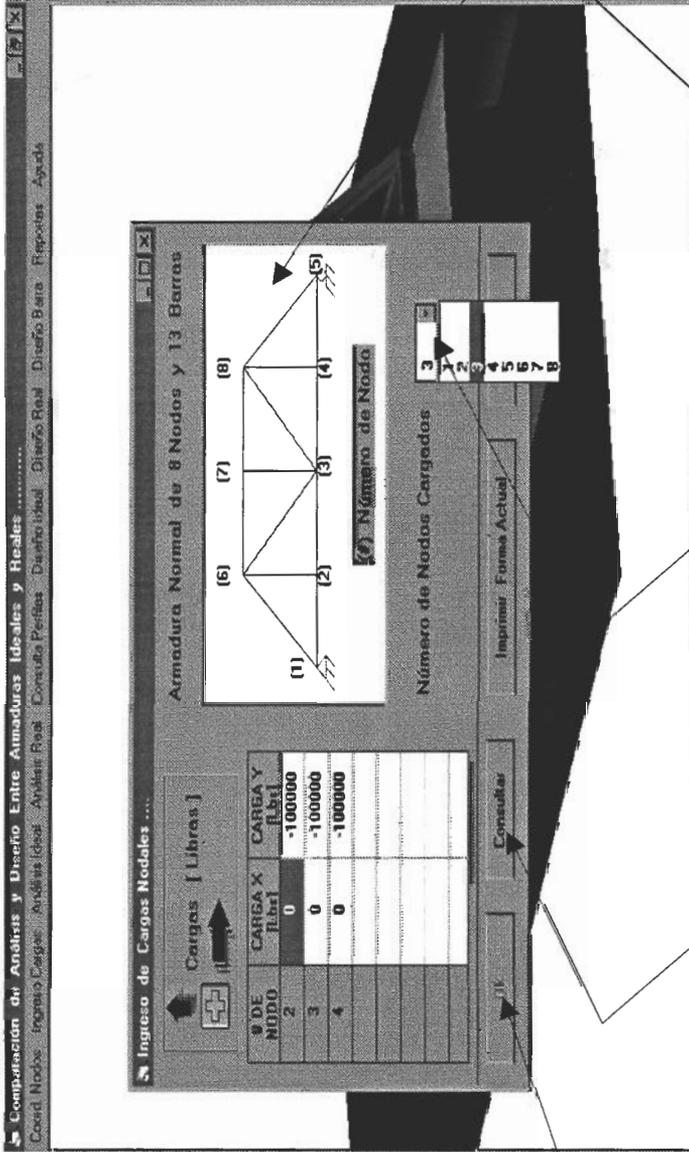
Los aspectos que se deben tomar en cuenta para la introducción de las cargas son:

- En el formulario se permite cargar hasta 8 Nodos según se seleccione en la barra desplegable
- Las cargas están dadas en libras

Para ingresar las cargas de la armadura se deben seguir los siguientes pasos :

- Presionar el botón *Guardar* cada vez que se ha digitado las componentes "X" y "Y" de la Carga en el nodo con carga para que lo almacene en memoria.
- Cada vez que se almacena una carga, se incrementa un contador que indica cuantos nodos se han ingresado.
- Terminado de ingresar todas las cargas, el programa activa el botón *Consultar e Imprimir Forma Actual* lo cual permite la consulta de las mismas e imprime una copia exacta de la pantalla activada.
- Presionar el botón *Cancelar*, que permite el cambio a la pantalla "*Análisis Ideal de Armaduras*" automáticamente.

FORMULARIO PARA INGRESO DE CARGAS



**Botón Ok** : Almacena la Coordinada de cada Nodo (Presionar Cada vez que se Ingresa un Nodo)

**Botón Consultar**: Muestra en Pantalla todos los Nodos Ingresados

**Barra Desplegable** Para Seleccionar el Número de Nodos Cargados (1-8)

**Dibujo de Armadura Tipo Puente** con sus Respetivos Orden de los Nodos. Se Activa Cuando se Elije el tipo de Armadura

### 5.3. Formulario para el Análisis de Armaduras Ideales

En la Figura 5.5 se detalla los controles de la pantalla para el Análisis de Armaduras Ideales.

En este formulario solo se necesita presionar el Botón *Mostrar Información*, con el cuál aparecerán las fuerzas internas de las barras ( Tensión y Compresión ), y además las reacciones de la armadura.

Además están los botones *Imprimir Forma Actual e Imprimir sin Gráficos*, con lo cual se puede imprimir el formulario completo o solo los datos de las coordenadas, Cargas y fuerzas internas de la Armadura respectivamente.

Con el botón *Cancelar*, se permite el cambio a la pantalla *Diseño Ideal de Armaduras*.

FORMULARIO PARA OBTENER EL ANALISIS DE ARMADURAS IDEALES

Menú: Comparación de Análisis y Diseño y Diseño Entre Armaduras Ideales y Reales... Coord. Nodos Ingreso Campos Análisis Ideal Análisis Real Correas Perfiles Diseño Ideal Diseño Real Diseño Barra Reportes Ayuda

Análisis Ideal de Armaduras (Fuerzas de Tensión y Compresión en las Barras) | ...

Barra	Fuerza T(+)/C(-)
1	150000.0
2	150000.0
3	150000.0
4	150000.0
5	-212132.0
6	100000.0
7	70710.7
8	.0000
9	70710.7
10	100000.0
11	-212132.0
12	-200000.0
13	-200000.0

# Número de Barra

REACCIONES EN LA ARMADURA

RTY: 150000 RBY: 150000  
RTX: 0

Mostrar Información    Imprimir Forma Actual    Imprimir Sim Graficos    Cancel

**Botón Mostrar Información:** Calcula las fuerzas en las barras: Tensión y Compresión (-)

**Botón Imprimir Forma Actual:** Imprime la pantalla que está activada

**Botón Imprimir Sim Graficos:** Imprime solo los resultados de las Fuerzas

**Botón Cancel:** Descarga la Pantalla que esta Activada

#### 5.4. Formulario para el Diseño de Barras en Armaduras Ideales

Para la verificación de los resultados de la comparación entre armaduras Ideales y Reales, en el programa se puede emplear dos secciones, la CIRCULAR y la W del manual del AISC, la primera sección como ya se explicó en el capítulo 1.1.1. es puramente didáctica, pero tiene la ventaja sobre la segunda, de que se refleja la diferencia en una sola dimensión (el Radio), pero en cambio se debe puntualizar que la sección W, posee mayor inercia que la circular, por lo que es óptima para trabajar en flexión.

En base a lo expuesto anteriormente, en el programa se deberá seleccionar el diseño de las barras en base a la carga que soporta:

- Sección circular para estructuras con cargas inferiores a 15 K por nudo, ya que para estas secciones no se encuentran en el mercado
- Sección W para estructuras con cargas superior a 60 K por nudo.

El programa posee en el *submenu Diseño Ideal* dos formularios uno para secciones W (Figura 5.6) y otro para secciones CIRCULARES (Figura 5.7)

El diseño de las barras tomándola como armadura ideal se lo efectúa con oprimir el botón "*Mostrar Información*" del formulario de la Figura 5.6, aparecen dos listas con perfiles:

- Una lista con los posibles perfiles para la armadura, que cumplan con los requerimientos de diseño de tensión y compresión, donde los esfuerzos

desarrollados ( **esfuerzos actuales "  $f_a$  "** ) en las barras no se alejen en lo posible de los esfuerzos permisibles de diseño " **F tensión o Compresión** " , esto lo vemos reflejado en la celda de " % " del formulario .

- Una lista con los perfiles seleccionados, los de menor peso (el más económico) y con menor " error", es decir el más optimo.
- Con el botón " **Cambiar** " se puede cambiar el perfil más idóneo por otro de la lista de los posibles seleccionados, activando los casilleros **Cambiar # Barra y Designación**.

Además se puede imprimir el formulario tomándolo como un mapa de bits y cargándolo a la impresora, mediante el botón " **Imprimir Forma Actual** ".

Con el botón " **Imprimir Sin Gráficos** " permite imprimir solo los *Perfiles Seleccionados* o la lista de *Posibles Perfiles* según se marque el botón de verificación del casillero *Imprimir Listados*.

Mediante el botón " **Preview** " se puede obtener una vista preliminar de lo que se va a imprimir en pantalla.

Con el botón *Cancelar*, se permite el cambio a la pantalla *Análisisde Armaduras Reales* automáticamente.

En el formulario de la figura 5.7 para secciones CIRCULARES , solo se necesita presionar el botón *Mostrar Información* y se calcularán los Diámetros que satisfacen los requerimientos de Diseño según el AISC.



FORMULARIO PARA OBTENER EL DISEÑO DE LAS BARRAS EN ARMADURAS IDEALES CON SECCION CIRCULAR

Composición de Análisis y Diseño Entre Armaduras Ideales y Reales  
 Copiar Nodos Imprimir Cargas Análisis Real Compara Perfiles Diseño Ideal Diseño Real Diseño Barra Reportes Ayuda

Diseño Ideal de Armaduras con Barras Circulares  
 Lista de Diámetros Seleccionados Para la Armadura

Barra	Diam	Area(Pig2)	As(Pig4)
1	1.2726	1.272	0.129
2	1.2726	1.272	0.129
3	1.2726	1.272	0.129
4	1.2726	1.272	0.129
5	2.1460	3.617	1.041
6	1.1200	0.985	0.077
7	1.8140	2.584	0.532
8	1.1200	0.985	0.077
9	1.8140	2.584	0.532
10	1.1200	0.985	0.077
11	2.1460	3.617	1.041
12	1.9380	2.950	0.692
13	1.9380	2.950	0.692

Tipo de Sección: Circular

Tipo de Armadura

# Número Barra

Diam 1	Area	Ftensil	Factten	Error	Rigidez	sgro	Diam 2	Area	Ftensil
1.272	21600	21600	0.0	0.0	50		1.272	21600	21600

Mostrar Información Ver Esfuerzos Desarmados Imprimir Forma Actual Cancel

**Botón Mostrar Información:**  
 Diseña las barras en base a Tensión y Compresión

**Botón Ver Esfuerzos Desarrollados:**  
 Muestra los esfuerzos permisibles según el AISC en la lista superior.

### 5.5. Formulario para Análisis de Armaduras Reales.

El formulario para el Análisis de Armaduras Reales posee los siguientes botones que presentan los datos de manera ordenada :

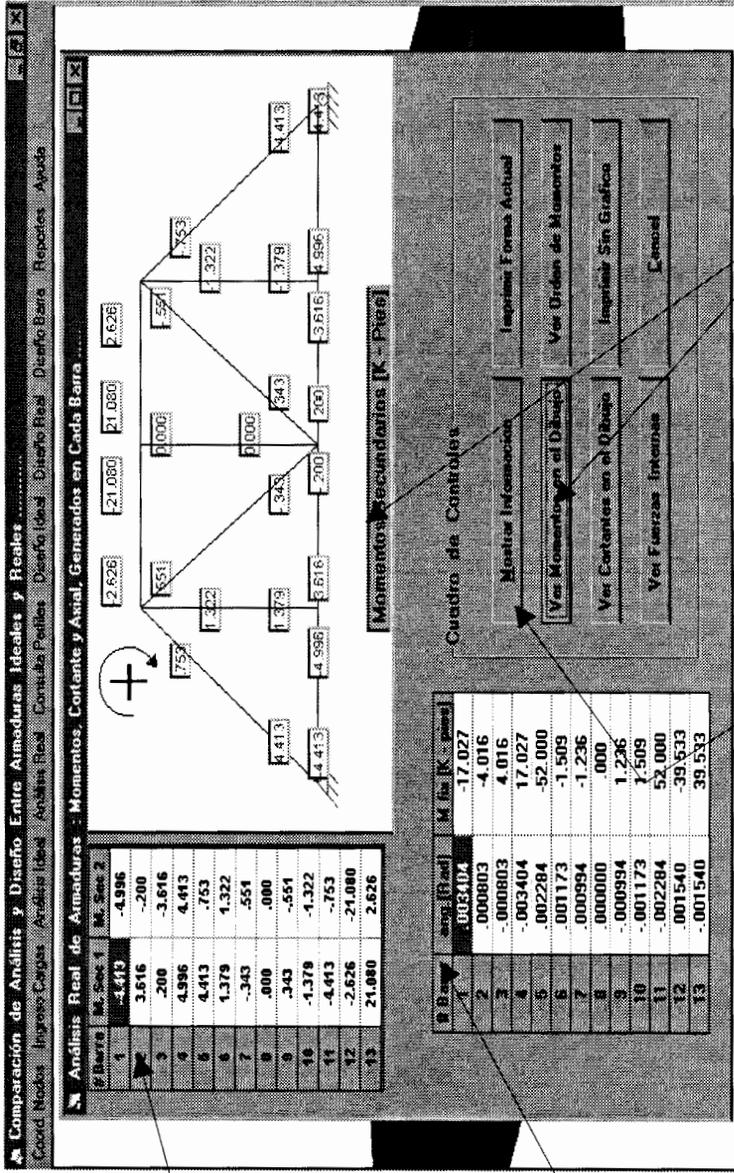
- Botón *Mostrar Información*, el cual calcula los Momentos Secundarios (Ksi-pie), Fuerzas Cortantes y Fuerzas Axiales.
- Botón *Ver Momentos en el Dibujo*, mediante el cual se observan los Momentos Secundarios en el dibujo, lo cual guía para una mejor comprensión, se siguen el la convención del capítulo , y aparecen de *color rojo*.
- Botón *Ver Cortantes en el Dibujo*, con los momentos secundarios se calculan las fuerzas cortantes, y aparecen de *color azul* sobre el dibujo.
- Botón *Fuerzas Internas*, con las fuerzas cortantes se obtienen las fuerzas axiales, que aparecen de *color negro* sobre el dibujo.
- *Ver Orden de Momentos*, con este botón podemos ver la numeración original de los momentos secundarios en las armaduras.

Además en la pantalla se muestra el listado de los **Momentos de Empotramiento perfecto [M fix ] (K - pie)**, **Angulo de Rotación de cada barra (Radianes)** y Los Momentos Secundarios correspondientes a cada barra.

Al igual que el formulario anterior, los botones *Imprimir Forma Actual* e *Imprimir sin Gráficos*, imprimen el formulario completo o solo los datos de los Momentos Secundarios.

FIGURA 5.8.

FORMULARIO PARA OBTENER EL ANÁLISIS DE ARMADURAS REALES



Lista de Momentos Secundarios

Listado que muestra el Angulo de rotación de cada barra y los respectivos Momentos de Empotramiento Perfecto [K-pie]

Botón Mostrar Información : Calcula los Momentos Secundarios, Cortantes y Axiales

Botón Ver Momentos en el Dibujo: Carga los Momentos Secundarios en el Dibujo y en la Lista

## 5.6. Formulario para el Diseño de Barras en Armaduras Reales

De la misma manera que en el Diseño Ideal se muestran dos secciones para el diseño: la W (Figura 5.9) y la CIRCULAR (Figura 5.10).

En el formulario para la sección W, Figura 5.9 la determinación de los esfuerzos desarrollados al analizar la *Armadura de manera Real* se la realiza mediante el botón "**Mostrar Información**", de la misma manera que la pantalla de Diseño Ideal aparecen dos listas con perfiles:

- Una lista con los posibles perfiles para la armadura, que cumplan con los requerimientos de diseño de Flexo-Tensión y Flexo-Compresión
- Una lista con los perfiles seleccionados, los más económicos. Considerando que para poder realizar una comparación entre el diseño Ideal y Real, los perfiles deben de ser de la misma designación, es decir que si en el diseño ideal el perfil obtenido es W18x15, en el diseño Real la comparación debe de ser con perfiles W18, pero con mayor peso por unidad de longitud ( por ejemplo W18 x 17 ) debido a los esfuerzos adicionales de flexión; y no con otro grupo de perfiles (por ejemplo W 30x 14), que aunque siendo más livianos tienen mayor peralte y está dentro de los posibles perfiles seleccionados.

Con el botón "**Imprimir Forma Actual**" e "**Imprimir Sin Gráficos**" se puede imprimir el formulario completo o los datos de las listas antes mencionadas según se active el *botón de verificación del casillero* "**Imprimir Listados**".

Mediante el botón "*Preview*" se puede obtener una vista preliminar de lo que se va a imprimir en pantalla.

El formulario para secciones CIRCULARES, Figura 5.10, solo se muestran los diámetros seleccionados, oprimiendo el botón "*Mostrar Información*" y los "*esfuerzos desarrollados*" al oprimir el botón que lleva el mismo nombre.

### 5.7. Formulario para Diseñar un Solo Elemento.

Con el propósito de complementar este trabajo se ha creado un formulario , mediante el cual se puede diseñar una sola barra sometida a esfuerzos de tensión, compresión, flexión o combinación de estos, pero permite el *tanteo* empleando los perfiles W del manual del AISC, es decir el programa indica si el perfil seleccionado soporta o no las cargas aplicadas, los componentes de este formulario se detallan en la **FIGURA 5.11**.

El orden para la correcta introducción de los datos es el siguiente:

- Ingreso de los datos de la barra, si no hay cargas se debe introducir 0 y no dejar el espacio en blanco.
- Si se digita una fuerza negativa, esta será de compresión caso contrario será positiva y estará sometida a tensión.
- Selección del tipo de miembro de la barra si esta es miembro principal o secundario.
- Selección de la condición de la viga si trabaja la barra con apoyo lateral continuo o sin apoyo lateral continuo.

- Selección del perfil, dando *doble click* sobre el perfil de la lista desplegable de perfiles, a la vez aparecerán las propiedades más importantes del perfil seleccionado, con el fin de chequear los esfuerzos desarrollados si el usuario lo desea.
- Aparecerá la información de las propiedades de los perfiles.
- Oprimir el botón "**Mostrar Información**", y calculará los esfuerzos desarrollados en la barra y la aproximación en porcentaje de los esfuerzos actuales con respecto a los esfuerzos permisibles, tomando al 100% cuando ambos esfuerzos sean iguales, con lo que se obtiene un diseño óptimo tanto para tensión como compresión y a la unidad ( 1) cuando se trate de combinación de esfuerzos, es decir flexión más compresión o flexión más tensión .
- Aparecerá un Cuadro de mensaje, que **ACEPTARÁ O RECHAZARÁ EL PERFIL SELECCIONADO** de la lista mostrada.
- Si el perfil es aceptable se podrá seleccionar el inmediatamente inferior hasta obtener el más óptimo
- Si el perfil no cumple con las especificaciones de diseño del AISC, se deberá seleccionar el inmediatamente superior hasta encontrar el que cumpla las especificaciones.
- De esta forma se puede tantear muy rápido hasta encontrar el perfil correcto solamente seleccionándolo de la lista.

FIGURA 5.9.

FORMULARIO PARA OBTENER EL DISEÑO DE LAS BARRAS EN ARMADURAS REALES.

**Diseño Real De Armaduras [ En Base A Fuerzas De Tensión, Compresión y Momentos ]**

Imprimir Listados  
 Todos Los Perfiles  
 Solo Los Perfiles Seleccionados

Lista de Perfiles Seleccionados

# Barra	1	2	3	4	5	6
Perfil	W8X9	W8X28	W8X28	W8X28	W12X72	W5X16
Area	8.25	8.25	8.25	8.25	21.1	5.54

Lista de Posibles Perfiles a Seleccionar

#	Alteza	Area	Perfor	Flexion	Comp	Entf	Entf	Entf			
1	W8X28	8.25	2465.9	21600	18182	21600	6.9	17.5	20.0	.96	.11
		7.65	1794.0	21600	19608	21600	6.9	9.3	20.0	.99	.08
	W14X26	7.69	1697.5	21600	19506	21600	5.3	7.0	20.0	.98	.08
	W16X26	7.68	1560.4	21600	19531	21600	5.6	6.0	20.0	.98	.07

Lista de Posibles Perfiles optimos

Botón Mostrar Información: Diseña las barras en base a Flexo-Tensión y Flexo-Compresión

Lista de los Perfiles más Económicos

FIGURA 5.10

FORMULARIO PARA OBTENER EL DISEÑO DE LAS BARRAS EN ARMADURAS REALES CON SECCION CIRCULAR.

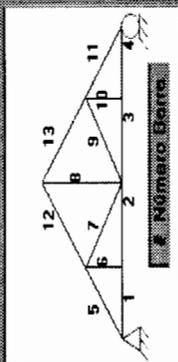
Comparación de Análisis y Diseño Entre Armaduras Ideales y Reales .....  
 Espec. Hoja1  Programa Cadema  Análisis Ideal  Análisis Real  Resultado Perfecta  Diseño Ideal  Diseño Real  Diseño Barra  Hoja1  Hoja2  Hoja3  Hoja4

**Diseño Real de Armaduras con Barras Circulares**

Lista de Diámetros Seleccionados Para la Armadura

Barra	Diám.	Área (Pia2)	Índice (Pia3)
1	1.3344	1.398	0.311
2	1.3416	1.414	0.318
3	1.3416	1.414	0.318
4	1.3344	1.398	0.311
5	2.3500	1.398	2.994
6	1.1200	0.127	0.154
7	1.7600	0.127	0.942
8	1.1200	0.985	0.154
9	1.7600	0.985	0.942
10	1.1200	0.127	0.154
11	2.3500	0.127	2.994
12	2.0700	0.127	1.803
13	2.0700	0.127	1.803

Tipo de Sección: Circular

Tipo de Armadura: 

# Número Barra

Diám. 1	Área	Índice	FIEXION	Índice	FIEXION	Est.F.	Índice	Est.F.	Índice	Diám. 2	Área
1.334	1.398	2144	23760	19645	21600	1.000	1.342	1.414			

Mostrar Información:

**Botón Mostrar Información:**  
 Diseña las barras en base a Flexo-Tensión y Flexo-Compresión

**Botón Ver Esfuerzos Desarrollados:**  
 Muestra los esfuerzos permisibles según el AISC en la lista superior.

FIGURA 5.11

FORMULARIO PARA OBTENER EL DISEÑO DE UNA SOLA BARRA POR TENSION, COMPRESION, FLEXION O COMBINACION

FLEXIÓN O COMBINACIÓN

**Cuadro de Ingreso de Datos:** Permite ingresar los datos de la barra

**Cuadro de condición para la barra si trabaja en tensión o compresión**

**Cuadro de condición para la barra si trabaja como viga**

**Botón Mostrar Información:** Diseña la barra en base a fuerzas de Tensión, Compresión, Flexión o combinación

**Cuadro de Resultados:** aparecen los esfuerzos desarrollados, los esfuerzos permisibles.

**Cuadro de Mensaje:** aparece Acepta o Rechaza el Perfil Seleccionado

**Doble Click Sobre el Perfil:** Aparecen las propiedades de los perfiles W

**Formulario:**

Combinación de Análisis y Diseño Entre Armaduras Hechas y Acero

Diseño De un Solo Miembro Por Tensión, Compresión, Flexión o Combinación de Efectos

Vigas

Información del Perfil

Designación	W10X60
Área [Pulg <sup>2</sup> ]	17.4
d [Pulg]	10.22
t <sub>w</sub> [Pulg]	0.42
b <sub>f</sub> [Pulg]	10.08
t <sub>f</sub> [Pulg]	0.68
k [Pulg]	7.625
r <sub>T</sub> [Pulg]	1.3125
r <sub>xx</sub> [Pulg <sup>2</sup> ]	341
S <sub>xx</sub> [Pulg <sup>3</sup> ]	66.7
r <sub>yy</sub> [Pulg]	2.57
r <sub>xy</sub> [Pulg <sup>2</sup> ]	4.23

Perfiles

W10X77
W10X68
W10X60
W10X54
W10X49
W10X45
W10X39
W10X33
W10X30
W10X26
W10X22
W10X19
W10X17
W10X15
W8X67
W8X58
W8X48
W8X40

Debe de la Barra

Fuerza [Libs] -100000

Momento 1 [K - Pie] 50

Momento 2 [K - Pie] 80

Longitud [Pie] 15

Apo de Barra

Miembro Principal

Miembro Secundario

Condiciones Para Vigas

Con Apoyo Lateral Continuo

Sin Apoyo Lateral Continuo

Perfiles

f <sub>a</sub> Comp. [Psi]	5681.82
f <sub>c</sub> Comp. [Psi]	16426.5
f <sub>a</sub> Flexión [Psi]	14392.80
f <sub>c</sub> Flexión [Psi]	21600.00
f <sub>t</sub> Total	531
f <sub>c</sub> Comp.	346
f <sub>c</sub> Flexión	285
L <sub>c</sub> [Pie]	10.64
L <sub>u</sub> [Pie]	31.05
P <sub>u1</sub> [Psi]	
P <sub>u2</sub> [Psi]	

El Perfil es Aceptable

OK

## 5.8. Formularios para Consultar las Propiedades de Perfiles

Para consultar la propiedades de los perfiles se han creado dos formularios, que se cargan desde el submenú "*Consulta Perfiles*", un formulario con las propiedades más importantes de los mismos, Figura 5.12 y otro con las propiedades generales de los perfiles, Figura 5.13.

Para obtener la información del formulario con las Propiedades más Importantes de los perfiles ( **Consulta por Perfil** ), Figura 5.12, se debe de seguir el siguiente orden de selección:

- Elegir el tipo de perfil, activando el casillero correspondiente
- Dar click en el botón *Cargar Información*
- Dar doble click en *Lista de Perfiles*

En el formulario para la "**Consulta General de Perfiles**" el orden de selección de los botones es:

- Seleccionar el tipo de perfil mediante la barra desplegable.
- Presionar el botón " **Mostrar Información** ", que presenta los perfiles en pantalla.
- Una vez en pantalla los perfiles, se activa el dibujo correspondiente al perfil.
- Mediante las barras de deslizamiento vertical y horizontal se puede desplazar a través de los registros y ver todas la propiedades.

Cada pantalla se la puede imprimir mediante el botón "*Imprimir Forma Actual* " respectivamente.





## 5.9. Formulario para Imprimir Reportes de Perfiles.

El programa permite imprimir de la base de datos los perfiles W, Canales C, Doble Angulo y " T " Estructural.

Desde el Submenú "*Configurar Impresora* " del menú "*Reportes* ", se activa una ventana que permite:

- Configurar la impresora predeterminada desde windows, cambiando el tipo de impresora y sus propiedades.

El formulario **REPORTES** expuesto en la **FIGURA 5.14.** tiene los siguientes botones:

- Listado de perfiles a imprimir, con su respectivo casillero de verificación.
- Botón "*Imprimir Listado*", el mismo que carga el generador de reportes desde "*Cristal Reports* " y verifica las dimensiones de la hoja a imprimir, que debe de ser tamaño "A4" (210 x 297 mm .)
- Botón "*Cancel* ", que desactiva el formulario



### 5.10. Base de Datos de los Perfiles.

Los perfiles que se emplean para el diseño de las armaduras solo son las secciones W, pero se puede consultar las propiedades de las secciones **Doble Angulo, Canales C y secciones WT**

Todos estos valores están almacenados dentro de registros y estos en la base de datos **PERFILES.MDB**, creada en **MICROSOFT ACCESS**. La adición de cualquier perfil implicará entrar en Access y sumarlo desde aquí y no desde el programa .

La base de datos está dentro del directorio **TesisArmadura** y la dirección o ruta es C:>TesisArmadura \ Perfiles.

### 5.11. Limitaciones del Programa.

Las restricciones principales del programa son:

- Solo permite Armaduras Estáticamente Determinadas de 13 barras y 8 nudos.
- En el diseño solo se pueden emplear las secciones W, ya que para la parte diseño por flexión estos perfiles son los que el manual del AISC ha desarrollado más fórmulas .
- Otra limitante es el número de perfiles (áreas) disponibles para la selección en el momento del diseño por lo que en algún caso el perfil seleccionado no sea el más óptimo por la restricción por parte del manual del AISC.
- El programa no utiliza métodos numéricos como el de la flexibilidad o de los desplazamientos para obtener las fuerzas internas, con lo cual se podría

generalizar a armaduras con mayor luz y por lo tanto con mayor número de barras.

Si se desea modificar el programa para un uso más generalizado, se pueden recurrir al programa fuente donde se encuentra el código de programación para todos los objetos de los formularios del programa, accedendo directamente desde VISUAL BASIC V4, V5 o posteriores. Si se necesita alguna aclaración del programa se deberá consultar con el autor del mismo.

El programa además posee dos formularios adicionales:

- Un formulario para resolver **SISTEMAS DE ECUACIONES** mediante la matriz aumentada vista en el capítulo 1.2, con el objetivo de comprobar los resultados obtenidos a través de matrices.
- Otro formulario en el " **SUBMENÚ AYUDA** " donde se detalla el flujo de los datos a seguir para resolver la armadura

#### **5.12. Guía para Cargar el Programa.**

Con este trabajo se adjunta un CD-ROM cuyo contenido es el siguiente:

- Programa ejecutable para cargarlo directamente al computador, con todas las bibliotecas (DLL) para que pueda correr sin ningún problema.
- Programa Fuente donde está incluido todo el código del programa.
- Base de Datos PERFILES.MDB.
- Visual Basic V5.0 en Inglés.

Con esto se podrá cargar tanto el programa ejecutable como el programa fuente desde Visual Basic.

Para cargar el programa directamente al disco duro del computador, se debe de seguir los siguientes pasos:

- Crear la carpeta o directorio desde el C: > TesisArmadura
- Copiar la base de datos desde el CD E:\Perfiles.Mdb en el directorio C: > TesisArmadura
- Cargar el archivo Setup. Exe desde el CD, al directorio TesisArmadura, con lo cual se instala el programa automáticamente.

El tamaño del programa ejecutable es de aproximadamente 5.6 Mb, debido a que para funcionar adecuadamente necesita una serie de bibliotecas (DDL).

También se puede cargar Visual Basic V5.0 y cargar todas las formas que se encuentran en el directorio E:\ProgramaFuente del CD-Rom en el directorio C:\TesisArmadura , se debe copiar todos archivos con **extensión .frm, ..frm, .Vbp y .Exe**, además los reportes que tienen extensión **.rpt**. Para que el programa funcione correctamente, todo debe estar en el Directorio C:\TesisArmadura.

## **6.0. COMPARACION DE RESULTADOS**

### **6.1. Comparación entre el Análisis de las Armaduras Ideales y Reales .**

Al analizar la armadura bajo las condiciones reales, es decir considerándola como un pórtico rígido, el problema se vuelve indeterminado, ya que aparecen en cada barra fuerza axial, fuerza cortante y momento flector, y no se la puede resolver con la simple estática.

#### **6.1.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular en Armadura Tipo Techo**

- Las fuerzas internas de las armaduras ideales son de tensión y compresión.
- Para las armaduras reales el problema es estáticamente indeterminado
- Las fuerzas internas en las armaduras reales son axiales (tensión compresión ), fuerzas cortantes y momento flector.
- Los Esfuerzos Axiales bajan su intensidad en todas las barras a excepción de las Barras # 12 y 13.
- Dependiendo del aumento de la carga se incrementan los Momentos en las cuerdas superior e inferior (miembros principales).

- Los momentos flectores desarrollados están en relación directa con el incremento de las inercias de las barras.
- El efecto de los momentos flectores es apreciable en los elementos de las cuerdas inferior y superior.
- El efecto de los momentos flectores es mínimo en los elementos de barra interiores (miembros secundarios).
- Para armaduras tipo techo que soportan cargas pequeñas menores de 6000 K por nodo ( muy conservadora ), los esfuerzos de flexión son pequeños, pero para este tipo de sección circular, comienza a afectar la presencia de dichos momentos.

**FIGURA 6.1**

**ANALISIS IDEAL EN APLICACIÓN CON SECCIÓN CIRCULAR**

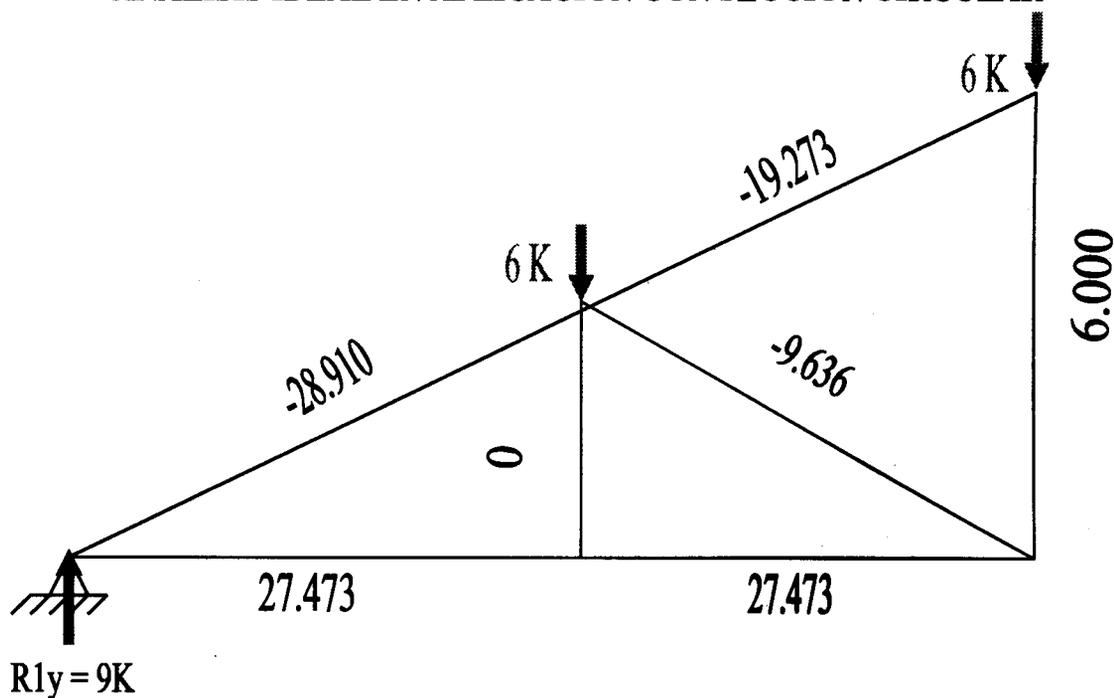
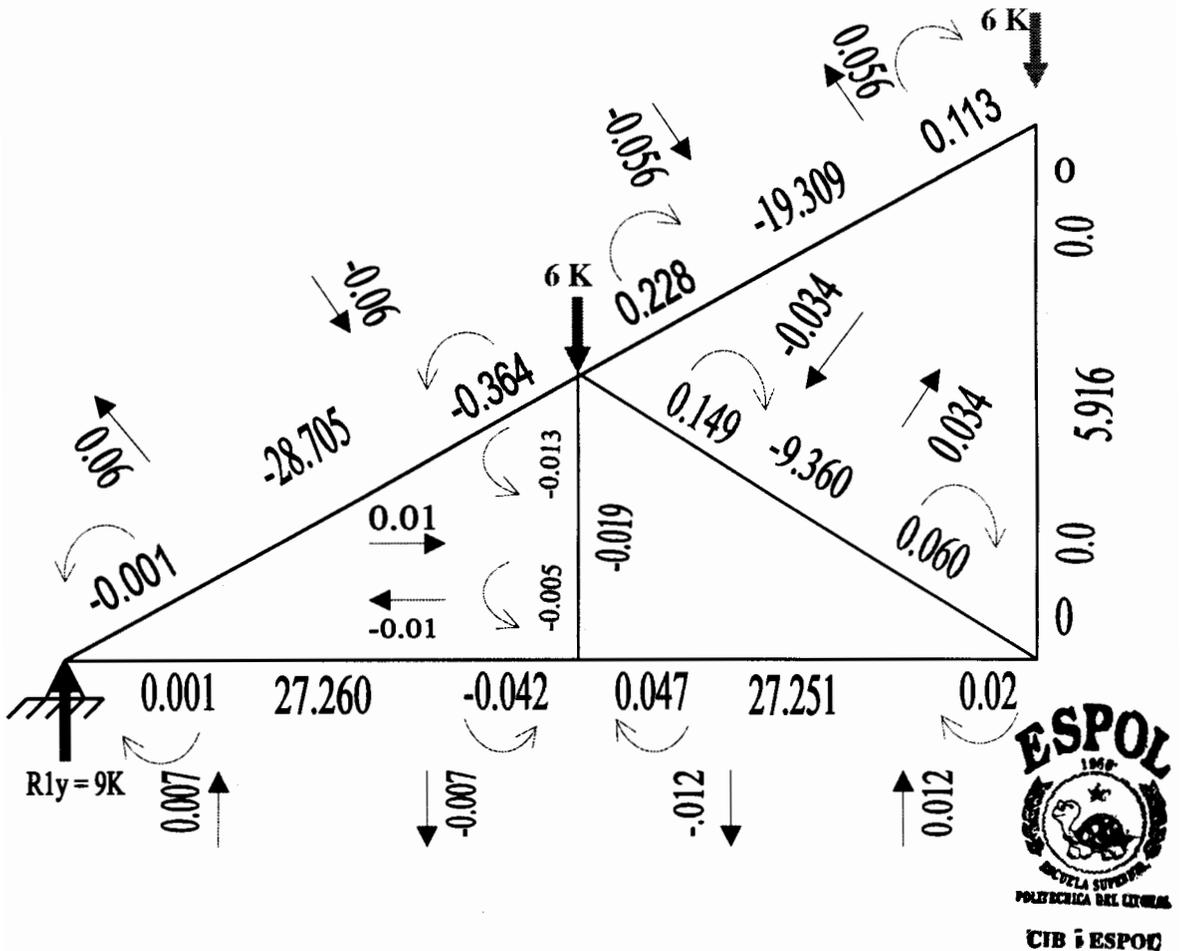


FIGURA 6.2

## ANÁLISIS REAL EN APLICACIÓN CON SECCIÓN CIRCULAR



## 6.1.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W a Armadura Tipo Techo

- El efecto del momento flector comienza a ser apreciado a partir de estructuras cargadas con  $100.K$  por nodo, pero solo para estructuras con perfiles W, los mismos que están diseñados para trabajar en flexión.

- Para armaduras que soportan cargas altas (superiores a 100.K por nodo), donde se emplean perfiles que tengan gran inercia, los momentos flectores desarrollados serán grandes y se deberá considerarlos en el diseño de las barras.
- Otras secciones empleadas tales como Canales C, Angulos y Tees, por poseer menor inercia que los perfiles W, se los podrá usar para cubrir el rango de cargas entre menor a 100 K y mayores a 6 K.

FIGURA 6.3

## ANALISIS IDEAL EN APLICACIÓN CON SECCIÓN W

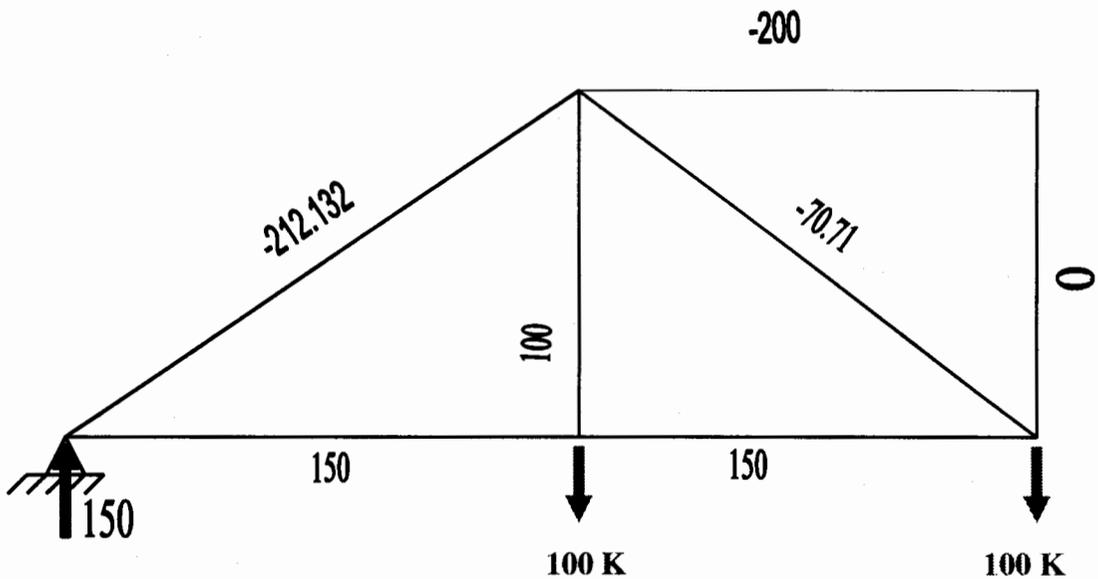
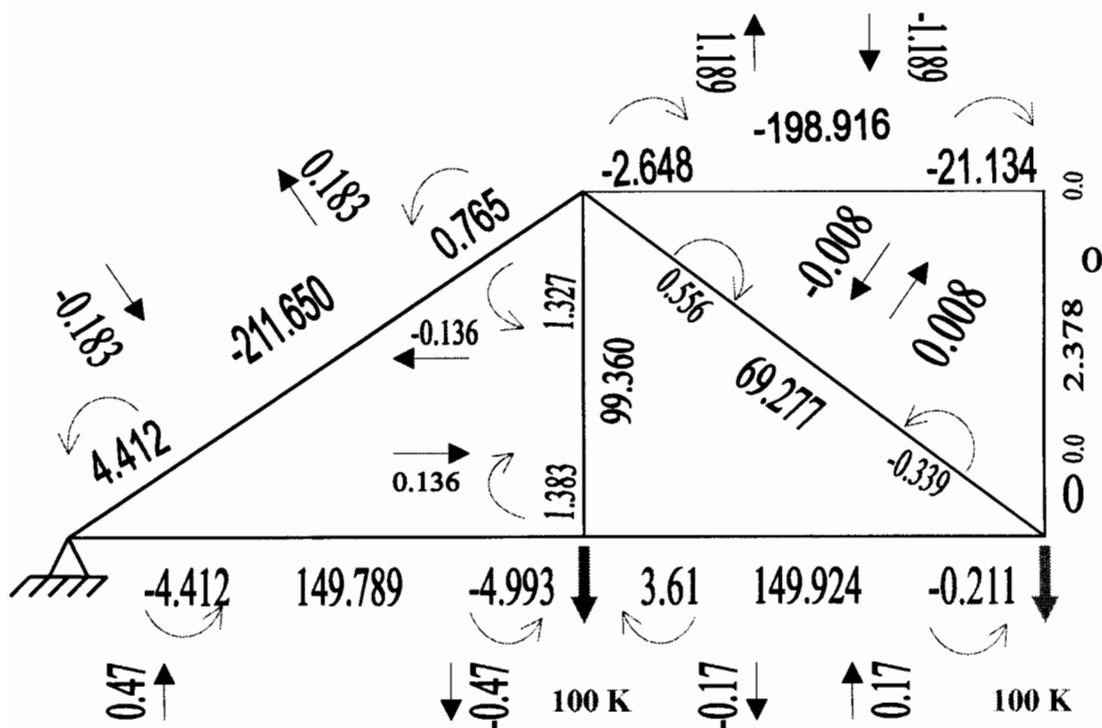


FIGURA 6.4

## ANÁLISIS REAL EN APLICACIÓN CON SECCIÓN W



## 6.2. Comparación entre el Diseño de las Armaduras Ideales y Reales.

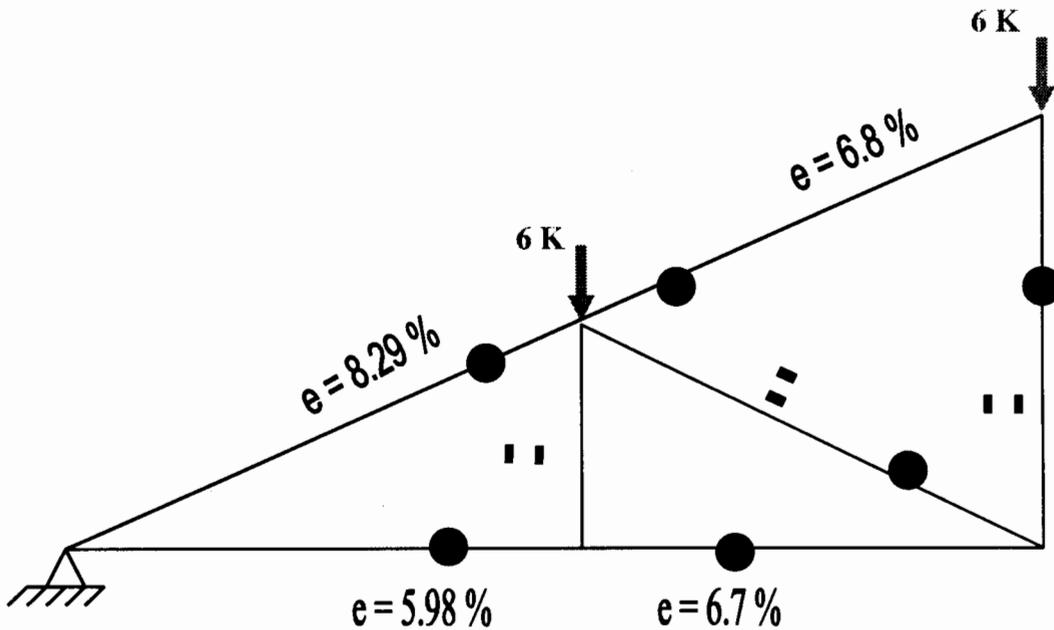
La incertidumbre que se genera al despreciar las condiciones reales de la armadura se ve reflejada en el incremento de las áreas de las secciones de las barras de la armadura, este incremento adicional del área se debe a la presencia de la flexión provocada por los momentos secundarios generados.

## 6.2.1. Ejemplo 1 Aplicación con Sección Circular

De la comparación entre las áreas obtenidas para el **Diseño Ideal** figura 3.1 y **Diseño Real** figura 4.1, obtenemos los siguientes valores:

FIGURA 6.5.

DIFERENCIA EN AREAS ENTRE EL DISEÑO IDEAL Y REAL EN  
 APLICACIÓN CON SECCIÓN CIRCULAR



Para la ARMADURA TIPO TECHO tenemos que:

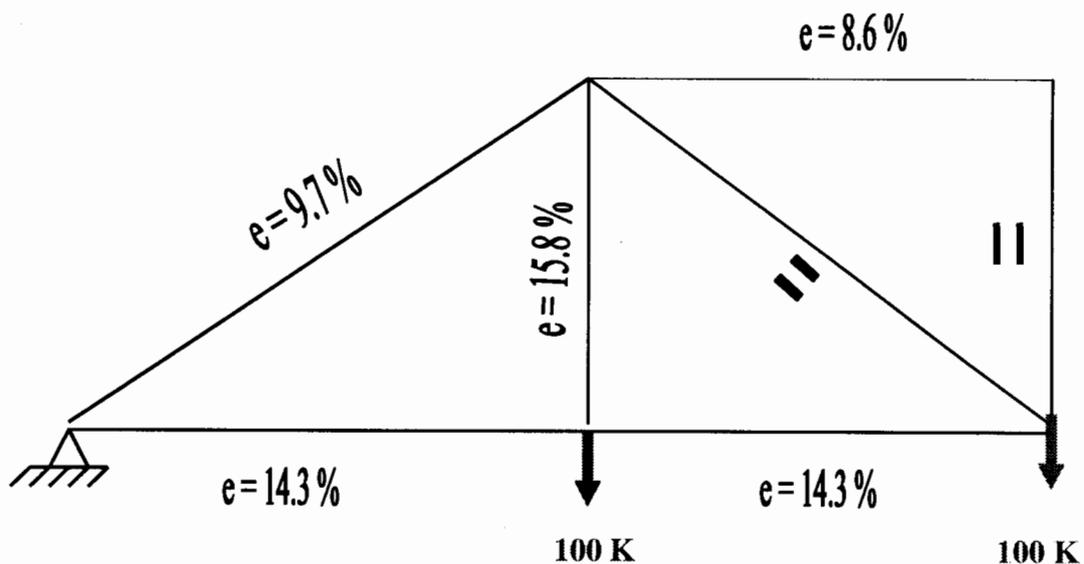
- La diferencia entre las áreas obtenidas por el diseño ideal y real es menor al 10%, para este tipo de armadura que soporta una carga baja, pero muy conservadora.
- En la tabla 4.1 para la condición de la fórmula del AISC 1.6 - 1b, el aporte de Tensión es del 90 % y la Flexión del 10% el promedio entre las barras sometidas a Flexo - Tensión.
- En la tabla 4.3 para la condición de la fórmula del AISC 1.6 - 1b , el aporte de Compresión es del 70 % y la flexión del 30 % el promedio entre las barras sometidas a Flexo -Compresión.

- Como los Diámetros son solo didácticos, la fórmula del AISC 1.6 - 1b la optimizamos hasta obtener una exactitud del 100%, con lo cual obtenemos el diámetro más económico.
- Al determinar los diámetros en que se llegue al 100% de la fórmula 1.6 - 1b, la diferencia entre el diseño real del ideal no es mayor del 10 %, esto se debe a que la luz y la carga son pequeñas.

### 6.2.2. Ejemplo 2 Aplicación con Sección W

FIGURA 6.6.

DIFERENCIA EN AREAS ENTRE EL DISEÑO IDEAL Y REAL EN APLICACIÓN CON SECCIÓN " W "



De la comparación entre las áreas obtenidas para el **Diseño Ideal** figura 3.2 y **Diseño Real** figura 4.2, para la ARMADURA TIPO PUENTE tenemos que:

- La diferencia entre las áreas obtenidas por el diseño ideal y real es menor al 20%, para este tipo de armadura que soporta una carga alta, la misma que está dentro de los parámetros reales.
- En la tabla 4.2 para la condición de la fórmula del AISC 1.6 - 1b, el aporte de Tensión es del 80 % y la Flexión del 10% en promedio para las barras sometidas a Flexo - Tensión.
- En la tabla 4.4 para la condición de la fórmula del AISC 1.6 - 1b , el aporte de Compresión es del 80 % y la flexión del 10 % en promedio para las barras sometidas a Flexo -Compresión.
- Solo nos acercamos al 90% de exactitud para las fórmulas del AISC 1.6 - 1b, debido a la carencia de perfiles W con un área que nos dé una sección más óptima.

## CONCLUSIONES

De todo lo recopilado, podemos concluir que:

1. Para armaduras que se emplean en la construcción de galpones, donde a pesar de que se dan armaduras con grandes luces, las cargas no son tan altas, pero la presencia de los momentos comienza a manifestarse, y la incertidumbre que se produce por el desprecio de los momentos llega a ser de hasta un 10 %, pero hacia el lado catastrófico, es decir la estructura puede fallar por el incremento de cargas vivas .
2. En armaduras que soportan grandes cargas, sobre los 100 K, cargas como las tipo puente, donde además de la carga muerta se incrementa por las cargas de impacto y las luces son grandes, los momentos generados que estén sobre el orden de los 80 K-Pies , incrementan el peso de los perfiles hasta un 20% , esto es el error por despreciar la flexión.

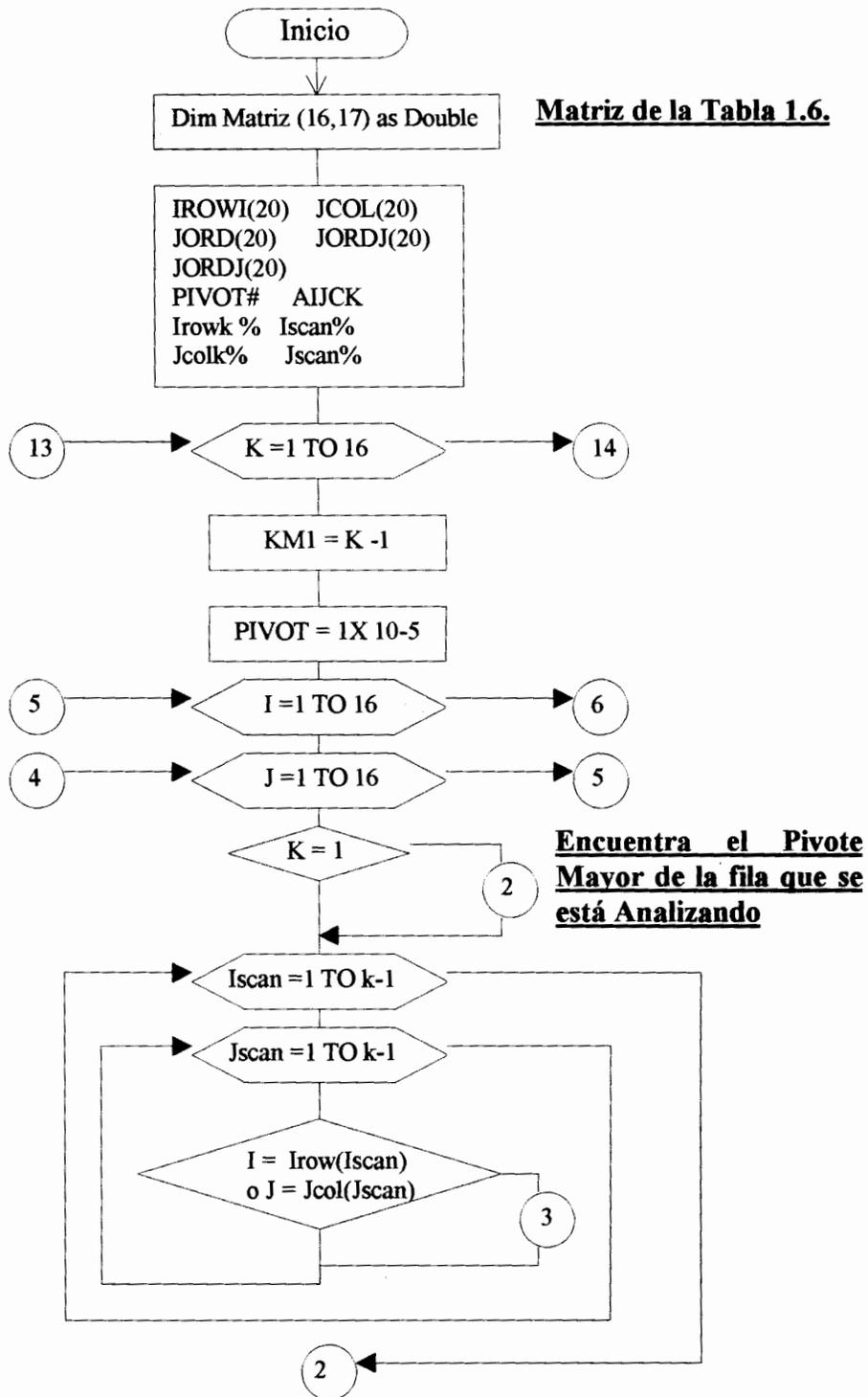
## RECOMENDACIONES

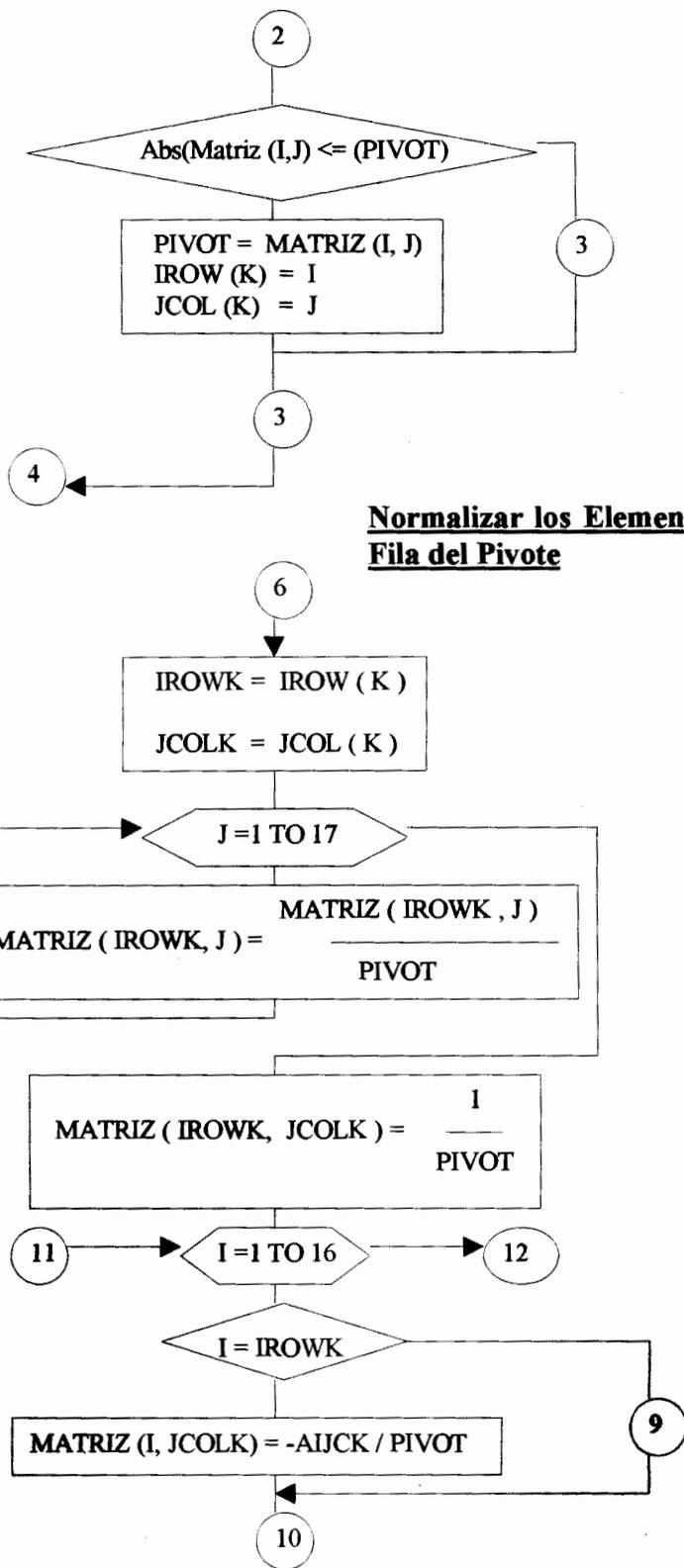
1. No es condición suficiente incrementar el valor del factor de seguridad en un 2 o 3 % y diseñar los elementos de la armaduras como ideales, es decir solo tomar como tensión y compresión en armaduras con cargas altas.
2. Los errores que se producen al despreciar los momentos secundarios pueden llegar hasta un 20 %, y si solo nos resguardamos con lo expuesto en el párrafo anterior, se puede provocar un mal diseño y por consiguiente la estructura puede fallar.
3. Es necesario realizar el análisis real de las armaduras que soportan cargas altas, para poder encontrar los momentos secundarios.
4. Una buena aproximación del diseño real es usar como primera aproximación las áreas y perfiles obtenidos de el diseño ideal y obtener los momentos para encontrar los perfiles definitivos.

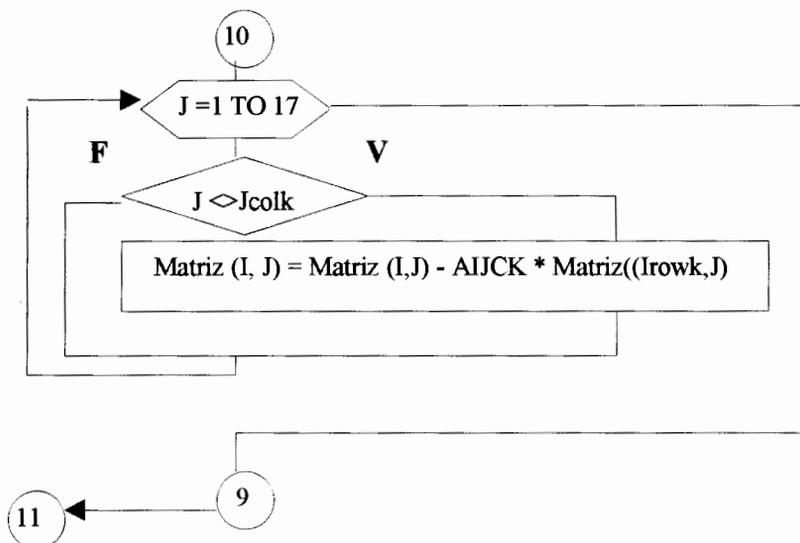
5. La incomodidad de realizar el cálculo extenso para determinar estos momentos secundarios, y utilizar métodos iterativos como el de distribución de momentos, implica el uso necesario del computador para resolver el problema con seguridad .
6. Estructuras cuyos nodos soportan sobre los 100 K las podemos calificar como cargas altas.
7. Una manera de poder disminuir el efecto de los momentos secundarios generados es disminuir la longitud efectiva de los miembros, colocando más nudos, es decir más barras para la misma longitud.
8. Al disminuir la longitud efectiva de las barras especialmente las que soportan compresión, de manera que no sean muy largas y su relación de esbeltez sea crítica, disminuyendo la capacidad de carga del perfil.
9. Otra manera de disminuir el efecto de los momentos secundarios en las armaduras que soportan grandes cargas es colocar atezadores en los extremos de las barras para absorber dichos momentos generados y dar mayor rigidez a la estructura.

# **ANEXOS**

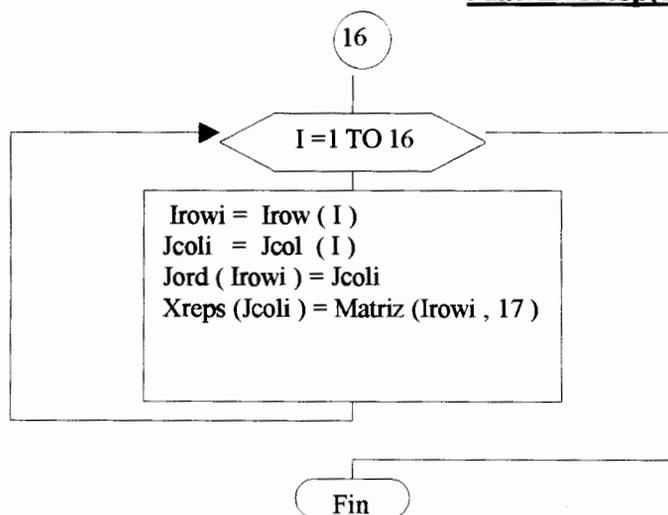
**DIAGRAMA DE FLUJO PARA CALCULAR LA INVERSA  
DE UNA MATRIZ**







**Ordena las Respuestas en Forma Ascendente y las Asigna a la Matriz Xresp(13) Figura 1.9.**



**BIBLIOGRAFIA**

1. **A.I.S.C.** Manual of Steel Contruction, California 1980
2. **CORNELL GARY.** Manual de Visual Basic 4 Para Windows 95, McGraw-Hill 1996.
3. **McCORMAC J.** Diseño de Estructuras Metálicas, Alfaomega, México 1991
4. **NORRIS & WILBUR.** Análisis Elemental De Estructuras, McGraw- Hill 1982
5. **YHUAN YHU SIE** Teoría Elemental de Estructuras,
6. **WEST H.H.** Análisis De Estructuras, C.E.C.S.A. México 1982