



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# ESTUDIO Y DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR DE UN PÓRTICO DESMONTABLE PARA TRANSPORTE Y ELEVACIÓN DE CARGA

Redy Risco-Ramos

Piura, 1996

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Risco, R. (1996). *Estudio y diseño asistido por computador de un pórtico desmontable para transporte y elevación de carga* (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

# UNIVERSIDAD DE PIURA

## FACULTAD DE INGENIERÍA

Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica



**“Estudio y diseño asistido por computador de un pórtico desmontable  
para transporte y elevación de carga.”**

## TESIS

Que presenta el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería

**Redy Henry Risco Ramos**

Para optar el Título de INGENIERO MECANICO-ELECTRICO

**Asesor : Ing. Carlos Ojeda Díaz**

**PIURA - PERU**

**1996**



A MI FAMILIA

## PROLOGO

Los recientes avances en el diseño asistido por computador y la existencia en el Centro de Diseño del Area Departamental de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de Piura, de un software profesional como el ALGOR me motivaron a la utilización de estas herramientas en el diseño de una estructura útil y sencilla. Así mismo la poca utilización en la mecánica de las especificaciones AISC<sup>(\*)</sup> para el diseño estructural me llevaron a elegir estas normas en el desarrollo del presente trabajo.

La importancia de esta investigación está en la utilización del computador en las fases más importantes del diseño tales como la modelación, análisis de la estructura y presentación de los resultados; esta tesis es uno de los trabajos que se vienen desarrollando dentro de la línea de investigación del Centro de Diseño del Area IME, asimismo es un modelo sencillo de utilización de la especificación AISC-LRFD<sup>(\*\*)</sup> para el diseño de estructuras de acero, dejando un precedente para que en lo sucesivo se profundice en el tema.

También cabe resaltar que en el campo del diseño, es posible realizar trabajos de investigación utilizando el computador en base a elementos o sistemas relativamente sencillos, de este modo se puede integrar muchos conocimiento útiles

---

(\*) AISC: American Institute of Steel Construction.

(\*\*) LRFD : Load and Resistance Factor Design.

como son las normas o especificaciones, factores de carga, la teoría estructural correspondiente, mecánica de materiales; todos ellos sistematizados con la ayuda del computador.

Se ha pensado, en todo momento, que los destinatarios de este trabajo sean los alumnos de ingeniería mecánico-eléctrica con la intención de ayudar a su formación y futuros tesisistas que pueden tomar como referencia algún aspecto de este trabajo; por esta razón esta tesis es una continuación del trabajo anterior realizado en la tesis "Análisis de esfuerzos y deformaciones en elementos típicos por simulación gráfica computarizada" sustentada por el Ing. Miguel Castro S.

Finalmente agradezco a la Universidad de Piura porque el desarrollo de este tema me ha permitido aprender el manejo de estos programas muy útiles para un diseño óptimo y moderno. Agradezco también al Ing. Carlos Ojeda por su constante apoyo al desarrollo de este trabajo, al Ing. Miguel Castro por la enseñanza del software ALGOR, al personal del Centro de Diseño IME por su valiosa colaboración y finalmente a mi esposa Lic. Marina Moreno. por su apoyo en la preparación y corrección del texto.

## **RESUMEN**

El objetivo principal del presente trabajo es el aprovechamiento del computador utilizando softwares profesionales de última generación para el diseño de una estructura específica y con esto ayudar a la divulgación y modernización de los conocimientos y técnicas relacionadas al diseño mecánico especialmente entre los alumnos de pre-grado.

El trabajo consta de cuatro partes: en la primera parte se describe la estructura, su utilidad y la metodología a emplear en el diseño de la misma. La segunda parte incluye un estudio general de la estructura. La tercera parte comprende una evaluación de tres posibles alternativas geométricas para elegir la más conveniente. En la cuarta y última parte se procede al diseño detallado de la alternativa elegida.

El resultado del trabajo es una estructura que ha sido estudiada y diseñada en base a una utilización integral del computador como herramienta de análisis, cálculo y diseño.

## **INDICE GENERAL**

PROLOGO.....	3
RESUMEN DE TESIS DE TITULO .....	5
INDICE GENERAL.....	6
INTRODUCCION .....	9
<b>CAP. I : PÓRTICOS: NOCIONES GENERALES.....</b>	<b>11</b>
1.1. Generalidades.....	11
1.1.1. Pórtico desmontable.....	13
1.1.2. Ventajas de un pórtico desmontable.....	14
1.1.3. Características dimensionales.....	15
1.2. Metodología del diseño estructural.....	16
1.2.1. Definición de estructura.....	16
1.2.2. Clasificación de las estructuras.....	18
1.2.3. Diseño estructural.....	18
1.2.4. Procedimiento del diseño estructural.....	20
1.2.5. Planeamiento de la estructura.....	23
1.2.6. Configuración preliminar de la estructura.....	23
1.2.7. Determinación de las cargas.....	25
<b>CAP. II : ESTUDIO GENERAL DE LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>27</b>
2.1. Análisis preliminar de la estructura.....	27
2.1.1. Análisis de la viga maestra.....	28
2.1.2. Análisis del montante.....	30
2.2. Influencia de los parámetros característicos.....	36
2.2.1. Influencia de la carga.....	36
2.2.2. Influencia del ancho útil.....	37
2.2.3. Influencia de la altura y de la apertura de montante.....	37

2.2.4. Influencia de los apoyos.....	38
2.3. Descripción de los esfuerzos presentes.....	40
2.3.1. Tipos de carga.....	40
2.3.2. Tipos de esfuerzos.....	42
2.4. Criterios para el diseño de los elementos estructurales.....	44
2.4.1. Miembros en tracción axial.....	51
2.4.2. Miembros en compresión axial.....	54
2.4.3. Miembros en Flexión.....	61
CAP. III : ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS GEOMÉTRICAS.....	66
3.1. Introducción.....	66
3.2. Elección de la alternativa geométrica a utilizar.....	68
3.2.1. Alternativa geométrica 1.....	68
3.2.1.1. Análisis de los montantes: esfuerzos de compresión.....	70
3.2.1.2. Análisis de los tirantes: esfuerzos de tracción.....	72
3.2.1.3. Análisis de la viga: Flexión.....	73
3.2.1.4. Cálculo del peso estimado de la estructura.....	74
3.2.2. Alternativa geométrica 2.....	75
3.2.2.1. Análisis de los montantes: esfuerzos de compresión.....	78
3.2.3. Alternativa geométrica 3.....	79
3.2.3.1. Análisis de los montantes: esfuerzos de compresión.....	82
3.2.3.2. Análisis de los tirantes: esfuerzos de tracción.....	84
3.2.3.3. Análisis de la viga: Flexión.....	85
3.2.3.4. Cálculo del peso estimado de la estructura.....	85
3.3. Descripción de la forma de los acoplamientos.....	86
3.3.1. Acoplamiento viga-montante.....	86
3.3.2. Acoplamiento entre tubos.....	87
3.3.3. Acoplamiento montante-ruedas.....	87

<b>CAP. IV: DISEÑO DEL PÓRTICO</b> .....	<b>88</b>
<b>4.1. Características de servicio</b> .....	<b>88</b>
4.1.1. Dimensiones preliminares de los elementos .....	90
4.1.2 Datos adicionales .....	91
<b>4.2. Estimación de las cargas</b> .....	<b>92</b>
4.2.1. Carga muerta .....	92
4.2.2. Carga viva .....	92
4.2.3. Carga horizontal .....	93
<b>4.3. Análisis estructural del pórtico</b> .....	<b>94</b>
<b>4.4. Diseño de los elementos de la estructura</b> .....	<b>110</b>
4.4.1 Diseño de la viga maestra .....	110
4.4.2. Diseño del montante .....	117
4.4.2.1. Diseño del elemento 20 .....	119
4.4.2.2. Diseño del elemento 19 .....	121
4.4.2.3. Diseño del elemento 15 .....	123
4.4.2.4. Diseño de los elementos 17 y 18 .....	124
4.4.2.5. Verificación de la flexo-compresión .....	125
4.4.3. Diseño del tirante (elemento 31) .....	132
4.4.4. Diseño del acoplamiento montante-viga .....	133
4.4.5. Diseño del acoplamiento montante-tirante .....	144
4.4.6. Diseño de la rueda .....	148
4.4.7. Diseño de los elementos auxiliares de izaje .....	154
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>161</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>166</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>168</b>
<b>PLANOS</b>	

## **INTRODUCCION**

El presente trabajo desarrolla el diseño de una estructura desde la conceptualización de la misma hasta plasmarla en los respectivos planos de fabricación, pasando por un estudio del análisis estructural, una exposición de la metodología del diseño estructural a emplear y por el cálculo detallado de las partes de la estructura.

El primer capítulo nos da a conocer algunos aspectos teóricos de la manutención de carga y algunos parámetros a tener en cuenta para la elección de una herramienta adecuada de manipuleo, además conceptualiza la estructura a diseñar y finalmente nos define el análisis estructural y la metodología de diseño a emplear.

En el capítulo dos se hace un estudio preliminar idealizando el pórtico para determinar la influencia de los diferentes parámetros geométricos en el comportamiento de la estructura, asimismo se definen las diversas cargas a considerar e introduce el método AISC-LRFD para el diseño de la estructura.

El capítulo tres evalúa tres alternativas geométricas eligiendo la que, ante las mismas solicitaciones, pueda tener menor peso. Se utiliza aquí el programa SAP-80 para el análisis estructural.

En el cuarto y último capítulo se procede al diseño de la mejor alternativa geométrica utilizando aquí como herramienta fundamental el programa ALGOR. Finalmente se anexan los archivos de entrada y salida de los programas utilizados así como los planos producto del diseño.

Para facilitar la verificación o ampliación de las referencias y fuentes bibliográficas se ha visto conveniente señalarlas al pie de página en lugar de acumularlas al final de cada capítulo.

## **CAP. I : PÓRTICOS: NOCIONES GENERALES.**

### **1.1. Generalidades.**

Una de las operaciones más importantes en almacenes, talleres de mantenimiento, plantas industriales, talleres de metalmecánica, talleres de mecánica automotriz, talleres de construcción de maquinaria, fundiciones siderúrgicas, etc., es la manipulación o manejo de materiales y equipos. Manipular, para nuestro caso, significará desplazar los equipos o materiales. "La manipulación es un trabajo. En efecto, manipular un objeto significa desplazar su centro de gravedad."<sup>(1)</sup> El desplazamiento implica tres datos a tener en cuenta:

- Presencia material del objeto, con sus características más significativas, es decir, su peso, forma, fragilidad, etc.

---

<sup>(1)</sup> MONNE, M., Aparatos de manipulación, pág. 23

- Existencia de un desplazamiento en un entorno dado. Por ejemplo desplazar un objeto entre dos puntos, teniendo en cuenta la distancia, los objetos adyacentes y las limitaciones de la instalación.

- Formas del desplazamiento, es decir, la duración del desplazamiento, la frecuencia con que debe realizarse, etc.<sup>(2)</sup>

Para una determinada instalación con sus tres dimensiones características (largo, ancho y altura); una herramienta o conjunto de manutención que desplace los objetos en sólo una de las direcciones, por ejemplo el largo, será un conjunto de manutención monovalente; una herramienta que los desplace en dos direcciones será bivalente; finalmente una herramienta que desplace los objetos en las tres direcciones será un conjunto de manutención trivalente, siendo este último el más usado. "Los conjuntos de manutención trivalentes son [...] los más extendidos. Ello se debe a dos motivos: el primero es que una operación de manutención completa se traduce en una elevación seguida de un desplazamiento longitudinal y transversal. Por otra parte, estos conjuntos permiten abarcar el área total que sirve de base a un volumen determinado."<sup>(3)</sup>

Dentro del grupo de conjuntos de manutención trivalente se encuentran: los puentes-grúa, las grúas rotatorias, las grúas de pórtico, etc. , no existiendo una regla fija para la elección de un aparato u otro, debido a que exigencias tales como: las condiciones locales, el uso futuro del aparato, la economía en tiempo y dinero de la fabricación y del mantenimiento, la seguridad del servicio, el fácil recambio de piezas y

---

<sup>(2)</sup> Cf. Loc. cit.

<sup>(3)</sup> Ibid., pág. 147

elementos sujetos a desgaste, entre otras, son exigencias que varían de un caso a otro y necesitan una adaptación individual.<sup>(4)</sup>

Nos ocuparemos ahora de un aparato de manutención específico, al cual denominaremos pórtico y debido a una característica especial, que pensamos darle en el presente trabajo, se le denominará pórtico desmontable.

### 1.1.1. Pórtico desmontable.

Un pórtico desmontable es un tipo de grúa pórtico en forma de caballete, útil para instalaciones y cargas relativamente pequeñas, para aquellos lugares donde se carece de una grúa-puente o de otro medio de elevación seguro e idóneo y para aquellos lugares donde las grúas-puente no pueden llegar a causa de las características del edificio.

Una definición un poco más clara de lo que es un pórtico es la siguiente : "Se llama pórtico al conjunto compuesto por [...]:

- montantes laterales sujetos por su parte inferior sobre soportes que llevan las ruedas;
- una viga rígida o luz, que une los montantes por su parte superior y ofrece espacio libre en altura;
- un carro que circula por la viga anterior y lleva el aparato de elevación."<sup>(5)</sup> (Ver Fig 1.1)

Al aparato de elevación combinado con un carro rodante se le denomina *equipo móvil de elevación*, a las vías sobre las que circula este último se les llama *caminos de rodadura* y a la viga se le llama *viga maestra*.<sup>(6)</sup>

<sup>(4)</sup> Cf. ERNS, Helmut, Aparatos de elevación y transporte, Vol. I , pág. 1,2.

<sup>(5)</sup> MONNE, M., Ob. cit., pág. 153.

<sup>(6)</sup> Cf. Ibid., pág. 183,184.

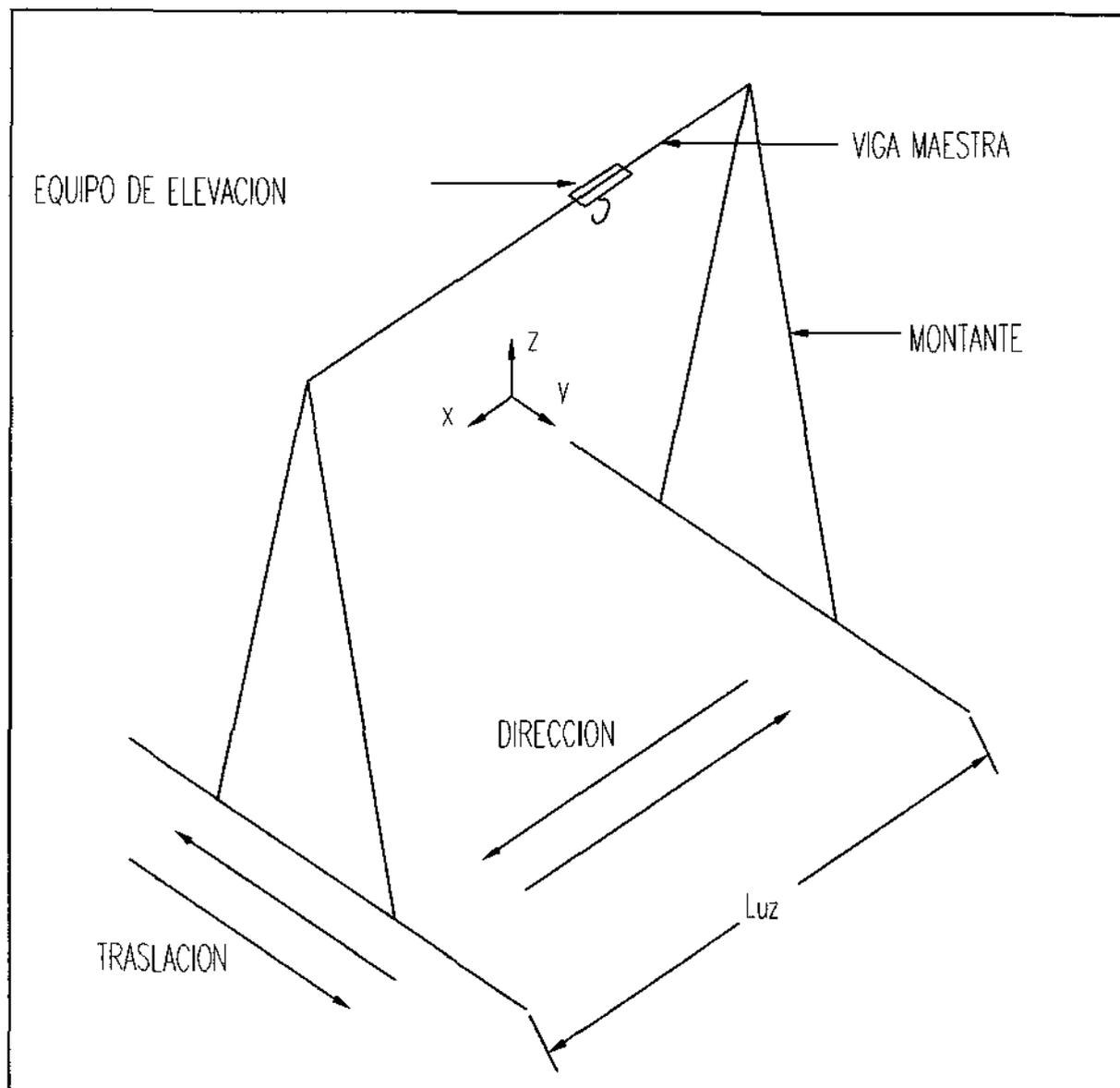


Fig. 1. 1

### 1.1.2. Ventajas de un pórtico desmontable.

Las ventajas del pórtico desmontable son las ventajas que proporciona un pórtico normal (de estructura fija) más las ventajas que trae consigo la característica de desmontabilidad, es decir:

- Es muy útil en el manejo y manipulación de materiales y equipos.
- Disminuye notablemente los riesgos de accidentes, que existen cuando se trabaja con sistemas improvisados.

- Evita pérdidas de tiempo que se producirían al erigir andamiajes provisionales.
- Los pórticos de taller sobre ruedas de banda maciza son de fácil conducción a pie de obra.<sup>(7)</sup>
- Por otro lado, "... los pórticos de taller sobre ruedas de banda maciza, fabricados sobre demanda o montados en serie con elementos normalizados de gran difusión no siendo caros, son polivalentes (sobre todo cuando [...]son regulables), lo que permite amortizarlos rápidamente."<sup>(8)</sup>

Así mismo, la desmontabilidad agrega las siguientes ventajas:

- El montaje y desmontaje se hará en corto tiempo y con menos operarios.
- Desmontados los elementos ocupan poco espacio y facilitan notablemente su traslado a grandes distancias.

### 1.1.3. Características dimensionales.

Las características más importantes de los pórticos son:

- a) CARGA MAXIMA UTIL. es el peso máximo que puede ser levantado por el pórtico.
- b) ANCHURA UTIL ENTRE MONTANTES (l). es la máxima longitud o luz que puede recorrer el equipo móvil de elevación.
- c) MAXIMA ALTURA UTIL( $h_u$ ). es la máxima altura a la que puede llegar el gancho del dispositivo elevador.
- d) ALTURA TOTAL DEL PORTICO(h). es la altura medida desde el suelo hasta la parte superior de la viga maestra.
- e) ANCHURA TOTAL( $l_T$ ). es la longitud total de la viga maestra. (Ver fig 1.2)

---

<sup>(7)</sup> Cf. Ibid., pág. 156.

<sup>(8)</sup> Ibid., pág. 156.

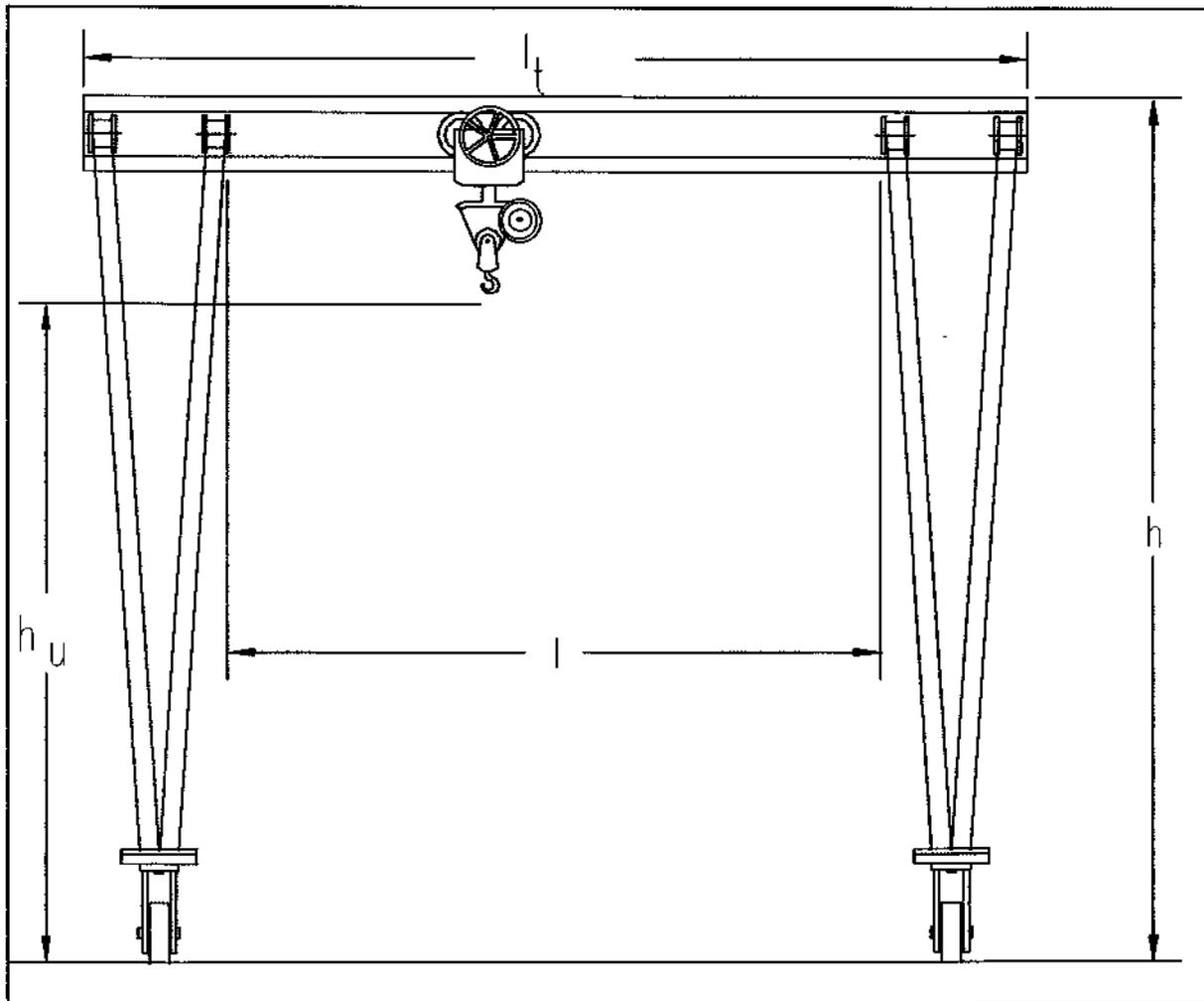


Fig. 1. 2

## 1.2. Metodología del diseño estructural.

Antes de mencionar alternativas geométricas de pórticos, condiciones de diseño y otros datos propios del diseño en sí; creemos conveniente definir unos conceptos generales del diseño estructural así como dar a conocer el método o secuencia lógica que seguiremos en el diseño de nuestra estructura.

### 1.2.1. Definición de estructura.

Según W.T. Marshall: "Una estructura puede definirse como un cuerpo capaz de resistir cargas aplicadas sin que exista ninguna deformación excesiva de una de sus

partes con respecto a otra. La última parte de este enunciado es indispensable para eliminar del campo de las estructuras a aquellos mecanismos en las que los efectos cinemáticos y dinámicos son importantes."<sup>(9)</sup>

La función de una estructura será, por lo tanto, transmitir fuerzas de un punto del espacio a otro atendiendo a tres consideraciones básicas: resistencia, rigidez y estabilidad. Es decir, una estructura debe ser lo suficientemente fuerte para resistir las cargas que la soliciten. Así mismo, las partes componentes de una estructura deben poseer la rigidez suficiente para no deflectarse o deformarse excesivamente ante la presencia de las cargas de servicio. Finalmente, una parte componente debe ser proporcionada adecuadamente para que se excluya la posibilidad del pandeo cuando esté sometida a compresión.<sup>(10)</sup>

El cumplimiento de las consideraciones anteriores depende del diseño, de la construcción y de los materiales a emplear. "El funcionamiento adecuado en servicio del sistema estructural depende de la utilización juiciosa que el diseñador haga de las técnicas de formulación del modelo y de análisis junto con la calidad de mano de obra del constructor(es) y de los materiales a emplear. Se concluye entonces que, a pesar de lo completos y exactos que puedan ser la formulación del modelo y su análisis, siempre es necesario observar y revisar con buen criterio de ingeniería los resultados obtenidos durante el diseño analítico para lograr el funcionamiento satisfactorio de la estructura real."<sup>(11)</sup> Es por lo citado anteriormente que se incluirá una fase de estudio de la estructura donde se analizará su comportamiento ante diversas exigencias.

---

<sup>(9)</sup> MARSHALL, W. T., Estructuras, pág. 1.

<sup>(10)</sup> Cf. BEAUFIT, F., Análisis estructural, pág. 3.

<sup>(11)</sup> *Ibid.*, pág. 5.

### 1.2.2. Clasificación de las estructuras.

Existen dos formas de clasificar las estructuras:

#### A) Según la forma como resisten las cargas:

Se clasifican en:

- a) ESTRUCTURAS RETICULARES: resisten las cargas aplicadas debido a su configuración geométrica.
- b) ESTRUCTURAS MASIVAS: resisten las cargas aplicadas debido a su masa o peso.<sup>(12)</sup>

#### B) Según la forma como están hechas:

Se clasifican en:

- a) ESTRUCTURAS DE CASCARÓN: hechas de placas y láminas.
- b) ESTRUCTURAS RETICULARES: construidas de conjuntos de miembros alargados. Dentro de esta clasificación se encuentran estructuras tales como armaduras, marcos rígidos, trabes, tetraedros y estructuras reticuladas tridimensionales.<sup>(13)</sup>

Según lo expuesto anteriormente, nuestra estructura (pórtico desmontable) se clasificaría como una estructura reticular tridimensional.

### 1.2.3. Diseño estructural.

Para definir Diseño estructural, citaremos lo siguiente: "... se conoce como Diseño Estructural: "Una mezcla de Arte y Ciencia que combina los sentimientos intuitivos del ingeniero con los principios de la Estática, Dinámica, Mecánica de los materiales, y el Análisis Estructural, para producir una estructura segura que sirva sus

<sup>(12)</sup> Cf. MARSHALL, W. T., Ob. cit., pág. 1

<sup>(13)</sup> Cf. BRESLER, Boris., Diseño de estructuras de acero, pág. 20-21

propósitos<sup>(14)</sup>. Sin embargo la definición anterior quedaría inconclusa si es que no se explica también, lo que significa el diseño estructural óptimo.

Al realizar un diseño óptimo, lo que se busca es: costo mínimo, peso mínimo, tiempo de construcción mínimo, trabajo mínimo y máxima eficiencia operativa para el propietario. Sin embargo, todos los requerimientos no se pueden cumplir en forma óptima, por esta razón el procedimiento de optimización implica sacrificar en proporciones aceptables algunos de los requerimientos anteriores para priorizar uno. En el Perú, por ejemplo, la exigencia más usada es la del peso mínimo. "La optimización puede lograrse mediante la definición de una Función Objeto que involucre una expresión (por ejemplo, el peso) que se pretende minimizar, junto con inequaciones de restricciones que están relacionadas con los esfuerzos máximos, deformaciones permisibles y posibilidad de los materiales disponibles, que limitan las variables que intervienen en la función objetivo. Si hay una clara definición de las mismas es posible encontrar la solución de una estructura de menor peso, con ayuda de métodos matemáticos que establecen ese óptimo mediante una búsqueda sistemática."<sup>(15)</sup> En el presente trabajo se tratará de minimizar el peso pues se considera que la mano de obra para la fabricación de este tipo de estructura es relativamente más barata que el costo de los miembros componentes de la misma. Tendremos en cuenta, además, las normas nacionales que rigen el diseño de estas estructuras al momento de iniciar los cálculos.

Expondremos ahora la metodología que utilizaremos para el diseño de nuestra estructura.

---

<sup>(14)</sup> ZAPATA B., Luis, Diseño estructural en acero, pág. 1-1.

<sup>(15)</sup> ZAPATA BAGLIETTO, Luis, Diseño estructural en acero, pág. 1-2.

#### **1.2.4. Procedimiento del diseño estructural.**

Los diferentes especialistas en el diseño estructural brindan sus respectivos métodos de diseño; nosotros utilizaremos el recomendado por uno de ellos que en realidad no se diferencia en forma radical del resto de métodos propuestos, sino que es, a nuestro parecer, el método más claro y sistemático.

El proceso iterativo recomendado es el siguiente:

##### **A. PLANEAMIENTO.**

Es la concepción general de la estructura, la selección del tipo de estructura considerando las condiciones funcionales, económicas, estéticas y de servicio a las que la estructura debe obedecer. Aquí se define el criterio de lo óptimo.

##### **B. CONFIGURACION PRELIMINAR DE LA ESTRUCTURA.**

De la etapa anterior resulta una o varias alternativas geométricas que cumplen los requerimientos anteriores. En esta etapa es donde se fijan la disposición y el tamaño de los miembros de cada alternativa geométrica, en base a la experiencia y al ingenio del diseñador, para luego discutir los resultados con el cliente y/o con otros profesionales del ramo.

##### **C. DETERMINACION DE LAS CARGAS.**

Se hace una estimación de las cargas aplicadas,. Estas cargas pueden ser estáticas o dinámicas, temporales o permanentes, ocasionales o repetitivas. A ellas se agrega el peso propio de la estructura estimado con la configuración preliminar y conocido con más precisión en las sucesivas iteraciones.

##### **D. SELECCION PRELIMINAR DE LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES.**

Esta selección permite iniciar un análisis estructural en la siguiente etapa.

## **E. ANALISIS ESTRUCTURAL.**

En esta etapa se crea el modelo matemático más adecuado a la realidad del verdadero comportamiento estructural de la edificación. Se aplican los métodos de la mecánica, para determinar los esfuerzos internos en los miembros estructurales, con el objeto de poder compararlos con la resistencia que deberían tener dichos miembros. Esta comparación se efectúa en la siguiente etapa.

## **F. EVALUACION.**

Se debe preguntar si la resistencia o condiciones de servicio que se obtienen de acuerdo a un reglamento superan a las demandas que se establecen en los resultados de la etapa previa. Si hay un margen de seguridad adecuado y económico se puede dar por concluido el diseño; caso contrario se pasa a la siguiente etapa.

## **G. REDISEÑO.**

Es la repetición de los pasos C al F para lograr cumplir los objetivos mediante un proceso iterativo.

## **H. DECISION.**

Si se piensa que se ha logrado cumplir los objetivos planteados entonces se da por concluido el diseño.

## **I. ELABORACION DE PLANOS.**

En esta etapa final se elaboran los planos de diseño y las especificaciones de trabajo, así como los llamados planos de taller que son aquellos donde se detalla cada miembro y sus conexiones para que sean preparados en los talleres.<sup>(16)</sup>

---

<sup>(16)</sup> Cf. ZAPATA B., Luis, Ob. cit., pag. 1-2 a 1-4.

Cf. También, BRESLER, Boris, Ob. cit., pág. 26.

Cf. También, BEAUFAIT, F., Ob. cit., pág. 2.

Para dar más claridad al método iterativo mostramos el diagrama de flujo del proceso. (Ver fig. 1.3)

Es importante expresar aquí, que la asistencia del computador será de mucha utilidad en las etapas E, F, G, I y en la etapa de estudio de la estructura donde un software de simulación ahorraría mucho tiempo y por ende optimizaría el diseño.

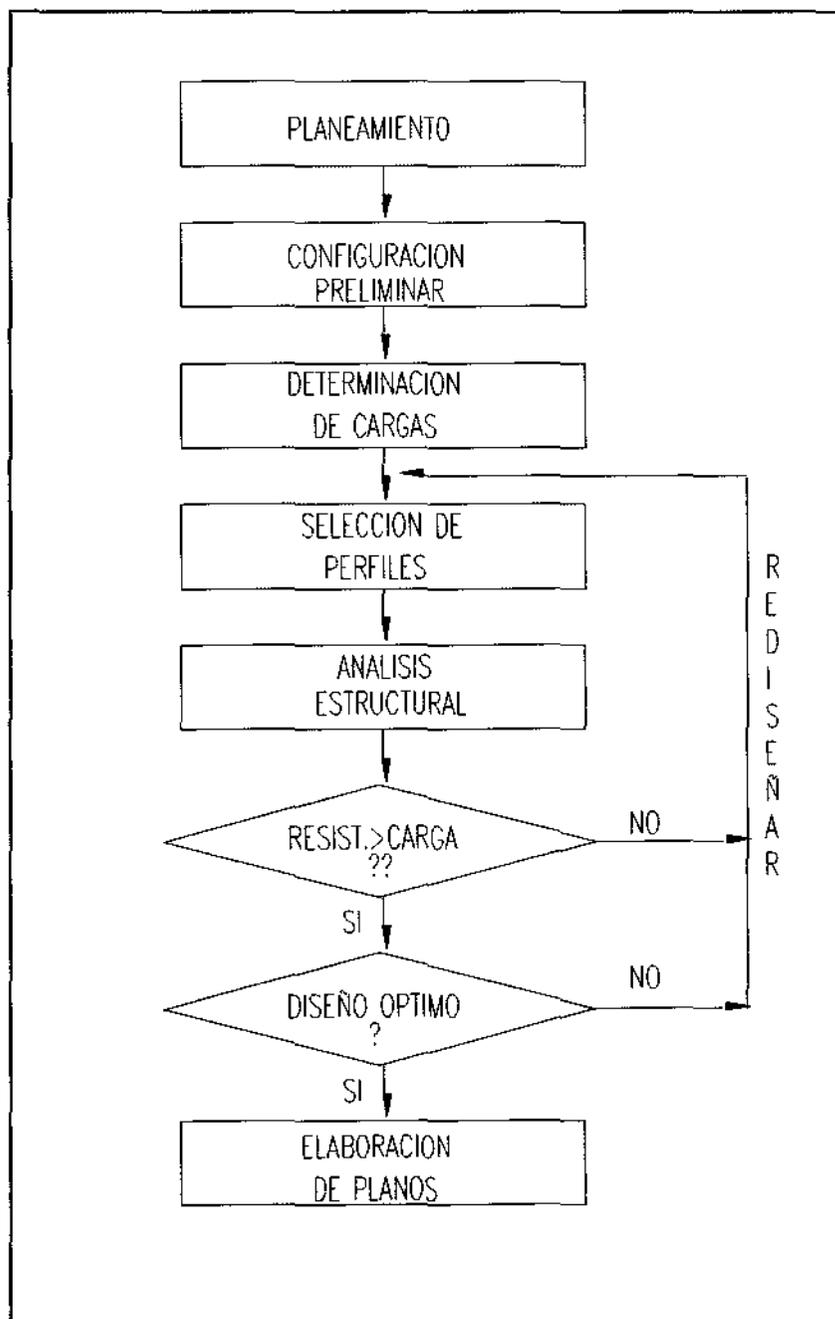


Fig. 1.3

Iniciaremos a continuación el diseño de nuestra estructura con el detalle de las exigencias generales de la misma.

#### **1.2.5. Planeamiento de la estructura.**

La estructura a diseñar tendrá como función principal la elevación de carga y como función secundaria el transporte de la misma. Debido a la última función es que se necesitará suministrar capacidad de movimiento en las otras dos direcciones principales, para lo cual se contará con un equipo móvil de elevación que se desplazará por la viga maestra para dar el movimiento transversal y unas ruedas como apoyos para dar el movimiento longitudinal. El último desplazamiento implica la necesidad de considerar el peso a desplazar y el coeficiente de rozamiento del terreno.

Así mismo se debe garantizar el fácil montaje y desmontaje de la estructura para lograr un transporte sencillo y un almacenamiento menos espacioso en caso de requerir una o ambas cosas.

Por otro lado, el mantenimiento debe ser mínimo, fácil de realizar y de bajo costo. Lo cual se logrará evitando en lo posible la utilización de elementos a fricción y, si existieran, colocando los medios adecuados para su lubricación.

Finalmente la estructura debe estar diseñada para trabajar tanto con tecles automáticos como con tecles manuales.

#### **1.2.6. Configuración preliminar de la estructura.**

La estructura metálica estará formada por una viga que actuará como camino de rodadura del mecanismo de elevación, unos montantes unidos a la viga mediante unas charnelas y unos tirantes de seguridad que unen los montantes de un mismo lado.

Para la elevación se contará con dos "winches" de una capacidad determinada fijados en dos de los montantes. El cable de los "winches", una vez levantada la estructura, cederá su trabajo a los tirantes de seguridad.

Existen varias alternativas para la configuración geométrica preliminar, entre estas tenemos:

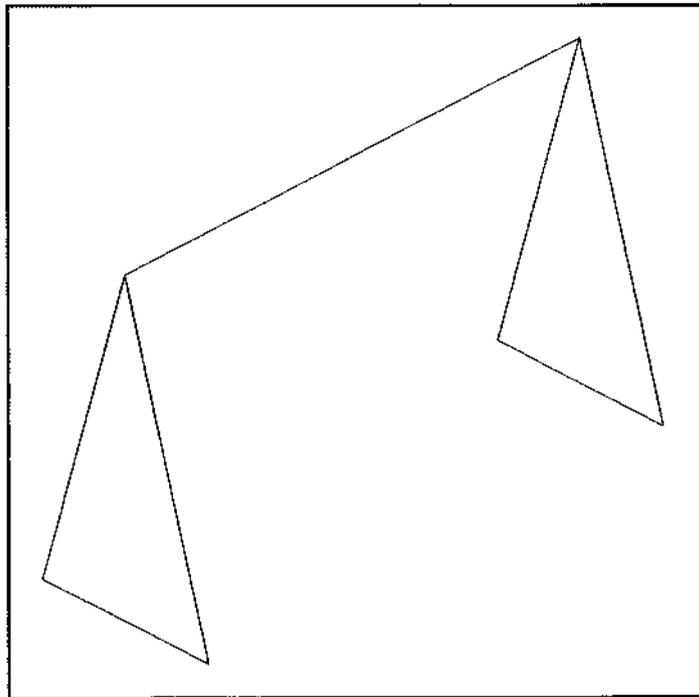


Fig. 1. 4 Alternativa Geométrica 1.

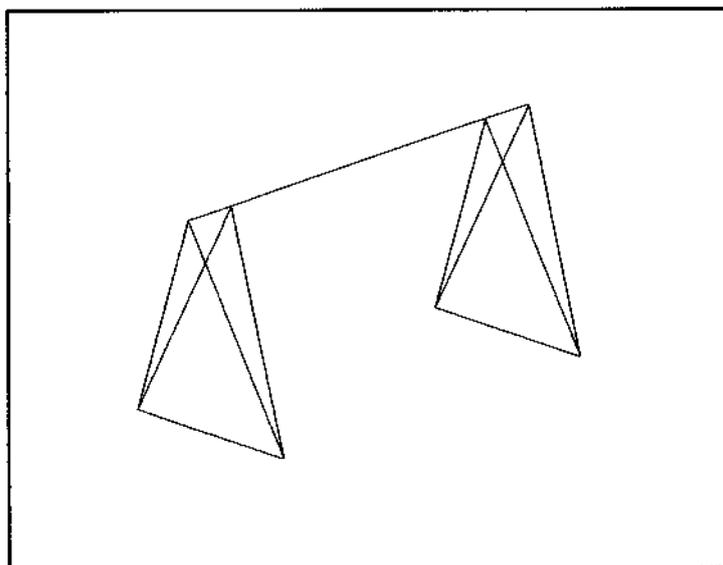


Fig. 1. 5 Alternativa Geométrica 2

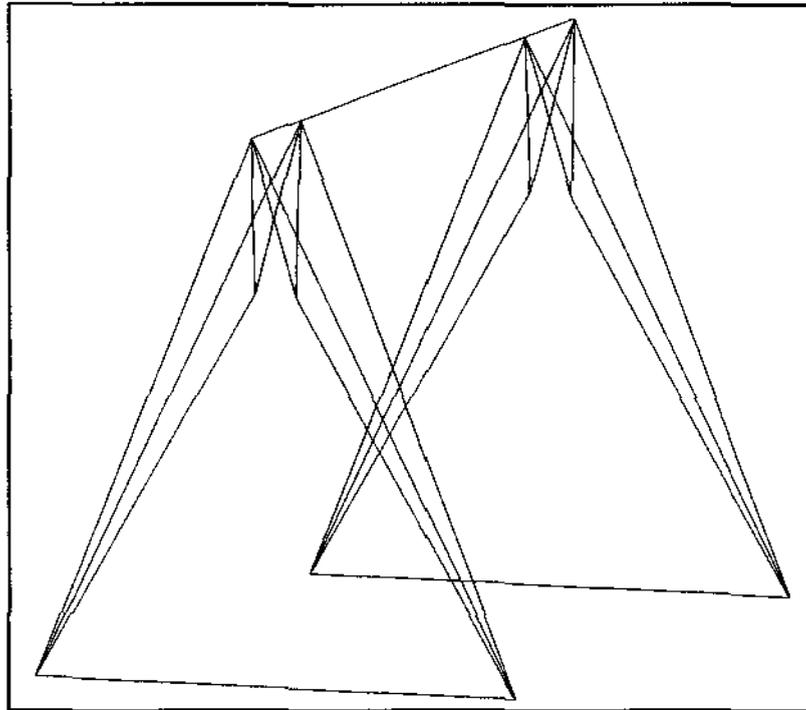


Fig. 1. 6 Alternativa Geométrica 3

Todas estas alternativas pueden satisfacer las exigencias planeadas; sin embargo existirá alguna con mayores ventajas sobre las otras, la determinación de esto se realizará en etapas posteriores del diseño.

### 1.2.7. Determinación de las cargas.

Una vez escogido el tipo general de la estructura, o definido una o varias alternativas, puede indicarse a que tipos de carga estará sometida la estructura, para luego hacer una estimación de las mismas y realizar la selección preliminar de los miembros estructurales.

La estructura estará sometida a dos tipos generales de carga:

#### A. Carga muerta.

El peso propio de la viga maestra.

#### B. Carga viva.

El peso máximo a ser levantado. Así mismo se considerará el efecto de la fatiga y del impacto.

El frenado y aceleración transversal de la carga provocará fuerzas horizontales a tener en cuenta, igualmente el movimiento longitudinal si lo hubiese.

El presente capítulo ha tratado de exponer la forma general del pórtico, así como sus parámetros característicos. También se expuso el método de diseño que trataremos de seguir a lo largo del presente trabajo. Finalmente se mostraron las tres alternativas geométricas mas comunes para este tipo de estructura.

En el capítulo siguiente se realizará un estudio general de la estructura, con la finalidad de determinar el efecto que en ella produce la variación de sus parámetros principales, es decir, el peso máximo, la luz de viga o ancho útil, la altura y la abertura del montante. Así mismo, se identificarán los esfuerzos mecánicos presentes y sus respectivos criterios de diseño.

## CAP. II : ESTUDIO GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

### 2.1. Análisis preliminar de la estructura.

Iniciaremos el presente análisis idealizando el pórtico de tal forma que nos simplifique el estudio inicial y a la vez nos permita determinar la influencia de la forma general de la estructura en el comportamiento de la misma.

Esta idealización es la siguiente:

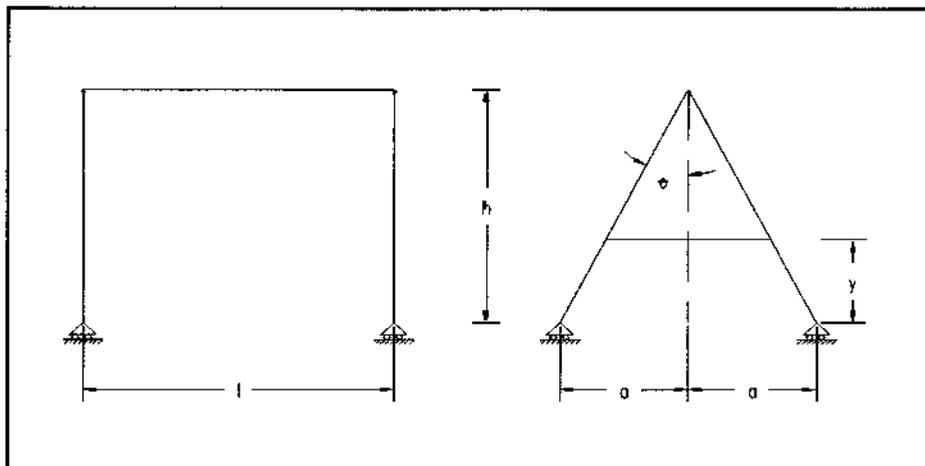


Fig. 2. 1

Para simplificar el análisis, la estructura anterior puede seccionarse de la siguiente manera:

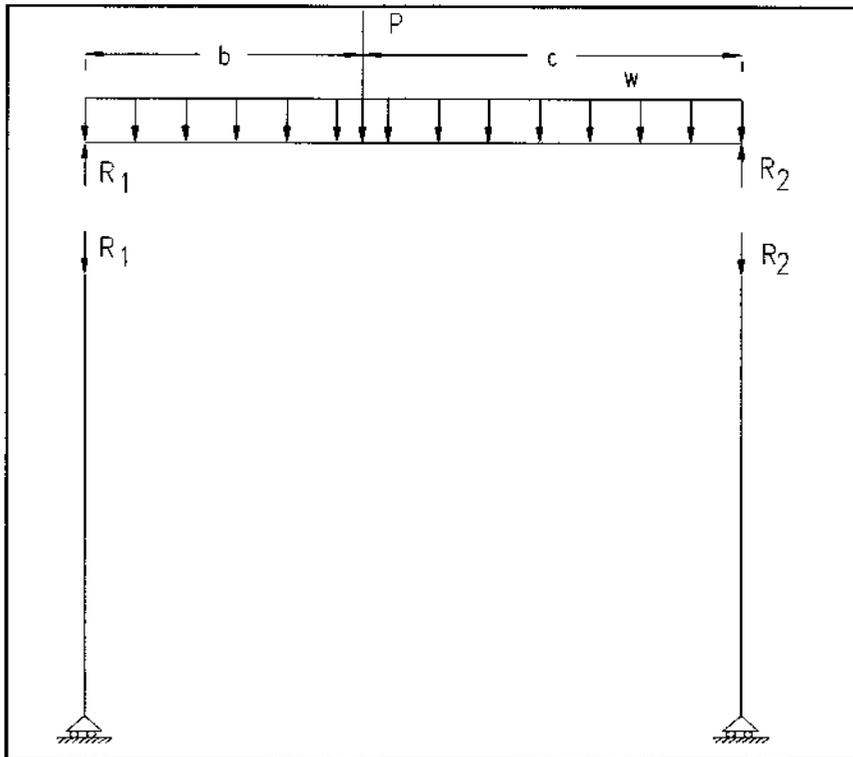


Fig. 2. 2

### 2.1.1. Análisis de la viga maestra.

A partir del gráfico anterior, la viga puede ser representada como a continuación se expresa:

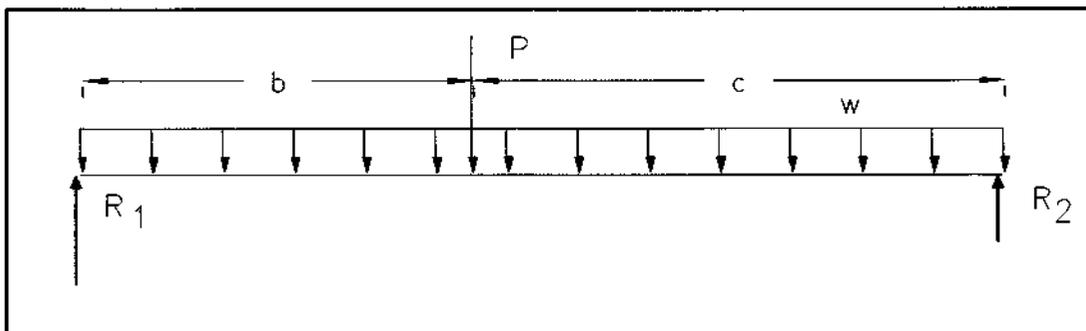


Fig. 2. 3

Aplicando el principio de superposición de efectos, los esfuerzos y las reacciones pueden calcularse por medio del cálculo de los esfuerzos y reacciones para cada tipo de carga y luego sumarlos. Así :

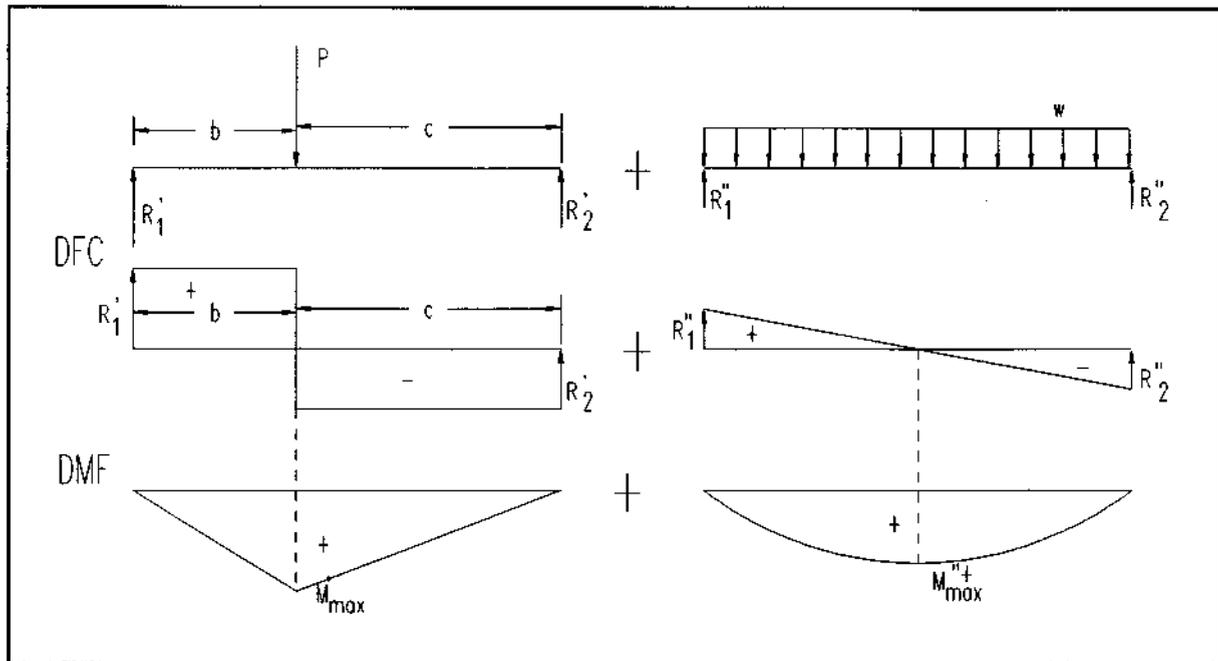


Fig. 2.4

Donde:

$$R_1' = \frac{P \times c}{l} \quad R_2' = \frac{P \times b}{l} \quad R_1'' = \frac{w \times l}{2} \quad R_2'' = \frac{w \times l}{2}$$

$$M_{max}' = \frac{P \times c \times b}{l} \quad M_{max}'' = \frac{w \times l^2}{8}$$

Así mismo:

Debido a que la carga puntual es móvil, es importante determinar la posición en la cual produce los mayores esfuerzos, tanto en los montantes como en la viga. Si bien es cierto el criterio nos indica esta o estas posiciones, las expresiones lo confirman.

Observando las expresiones que determinan las reacciones en la viga (fuerzas que se transmiten a los montantes), cuando  $b=0$ ,  $c=l$ , por lo tanto:

$$R'_1=P \text{ y } R_1 = P + w.l/2$$

Lo cual quiere decir que la situación más crítica para los montantes es cuando la carga está en uno de los extremos.

Por otro lado, a partir de la expresión para el momento máximo positivo de la viga debido a la carga puntual, se obtiene:

$$M'_{max} = M_{(c)} = \frac{P \times c \times b}{l} = \frac{P \times c \times (l - c)}{l} = P \times c - \frac{P \times c^2}{l}$$

$$\frac{dM_{(c)}}{dc} = 0 \quad P - \frac{2P \times c}{l} = 0 \quad c = \frac{l}{2}$$

Derivando respecto a  $c$ , e igualando a cero se tiene:

La última expresión indica que la posición central es la que produce los máximos momentos flectores en la viga y por ende es la más crítica. Teniendo en cuenta esto, el máximo momento flector sobre la viga es:

$$M_{max} = \frac{P \cdot l}{4} + \frac{w \cdot l^2}{8} \quad \text{-----} \rightarrow (2.1)$$

### 2.1.2. Análisis del montante.

Como se observa en la figura 2.5 el montante se puede analizar colocando una fuerza vertical ( $P_c$ ) cuyo valor será el originado por la carga distribuida y por la carga puntual colocada en el extremo correspondiente al montante a analizar. Lo cual quiere decir que  $P_c = P + w.l/2$ .

Así mismo, debido a la simetría del montante, las reacciones  $R_a$  y  $R_b$  serán iguales y de valor:  $R_a = R_b = P_c/2$ .

Por otro lado, se ha colocado el tirante en una posición cualquiera "y" para determinar la influencia de su posición en el comportamiento del montante.

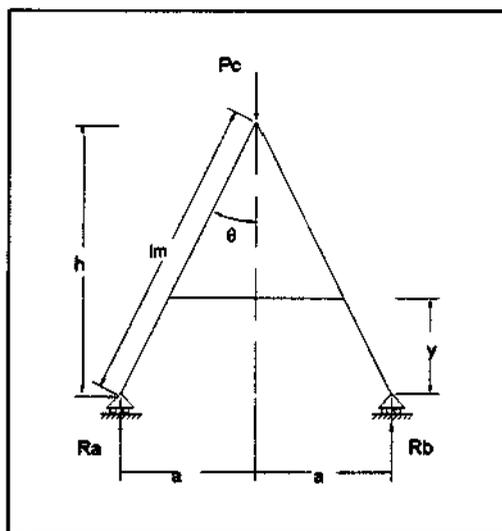


Fig. 2. 5

Haciendo el diagrama de cuerpo libre de uno de los elementos del montante tenemos:

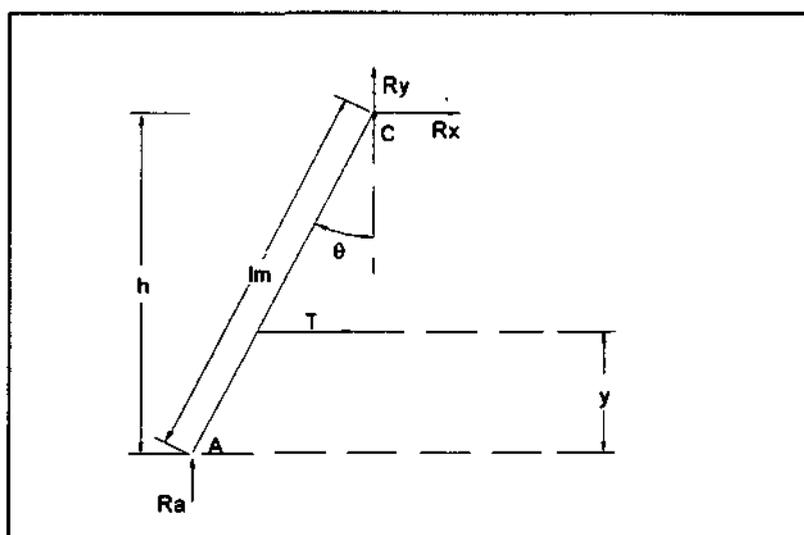


Fig. 2. 6

Del diagrama:

$$\Sigma M_c = 0 + \downarrow \uparrow : \dots \rightarrow -\frac{P_c \times a}{2} + T(h-y) = 0 \Rightarrow T = \frac{P_c \times a}{2(h-y)}$$

$$\Sigma F_x = 0 + \rightarrow : \dots \rightarrow -T + R_x = 0 \dots \rightarrow R_x = -\frac{P_c \times a}{2(h-y)}$$

$$\Sigma F_y = 0 + \uparrow : \dots \rightarrow R_y + R_a = 0 \dots \rightarrow R_y = -\frac{P_c}{2}$$

Colocando las fuerzas con sus respectivos sentidos tendremos:

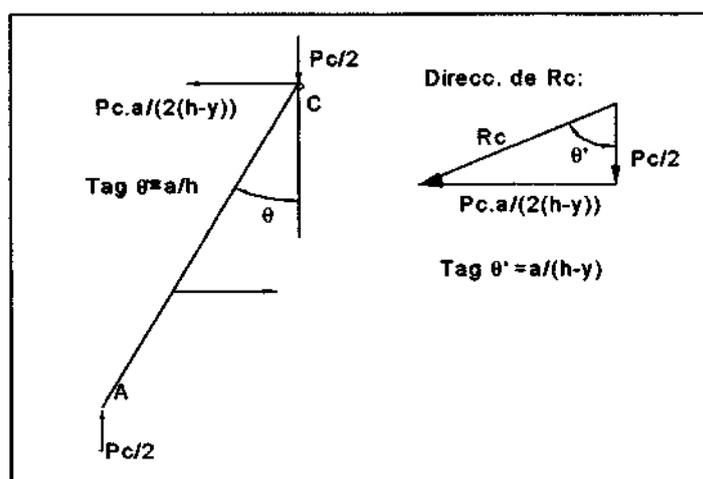


Fig. 2. 7

Reemplazando las fuerzas en C por una resultante  $R_c$  se tiene lo siguiente:

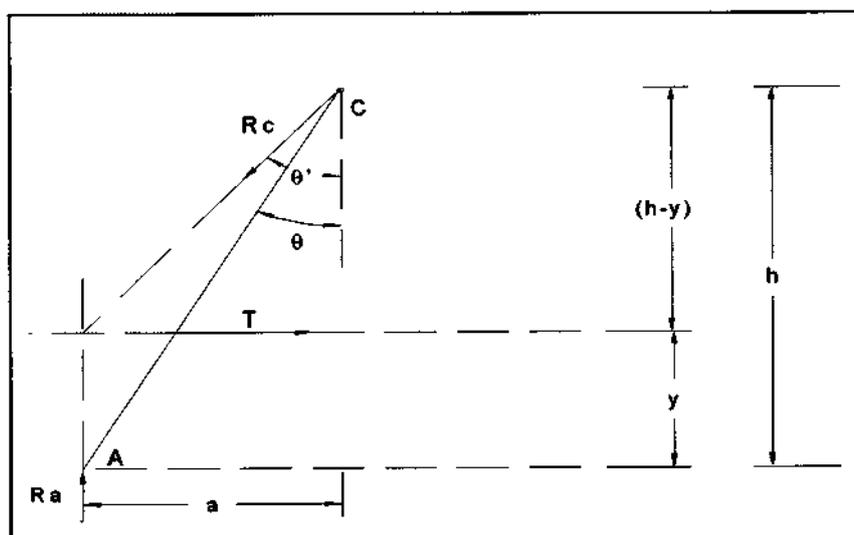


Fig. 2. 8

El gráfico anterior muestra que la fuerza  $R_c$  no pasa por el elemento, por lo tanto existe no sólo una fuerza axial sino también una fuerza transversal. Esto último se puede apreciar mejor en el siguiente análisis:

Descomponiendo las fuerzas en las direcciones longitudinales y transversales al montante se tiene:

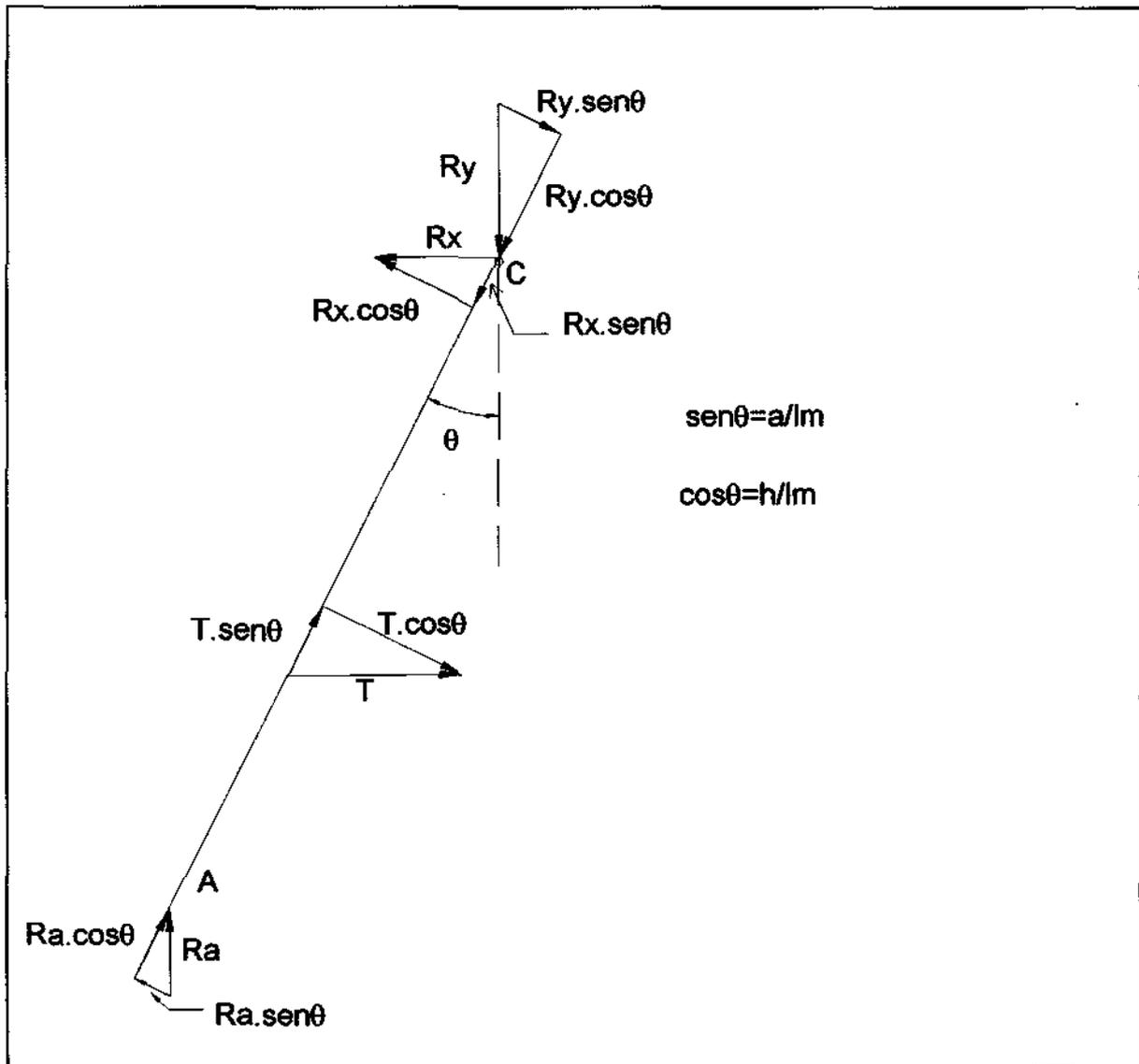


Fig. 2. 9

Tomando en cuenta sólo las fuerzas transversales, se tiene:

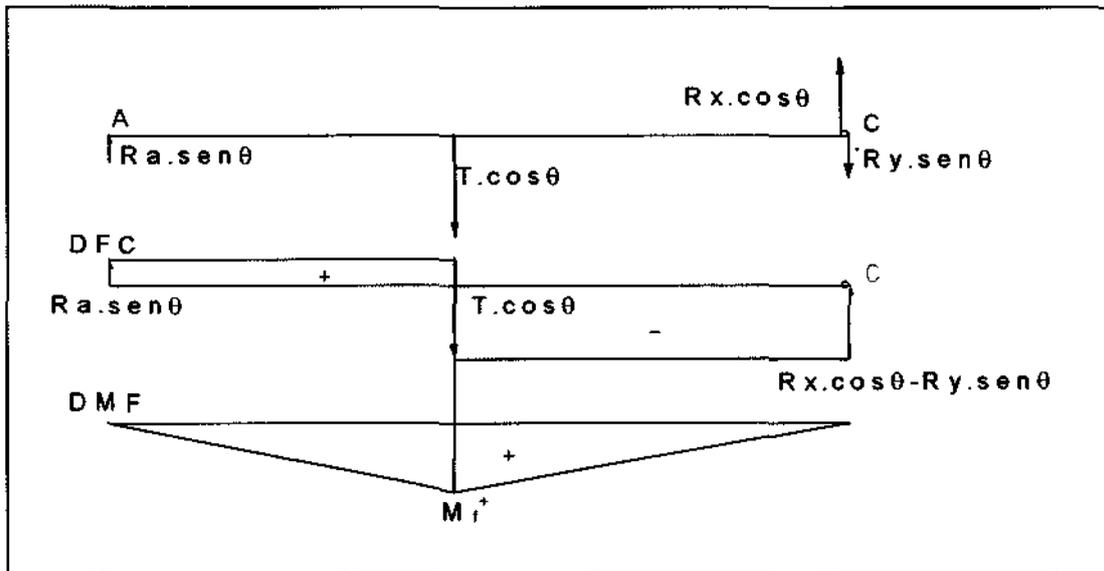


Fig. 2. 10

Teniendo en cuenta que  $R_a = P_c/2$  y que el  $\text{sen } \theta = a/l_m$ :

$$R_a \times \text{sen } \theta = \frac{P_c}{2} \times \frac{a}{l_m}$$

Por otro lado, el tirante pasa a una distancia " $y/(\text{cos } \theta)$ " del punto A (apoyo) en la dirección AC. Como  $\text{cos } \theta = h/l_m$ :

$$\frac{y}{\text{cos } \theta} = y \times \frac{l_m}{h}$$

Por lo tanto el momento máximo positivo en el montante será igual a:

$$M_{max}^M = M_A + \frac{y}{\text{cos } \theta} \times R_a \times \text{sen } \theta$$

Reemplazando los valores antes determinados se tiene:

$$M_{max}^M = 0 + y \times \frac{l_m}{h} \times \frac{P_c}{2} \times \frac{a}{l_m}$$

Con lo cual :

$$M_{max}^M = \frac{P_c \times a \times y}{2 \times h} \quad \text{-----} \rightarrow (2.2)$$

Del análisis previo se determina que existe, además de compresión, una flexión como producto de colocar el tirante a una distancia "y" del apoyo A.

Debido a que los montantes se fabricarán de tubería estructural, es importante eliminar en lo posible el efecto de la flexión para así evitar que, como producto del diseño, se necesiten tubos de diámetro relativamente grande.

La ecuación (2.2) muestra que una forma práctica de eliminar la flexión es hacer  $y \cong 0$ , es decir, colocar el tirante lo más cerca posible del apoyo A; con lo cual la expresión del  $M_{max}^M \cong 0$ .

Teniendo en cuenta lo anterior el montante tendrá la siguiente disposición:

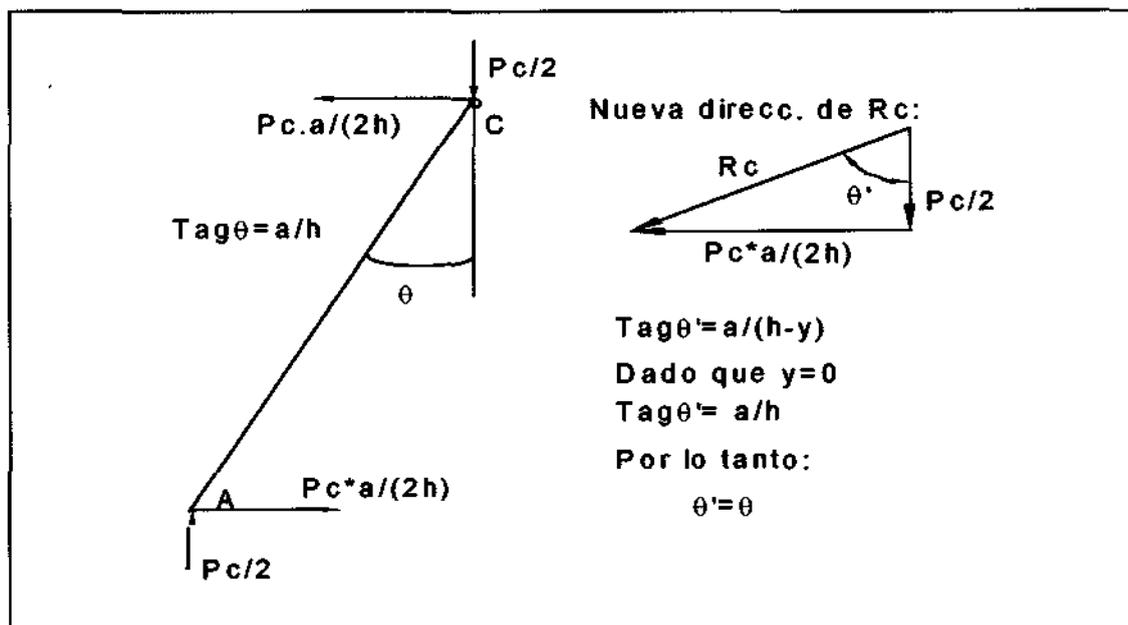


Fig. 2. 11

Del gráfico anterior se obtiene que la fuerza de compresión del montante será:

$$R_c = \sqrt{\left(\frac{P_c}{2}\right)^2 + \left(\frac{P_c * a}{2 * h}\right)^2} \text{ ----- } \rightarrow (2.3)$$

Así mismo la fuerza de tracción del tirante será:

$$T = \frac{P_c * a}{2 * h} \text{ ----- } \rightarrow (2.4)$$

Basándonos en el análisis previo determinaremos a continuación, la influencia de los parámetros característicos de la estructura.

## 2.2. Influencia de los parámetros característicos.

En este apartado estableceremos la influencia en el diseño del pórtico desmontable de parámetros como: la carga máxima, la luz de la viga maestra o ancho entre montantes ( $l$ ), la altura total del pórtico ( $h$ ), la abertura de los montantes ( $a$ ), la altura mínima del pórtico (la llamaremos también altura de montaje) y adicionalmente la influencia de la disposición de los apoyos.

### 2.2.1. Influencia de la carga.

Observando las expresiones (2.1), (2.3) y (2.4) se llega a la conclusión que los parámetros de diseño son proporcionales a la carga máxima, representada por  $P$ .

Se comprueba también el hecho que "..., el peso de la estructura aumenta en la misma proporción que la carga."<sup>(1)</sup> Lo cual significa que a mayor carga máxima la estructura deberá ser más robusta.

---

<sup>(1)</sup> MONNE, M., Aparatos de manutención, pág. 189

### 2.2.2. Influencia del ancho útil.

El ancho útil es también la luz de viga y observando la ecuación (2.1) se determina su influencia, principalmente, en el diseño de la viga pues a mayor luz mayor será el momento flector de diseño.

Por otro lado "... el peso del elemento portante es sensiblemente proporcional a la luz."<sup>(2)</sup> Esto no sólo influye en el diseño de la viga sino también, aunque no en gran medida, en el diseño de los montantes los cuales soportan no sólo la carga sino también la viga.

### 2.2.3. Influencia de la altura y de la apertura de montante.

Existen tres formas de examinar la influencia de la altura y la apertura en el diseño del pórtico. La primera es considerar altura adecuada independientemente de la apertura de los montantes, la segunda, considerar la apertura independientemente de la altura y la tercera, considerar la relación entre la apertura y la altura del montante, es decir, cuando la altura puede regularse variando la apertura de los montantes.

Para el primer caso, si observamos la ecuaciones (2.1), (2.3) y (2.4), para una misma carga máxima, una misma luz y una misma apertura de montante ( $P=cte.$ ,  $l=cte.$  y  $a=cte$  pero  $l_m \neq cte.$ ), una mayor altura no afecta al momento flector, pero sí logra disminuir la fuerza de tracción en el tirante ( $T$ ) y por ende disminuye la resultante  $R_c$  reduciendo así la fuerza en compresión del montante. Esto quiere decir que un pórtico con una determinada altura y una determinada apertura de montante presenta unas fuerzas de diseño mayores en el montante que otro de más altura pero de igual apertura de montante.

---

<sup>(2)</sup> Ibid. pág. 188

Para el segundo caso, observando las mismas ecuaciones que para el primero, se concluye que para una mayor abertura de montante, la resultante en compresión ( $R_c$ ) y la fuerza en tracción del tirante son también mayores.

El tercer caso (variación simultánea), requiere adecuar las ecuaciones (2.3) y (2.4) para lograr determinar el efecto simultáneo, recordando que en este caso  $a$ 'cte,  $h$ 'cte pero  $l_m$ =cte. Las ecuaciones quedan de la siguiente manera:

$$R_c = \sqrt{\left(\frac{P_c}{2}\right)^2 + \frac{(P_c \times a)^2}{(l_m^2 - a^2)}} \quad \text{-----} \rightarrow (2.3')$$

$$T = \frac{P_c \times a}{2\sqrt{l_m^2 - a^2}} \quad \text{-----} \rightarrow (2.4')$$

Las expresiones anteriores muestran que al disminuir la altura y por tanto aumentar la abertura, la resultante en compresión  $R_c$  así como la fuerza en tracción del tirante  $T$  crecen.

Los tres casos anteriores nos llevan a concluir que se prefiere una estructura lo más alta posible teniendo en cuenta la economía de la misma, así mismo se requiere una abertura lo más pequeña posible pero sin descuidar la estética ni la rigidez longitudinal. Por otro lado cuando la altura es regulable, el cable de montaje se diseña con la menor altura o altura de montaje.

#### 2.2.4. Influencia de los apoyos.

Teóricamente los apoyos pueden ser empotrados, articulados y simples. Estos pueden apreciarse en la siguiente figura.

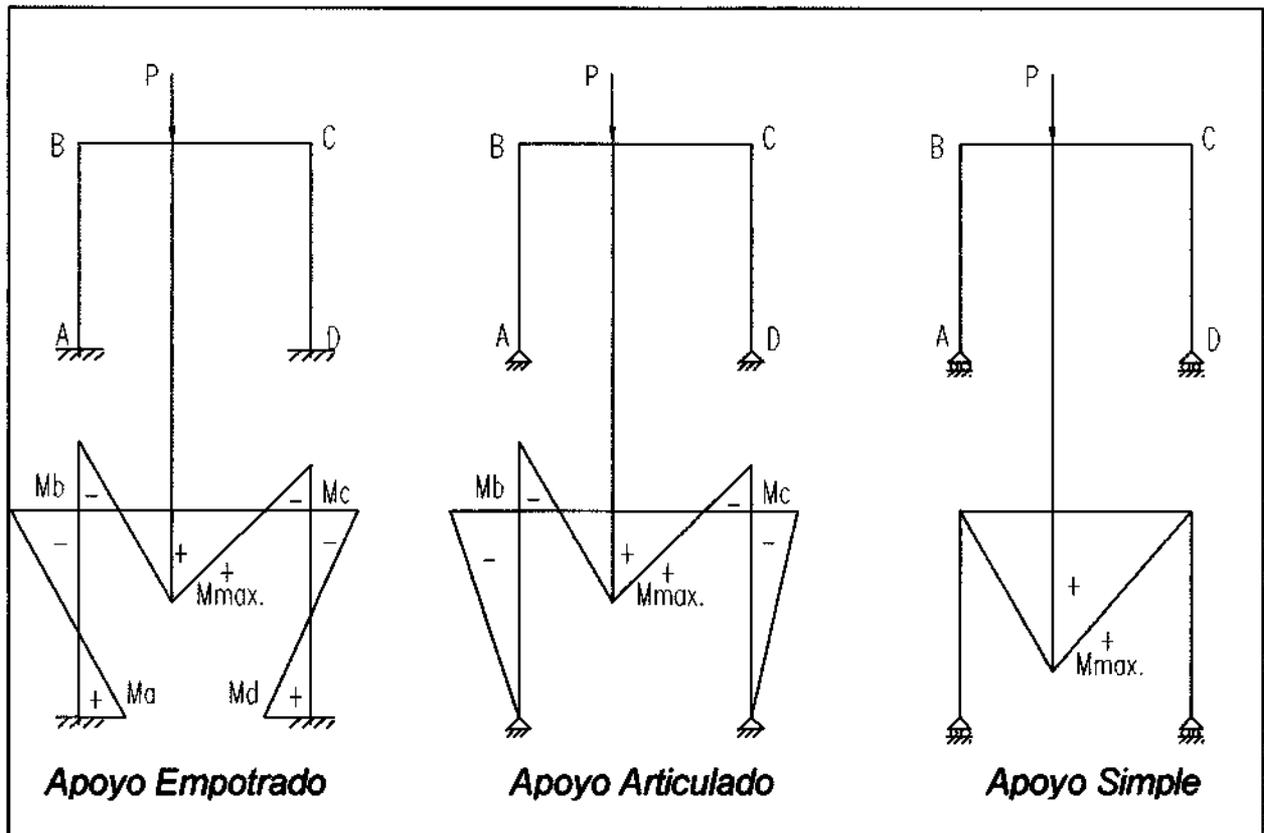


Fig. 2. 12

Del gráfico anterior, se aprecia que los dos primeros apoyos manifiestan la desventaja de presentar momentos negativos en los montantes y en los extremos de la viga, lo cual no sucede con el tercer tipo de apoyo. No obstante, el apoyo simple muestra un momento flector positivo mayor que el de los otros tipos de apoyo.

Sin embargo, hay que manifestar que el tercer tipo de apoyo es el más ajustable a nuestro requerimiento de transportabilidad del pórtico, razón por la cual es el elegido en el presente trabajo. Más adelante se mostrará que en realidad en los puntos B y C existe limitación al giro lo que disminuye el momento flector positivo en la viga.

### 2.3. Descripción de los esfuerzos presentes.

Antes de identificar los tipos de esfuerzos presentes en la estructura, conviene definir en forma más clara los tipos de carga a los que está sometido el pórtico.

#### 2.3.1. Tipos de carga.

Al final del capítulo I se expuso a groso modo las cargas a las que está sometida la estructura. Estas son:

##### A. Carga muerta.

Se conoce como carga muerta a "... una carga de gravedad fija en posición y magnitud, y se define como el peso de todos aquellos elementos que se encuentran permanentemente en la estructura o adheridos a ella ..."<sup>(3)</sup>.

Cabe resaltar que la información de estas cargas se completa una vez culminado el diseño, por lo cual es necesaria una verificación general de la estructura al final del diseño.

Para el diseño, el Reglamento Nacional de Construcciones (RNC) da las pautas para la evaluación de estas cargas, éste considera la carga muerta, en nuestro caso, como "... el peso real de los materiales que conforman y de los que deberá soportar la edificación [...] El peso real se podrá determinar por medio de análisis o usando los datos indicados en los diseños y catálogos de los fabricantes."<sup>(4)</sup> Nosotros usaremos los datos conocidos para diversos perfiles y tubos estructurales.

---

<sup>(3)</sup> ZAPATA BAGLIETTO, Luis., Diseño estructural en acero, pág. 1-4

<sup>(4)</sup> CAPECO, Reglamento Nacional de Construcciones, pág. 214.

## **B. Carga viva.**

Se define carga viva como "... aquella carga de gravedad que actúa sobre la estructura cuando ésta se encuentra en servicio y puede variar en posición y valor durante la vida útil de la estructura."<sup>(5)</sup>

Debido a la característica de variabilidad de la posición y valor de ésta carga, es responsabilidad del diseñador determinar el valor y la posición que producen los mayores esfuerzos en la estructura.

En nuestro caso existirán dos tipos de cargas como producto de la carga viva : la carga vertical y la carga horizontal.

El RNC también da las pautas para la evaluación de estas cargas en el caso de teclas monorraíles.

### **CARGAS VERTICALES.**

"La carga vertical será la suma de la capacidad de carga y el peso del tecla."<sup>(6)</sup>

Del mismo modo es necesario considerar como fuerza vertical el efecto del impacto, entendiéndose como impacto "...al efecto dinámico de las cargas vivas súbitamente aplicadas ..."<sup>(7)</sup>. El RNC expresa que "para tomar en cuenta el impacto, la carga vertical se aumentará en 10 por ciento para teclas manuales y en 25 por ciento para teclas eléctricos."<sup>(8)</sup>

---

<sup>(5)</sup> Loc. cit.

<sup>(6)</sup> CAPECO, Reglamento Nacional de Construcciones., pág. 216.

<sup>(7)</sup> ZAPATA BAGLIETTO, Luis., Ob. cit. pág. 1-6.

<sup>(8)</sup> CAPECO, Ob. cit., pág. 216.

## **CARGAS HORIZONTALES.**

Estas cargas son el producto de la puesta en marcha y frenado del tecele móvil a lo largo de la viga maestra. Según el RNC " La carga transversal será el 20 por ciento de la suma de la capacidad de carga y el peso del tecele."<sup>(9)</sup> Esta carga se asume aplicada en el punto superior del montante y paralela a la viga.

### **2.3.2. Tipos de esfuerzos.**

En general existen dos tipos de esfuerzos: los esfuerzos estáticos y los esfuerzos dinámicos.

#### **A. Esfuerzos estáticos.**

Son los producidos por cargas estáticas. Entendiéndose por carga estática a la "... acción estacionaria de una fuerza o un momento causado por una fuerza sobre cierto objeto. Para que una fuerza o un momento sean estacionarios o estáticos deben poseer magnitud, dirección y punto (o puntos) de aplicación que sean invariables".<sup>(10)</sup> Este requisito lo cumple la carga muerta lo cual hace que esta carga produzca esfuerzos estáticos.

Sin embargo, aunque la carga viva varía en magnitud y punto de aplicación como se vio anteriormente; en muchos casos se puede considerar como carga estática. No obstante hay que aclarar que "[...] esta consideración, por lo general, se hace para obtener una idea aproximada de las dimensiones de la pieza o componente, y para simplificar los cálculos de diseño cuando las variaciones en las cargas son pocas o de

---

<sup>(9)</sup> CAPECO, Ob. cit. pág. 216.

<sup>(10)</sup> SHIGLEY, J. E., Diseño en ingeniería mecánica, pág. 231.

pequeña magnitud.<sup>(11)</sup> En nuestro caso, primero consideraremos la carga viva como carga estática en las posiciones más críticas.

Los esfuerzos estáticos más importantes presentes en la estructura son: tracción, compresión, flexión y, como es muy difícil encontrar estos esfuerzos en forma pura en los elementos, es muy probable que aparezcan flexo-tracción y/o flexo-compresión. Por el contrario, es poco probable la existencia de torsión pura o combinada.

### **B. Esfuerzos dinámicos.**

Los esfuerzos dinámicos son los que ocurren cuando la especificación del tiempo es necesaria para definir las cargas. Los esfuerzos dinámicos a tener en cuenta en nuestro caso son: los esfuerzos por cargas de impacto y los esfuerzos por fatiga.

Las cargas de impacto se definieron anteriormente. Los esfuerzos por fatiga, en cambio, son los que ocurren cuando la variación cíclica, ya sea de la carga o bien de la deformación, coincide con respecto al tiempo.<sup>(12)</sup>

Actualmente no existe el entendimiento total de la fatiga. Sin embargo, "La práctica presente de la ingeniería se apoya en el acervo de información empírica que se ha acumulado mediante las pruebas de fatiga de numerosos materiales, en diversas formas, y sujetos a diversas clases de carga."<sup>(13)</sup> No obstante, cuando no existe o no se tiene a la mano los datos para un caso específico, el procedimiento más común es utilizar los datos provenientes de la prueba de R. R. Moore. "... la prueba estandarizada a la fatiga de R. R. Moore, [...] se usa para determinar las características de resistencia

---

<sup>(11)</sup> Ibid. pág. 231,232.

<sup>(12)</sup> Cf. KUTZ, Myer., Enciclopedia de la Mecánica, pág. 381 Tomo 2

<sup>(13)</sup> JUVINALL, Robert., Fundamentos de diseño en ingeniería mecánica, pág. 239.

a la fatiga de materiales bajo un conjunto de condiciones estandarizadas y muy restringidas."<sup>(14)</sup> Una vez conocidos estos datos para un material específico, se procede a determinar la influencia (en factores de corrección) de la desviación de la prueba estándar. Nosotros utilizaremos éste método pues para el material que utilizaremos (acero) sí existe los datos de la prueba de R. R. Moore, es decir, la curva Resistencia vs. Número de ciclos de vida.

#### **2.4. Criterios para el diseño de los elementos estructurales.**

En el presente apartado se pretende exponer en forma resumida las especificaciones de diseño que se utilizarán en el presente trabajo, aclarando que se expondrán sólo las especificaciones necesarias para los elementos y estados de esfuerzo presentes en la estructura a diseñar.

Iniciaremos la explicación, recordando lo que significa una especificación en el diseño estructural. "Una Especificación es un conjunto de reglas que tienen por objeto conseguir una estructura segura y estable en el tiempo."<sup>(15)</sup> Sin embargo, debido a que es imposible que las especificaciones abarquen todos los aspectos de seguridad de una estructura particular, el diseñador es responsable de identificar y cubrir aquellos aspectos que la especificación no involucre.

Uno de los conjuntos de especificaciones más importantes en el diseño de estructuras de acero, es el elaborado por el Instituto Americano de la Construcción en

---

<sup>(14)</sup> JUVINALL, Robert., Ob. cit. pág. 239

<sup>(15)</sup> ZAPATA BAGLIETTO, Luis. Diseño estructural en acero., pág. 1-19.

Acero (AISC). Este instituto está integrado por los productores de perfiles, por los usuarios y por los individuos que se encuentran interesados en el desarrollo del acero como material para la construcción y se encarga de la investigación, redacción de normas y divulgación de los conocimientos que sobre el uso del acero se va adquiriendo.

En el Perú son aceptadas las especificaciones AISC como herramienta de diseño según lo expresa el Reglamento Nacional de Construcciones: "Forman parte del presente Reglamento Nacional, para los propósitos de diseño y uso de los materiales estructurales, las siguientes Normas [...] -Especificaciones para el diseño, fabricación y montaje de Acero Estructural para edificios del Instituto Americano de Construcción en Acero [...] (Design, Fabrication and Erection of structural steel for buildings. Publication of American Institute of Steel Construction AISC-USA)" <sup>(16)</sup>. Debido a lo mencionado anteriormente es que emplearemos las Especificaciones AISC para el diseño de los elementos estructurales.

Actualmente existen dos métodos para seleccionar los miembros de acero estructurales. Desde 1923 hasta el presente el AISC a codificado el **método de diseño del esfuerzo admisible** (ASD, Allowable Stress Design), en nueve ediciones sucesivas de su "Especificación para el diseño, fabricación y montaje de acero estructural para edificios" (también conocido como especificación AISC). Este método se caracteriza por el uso de un factor de seguridad. El esfuerzo admisible se obtiene dividiendo el esfuerzo límite (por ejem.  $F_y$ ) entre un factor de seguridad (F.S. determinado por los autores de la especificación). De tal forma que:

---

<sup>(16)</sup> CAPECO, Reglamento Nacional de Construcciones., pág. 301

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \frac{F_y}{F.S} \quad \text{donde } F.S > 1$$

Los esfuerzos reales en un miembro de acero se calculan dividiendo las fuerzas o los momentos por la sección apropiada (p. ej. área o módulo de sección). Luego los esfuerzos reales se comparan con los admisibles para asegurar que :

$$\text{Esfuerzo Real} \leq \text{Esfuerzo Admisible.}$$

Como puede deducirse no se hace distinción entre las diferentes clases de carga y debido a la amplia variabilidad e incertidumbre de la carga viva y de otras cargas en comparación con la carga muerta no es posible una exactitud uniforme para todas las estructuras.

Sin embargo, en los últimos 20 años, el diseño estructural se está moviendo hacia un procedimiento más racional basado en conceptos de probabilidades. Este procedimiento plantea la existencia de los llamados "estados límites" que son aquellas condiciones en las cuales la estructura deja de cumplir su función. Los estados límites se dividen en dos categorías: resistencia y servicio; la primera involucra el comportamiento para máxima resistencia dúctil, pandeos, fatiga, fractura, volteo o deslizamiento y la segunda, la funcionalidad de la estructura en situaciones tales como deflexiones, vibraciones, deformación permanente y rajaduras. Lo que se pretende es conseguir que la estructura no sobrepase los estados límites mencionados con una probabilidad adecuada, basada en métodos estadísticos.

En 1986 el AISC introduce oficialmente un nuevo método de diseño denominado **método de diseño del factor de carga y resistencia ( LRFD, Load and Resistance Factor Design)**<sup>(17)</sup> y a diferencia del método ASD, éste método utiliza un factor diferente

<sup>(17)</sup> ROKACH, Abraham J., Diseño de estructuras de acero., p. 6

para cada tipo de carga y otro para la resistencia. Cada factor es el resultado de un estudio estadístico de la variabilidad de la cantidad referida y puesto que los diferentes factores reflejan los grados de incertidumbre en las diferentes cargas y la resistencia, sí es posible una confiabilidad uniforme.

Es decir, este método asume que la carga  $Q$  y la resistencia  $R$  son variables aleatorias (ver figura). Cuando  $R$  excede a  $Q$  se tiene un margen de seguridad pero cuando  $R$  es menor que  $Q$  se tiene el caso de falla. El segundo gráfico de la figura indica que cuando  $R < Q$  (caso de falla) la relación  $R/Q$  es menor que 1 e introduce un índice llamado de confiabilidad ( $\beta$ ); cuanto más grande es  $\beta$ , más seguridad habrá de que  $R$  es mayor que  $Q$ . Se a creído conveniente valores de 2 a 4 para este índice.

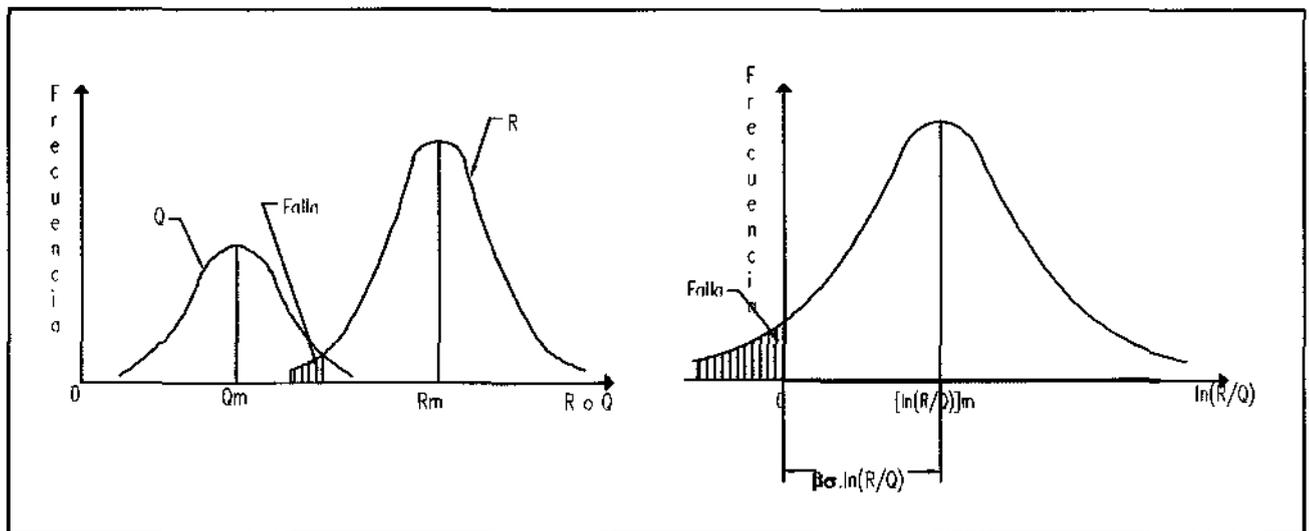


Fig. 2. 13

Teniendo en cuenta este criterio de base estadística, el requerimiento de seguridad estructural se expresa como sigue:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i * Q_i$$

En la parte izquierda de la inequación se tiene la Resistencia del componente o sistema y en la parte derecha la Carga esperada o sus efectos. Como se observa, la resistencia nominal es reducida por un factor menor que 1 ( $\phi$ ) llamado *factor de resistencia* para obtener la RESISTENCIA DE DISEÑO, así mismo, las cargas son multiplicadas por unos *factores de mayoración de cargas* ( $\gamma_i$ ) para prever cualquier exceso en las mismas. Debido a que el método de estados límites utiliza estos factores de resistencia y carga es que, como se dijo anteriormente, más se le conoce como Método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (en inglés **Load and Resistance Factor Design o LRFD**).<sup>(18)</sup>

Nosotros utilizaremos este último método por las siguientes razones:

- Este método se acerca más a la realidad de lo que ocurre en la vida útil de la estructura.
- El uso de varias combinaciones de carga conduce a una economía de la solución.
- Facilita el ingreso de las bases de diseño conforme más información esté disponible.
- Es posible introducir algunos cambios en los factores de mayoración de carga cuando se conoce con mayor exactitud la naturaleza de las cargas.
- Ordenando el método en forma de diagramas de flujo los ajustes y calibraciones futuras son más fáciles de hacer.
- Además las Especificaciones AISC-1986, que amparan el método LRFD, se basan en una calibración de los resultados con los que se obtienen con el método ASD. Lo cual garantiza que las estructuras no sean muy diferentes entre ambos métodos.<sup>(19)</sup>

---

<sup>(18)</sup> Cf. ZAPATA BAGLIETTO, Luis. Ob. cit., págs. 1-19 a 1-21.

<sup>(19)</sup> Cf. Ibid. pág 1-23 y 1-21.

A continuación se dan los valores más usados para los factores de carga y resistencia.

### Factores de mayoración de carga.

El método tiene como antecedente para los factores de mayoración, los valores dados en 1982 por los Estándares ANSI. Los factores se relacionan con las Combinaciones de Carga a considerar. En nuestro caso consideraremos las siguientes:

Fórmula AISC-LRFD	Combinación de Carga
A4.1	1.4D
A4.2	1.2D + 1.6L + 0.5(S o Lr o R)
A4.3	1.2D + 1.6(S o Lr o R) + (0.8W ó 0.5L)
A4.4	1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(S o Lr o R)
A4.5	1.2D + 1.5E + (0.5L ó 0.2S)
A4.6	0.9D - (1.3W ó 1.5E)

Donde:

D = Carga muerta.                      L = Carga viva.  
 S = Carga de nieve.                    Lr = Carga viva sobre el techo.  
 W = Carga de viento.                R = Carga inicial de lluvia.  
 E = Carga de sismo.

En nuestro caso, debido a la característica de la estructura no consideraremos

S, Lr, W, R, y E. Con lo que las dos combinaciones de carga a utilizar son:

$$\mathbf{A4.1 : 1.4D}$$

$$\mathbf{A4.2 : 1.2D + 1.6L}$$

A las anteriores combinaciones nosotros agregaremos una que considere las fuerzas horizontales (Lh), presentes en nuestros caso:

$$\mathbf{A4.3 : 1.2D + 1.6L + Lh}$$

Luego de aplicadas las combinaciones anteriores se tienen los efectos últimos  $Q$  que intervienen en los estados límites. Se considera, para efectos del diseño estructural la combinación que produzca la mayor sollicitación a la estructura en general o al miembro en particular.<sup>(20)</sup>

### Factor de Resistencia.

El factor de resistencia toma en cuenta que la resistencia nominal para un tipo de esfuerzo de un elemento estructural puede tener una dispersión estadística de su comportamiento, hecho que ha sido comprobado por estudios teóricos y de laboratorio.  $\phi$  es menor que 1 y sus valores para determinado tipo de sollicitación estarán definidos por el conocimiento que se tenga del comportamiento real del miembro o la conexión considerada.<sup>(21)</sup>

A continuación se dan algunos valores de  $\phi$  conocidos :

Miembro o Conector	Valor de $\phi$
Sección total en tracción.	0.90
Sección neta de conexión en tracción.	0.75
Miembro en flexión.	0.90
Miembro en compresión axial.	0.85
Pernos en tracción.	0.75

Por otro lado para determinar las acciones internas en los miembros de las estructuras se tienen que analizar las mismas para los efectos de las cargas y sus combinaciones. En la ingeniería estructural se conocen dos métodos de análisis: Elástico e Inelástico. No es nuestro objetivo ocuparnos de cada análisis; sin embargo

<sup>(20)</sup> Cf. ZAPATA B., Luis, Ob. cit., pág. 1-21,1-22.

<sup>(21)</sup> Cf. Ibid. pág. 1-22.

es necesario expresar que nosotros utilizaremos el Análisis Elástico de Primer Orden (considera la geometría inicial de la estructura para la determinación de los esfuerzos internos) para poder determinar los efectos de las cargas sobre la estructura. Así mismo, el método LRFD, tal como lo aplicaremos, planteará el análisis elástico de la estructura incrementando las cargas de acuerdo a las combinaciones de cargas del LRFD, para finalmente comparar los esfuerzos internos obtenidos, con los estados límites (Resistencia de Diseño) de los miembros y sus conexiones, buscando como objetivo que los primeros no excedan a estos últimos.

A continuación presentaremos las especificaciones de diseño para los estados de esfuerzo presentes en nuestra estructura, es decir, tracción axial, compresión axial y flexión.

#### 2.4.1. Miembros en tracción axial.

Se define como miembros en tracción axial a "los elementos de las estructuras en los cuales se generan esfuerzos internos que evitan que se separen los extremos cuando están sometidos a una fuerza axial"<sup>(22)</sup>. Estos elementos son los más fáciles de diseñar, porque no tienen problemas de pandeo; sin embargo en estos elementos las conexiones son muy importantes.

En tracción se tienen en cuenta tres estados límites, a saber:

1. Fluencia en la sección total (fuera de los conectores), lo que nos lleva a una Resistencia de Diseño de valor:

$$\phi_t \cdot P_n = \phi_t \cdot F_y \cdot A_g \quad \text{Donde } (\phi_t = 0.90)$$

---

<sup>(22)</sup> Ibid., pág. 3-1.

2. Fractura en la sección efectiva (en la zona de las conexiones), lo que nos lleva a una Resistencia de Diseño de valor:

$$\phi_t \cdot P_{nr} = \phi_t \cdot F_u \cdot A_e \quad \text{Donde } (\phi_t = 0.75)$$

En este caso es importante la definición de área neta ( $A_n$ ), pues:  $A_e = U \cdot A_n$ . Donde U es un factor menor que 1 si no todos los elementos que forman parte del miembro en tracción están totalmente conectados (por ejemplo un ángulo estructural que solo tiene emperrado un lado por el cual es sometido a tracción tendrá un factor  $U < 1$ ). Si todos los elementos del miembro en tracción están totalmente conectados  $U = 1$ .

Por otro lado se tiene que:  $A_n = W_n \cdot t$ . Donde t es el espesor de placa y  $W_n$  es el ancho neto, es decir el ancho menos los diámetros incrementados en un huelgo de valor 1/8" (0.32 cm) para considerar el agujero para los pernos y la zona dañada al agujerear. Lo anterior quiere decir que:

$$W_n = W_g - \sum D_i$$

Donde:  $W_g$  es el ancho total y

$$D_i = \text{Diámetro del agujero} + 0.32 \text{ cm.}$$

3. Falla por Bloque de Corte. Esta falla involucra tracción en un plano y corte en otro plano, generalmente se debe al uso de cada vez menos conectores por la existencia de pernos y soldaduras de altas resistencias. Para considerar el bloque de corte se tienen que analizar las siguientes posibilidades de falla: fractura de tracción más fluencia de corte y fractura de corte más fluencia de tracción. Esto se puede apreciar en el siguiente caso y será obvia su generalización. (ver figura) :

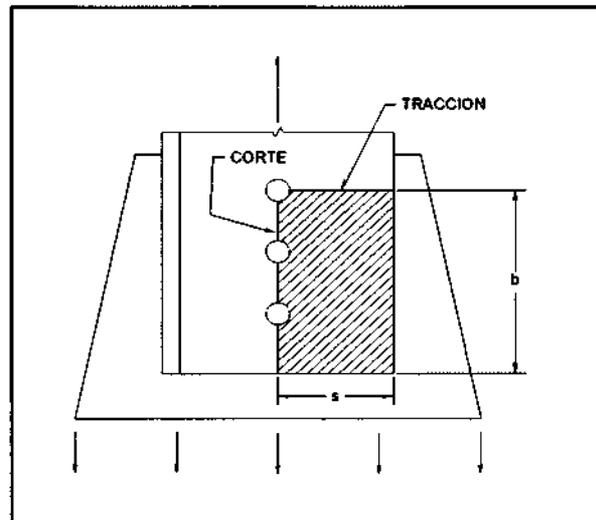


Fig. 2. 14

Fractura de Tracción + Fluencia de Corte:

$$\phi \cdot P_{bc} = 0.75(F_u \cdot A_{nt} + 0.6 F_y \cdot A_{vg})$$

Fractura de Corte + Fluencia de Tracción:

$$\phi \cdot P_{bc} = 0.75(0.6 F_u \cdot A_{ns} + F_y \cdot A_{tg})$$

Donde:

- $\phi_t$  = factor de resistencia = 0.75
- $A_{vg}$  = área total en corte =  $b \cdot t$
- $A_{ns}$  = área neta en corte =  $t[b - 2.5(d - h)]$
- $A_{tg}$  = área total en tracción =  $s \cdot t$
- $A_{nt}$  = área neta en tracción =  $t[s - 0.5(d + h)]$
- $h$  = huelgo para  $b$ . de corte =  $1/16''$  (0.16cm)
- $d$  = diámetro del conector.
- $t$  = espesor.

Controla el mayor de los dos valores indicados anteriormente.

Finalmente, aunque los miembros en tracción no están sujetos a pandeos, las Especificaciones AISC-LRFD en su sección B7, establece que  $L/r$  (relación de esbeltez)

no deberá exceder a 300, preferiblemente (excepto para varillas, las que no tienen esta limitación).<sup>(23)</sup>

#### 2.4.2. Miembros en compresión axial.

Los miembros en compresión axial son aquellos miembros con un estado de esfuerzos contrario a los miembros en tracción axial y "... en los cuales, la resistencia a las cargas aplicadas depende, entre otras cosas, de la longitud efectiva del miembro así como de la forma de su sección transversal. La longitud efectiva, depende, a su vez, de los tipos de conexiones y del desplazamiento relativo de sus nudos."<sup>(24)</sup>

La resistencia de estos miembros depende de los factores antes expuestos debido a que éstos pueden sufrir **pandeos**, es decir, existe una carga llamada Carga Crítica de Pandeo que puede llegar a controlar el diseño de estos miembros.

Por lo tanto, es importante definir el fenómeno de pandeo. El pandeo es "... aquella situación que se produce en un elemento prismático cuando la carga actuante  $P$  de compresión alcanza un valor crítico  $P_{cr}$  (carga crítica de pandeo), causando una deformación lateral de magnitud indeterminada."<sup>(25)</sup> Dependiendo de la forma de la deformación y de los elementos que intervienen en ella el pandeo puede ser de los siguientes tipos:

A. Pandeo Flexional. Produce una excesiva flexión alrededor de uno de los ejes de su sección transversal llamado eje crítico.

B. Pandeo Torsional. Produce una rotación alrededor del centro de corte de su sección transversal.

---

<sup>(23)</sup> Cf. Ibid. pág. 3-11.

<sup>(24)</sup> ZAPATA BAGLIETTO, Luis., Ob. cit., pág. 6-1.

<sup>(25)</sup> Ibid., pág. 6-2.

C. Pandeo Flexo-torsional. Produce excesiva flexión combinada con rotación.

D. Pandeo Local. Produce deformaciones excesivas de los elementos (placas) componentes de la sección transversal de los miembros en compresión.

Sin embargo, el pandeo torsional o flexo-torsional es de consideración solo en aquellos elementos de sección abierta (I, C, H, ángulos, etc) de pequeño espesor y sometidos a compresión axial.<sup>(26)</sup> Por este motivo creemos que nuestra elección de montantes hechos de tubo estructural es acertada.

Teniendo en cuenta lo anterior, los pandeos a considerar en nuestro caso son: el pandeo flexional y el pandeo local.

Para el pandeo flexional, la ecuación de Euler permite determinar el esfuerzo unitario crítico de pandeo elástico ( $F_{cr}$ ). Dicha ecuación es:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Donde:  $r$  = radio de giro.  $I = A \cdot r^2$

$L/r$  = relación de esbeltez.

$K$  = factor de longitud.

Cabe resaltar que la expresión anterior es válida solo si  $F_{cr}$  es menor que el límite de proporcionalidad entre la deformación y el esfuerzo aplicado ( $F_p$ ), vale decir dentro del rango elástico, como se aprecia en la figura.

<sup>(26)</sup> Cf. LARBURU A., Nicolás, Estructuras metálicas de acero, pág. 189.

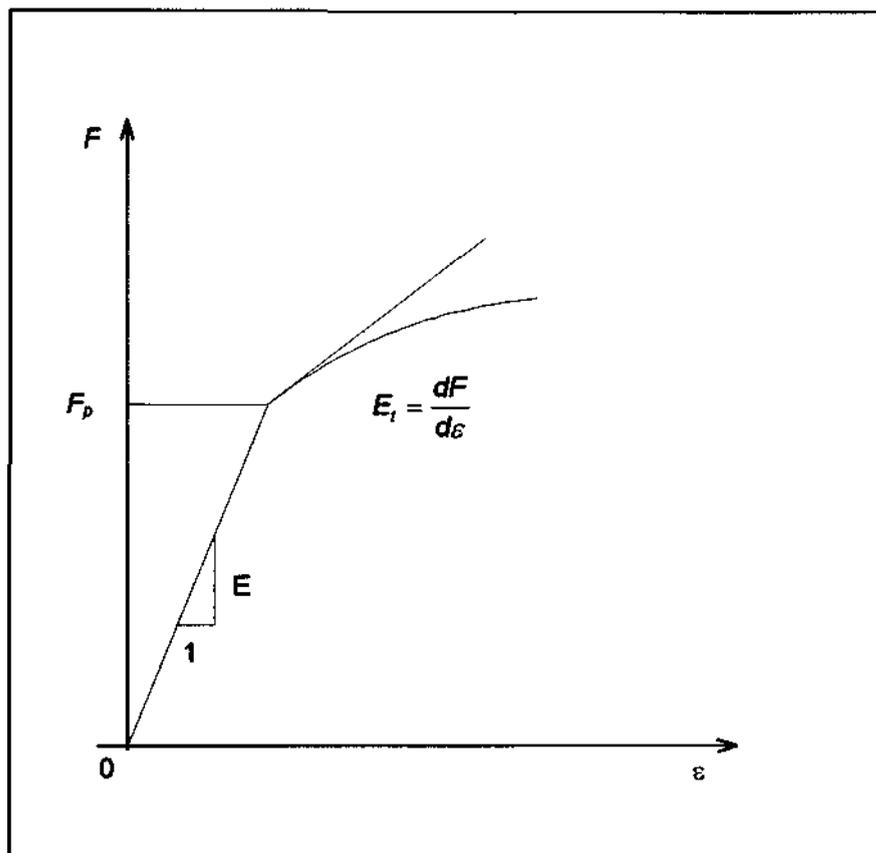


Fig. 2. 15

Cuando  $F_{cr}$  es mayor que  $F_p$ , existen discrepancias respecto a qué módulo de elasticidad considerar; sin embargo como es más práctico y conservador determinar la carga por la Teoría del Módulo Tangente, el CRC (Column Research Council ahora conocido por Structural Stability Research Council SSRC) adoptó el Módulo Tangente ( $E_t$ ) como el módulo a considerar, este mismo criterio es también la base de la fórmula del AISC. La expresión es como sigue:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t}{(KL/r)^2}$$

Donde:  $E_t = dF/d\varepsilon$

No obstante, en el rango inelástico son de consideración los esfuerzos residuales, producto de los procesos de fabricación, según lo que se aprecia en la figura siguiente.

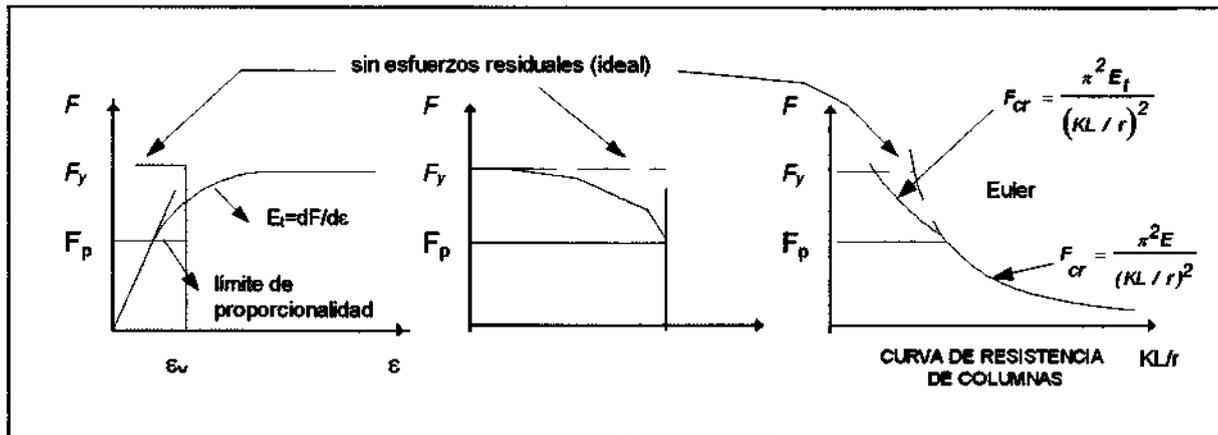


Fig. 2. 16

El SSCR tomando como base la curva anterior propuso una curva parabólica para columnas en el rango inelástico considerando los esfuerzos residuales. Esta curva (ver figura) introduce un parámetro  $\lambda_c$ , llamado Función de Esbettez, definido como sigue:

$$\lambda_c^2 = \frac{F_y}{F_{cr(Euler)}} = \frac{F_y}{\frac{\pi^2 \cdot E}{(KL/r)^2}}$$

Por lo tanto:

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 \cdot E}}$$

Entonces la parábola propuesta por SSCR en términos de  $\lambda_c$  se convierte en:

$$F_{cr}/F_y = 1 - \lambda_c^2/4 \text{ para } \lambda_c^2 \geq \sqrt{2}.$$

Se debe tener en cuenta que cuando  $\lambda_c^2 = \sqrt{2}$  la parábola del SSCR y la hipérbola de Euler coinciden. Lo cual nos lleva al hecho de que cuando  $\lambda_c^2 > \sqrt{2}$  vale la fórmula de Euler.

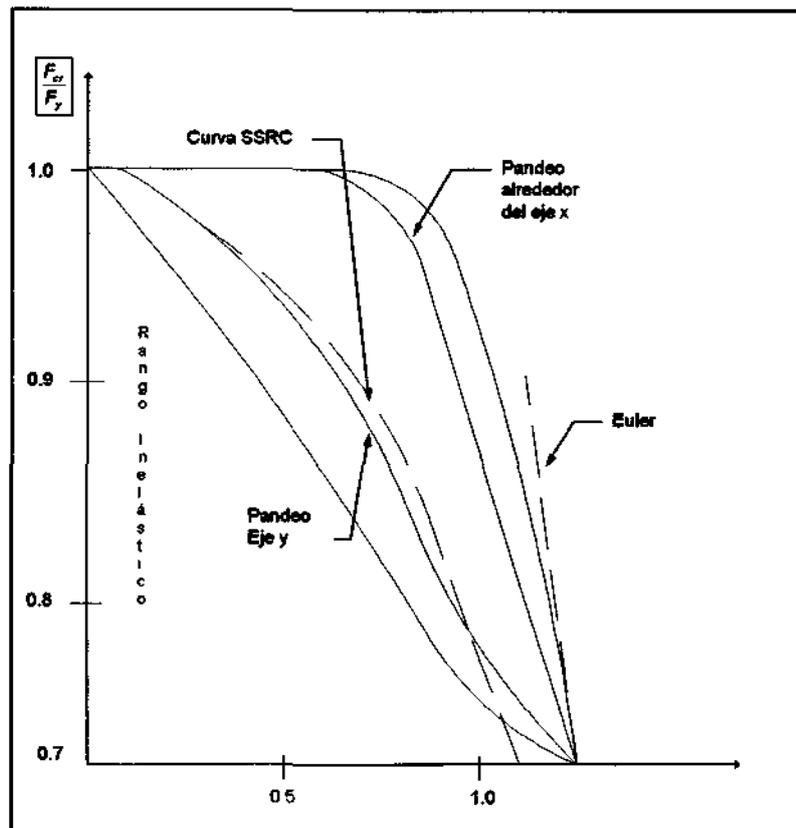


Fig. 2. 17

Por otro lado, el AISC en su método LRFD para el caso de columnas cargadas axialmente y que pandean en el rango inelástico, prefiere usar una expresión basada en una regresión estadística que se ajusta a las curvas de resistencia de columnas. Así mismo, en el rango elástico usa la fórmula de Euler, pero con una disminución de los valores que se espera alcanzar con dicha fórmula, para considerar la falta de rectitud de las columnas esbeltas.

El AISC incluye también un factor de reducción  $Q$ , que sirve para controlar el pandeo local de los elementos de la sección de columna que pandea en el rango inelástico. Las expresiones resultantes son las siguientes:

**A. Cuando  $\lambda_c \leq 1.5$  (Rango Inelástico) :**

$$F_{cr} = (0.658^{\phi \lambda_c^2}) Q \cdot F_y \quad \text{-----} \rightarrow (A)$$

**B. Cuando  $\lambda_c > 1.5$  (Rango Elástico) :**

$$F_{cr} = \frac{(0.877)}{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad \text{-----} \rightarrow (B)$$

En ambas expresiones  $F_y$  esta en  $t/cm^2$ .

El factor de reducción **Q** depende si los elementos componentes de la sección transversal en compresión, son placas **atiesadas** o **no atiesadas**.

Una placa atiesada es aquella que tiene sujetos los bordes paralelos a la dirección del esfuerzo. Las placas no atiesadas tienen sólo un borde sujeto y el otro libre (Ver la figura siguiente).

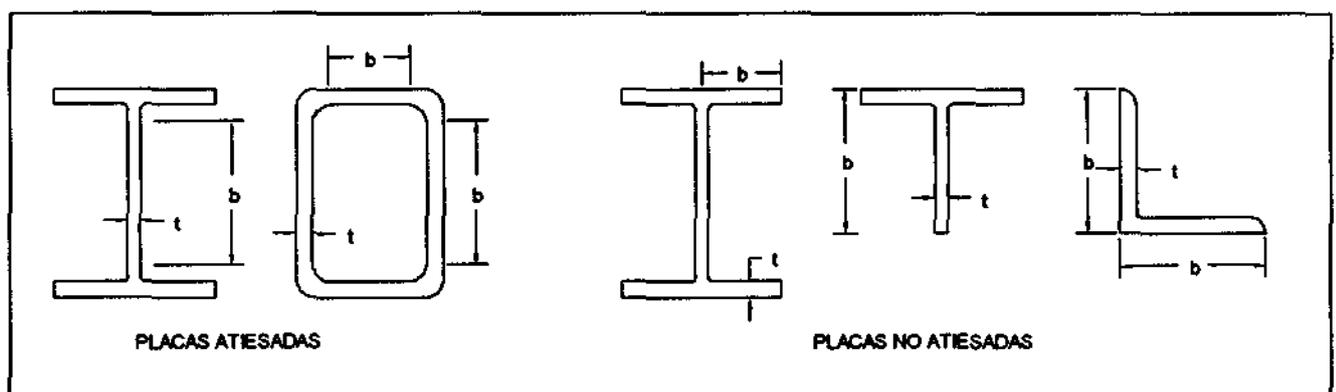


Fig. 2. 18

Cuando se tiene placas atiesadas, existe un fenómeno llamado Resistencia de Postpandeo, que lleva a la placa a obtener esfuerzos tan altos como los de fluencia. Este fenómeno es debido al efecto tirante de las bandas perpendiculares a la dirección del esfuerzo, que restringen el pandeo de las bandas paralelas al esfuerzo aplicado. El factor **Q**, por lo tanto toma en cuenta esto y lo expresa mediante un sub-factor  $Q_s$ .

En placas no atiesadas el esfuerzo crítico es menor que el de fluencia lo que se tiene en cuenta mediante un sub-factor  $Q_s$ , de tal manera que cuando la sección esta

formada tanto por elementos atiesados y no atiesados el factor  $Q$  se define como:  $Q = Q_a \cdot Q_s$ .

De lo anterior se deduce que cuando solo se tienen elementos atiesados (nuestro caso) el factor  $Q_s = 1$ .<sup>(27)</sup>

Hay que recordar que en el diseño por compresión, lo que se pretende es que primero se llegue al estado límite de fluencia en la placa antes que la misma alcance el esfuerzo de pandeo crítico. El AISC toma en cuenta esto en la siguiente expresión:

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - m^2)} (t / b^2) \geq F_y$$

Acomodando la inecuación, se puede expresar que la relación ancho-espesor debe ser menor a un valor dependiente de las características de la sección y cuyas expresiones pueden ser examinadas en el manual AISC-LRFD.<sup>(28)</sup> Cuando la relación  $b/t$  es mayor que los límites propuestos en el AISC y la sección es formada en su totalidad por elementos atiesados, se puede aprovechar el fenómeno de postpandeo.

Para secciones de tubos, el límite será  $3300/F_y$  y para aprovechar el efecto de postpandeo la relación  $D/t$  debe estar entre los siguientes límites:

$$3300/F_y < D/t < 13300/F_y \quad (F_y \text{ en ksi})$$

Si se cumple lo anterior, el valor de  $Q$  será:

$$Q = \frac{1100}{F_y \cdot (D/t)} + \frac{2}{3} \quad (F_y \text{ en ksi})$$

Debido a que es muy conveniente aprovechar el postpandeo en elementos atiesados si la relación  $D/t$  está fuera de estos límites hay que cambiar  $D$  o  $t$ .

<sup>(27)</sup> Cf. AISC, Manual of Steel Construction ASD., p 5-101.

<sup>(28)</sup> Ver También en ZAPATA BAGLIETTO, Luis. Ob. cit., págs. 6-35, 6-36.

Una vez conocido Q se puede aplicar la ecuación A o B según sea el caso, para el cálculo de  $F_{cr}$ . Conocido el valor de  $F_{cr}$  el requerimiento o la condición para que el miembro esté bien diseñado será:

$$\phi_c \cdot A_g \cdot F_{cr} \geq P_u$$

Donde:  $\phi_c$  = 0.85 (Factor de Carga en Compresión)  
 $A_g$  = Área de la sección transversal del miembro.  
 $P_u$  = Carga factorizada.  
 $A_g \cdot F_{cr} = P_n$  (Resistencia Nominal)

Si no se cumple la inecuación anterior hay que rediseñar el miembro.

Finalmente, otro aspecto a verificar es la relación de esbeltez. Respecto a esto el AISC-LRFD establece: " Para miembros cuyo diseño se basa en esfuerzos de compresión, la relación,  $KL/r$  es preferible que no sobrepase 200". La palabra preferible implica que esta limitación no es obligatoria, debido a que no existe una razón matemática para este límite; sin embargo, nosotros obedeceremos el límite de manera referencial aunque la obediencia al mismo no será exacta.<sup>(29)</sup>

### 2.4.3. Miembros en Flexión.

Los miembros en flexión son "...aquellos elementos estructurales que sostienen cargas transversales a su eje longitudinal. [...] Miembros que trabajen a flexión pura corresponden a una situación difícil de encontrar en la práctica. Lo más común es que sobre la sección actúen, simultáneamente, los esfuerzos normales a la reacción provenientes de la flexión, y los tangentes debido al corte."<sup>(30)</sup>

En nuestro caso el miembro que se encuentra a flexión es la viga maestra. Esta viga, tiene una sección I, debido a que por ella circulará el dispositivo de elevación y

<sup>(29)</sup> Cf. ZAPATA BAGLIETTO, Luis., Ob. cit., pág. 6-25.

<sup>(30)</sup> ZAPATA BAGLIETTO, Luis., Ob. cit., pág. 7-1.

porque un elemento de doble simetría es preferible a uno con sólo una simetría o asimétrico para evitar pandeo torsional considerable.

El análisis de vigas en flexión inicia considerando una viga continuamente arriostrada (por ejemplo una viga de techo, que no se le permite pandear alrededor de su eje Y). En estas vigas son de consideración solo los efectos de la flexión, es decir, tracción en media sección y compresión en la otra mitad de la misma, dependiendo del sentido de las cargas transversales. Sin embargo, cuando una viga no está continuamente arriostrada, como en nuestro caso, aparece un pandeo del ala en compresión y en una parte del alma, este pandeo es alrededor del eje Y pues alrededor del eje X es imposible porque el resto del alma se lo impide; no obstante no sólo aparece un posible pandeo flexional sino que debido a que el ala en tracción trata de mantener su posición existirá también una rotación adicional.

En este tipo de vigas (no arriostradas continuamente) toma vital importancia la distancia entre arriostramientos o, en nuestro caso, la luz de viga ( $L_b$ ). La siguiente figura muestra el efecto  $L_b$  para la resistencia al pandeo lateral-torsional.

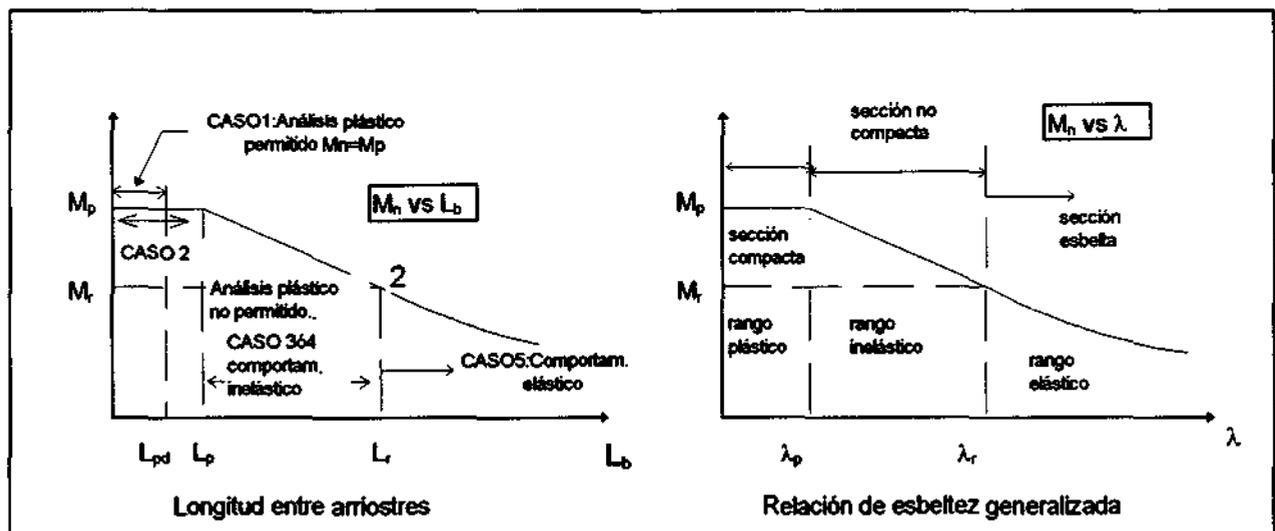


Fig. 2. 19

La gráfica anterior hace mención a 5 casos de análisis dependiendo de los límites  $L_{pd}$ ,  $L_p$  y  $L_r$ . Es importante, determinar ahora estos límites y el tipo de diseño a utilizar en cada caso.

**CASO 1: Cuando se alcanza  $M_p$  con largas deformaciones en las rótulas plásticas: ( $R > 3.0$ ).**

La sección debe ser compacta:  $b_f/2t_f \leq \lambda_p$  y  $h_c/t_w \leq \lambda_p$ .

$$L_b \leq L_{pd} = \frac{3600 + 2200 \cdot M_1 / M_p}{F_y, [ksi]} \times r_y$$

En este caso se puede aplicar el Diseño Plástico en acero.

**CASO 2: Cuando se alcanza el  $M_p$  ( $M_n = M_p$ ) pero con relativamente pequeña rotación: ( $R < 3.0$ ).**

La sección debe ser compacta:  $b_f/2t_f \leq \lambda_p$  y  $h_c/t_w \leq \lambda_p$ .

Además :  $L_b < L_p$  cuando  $C_b = 1.0$

$$L_p = \frac{300 \cdot r_y}{\sqrt{F_y}} ; F_y [ksi]$$

**CASO 3: Pandeo Lateral-torsional de secciones compactas puede ocurrir en el rango inelástico ( $M_p > M_n \geq M_r$ ):**

La resistencia nominal puede aproximarse por la relación lineal de la curva básica y obtener la expresión que a continuación se muestra ; verificando además que la sección debe ser compacta ( $\lambda < \lambda_p$ )

$$M_n = C_b \left( M_p - (M_p - M_r) \frac{(L_b - L_p)}{(L_r - L_p)} \right) \leq M_p$$

Donde  $M_r = (F_y - F_r) \cdot S_x$  y  $F_r = 1130 \text{ Kg/cm}^2$  (esfuerzos residuales de perfiles soldados). Por otro lado,  $L_r$  se calcula como sigue:

$$L_r = \frac{r_y \cdot X_1}{(F_y - F_r)} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (F_y - F_r)^2}}$$

Donde:

$$X_1 = \frac{p}{S_x \cdot \sqrt{E \cdot G \cdot J \cdot A / 2}} \dots; \dots X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y \cdot (S_x / G \cdot J)^2}$$

$X_1$  y  $X_2$  solo sirven para simplificar la escritura de las expresiones, no tienen significado físico.

#### **CASO 4: Estado Límite General cuando la Resistencia Nominal de Momento $M_n$ ocurre en el Rango Inelástico ( $M_p > M_n \geq M_r$ ):**

Cuando  $L_p < L_b < L_r$  para el pandeo lateral-torsional o cuando  $\lambda_p < b_f/2t_f < \lambda_r$  para el pandeo local del ala o  $\lambda_p < h_o/t_w < \lambda_r$  para el pandeo local del alma.

El AISC-LRFD da como resistencia para el caso de pandeo local:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}$$

Y para el caso de posibilidad de pandeo lateral-torsional:

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - M_r) \frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)} \right] \leq M_p$$

Donde  $\lambda = L_b/r_y$ ,  $\lambda_p = L_p/r_y$ ,  $\lambda_r = L_r/r_y$ .

Para considerar la gradiente de momento, se acepta un término denominado Gradiente cuya expresión es:

$$C_b = 1.75 + 1.05(M_1 / M_2) + 0.3(M_1 / M_2)^2 \leq 2.3$$

$M_1$  y  $M_2$  son los momentos en los extremos del tramo arriostrado, se toma  $M_1$  como el menor de ellos,  $M_1/M_2$  es negativo cuando el diagrama de momento es del mismo signo dentro del tramo y positivo cuando el diagrama de momentos cambia de signo en el tramo.  $C_b$  es igual a 1 cuando cualquier momento en el tramo estudiado sobrepasa a los momentos en los extremos de ese tramo.

**CASO 5: Estado Límite General donde la Resistencia Nominal  $M_n$  iguala la Resistencia del Pandeo Elástico  $M_{cr}$ : ( $M_n < M_r$ )**

Cuando las relaciones de esbeltez límites para evitar el pandeo local de las alas o del alma no exceden  $\lambda_r$  entonces, de acuerdo a LRFD-F4:

$$M_n = M_{cr} = \frac{C_b \cdot S_x \cdot X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \cdot \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \cdot X_2}{2(L_b / r_y)^2}} \leq C_b \cdot M_r$$

Cuando las relaciones de esbeltez límites ( $\lambda_r$ ) son excedidas se toma en cuenta el pandeo local tal como se hizo en el diseño por compresión.

Existen tablas para la selección rápida de perfiles fabricados en el Perú. En ellas para cada perfil se obtiene  $\phi_b \cdot M_p$ ,  $\phi_b \cdot M_r$  según la luz de viga. En ellas se da también el cortante máximo que puede soportar la viga.

Finalmente debe cumplirse que:

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

Y que :

$$\phi_v \cdot V_n \geq V_u$$

## **CAP. III : ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS GEOMÉTRICAS.**

### **3.1. Introducción.**

El objetivo de este capítulo es hacer una evaluación de las tres alternativas geométricas planteadas anteriormente para determinar cuál de ellas nos proporciona las mayores ventajas estructurales y por ende, económicas. Tomaremos como factor de evaluación el peso total de la estructura debido a que un menor peso implica mayor economía y fácil transportabilidad.

El método a seguir será el siguiente: Primero, elegir unos perfiles y tubos con dimensiones tentativas, con estos elementos elegidos en base a pórticos existentes se lleva a cabo el análisis estructural, para determinar los esfuerzos que actúan en cada elemento. Para el análisis utilizaremos el SAP 80, un programa para el análisis de estructuras en 2 y 3 dimensiones (este programa está basado en el método de rigidez

matricial). Luego con los valores de fuerzas y momentos en cada elemento, se especula numéricamente para determinar hasta qué punto se puede reducir las dimensiones de cada elemento a fin de lograr una mayor economía.

Cabe señalar que el objetivo de este capítulo no es diseñar la estructura, por lo tanto no nos interesará, hasta cierto punto, si los elementos cumplen con las resistencias nominales, siempre y cuando se tenga una idea clara de la economía de una alternativa respecto de otra.

Sin embargo, aunque no se piensa diseñar en este capítulo, sí se puede dar a conocer las razones por las que se eligieron los diferentes perfiles para cada elemento.

Para la viga se elige un perfil "I" porque es el más adecuado como camino de rodadura para el dispositivo de elevación y además es un perfil de buen comportamiento en flexión.

Los tirantes, por ahora son de varilla porque la varilla se comporta muy bien en tracción y además no tiene limitación de pandeo a tracción, no obstante no se descarta la utilización de otro perfil por razones de diseño, por razones de acloppamiento o por razones de estética.

Para los montantes se elige el tubo como perfil porque tiene las siguientes ventajas: es más ligero, es de fácil transporte, tiene menos superficie a proteger de la corrosión (por lo tanto menos gasto en pintura anticorrosiva), se puede unir con soldadura directamente si utilizar cartelas u otros elementos que aumenten el peso de la estructura y posibilita la construcción de estructuras espaciales con uniones bastante simples asegurando la convergencia en el centro del nudo de todas las barras y la realización de estructuras estéticamente agradables. Por otro lado el tubo, como perfil, posee la misma inercia en todos los sentidos, a igualdad de sección tiene mayor radio de giro mínimo lo que es muy favorable en elementos a compresión, así mismo la

sección anular presenta una resistencia a la torsión muy superior a la de los restantes perfiles.

Teniendo en cuenta las razones anteriores y considerando las dimensiones tentativas que a continuación se indican es que se procederá al análisis y evaluación de cada alternativa.

### 3.2. Elección de la alternativa geométrica a utilizar.

Proporcionaremos a continuación los perfiles y tubos, con sus respectivas dimensiones características para cada alternativa.

#### 3.2.1. Alternativa geométrica 1.

La alternativa geométrica 1 tiene 7 elementos y 6 nudos, estos están dispuestos de la siguiente manera:

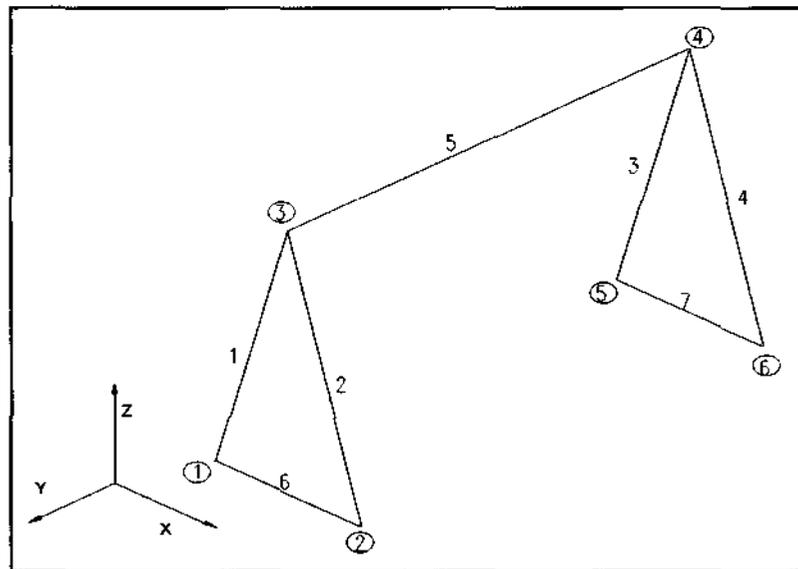


Fig. 3. 1

Las especificaciones de cada elemento son las siguientes:

#### Viga Maestra : Elemento 5.

MATERIAL : Acero ASTM A36  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (36 ksi)

$$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2 \text{ (58 ksi)}$$

DESIGNACIÓN : VLS 150x22

CARACTERÍSTICAS:  $A = 28,1 \text{ cm}^2$  Peso = 0,22 kg/cm

$$d = 15,2 \text{ cm} \quad I_x = 1120 \text{ cm}^4$$

$$J = 7,0 \text{ cm}^4 \quad I_y = 173 \text{ cm}^4 \quad \dots^{(1)}$$

#### Montantes : Elementos 1,2,3,4.

MATERIAL : Acero ASTM A53  $F_y = 2460 \text{ kg/cm}^2$  (35 ksi)

Tipo E -Tubo  $F_u = 4220 \text{ kg/cm}^2$  (60 ksi)

DIAMETRO NOMINAL:  $D = 2,5'' = 6,35 \text{ cm}$

CARACTERÍSTICAS :  $D_{ext} = 7,3025 \text{ cm}$   $A = 10,97 \text{ cm}^2$  Peso = 0,086 kg/cm

$$D_{int} = 6,2713 \text{ cm} \quad I = 63,68 \text{ cm}^4 \quad J = 127,33 \text{ cm}^4$$

$$r_g = 2,405 \text{ cm} \quad \dots^{(2)}$$

#### Tirantes : Elementos 6,7.

MATERIAL : Acero ASTM A36  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (36 ksi)

Barra Circular  $F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$  (58 ksi)

DIAMETRO NOMINAL:  $D = 1'' = 2,54 \text{ cm}$

CARACTERÍSTICAS :  $A = 5,07 \text{ cm}^2$  Peso = 0,051 kg/cm

$$I = 2,043 \text{ cm}^4 \quad J = 4,086 \text{ cm}^4$$

$$r_g = 0,635 \text{ cm} \quad \dots^{(3)}$$

Estos datos son obtenidos de las fuentes citadas, tanto para esta, como para las demás alternativas.

<sup>(1)</sup> Tabla de perfiles soldados en ZAPATA BAGLIETTO, L. Ob. cit.

<sup>(2)</sup> Manual AISC-ASD, pág. 1-93.

<sup>(3)</sup> Manual AISC-ASD, pág. 1-108.

Así mismo para todos los casos se trabajará con una carga viva de 5000 kg en el centro de la viga maestra y como carga muerta se tomará el peso de la misma, en este caso 0,22 kg/cm

El archivo de datos de entrada para el programa SAP-80 y los archivos de salida para esta alternativa y las siguientes se muestra en el anexo A.

Luego de la ejecución del programa se obtienen los desplazamientos y las fuerzas internas producto de los dos tipos de carga. Estos datos pueden observarse en el anexo A.

De los resultados obtenidos los datos que nos interesan por ahora son los siguientes:

	Elementos Afectados	Debido a la C.M.	Debido a la C.V.
Comp.Axial	1,2,3,4	-19,72 kg	-1280,48 kg
Trac.Axial	6,7	4,28 kg	277,74 kg
Mom.Extram	5	-2245,83 kgxcm	-218750 kgxcm
Mom.Centro	5	1122,92 kgxcm	218750 kgxcm
Cort.Extr.	5	38,50 kg	2500 kg
Cort.Cent.	5	00,00 kg	5000 kg

### 3.2.1.1. Análisis de los montantes: esfuerzos de compresión.

Por la simetría de la estructura y de la carga todos los montantes están sometidos al mismo esfuerzo.

$$F_{cv} = -1280,48 \text{ kg}$$

$$F_{cm} = -19,72 \text{ kg}$$

Calcularemos en éste y los demás casos una carga mayorada con fines de comparación (recordar que no se está diseñado). Mayorando las dos cargas anteriores y sumando tenemos según el AISC-LRFD :

$$1,2D + 1,6L = 1,2(-19,72) + 1,6(-1280,48) = -2072,432 \text{ kg}$$

Debido a que se trata de elementos atiesados (tubo circular), es posible utilizar el fenómeno de post-pandeo; sin embargo para que esto suceda, la relación  $D/t$  debe cumplir:

$$3300/F_y < D/t < 13300/F_y$$

En nuestro caso, la inecuación anterior no se cumple; por lo tanto el factor  $Q$  no se tiene en cuenta, y como  $D/t < 3300/F_y$  primero se llega a la fluencia y luego al pandeo local. Esto implica que el procedimiento para el cálculo del esfuerzo permisible ( $\phi_f.P_n$ ) es el siguiente:

Cálculo de  $Kl/r$  ( $K=1$ ):

$$\frac{K.l}{r} = \frac{1(461)}{2.47} = 186.64$$

Como  $Kl/r < 200$  , se acepta.

Cálculo de  $\lambda_c$  :

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r.\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{186.64}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21 \times 10^5}} = 2.03$$

Como  $\lambda_c > 1,5$ :

$$F_{cr} = 70.3 * \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) * 35 = 523.57 \text{ Kg / cm}^2$$

Cálculo de la resistencia del elemento:

$$\phi_c.P_n = f_c.A_g.F_{cr} = 0,85 * 10,97 * 523,57$$

$$\phi_c.P_n = 4876,714 \text{ kg}$$

$$P_u = 2072,432 \text{ kg}$$

Por lo tanto:  $P_u < \phi_c \cdot P_n$ , con lo cual se aceptan las dimensiones.

La aceptación hecha anteriormente puede que no sea correcta porque el estudio se ha realizado con la carga en el centro, posición que no produce los máximos esfuerzos en los montantes; sin embargo como lo que queremos es comparar el comportamiento de todas las alternativas entre sí, trabajaremos con estas dimensiones.

Especulando con un tubo de menor diámetro, por ejemplo 2", se tendrá:

$$A = 6,903 \text{ cm}^2 \quad r_g = 1,999 \text{ cm}$$

$$\text{Con lo cual: } KI/r = 1(461)/1,999 = 230,6$$

Como  $KI/r > 200$ , no es recomendable este diámetro.

Se podría reducir el diámetro arriostrando con un tirante a media altura; pero el arrioste limitaría el pandeo en un sentido existiendo aún la posibilidad de pandeo en el otro sentido; por otro lado un tirante a media altura dificultaría el montaje y desmontaje de la estructura. Por estas razones descartamos un tubo de menor diámetro por peligro de pandeo.

Por lo tanto utilizaremos para este caso:

$$\text{Tubo de } D_{\text{nom}} = 2\frac{1}{2} \text{ "}$$

$$\text{Peso de tubo} = 0,086 \text{ kg/cm}$$

### 3.2.1.2. Análisis de los tirantes: esfuerzos de tracción.

De los resultados del análisis:

$$F_{\text{CM}} = 4,28 \text{ kg}$$

$$F_{\text{CV}} = 277,74 \text{ kg}$$

Cálculo de la carga mayorada de tracción  $T_u$  :

$$T_u = 1,2(4,28) + 1,6(277,74) = 448,34 \text{ kg}$$

Utilizaremos la sección total, pues todavía no conocemos los dispositivos de acople a emplear. Por lo tanto:

$$A = 5,07 \text{ cm}^2 \text{ y } T_u/A = 448,34/5,07 = 88,43 \text{ kg/cm}^2$$

Como el  $\phi_t = 0,9$  y  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ , la resistencia del miembro a tracción es :  $\phi_t \cdot F_y = 0,9 \cdot 2530 = 2277 \text{ kg/cm}^2$

Se observa que  $T_u/A \ll \phi_t \cdot F_y$  lo cual indica que el miembro cumple con la resistencia de diseño; pero la diferencia es excesiva.

Como el tirante es hecho de varilla de acero y éstas no tienen limitación de esbeltez en tracción, no consideraremos este aspecto.

Especulando con una reducción del diámetro de la varilla a utilizar, se tiene lo siguiente:

$$\text{Para varilla de } D_{nom} = 3/4 \text{ " } \quad A = 2,85 \text{ cm}^2$$

$$T_u/A = 448,34/2,85 = 157,3 \text{ kg/cm}^2 \ll \phi_t \cdot F_y$$

$$\text{Para varilla de } D_{nom} = 1/2 \text{ " } \quad A = 1,27 \text{ cm}^2$$

$$T_u/A = 448,34/1,27 = 353 \text{ kg/cm}^2 < \phi_t \cdot F_y \text{ ok!}$$

Por lo anterior, por ahora utilizaremos para esta configuración: Varilla de  $D_{nom} = 1/2 \text{ "}$

$$\text{Peso de varilla} = 0,01 \text{ kg/cm}$$

### 3.2.1.3. Análisis de la viga: Flexión.

De la Tabla de selección de perfiles soldados para diseño de miembros en flexión se obtiene que para el perfil VLS150x22 las características son:

$$L_p = 124 \text{ cm} \quad \phi_b \cdot M_p = 3,8 \text{ ton-m} = 380000 \text{ kgxcm}$$

$$L_r = 725 \text{ cm} \quad \phi_b \cdot M_r = 1,8 \text{ ton-m} = 180000 \text{ kgxcm}$$

De los datos anteriores se puede interpolar para obtener la resistencia para la luz de viga que tenemos:  $L_b = 350$  cm

Interpolando :  $L_b = 350$  cm  $\phi_b.M = 305000$

Calculando los momentos últimos presentes en la viga se tiene:

$$M_u^+ = 1,2(1122,92) + 1,6(218750) = 351347,5 \text{ kgxcm}$$

$$M_u^- = 1,2(-2245,83) + 1,6(-218750) = -352695,0 \text{ kgxcm}$$

Se puede ver que  $\phi_b.M < |M_{u-}|$  en consecuencia no cumple con la resistencia de diseño.

Eligiendo el perfil VS300x19 se tiene:

$$L_p = 588 \text{ cm} > L_b = 350 \text{ por lo tanto:}$$

$$\phi_b.M = \phi_b.M_p = 3,6 \text{ ton-m.} = 360000 \text{ kgxcm}$$

El valor anterior es mayor que el máximo momento negativo, con lo cual cumple con la resistencia de diseño.

Por lo tanto utilizaremos: Perfil de Viga VS 300x19

$$\text{Peso de Viga} = 0,187 \text{ kg/cm}$$

#### 3.2.1.4. Cálculo del peso estimado de la estructura.

El peso de la estructura es aproximado pues sólo se está tomando en cuenta los elementos de la estructura sin considerar los elementos de acople. El peso se calcula, para este caso, de la siguiente manera:

$$\text{Peso Total} = N_{tb} * P_{tb} * L_{tb} + N_{vr} * P_{vr} * L_{vr} + L_v * P_v$$

Donde:  $N_{tb}$  = número de tubos.  
 $P_{tb}$  = Peso del tubo por unidad de longitud.  
 $L_{tb}$  = Longitud del tubo.  
 $N_{vr}$  = número de varillas.  
 $P_{vr}$  = Peso de la varilla por unidad de longitud.  
 $L_{vr}$  = Longitud de la varilla.  
 $L_v$  = Longitud de la viga.  
 $P_v$  = Peso de la viga por unidad de longitud.

Por lo tanto:

$$\text{Peso Total} = 4 \cdot 0,086 \cdot 461 + 2 \cdot 0,01 \cdot 200 + 350 \cdot 0,187$$

$$\text{Peso Total} = 228,034 \text{ kg}$$

### 3.2.2. Alternativa geométrica 2.

La alternativa geométrica 2 tiene 13 elementos y 8 nudos, estos están dispuestos de la siguiente manera:

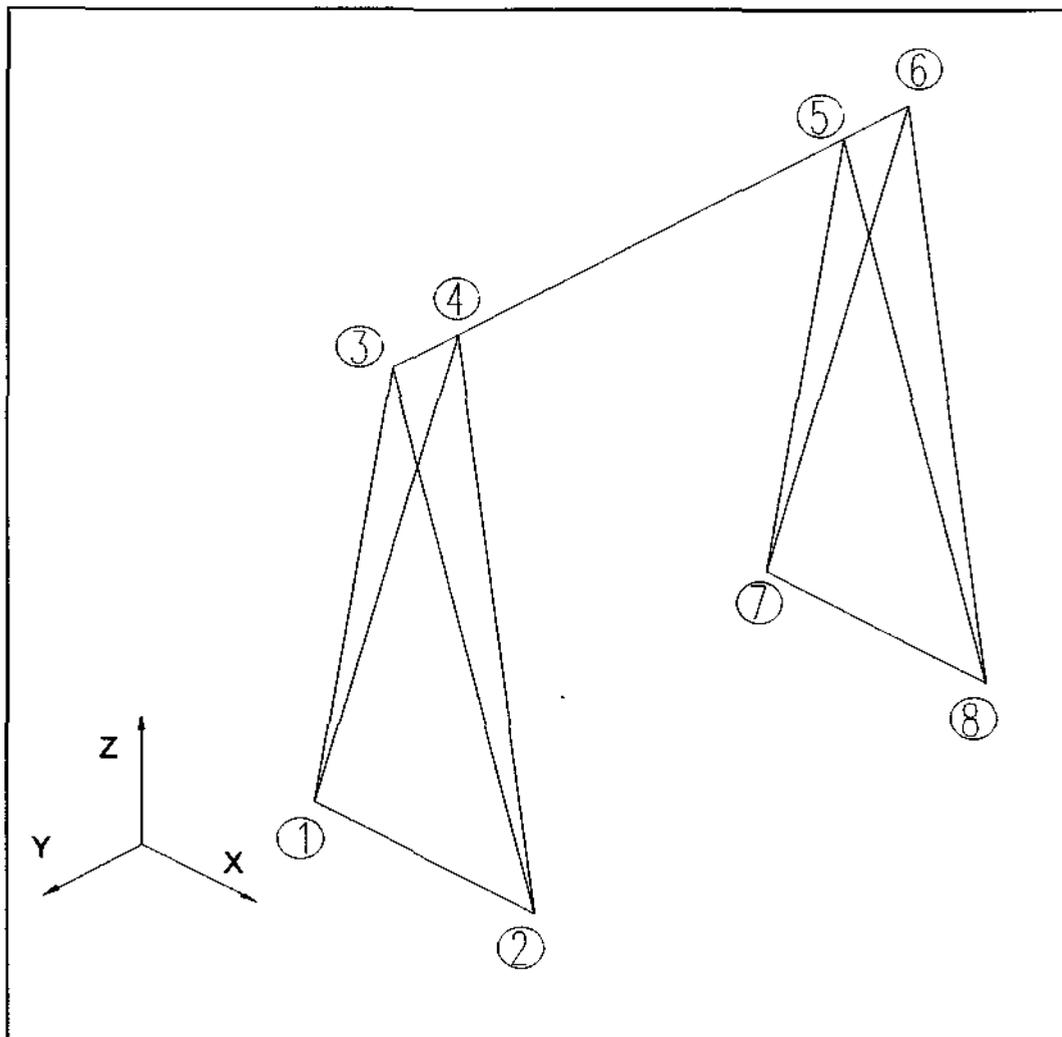


Fig. 3. 2

Como se observa en las coordenadas de los nudos, esta estructura es más ancha porque se ha supuesto que se requiere una luz de viga de 3,5 m. y porque se desea comparar con la otra estructura.

Las especificaciones de cada elemento son las siguientes:

**Viga Maestra : Elemento 11, 12 y 13.**

**MATERIAL** : Acero ASTM A36  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (36 ksi)

$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$  (58 ksi)

DESIGNACIÓN : VLS 150x22

CARACTERISTICAS:  $A = 28,1 \text{ cm}^2$        $\text{Peso} = 0,22 \text{ kg/cm}$

$$d = 15,2 \text{ cm} \quad I_{xx} = 1120 \text{ cm}^4$$

$$J = 7,0 \text{ cm}^4 \quad I_{yy} = 173 \text{ cm}^4$$

**Montantes : Elementos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.**

MATERIAL : Acero ASTM A53  $F_y = 2460 \text{ kg/cm}^2$  (35 ksi)

Tipo E -Tubo  $F^u = 4220 \text{ kg/cm}^2$  (60 ksi)

DIAMETRO NOMINAL:  $D = 2 \text{ " } = 5,08 \text{ cm}$

CARACTERISTICAS :  $D_{ext} = 6,0325 \text{ cm}$   $A = 6,90 \text{ cm}^2$   $\text{Peso} = 0,054 \text{ kg/cm}$

$$D_{int} = 5,2502 \text{ cm} \quad I = 27,72 \text{ cm}^4 \quad J = 55,442 \text{ cm}^4$$

$$r_g = 1,999 \text{ cm}$$

**Tirantes : Elementos 9,10.**

MATERIAL : Acero ASTM A36  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (36 ksi)

Barra Circular  $F^u = 4080 \text{ kg/cm}^2$  (58 ksi)

DIAMETRO NOMINAL:  $D = 1 \text{ " } = 2,54 \text{ cm}$

CARACTERISTICAS :  $A = 5,07 \text{ cm}^2$        $\text{Peso} = 0,051 \text{ kg/cm}$

$$I = 2,043 \text{ cm}^4 \quad J = 4,086 \text{ cm}^4$$

$$r_g = 0,635 \text{ cm}$$

La carga viva, como se dijo anteriormente, es de 5000 kg en el centro de la viga maestra y la carga muerta se tomará el peso de la misma, en este caso 0,22 kg/cm

El archivo de datos de entrada y los de salida del programa SAP-80 tal como en la alternativa anterior se pueden observar en el anexo A.

De los resultados obtenidos, los datos que nos interesan son las mayores cargas internas de los elementos, en este caso la tabla siguiente muestra los elementos con las mayores cargas internas las mismas que se expresan en las columnas de la derecha:

	Elementos Afectados	Debido a la C.M.	Debido a la C.V.
Comp.Axial	2,3,5,8	-13,30 kg	- 643,53 kg
Trac.Axial	9,10	5,74 kg	277,75 kg
Mom.Extrem	11	-2245,83 kgxcm	-218750 kgxcm
Mom.Centro	11	1122,92 kgxcm	218750 kgxcm
Cort.Extr.	11	38,50 kg	2500 kg
Cort.Cent.	11	00,00 kg	5000 kg

A continuación analizaremos los elementos más cargados.

### 3.2.2.1. Análisis de los montantes: esfuerzos de compresión.

Como se indica en la tabla anterior los montantes más cargados son sólo 4, los que soportan la siguiente fuerza interna de compresión:

$$F_{cv} = -643,53 \text{ kg}$$

$$F_{cm} = -13,30 \text{ kg}$$

Mayorando las dos cargas anteriores y sumando sus efectos tenemos según el AISC-LRFD :

$$1,2D + 1,6L = 1,2(-13,30) + 1,6(-643,53) = -1045,61 \text{ kg}$$

Debido a que la relación  $D/t$  no cumple:

$$3300/F_y < D/t < 13300/F_y$$

En nuestro caso, no se puede considerar el fenómeno del postpandeo. Por lo anterior el cálculo del esfuerzo permisible ( $\phi.P_n$ ) es el siguiente:

Cálculo de  $Kl/r$  ( $K=1$ ):

$$\frac{K.l}{r} = \frac{1(462)}{1.999} = 231.12$$

Como  $Kl/r > 200$ , la relación de esbeltez no es la recomendable. Las soluciones a este problema son: utilizar un tubo de mayor diámetro o el arriostamiento entre los montantes (por ejemplo entre 1 y 2). Esta última solución no bastaría pues no limita el pandeo en la otra dirección, necesitándose un tirante más (por ejemplo que una 1,2 con 3,4); sin embargo, la existencia de otro tirante ya fue descartada anteriormente, por lo que esta solución no es aceptable. La otra solución, usar tubo de mayor diámetro, tampoco es del todo aceptable pues implicaría obtener una estructura más pesada que la anterior.

Teniendo en cuenta que los esfuerzos en los demás elementos (tirantes y viga) son parecidos a los de la alternativa geométrica 1 y a la luz del análisis del párrafo anterior la alternativa geométrica 2 no se tomará en cuenta.

Por lo tanto el análisis de los demás elementos es innecesario.

### **3.2.3. Alternativa geométrica 3.**

La alternativa geométrica 3 tiene 25 elementos y 12 nudos, estos están dispuestos tal como se muestra en la figura siguiente.

Como se observa en las coordenadas de los nudos, esta estructura es más ancha que la alternativa 1 por el requerimiento de la luz de viga y por la necesidad de comparación.

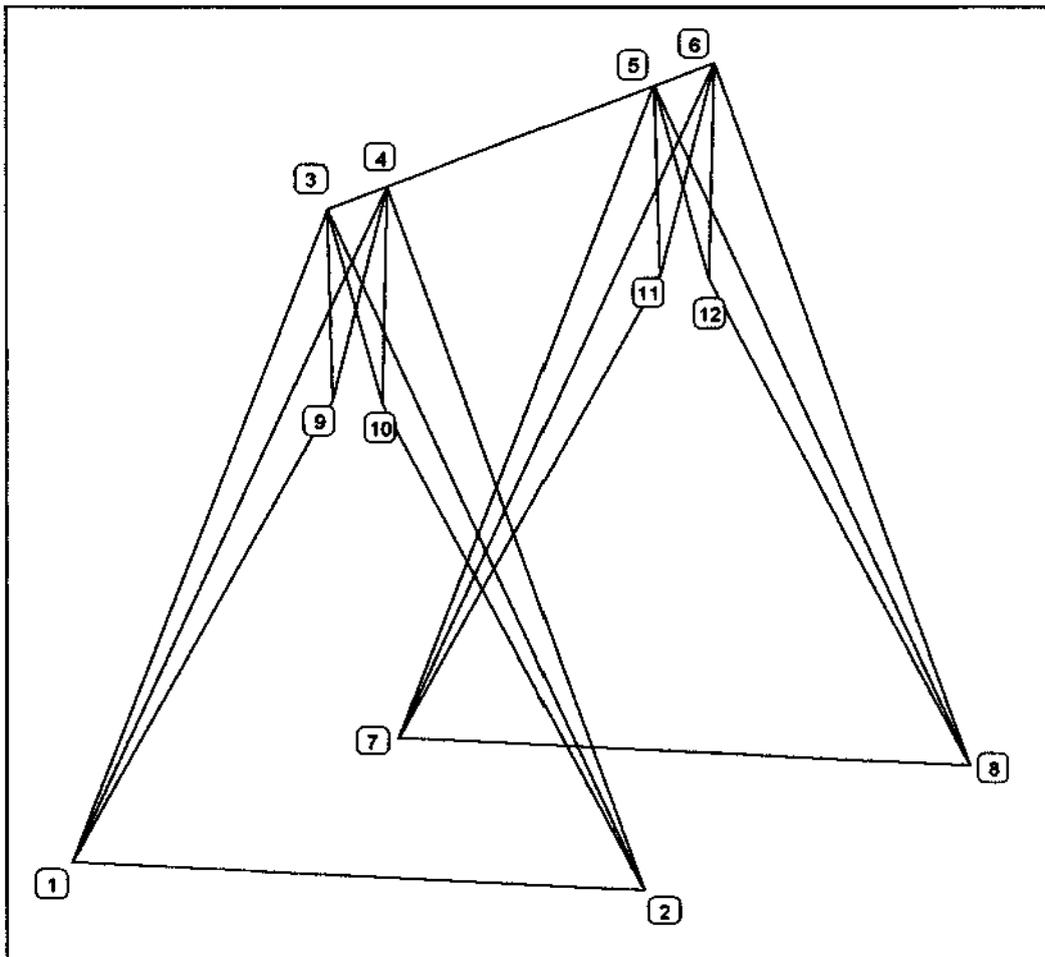


Fig. 3. 3

Las especificaciones de cada elemento son las siguientes:

**Viga Maestra : Elemento 11, 12 y 13.**

**MATERIAL** : Acero ASTM A36  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (36 ksi)

$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$  (58 ksi)

**DESIGNACIÓN** : VLS 150x22

**CARACTERÍSTICAS:**  $A = 28,1 \text{ cm}^2$   $\text{Peso} = 0,22 \text{ kg/cm}$

$d = 15,2 \text{ cm}$   $I_{xx} = 1120 \text{ cm}^4$

$J = 7,0 \text{ cm}^4$   $I_{yy} = 173 \text{ cm}^4$

**Montantes : Elementos {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} {14, 15, 16, 17}; {18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25}.**

**MATERIAL** : Acero ASTM A53  $F_y = 2460 \text{ kg/cm}^2$  (35 ksi)

Tipo E -Tubo  $F^u = 4220 \text{ kg/cm}^2$  (60 ksi)

**DIAMETRO NOMINAL:**  $D = 1,5 \text{ " } = 3,81 \text{ cm}$

**CARACTERISTICAS :**  $D_{ext} = 4,8260 \text{ cm}$   $A = 5,155 \text{ cm}^2$   $\text{Peso} = 0,040 \text{ kg/cm}$

$D_{int} = 4,0894 \text{ cm}$   $I = 13,153 \text{ cm}^4$   $J = 26,306 \text{ cm}^4$

$r_g = 1,582 \text{ cm}$

**Tirantes : Elementos 9,10.**

**MATERIAL** : Acero ASTM A36  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (36 ksi)

Barra Circular  $F^u = 4080 \text{ kg/cm}^2$  (58 ksi)

**DIAMETRO NOMINAL:**  $D = 1 \text{ " } = 2,54 \text{ cm}$

**CARACTERISTICAS :**  $A = 5,07 \text{ cm}^2$   $\text{Peso} = 0,051 \text{ kg/cm}$

$I = 2,043 \text{ cm}^4$   $J = 4,086 \text{ cm}^4$

$r_g = 0,635 \text{ cm}$

La carga viva, como se dijo anteriormente, es de 5000 kg en el centro de la viga maestra y la carga muerta se tomará el peso de la misma, en este caso 0,22 kg/cm

El archivo de datos de entrada para el programa SAP-80, así como sus archivos de salida para esta alternativa se encuentran en el anexo A.

De los resultados obtenidos, los datos que nos interesan son las mayores cargas internas de los elementos con mayor longitud; no se consideran, para el presente análisis, aquellos elementos más cortos y con menores esfuerzos, pues no controlarán el diseño. En este caso la tabla siguiente muestra los elementos con las mayores cargas internas las mismas que se expresan en las columnas de la derecha:

	Elementos Afectados	Debido a la C.M.	Debido a la C.V.
Comp.Axial	2,3,5,8	-12,31 kg	- 595,66 kg
Trac.Axial	9,10	5,83 kg	282,04 kg
Mom.Extrem	11	-2245,83 kgxcm	-218750 kgxcm
Mom.Centro	11	1122,92 kgxcm	218750 kgxcm
Cort.Extr.	11	38,50 kg	2500 kg
Cort.Cent.	11	00,00 kg	5000 kg

A continuación analizaremos los elementos más cargados.

### 3.2.3.1. Análisis de los montantes: esfuerzos de compresión.

Como se indica en la tabla anterior los montantes más cargados son sólo 4, los que soportan la siguiente fuerza interna de compresión:

$$F_{CV} = -595,66 \text{ kg}$$

$$F_{CM} = -12,31 \text{ kg}$$

Mayorando las dos cargas anteriores y sumando sus efectos tenemos según el AISC-LRFD :

$$1,2D + 1,6L = 1,2(-12,31) + 1,6(-595,66) = -967,83 \text{ kg}$$

Debido a que la relación  $D/t$  no cumple:

$$3300/F_y < D/t < 13300/F_y$$

En nuestro caso, no se puede considerar el fenómeno del postpandeo. Por lo anterior el cálculo del esfuerzo permisible ( $\phi.P_n$ ) es el siguiente:

Cálculo de  $Kl/r$  ( $K=1$ ):

$$\frac{K.l}{r} = \frac{1(462)}{1.582} = 292$$

Como se observa la relación de esbeltez es mayor que el valor recomendado. Para este problema se puede recurrir a aumentar el diámetro de los tubos o arriostrar los montantes. La primera solución es más desventajosa que en el caso anterior pues existen más tubos; por el contrario el arriostramiento surge como una solución factible pues esta geometría permite: primero, un arriostre en dos direcciones (uniendo, por ejemplo, 1, 2, y 14) restringiendo totalmente la posibilidad de pandeo y segundo, no dificulta el montaje y desmontaje porque cada "pie" de montante sigue siendo independiente hasta que se ponga el único tirante planeado.

Arriostrando a media longitud se tiene:

$$L = 231 \quad KI/r = 1 \cdot 231 / 1,582 = 146 < 200 \text{ (se acepta)}$$

Cálculo de  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = \frac{KI}{r \cdot \pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{146}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21 \times 10^5}} = 1.59$$

Como  $\lambda_c > 1,5$ :

$$F_{cr} = 70.3 \cdot \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) \cdot 35 = 853.55 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Cálculo de la resistencia del elemento:

$$\phi_c \cdot P_n = f_c \cdot A_g \cdot F_{cr} = 0.85 \cdot 5,155 \cdot 853,55$$

$$\phi_c \cdot P_n = 3740,04 \text{ kg}$$

$$P_u = 967,83 \text{ kg}$$

Por lo tanto:  $P_u < \phi_c \cdot P_n$  con lo cual las dimensiones son aceptables. Sin embargo el arriostramiento permite disminuir el diámetro de los tubos.

$$\text{Para un } D_{nom} = 3/4 \text{ " } \quad r_g = 0,334 \text{ " } \quad A = 0,333 \text{ pulg}^2$$

$$KI/r = 231 / (0,334 \cdot 2,54) = 272 > 200$$

Colocando doble arriostamiento:  $L = 154 \text{ cm}$

$$Kl/r = 154/(0,334*2,54) = 181,5 < 200 \text{ (acceptable)}$$

$$\lambda_c = 1,98 \quad F_{cr} = 551,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_g = 0,85 \cdot 551,9 \cdot (0,333 \cdot 2,54^2) = 1007,83 \text{ kg}$$

$$P_u = 967,83 \text{ kg}$$

Como  $P_u < \phi_c \cdot P_n$  se acepta este diámetro de tubo. El peso de este tubo es:  $P_{tb} = 1,13 \text{ lb/pie} = 0,017 \text{ kg/cm}$

En consecuencia utilizaremos tubo de:  $D_{nom} = 3/4 \text{ "}$

$$\text{Peso} = 0,017 \text{ kg/cm}$$

### 3.2.3.2. Análisis de los tirantes: esfuerzos de tracción.

De los resultados del análisis:

$$F_{CM} = 5,83 \text{ kg}$$

$$F_{CV} = 282,04 \text{ kg}$$

Cálculo de la carga mayorada de tracción  $T_u$  :

$$T_u = 1,2(5,83) + 1,6(282,04) = 458,26 \text{ kg}$$

Utilizando la sección total se tiene:

$$A = 5,07 \text{ cm}^2 \text{ y } T_u/A = 458,26/5,07 = 90,39 \text{ kg/cm}^2$$

Como el  $\phi_t = 0,9$  y  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ , la resistencia del miembro a tracción es :

$$\phi_t \cdot F_y = 0,9 \cdot 2530 = 2277 \text{ kg/cm}^2$$

Se observa que  $T_u/A \ll \phi_t \cdot F_y$  lo cual indica que el miembro cumple con la resistencia de diseño; pero la diferencia es excesiva al igual que en la primera alternativa y por lo tanto existe un sobredimensionamiento.

Como las fuerzas internas no difieren mucho de las de la primera alternativa se elegirá el tirante hecho de varilla de:  $D_{nom} = 1/2 \text{ "}$ .

Verificamos la elección:

Para varilla de  $D_{nom} = 1/2 "$

$$A = 1,27 \text{ cm}^2$$

$$T_u/A = 458,26/1,27 = 360,8 \text{ kg/cm}^2 > \phi_t \cdot F_y$$

Por lo anterior, por ahora utilizaremos también para esta configuración:

Varilla de  $D_{nom} = 1/2 "$

$$\text{Peso de varilla} = 0,01 \text{ kg/cm}$$

### 3.2.3.3. Análisis de la viga: Flexión.

Como la luz de viga es la misma y los momentos máximos son los mismos utilizaremos el perfil elegido para la alternativa geométrica 1, es decir:

Perfil de Viga VS 300x19

$$\text{Peso de Viga} = 0,187 \text{ kg/cm}$$

### 3.2.3.4. Cálculo del peso estimado de la estructura.

El peso de la estructura aproximado será:

$$\text{Peso Total} = N_{tb} \cdot P_{tb} \cdot L_{tb} + N_v \cdot P_v \cdot L_v + L_v \cdot P_v$$

Donde:

- $N_{tb}$  = número de tubos de la misma longitud.
- $P_{tb}$  = Peso del tubo por unidad de longitud.
- $L_{tb}$  = Longitud del tubo.
- $N_v$  = número de varillas.
- $P_v$  = Peso de la varilla por unidad de longitud.
- $L_v$  = Longitud de la varilla.
- $L_v$  = Longitud de la viga.
- $P_v$  = Peso de la viga por unidad de longitud.

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Peso Total} &= 8 \cdot 0,017 \cdot 462 + 4 \cdot 0,017 \cdot 343,4 + 8 \cdot 0,017 \cdot 123,8 + 2 \cdot 0,01 \cdot 200 + \\ & 350 \cdot 0,187 + 2 \cdot 0,6 \cdot 0,187 = \end{aligned}$$

$$\text{Peso Total} = 172,69 \text{ kg}$$

Por lo tanto esta alternativa pese a tener un mayor número de elementos proporciona un menor peso total lo cual para nuestros fines es muy ventajoso.

Se concluye finalmente que, considerando como criterio de evaluación el peso, la alternativa geométrica 3 es la más apropiada. Por otro lado, estructuralmente proporciona las siguientes ventajas:

- Posibilita aumentar los arriostramientos en los montantes tanto como sea conveniente.
- Si no es obligatorio que la luz de viga sea de un valor fijo (en este caso 350 cm) se puede mantener fijo el ancho total de la estructura con lo que la luz de viga disminuirá disminuyendo también los momentos en la viga central.

Por las razones anteriores se elige la alternativa geométrica 3 como la alternativa a utilizar para el diseño del pórtico desmontable.

### **3.3. Descripción de la forma de los acoplamientos.**

En este acápite haremos una descripción general del aspecto que tendrán los distintos acoplamientos entre cada uno de los elementos.

#### **3.3.1. Acoplamiento viga-montante.**

El acoplamiento entre la viga maestra y los montantes se hace mediante una bisagra que facilita el montaje y desmontaje de la estructura. La bisagra está formada por dos placas soldadas a la viga, éstas placas se unen a los tubos del montante mediante un pin y una pieza cilíndrica. Esta unión tiene la siguiente forma:

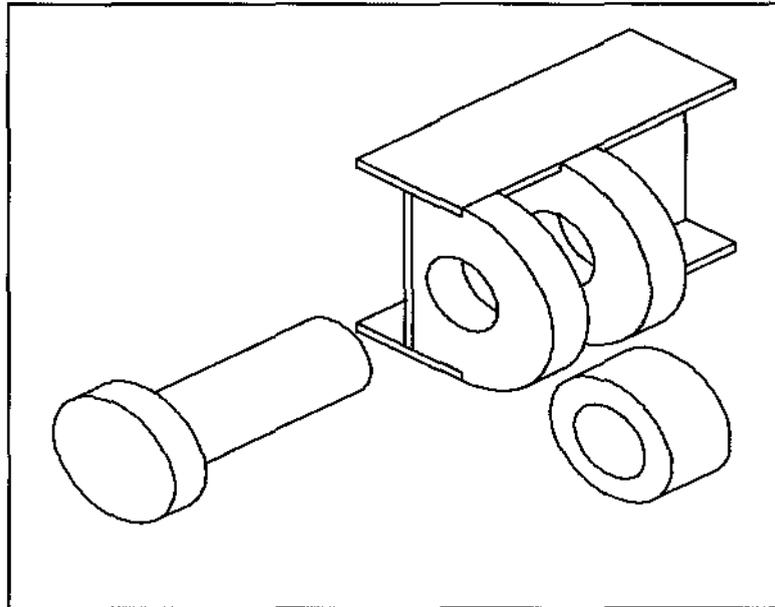


Fig. 3. 4

### 3.3.2. Acoplamiento entre tubos.

La unión entre los tubos será mediante soldadura.

### 3.3.3. Acoplamiento montante-ruedas.

Los tubos del montante se unen a las ruedas mediante una placas soldadas a los tubos y empernadas a las ruedas.

## **CAP. IV: DISEÑO DEL PÓRTICO.**

### **4.1. Características de servicio.**

Para obtener las características de servicio necesarias para el diseño del pórtico se visitó el Laboratorio de Tecnología Metálica de la UDEP. Allí pudimos conocer que sería de utilidad un pórtico de capacidad 5 t, que permita manipular diversas cargas hasta un máximo de 5 t. Se tomó como referencia la operación de embarcar y desembarcar un transformador de aprox. 2m de alto desde un camión de transporte.

Para obtener el ancho mínimo y la altura del pórtico se supone que el camión de transporte es un Volvo F12, estos camiones tienen un ancho de 2,48m y un alto de carreta de 1,10m.

Dejando aproximadamente 1m a cada lado del camión se tendrá que el ancho mínimo debe estar entre 4m y 4,5m. En cuanto a la altura máxima, considerando 1,9m libres para que sean ocupados por el equipo de elevación y por un espacio libre de manipulación se obtendría una altura máxima de 5m.

En resumen, el pórtico a diseñar tendrá las siguientes características:

CARGA MAXIMA UTIL = 5 000 kg

ANCHO UTIL = 450 cm

ALTURA TOTAL = 500 cm

Existe otra característica dimensional necesaria para definir el modelo completo a analizar: Se trata del ancho del montante, es decir, la longitud del tirante. Aunque esta dimensión no influye de modo determinante en el diseño (pues las cargas en esa dirección -eje X- no son considerables), si afecta la estética de la estructura y principalmente el espacio a ocupar por la misma. Comparando con otras estructuras similares se determinó que un ancho de montante = 250 cm sería aceptable.

ABERTURA DE MONTANTE= 250 cm

#### 4.1.1. Dimensiones preliminares de los elementos.

Las dimensiones preliminares de cada tipo de elemento son tentativas y se basan en los cálculos realizados en el capítulo anterior. Teniendo en cuenta esto se ensayan las siguientes dimensiones:

##### **VIGA MAESTRA : Perfil VLS 200x26.<sup>(1)</sup>**

$A = 33,2 \text{ cm}^2$	$J = 6,2 \text{ cm}^4$	$F_y = 2\,530 \text{ kg/cm}^2$
$I_{xx} = 2\,373 \text{ cm}^4$	$S_{xx} = 234 \text{ cm}^3$	$F_u = 4\,080 \text{ kg/cm}^2$
$I_{yy} = 314 \text{ cm}^4$	$S_{yy} = 47 \text{ cm}^3$	Peso = 26,1 kg/m
$d = 20,3 \text{ cm}$	$b_f = 13,3 \text{ cm}$	

##### **MONTANTES : Tubo $D_{nom} = 3/4''$**

$A = 2,15 \text{ cm}^2$	$J = 3,08 \text{ cm}^4$	$F_y = 2\,460 \text{ kg/cm}^2$
$I_{xx} = 1,54 \text{ cm}^4$	$S_{xx} = 1,62 \text{ cm}^3$	$F_u = 4\,220 \text{ kg/cm}^2$
$I_{yy} = 1,54 \text{ cm}^4$	$S_{yy} = 1,62 \text{ cm}^3$	Peso = 0,017 kg/m
$D_{ext} = 20,3 \text{ cm}$	$D_{int} = 13,3 \text{ cm}$	

##### **TIRANTES : Varilla $D = 1/2''$**

$A = 1,27 \text{ cm}^2$	$J = 0,26 \text{ cm}^4$	$F_y = 2\,530 \text{ kg/cm}^2$
$I_{xx} = 0,13 \text{ cm}^4$	$S_{xx} = 0,205 \text{ cm}^3$	$F_u = 4\,080 \text{ kg/cm}^2$
$I_{yy} = 0,13 \text{ cm}^4$	$S_{yy} = 0,205 \text{ cm}^3$	Peso = 0,001 kg/m
$D_{ext} = 1,27 \text{ cm}$		

<sup>(1)</sup> Cf. ZAPATA BAGLIETO, Luis. Tabla de vigas soldadas.

#### 4.1.2 Datos adicionales.

Es importante además, conocer las características del equipo de elevación. Para esto se solicitó información técnica a un distribuidor de estos equipos en el país. Según las características de servicio especificadas y según el catálogo enviado por el distribuidor, el equipo necesario tiene las siguientes características:

**TECLE : MARCA: JET      MODELO : 5SS-3-15**  
**CAPACIDAD                      = 5 t**  
**VELOCIDAD DE ELEVACION = 4,8 FPM = 0,0244 m/s**  
**ALTURA DE IZAJE              = 4,50 m**  
**ALTO DEL TECLE                = 0,95 m**  
**PESO NETO                        = 260 lbf    = 120 kgf**

**CARRO DE TRASLACION : MARCA : JET    MODELO : 5ET-3**  
**CAPACIDAD                        = 5 t**  
**VELOCIDAD DE TRASLACION = 39,36 FPM = 0,20 m/s**  
**ALTO DEL CARRO BAJO VIGA = 0,25 m**  
**ANCHO DE ALA DE VIGA        = 13 - 17 cm**  
**PESO NETO                        = 187 lbf      = 85 kgf**

De estos datos se tiene que los datos totales son:

**PESO NETO TOTAL            = 205 kgf**

**ALTO TOTAL BAJO VIGA = 1,2 m**

El último dato nos indica que si tenemos 1,9 m libres, de éstos, sólo 0,7 m (1,9 - 1,2) son para manipulación; lo cual nos parece aceptable.

## **4.2. Estimación de las cargas.**

### **4.2.1. Carga muerta.**

Se considera como carga muerta al peso de la viga maestra, en este caso:

$$\text{C.M.} = 0,261 \text{ kg/cm}$$

### **4.2.2. Carga viva.**

Se considera como carga viva al peso máximo a levantar más el peso del equipo de elevación.

El peso máximo a levantar (por característica de servicio) es 5 000 kg.

El peso del equipo de elevación (según datos anteriores) es 205 kg.

Además de las dos cargas anteriores se debe considerar el impacto por cargas súbitamente aplicadas. Para este caso, como se dijo en el capítulo II (pag. 41-42), se cuantifica como el 25% de la suma del peso del equipo de elevación más la carga máxima a levantar. Es decir:

$$\text{C.V.} = 1,25 \times (5\ 205) = 6\ 506,25 \text{ kgf}$$

### 4.2.3. Carga horizontal.

Para tener en cuenta el frenado y aceleración del tecele en la dirección de la viga maestra, se considera una fuerza horizontal en esta dirección, la misma que se evalúa como el 20% de la suma del peso del equipo de elevación más el peso máximo a levantar. Esto nos lleva a una carga horizontal de la siguiente magnitud:

$$C.H. = 0,20 \times (5\ 205) = 1\ 041 \text{ kgf}$$

El 20% anterior es un porcentaje propuesto por el AISC para este tipo de estructuras; sin embargo existe la norma DIN 120 que estima este porcentaje en el 10%<sup>(2)</sup>. Este valor nos lleva a una carga horizontal de magnitud:

$$C.H.(DIN) = 0,10 \times (5\ 205) = 520,5 \text{ kgf}$$

Debido a esta discrepancia se puede estimar a groso modo el valor de la fuerza horizontal respectiva a fin de escoger el factor que más se adecúe a nuestro caso.

Para realizar el cálculo mencionado necesitamos conocer la velocidad de traslación y el tiempo en el cual se alcanza esta velocidad de traslación. De las características del carro de traslación se tiene que la velocidad de traslación es 0,2 m/s; se asume además que el tiempo en alcanzar esta velocidad es 1 s.

Según esto, los datos serían:

$$\text{masa (m)} \quad = 5\ 205 \text{ kg}$$

<sup>(2)</sup>GURRUCHAGA VASQUEZ, J. M. Gujón para realizar el anteproyecto de un puente grúa., p 28

$$\text{velocidad final (Vf)} = 0,2 \text{ m/s}$$

$$\text{tiempo (t)} = 1 \text{ s}$$

La fuerza horizontal para estos datos será

$$\text{C.H.} = m \times a = m \times (Vf - Vi)/t$$

$$\text{C.H.} = 5\,205 \times (0,2 - 0)/1 = 1\,041 \text{ N}$$

$$\text{C.H.} = 106,22 \text{ kgf}$$

Teniendo en cuenta que el valor más cercano es el de la norma DIN 120, se tomará este valor para el diseño del pórtico.

Por lo tanto la carga horizontal es:

$$\text{C.H.} = 0,1 \times (5\,205) = 520,5 \text{ kgf.}$$

#### **4.3. Análisis estructural del pórtico.**

En un primer momento se pensó utilizar el programa SAP 80 para realizar el análisis de la estructura, y utilizar el software Algor como un medio de comparación y visualización de los resultados. Sin embargo, al comparar los resultados de ambos programas se vió que eran iguales, teniendo en cuenta las bondades del software Algor se resolvió utilizar éste desde la fase del análisis.

La estructura se analiza para las cargas expuestas anteriormente y en las posiciones que se muestran más adelante. Es importante también mencionar que los apoyos juegan un papel importante en el diseño de la estructura. Así por ejemplo cuando se considera la fuerza horizontal, se debe considerar también la

fuerza de rozamiento y por ende el apoyo debe ser fijo en la dirección del rozamiento; sin embargo para el tirante la condición más crítica es que el apoyo sea deslizable, pues es cuando se traccionará más. Por lo tanto el apoyo es fijo en Y (se demostrará más adelante que el rozamiento en la dirección Y es mayor que las reacciones necesarias para que no deslice); deslizable en X pues contrariamente al caso anterior las reacciones para que no deslice son mayores que la resistencia a la rodadura. La rueda de apoyo por lo tanto debe estar dispuesta respecto a los ejes globales tal como se indica en la figura 4.1.

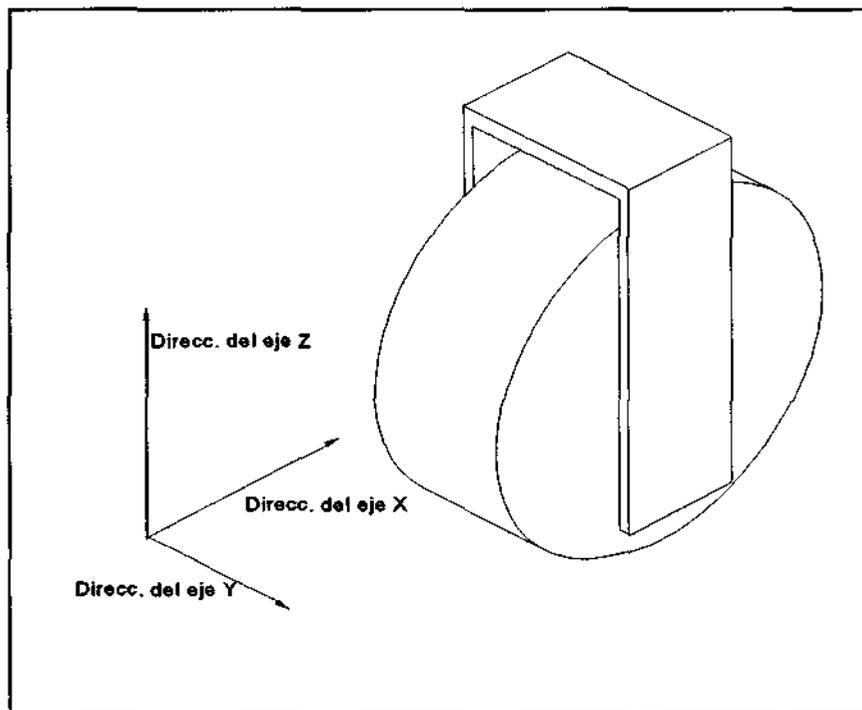


Fig. 4. 1

Teniendo en cuenta lo expuesto hasta aquí, las características geométricas del modelo a analizar son las que se muestran en la figura 4.2.

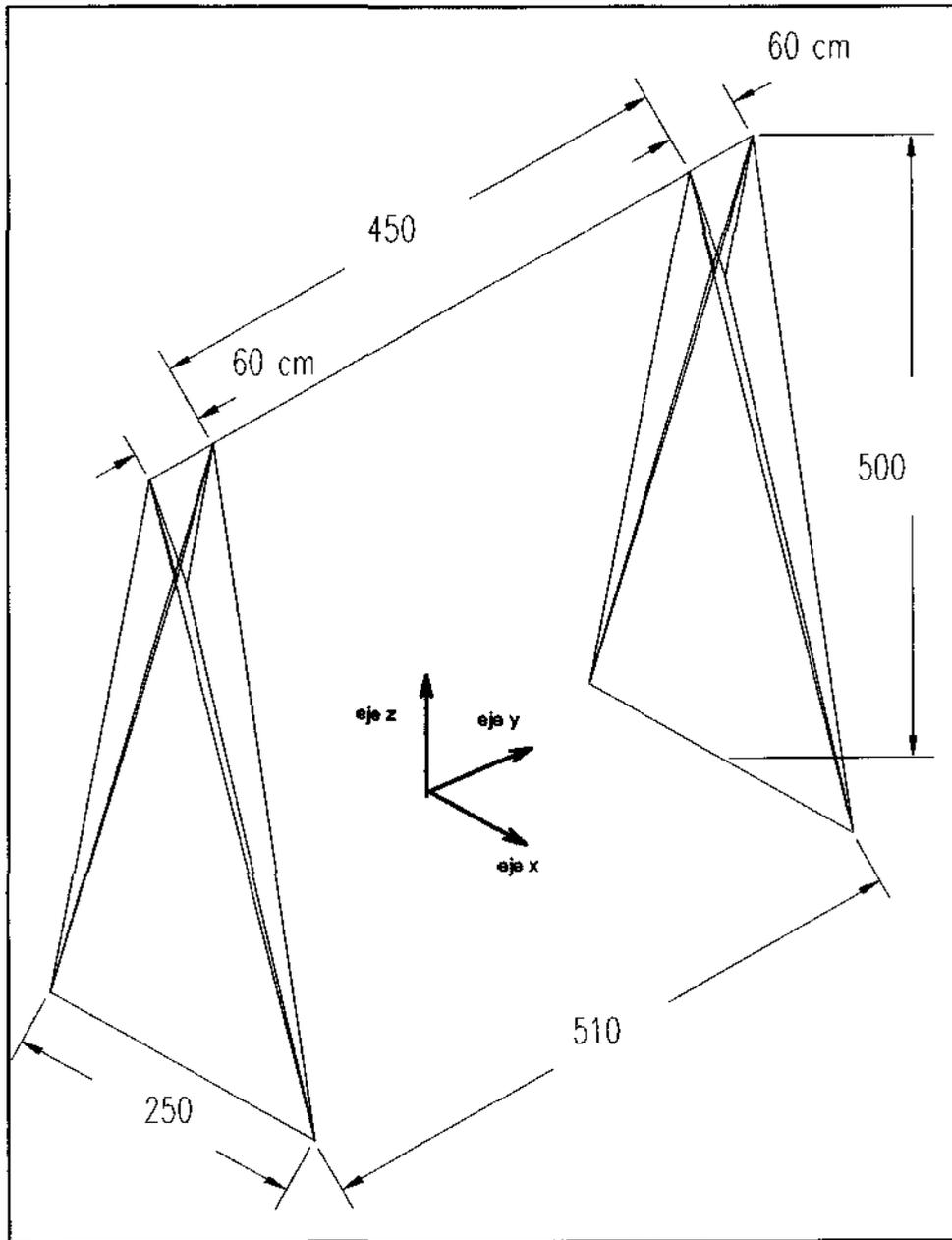


Fig. 4. 2

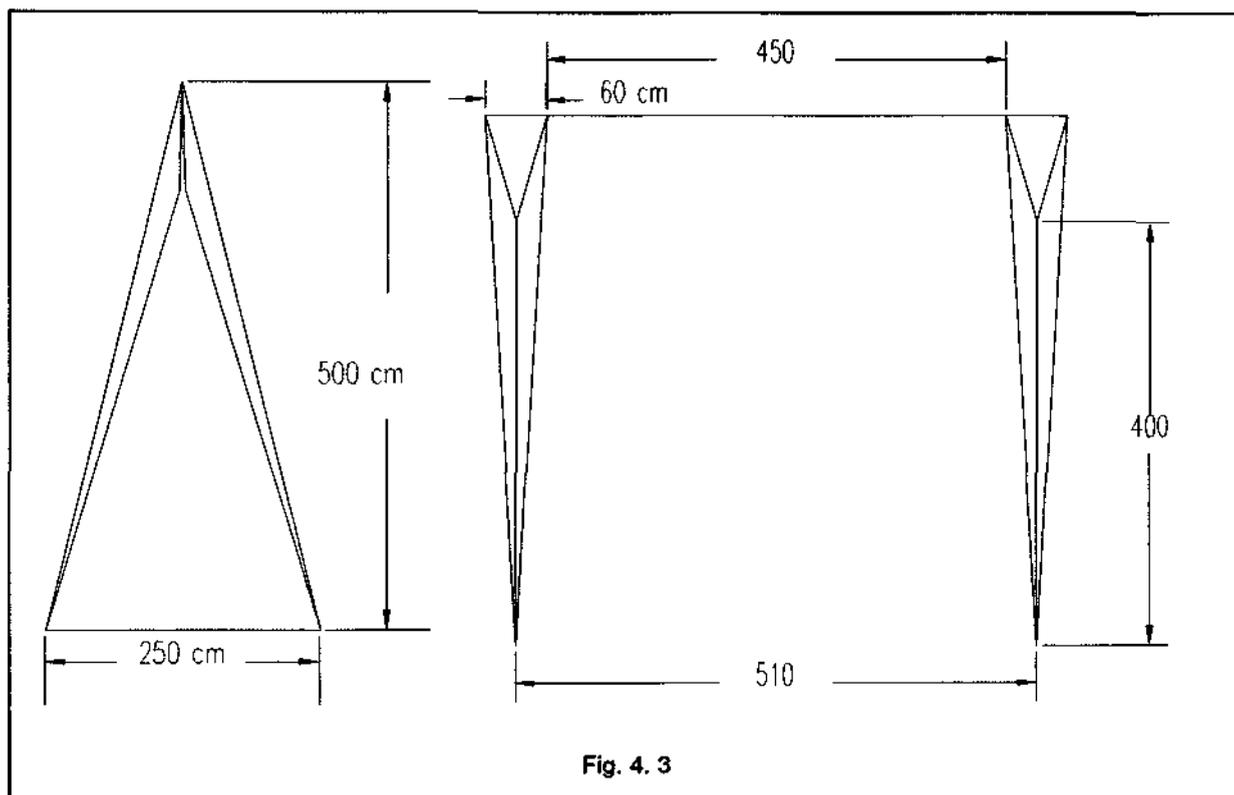


Fig. 4. 3

Por otro lado, la fuerza horizontal considerada por la existencia de un carro de traslación eléctrico nos llevó a un análisis previo de la posibilidad de volteo de la estructura y de la posibilidad de deslizamiento en la dirección de la fuerza horizontal (dirección Y). Los análisis anteriores nos exigieron el cálculo a groso modo del coeficiente estático de rozamiento de las ruedas sobre el piso y la oposición a la rodadura del piso sobre la rueda.

Asímismo se determinó que la estructura una vez colocada en el lugar de operación deberá tener los ejes de sus ruedas paralelos al eje "y", es decir la rueda podrá girar en la dirección "x". Esto nos lleva a considerar el coeficiente de rozamiento estático en la dirección "y" y el coeficiente de resistencia a la rodadura en la dirección "x".

El coeficiente de rozamiento estático se consideró igual al promedio entre el coeficiente de rozamiento del acero dulce sobre grafito y el coeficiente entre el acero dulce sobre plomo, esto es: <sup>(3)</sup>

$$\mu = 0.58$$

La resistencia a la rodadura se calculó teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$\text{Resistencia a la Rodadura [Kg]} = \frac{W \times f}{r}$$

Donde: W= Peso total del cuerpo rodante o carga sobre la rueda, Kg.

f = Coeficiente de rozamiento a la rodadura, cm.

r = radio de la rueda, cm.

Se considera el coeficiente de oposición a la rodadura del hierro sobre el asfalto<sup>(4)</sup>, es decir f=0,38; y una rueda de diámetro igual o mayor a 15 cm.

El primer punto a analizar es el posible volteo para esto se hicieron las siguientes consideraciones.

- La carga vertical sin mayorar en el extremo izquierdo de la estructura y la carga horizontal empujando hacia la izquierda. Esto porque la carga horizontal en este sentido genera unas reacciones negativas en el otro extremo. Es decir, si no existiese otra carga y los apoyos son ruedas, la estructura se voltea. Por lo tanto la única forma de lograr que la estructura no se voltee y

<sup>(3)</sup> MARKS., Manual del ingeniero mecánico, Vol. 1, p. 3-26

<sup>(4)</sup> Cf. OBERG, E, JONES F.D., Manual universal de la técnica mecánica, p. 536.

seguir usando ruedas, es que las reacciones debidas a la carga vertical que son positivas, sean mayores a las de la fuerza horizontal, colocándonos además en el peor de los casos cuando la carga está en el extremo izquierdo y produce reacciones positivas mínimas en el otro extremo.

Realizando el análisis anterior para la geometría plantada al inicio se obtienen los siguientes resultados:

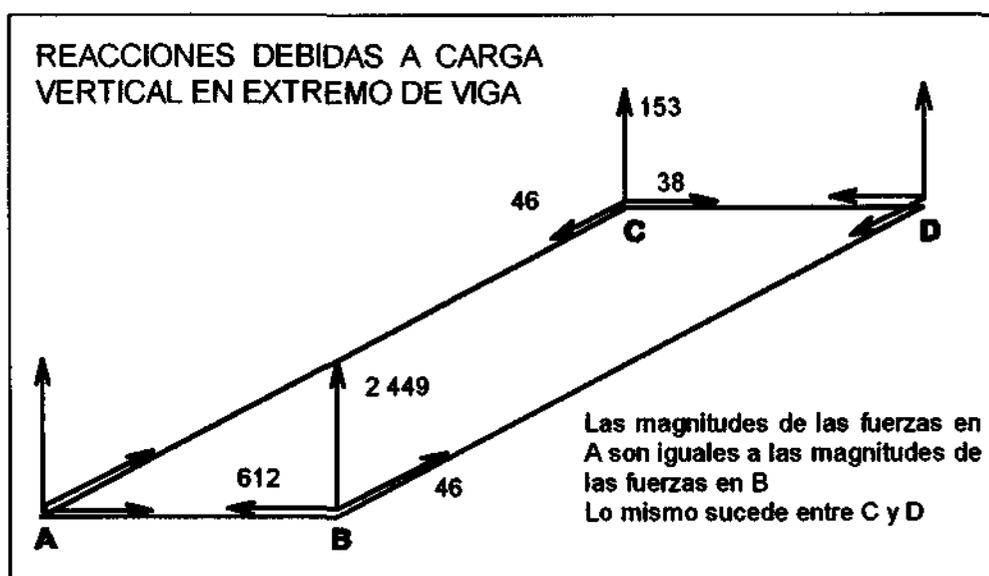


Fig. 4. 4

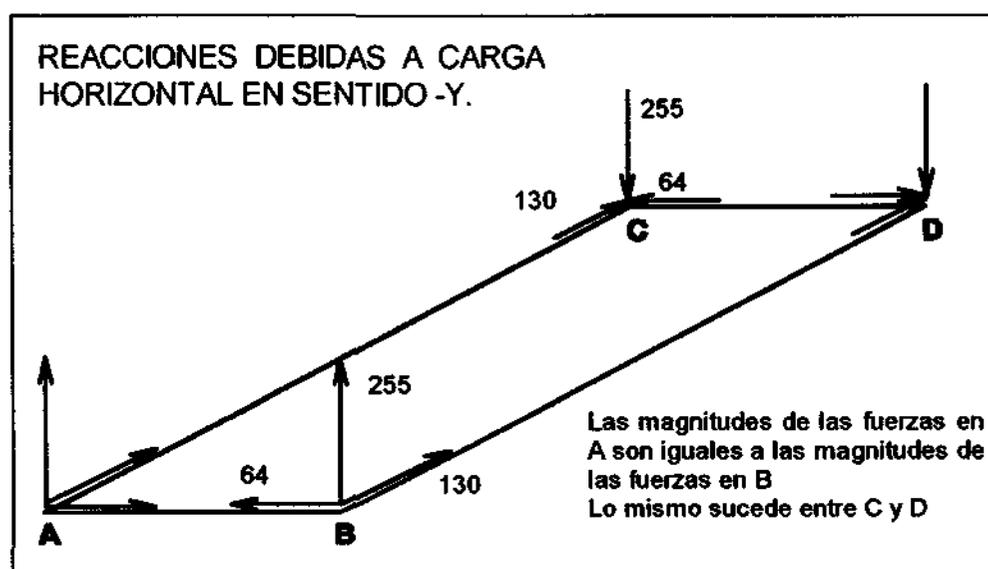


Fig. 4. 5

Como puede verse la fuerza horizontal requiere, en los extremos C y D (ver figuras 4.4 y 4.5), que se le sujete con una fuerza de 255 kg mientras que la fuerza vertical sólo aporta 153 kg en esos extremos. Esto indica que la estructura se voltearía ante estas solicitaciones.

Para solucionar esto sin la necesidad de variar el peso de la estructura se pensó en variar la geometría del modelo. Así se modificó el largo del tirante, se alargó la viga maestra y se alargó el extremo de viga maestra utilizado por el montante. Las variaciones generaban diferentes modelos, estos modelos luego de procesarse generaban unos resultados similares a los del caso anterior, es decir, la carga horizontal requería que en los apoyos se les sujete con una reacción vertical mayor a la reacción que la carga vertical generaba, por lo tanto la estructura se voltearía. Esto sucedió hasta que se pensó modificar la forma geométrica del montante teniendo en cuenta los modelos de pórtico existentes en los talleres comunes. Esto nos llevó a la geometría mostrada en las figuras siguientes.

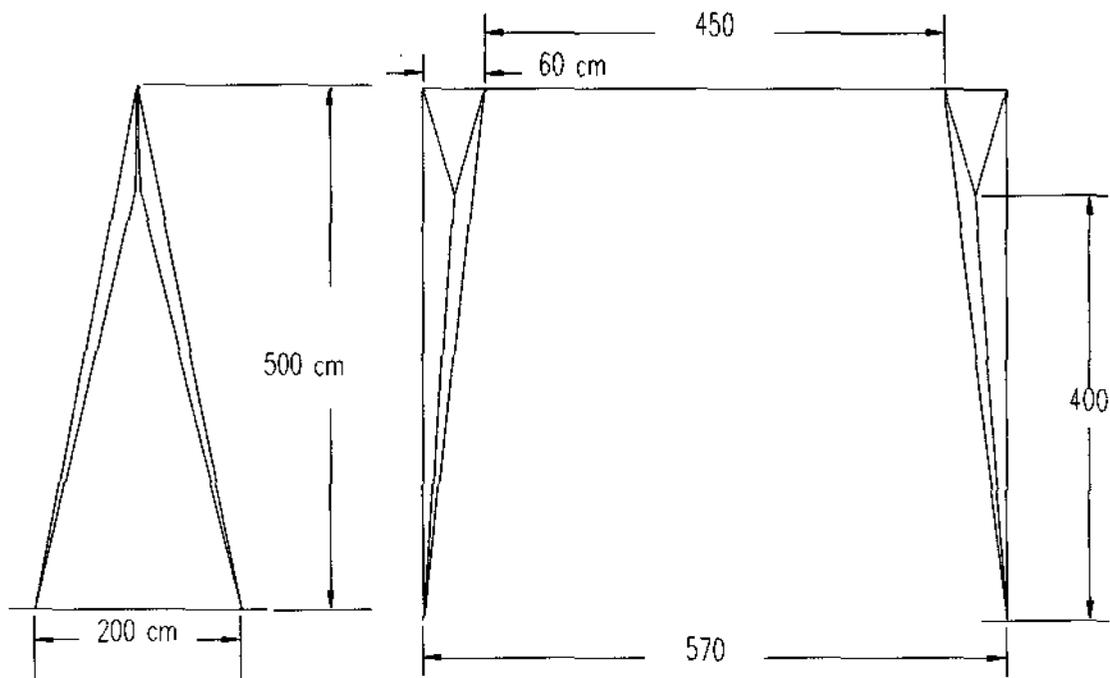


Fig. 4. 6

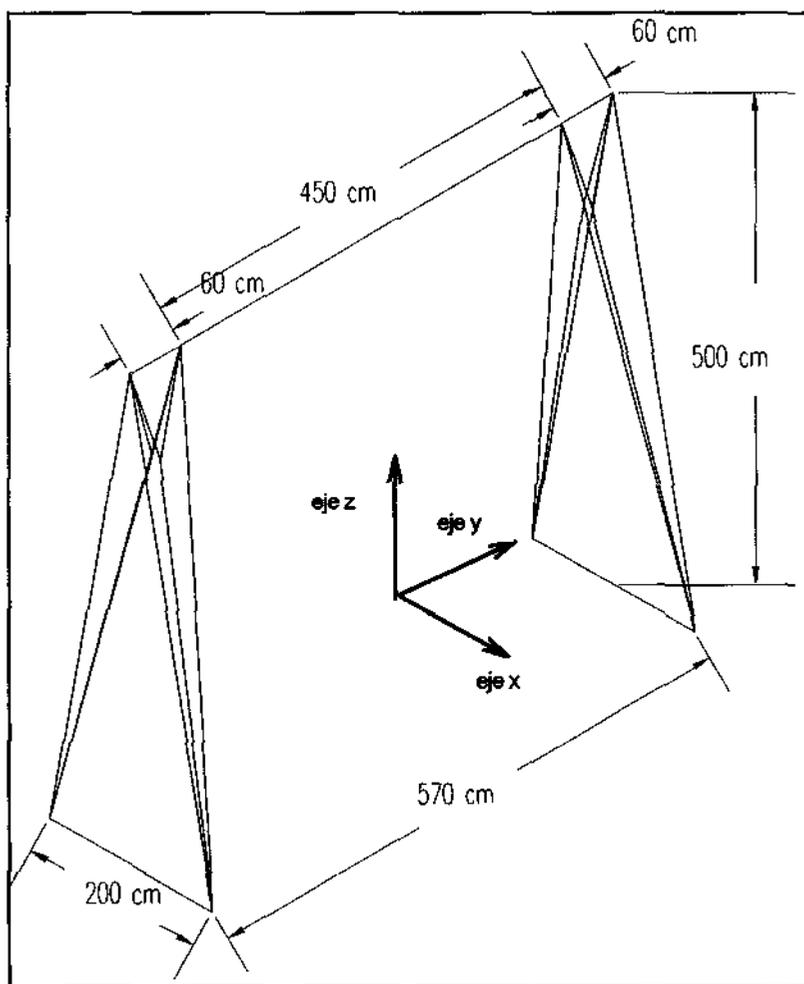


Fig. 4. 7

Esta geometría produce resultados mejores a los de la geometría anterior, es decir, las reacciones negativas debidas a la fuerza horizontal son menores a las positivas debido a las cargas verticales.

Los resultados pueden verse en las figuras siguientes:

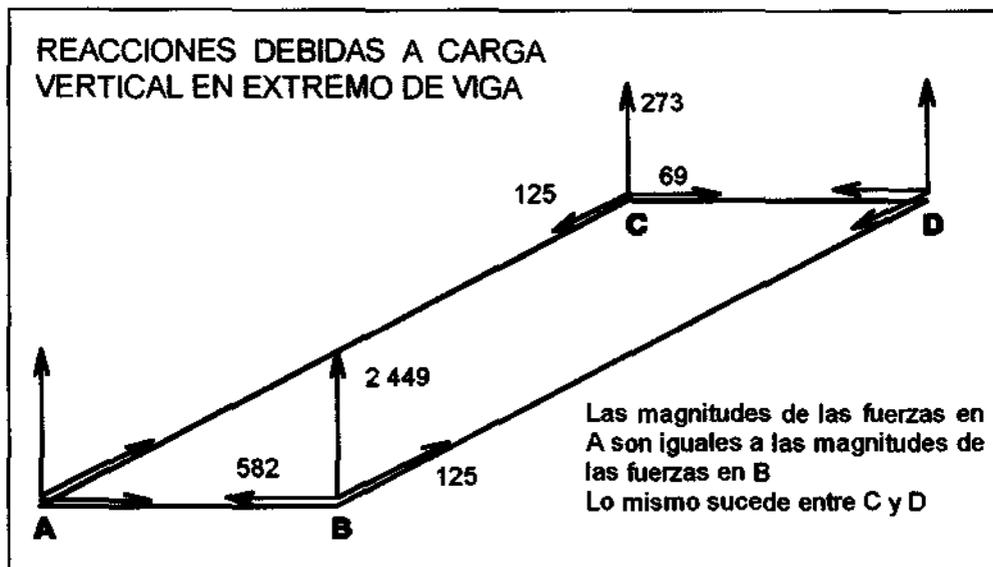


Fig. 4. 8

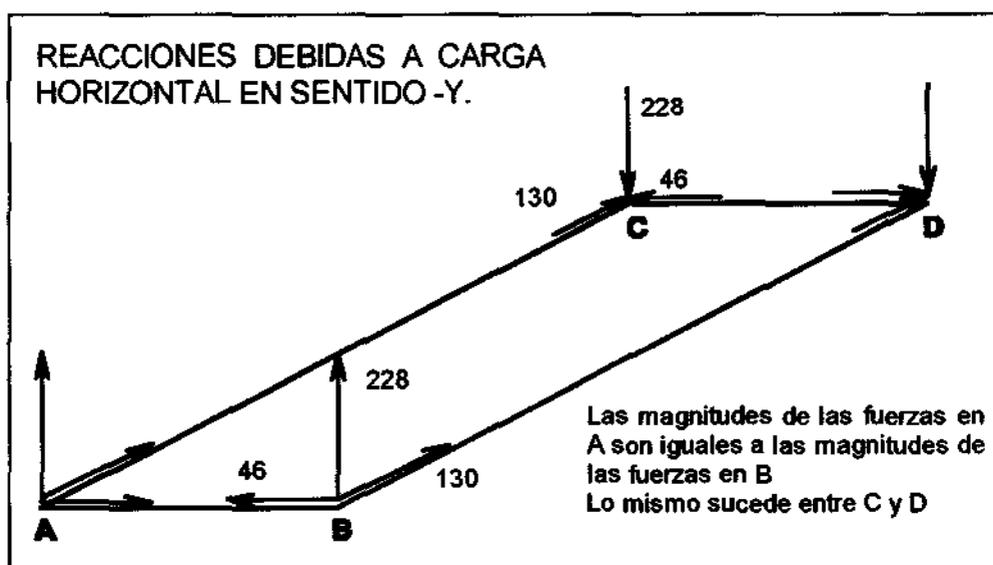


Fig. 4. 9

En este caso la fuerza horizontal requiere 228 kg mientras que la carga vertical sin considerar el peso de la viga aporta 273 kg. Por lo tanto la estructura no voltea ante estas solicitaciones y con la geometría planteada.

Para el análisis del rozamiento verificamos las reacciones ante todas las condiciones de carga de diseño. Estas reacciones son las siguientes:

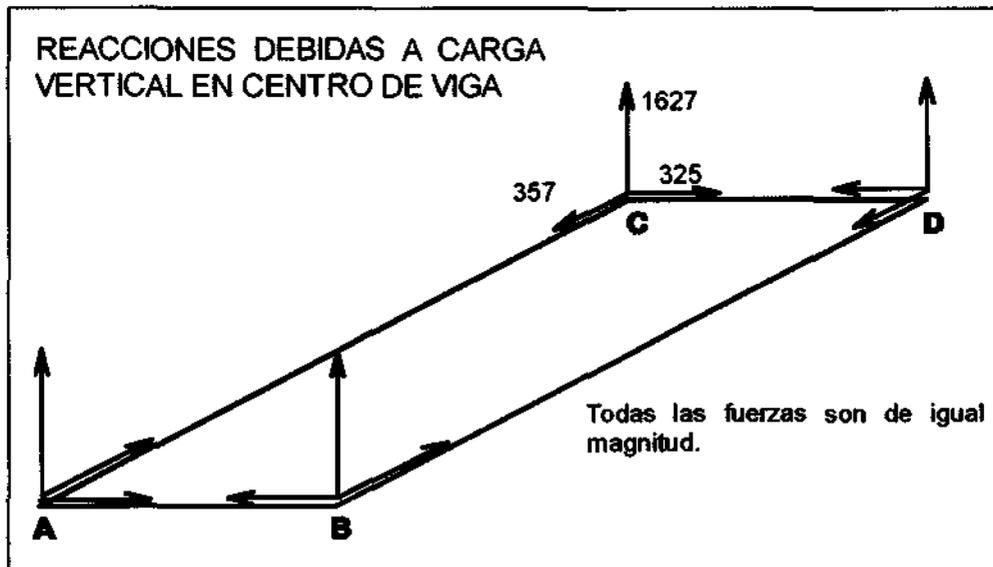


Fig. 4. 10

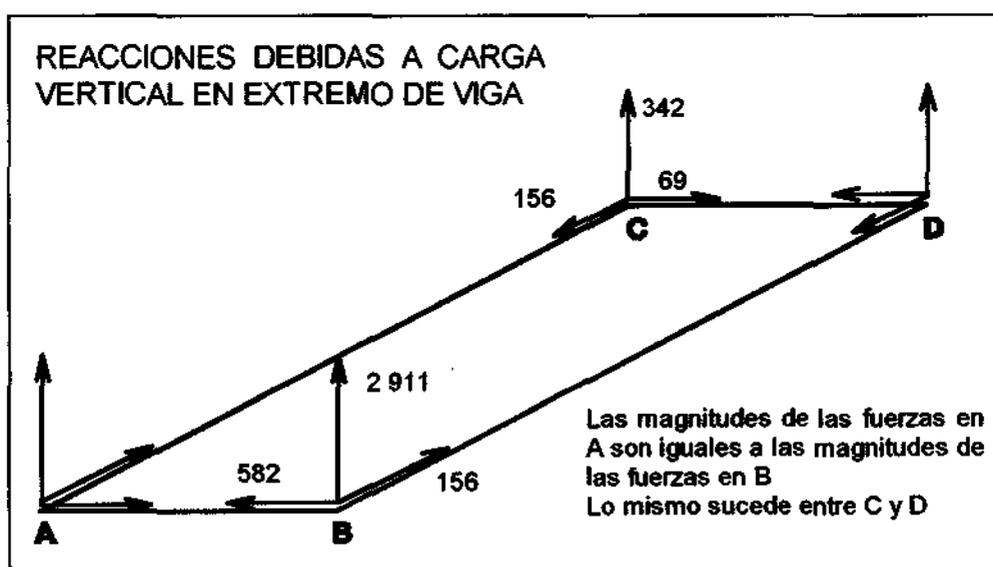


Fig. 4. 11

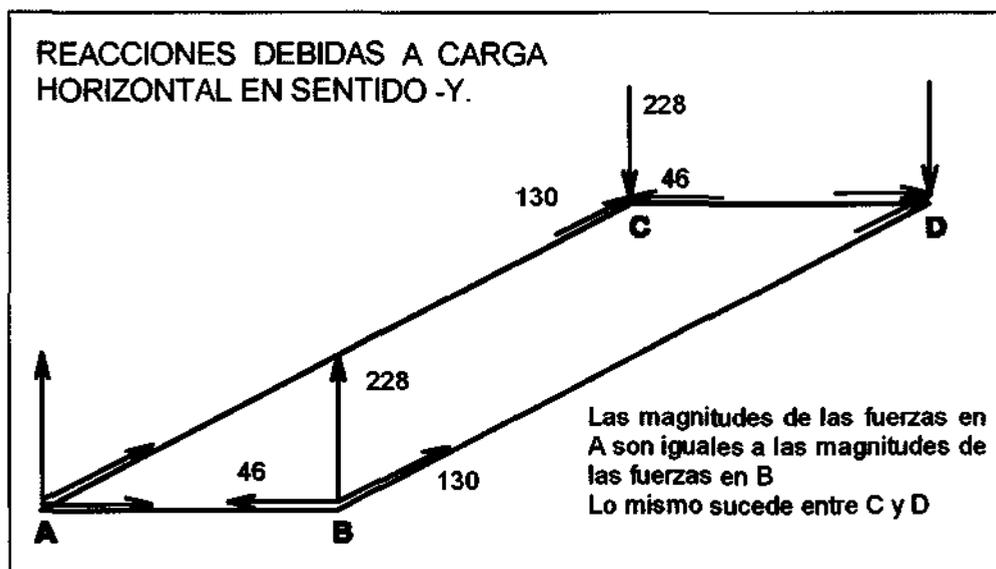


Fig. 4. 12

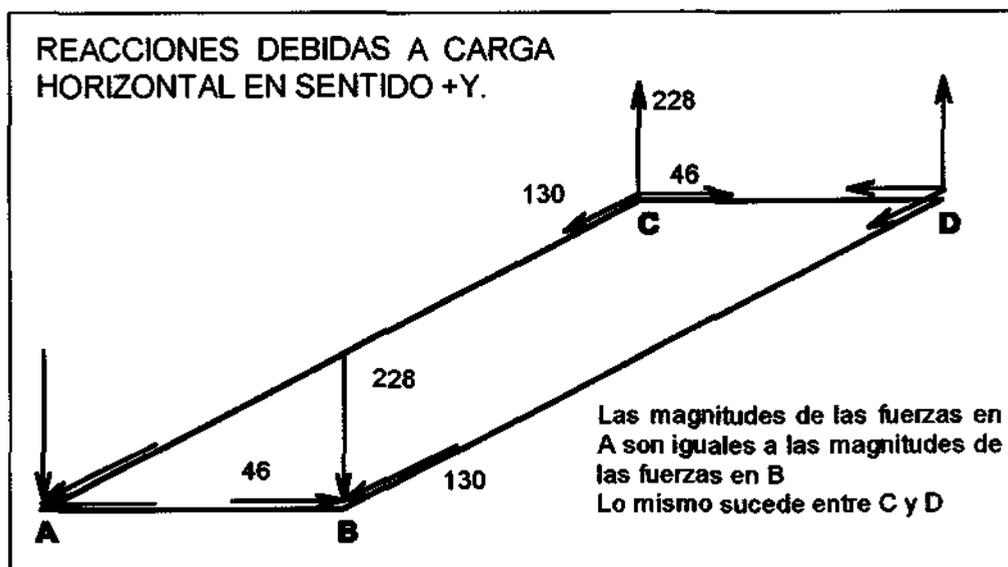


Fig. 4. 13

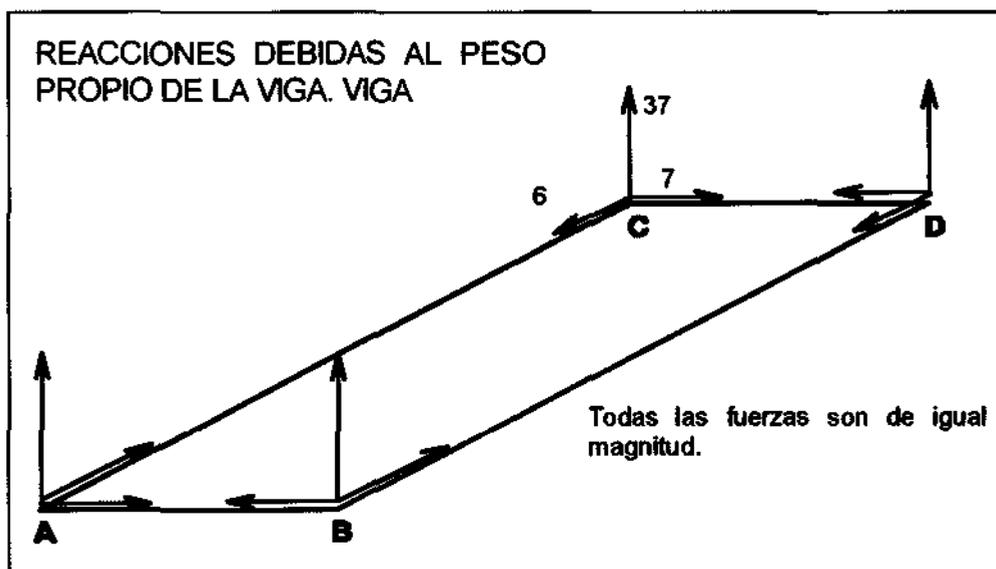


Fig. 4. 14

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Se evalúan las reacciones en x, y, z. Es obvio que la reacción en z es la normal y por lo tanto así se denomina en las expresiones siguientes. Luego se evalúan las fuerzas de rozamiento y de oposición a la rodadura según la reacción a analizar, esté en "y" o "x" respectivamente. Si la fuerza de rozamiento o de oposición a la rodadura es mayor a la respectiva reacción, entonces no existirá desplazamiento en esa dirección. Las reacciones pueden verse en el gráfico anterior. Utilizando los coeficientes respectivos tenemos:

Para la primera combinación de cargas:

$$R_{AX} = 1,4 \times 7,4 + 1,6 \times 582 + 46 = 988 \text{ kg}$$

El valor 582 Kg es el peor de los casos para éste análisis.

$$R_{AY} = 1,4 \times 6 + 1,6 \times 357 + 130 = 710 \text{ kg}$$

$$N_{AX} = 1,4 \times 37 + 1,6 \times 2911 + 228 = 4938 \text{ kg}$$

$$N_{AY} = 1,4 \times 37 + 1,6 \times 1627 + 228 = 2883 \text{ kg}$$

$$Roz = 2883 \times \mu_r = 2883 \times 0,58 = 1672$$

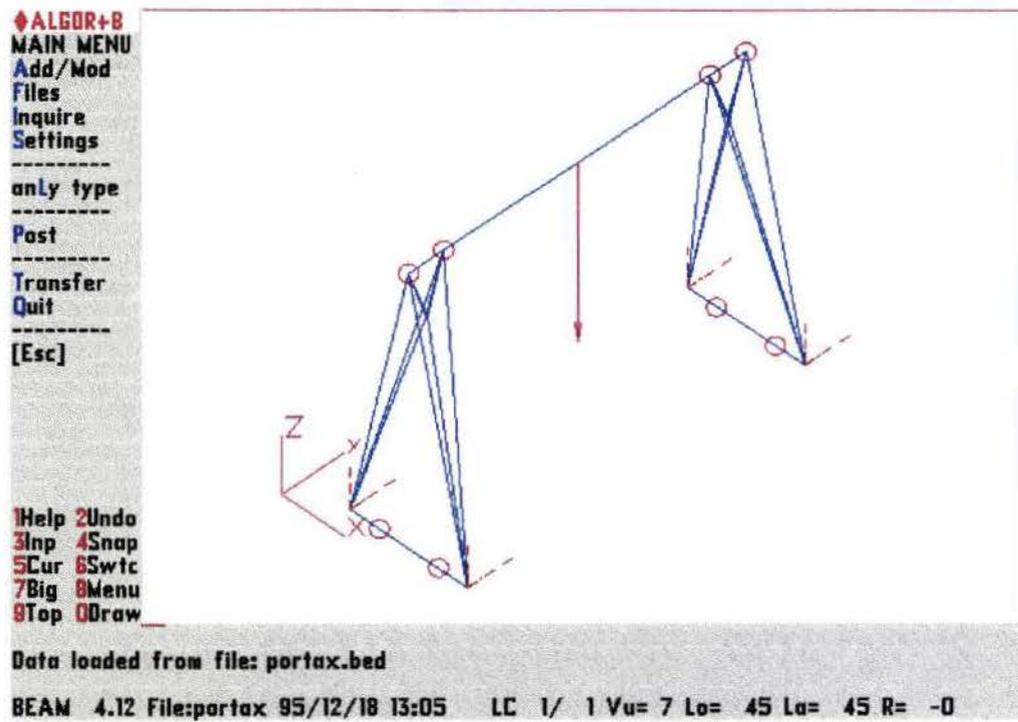
$$F_{OPOC.ROD} = Wf / r = 4938 \times 0,38 / 5 = 375$$

Puede verse que en el eje "y" no existirán deslizamientos pero en el eje "x" si se podrá desplazar (rotar) (asumiendo que la rueda tendrá radio 5 cm o más). El facilitar la rodadura nos conviene, pues asegura un fácil izaje del pórtico.

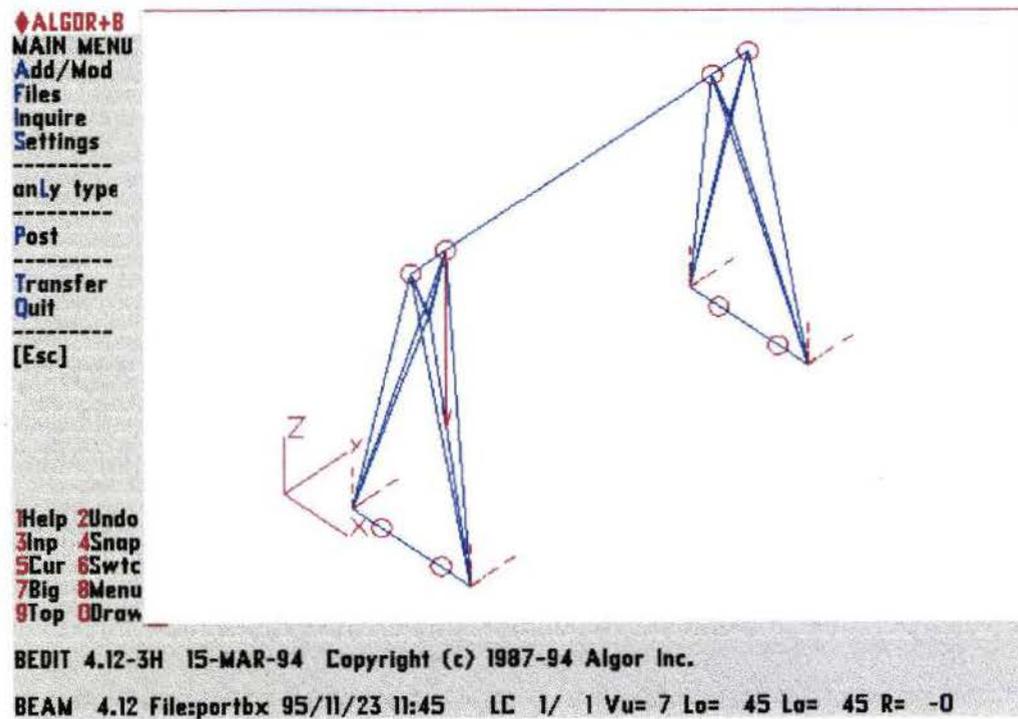
Teniendo en cuenta los resultados anteriores, el modelo correcto a analizar tendrá apoyos deslizantes en X y fijos en Y, Z. Esto se visualiza en las figuras siguientes mediante líneas en las direcciones en que los apoyos son fijos.

A continuación se muestra el modelo indicado con las diferentes condiciones de carga tal como se visualiza con el software Algor:

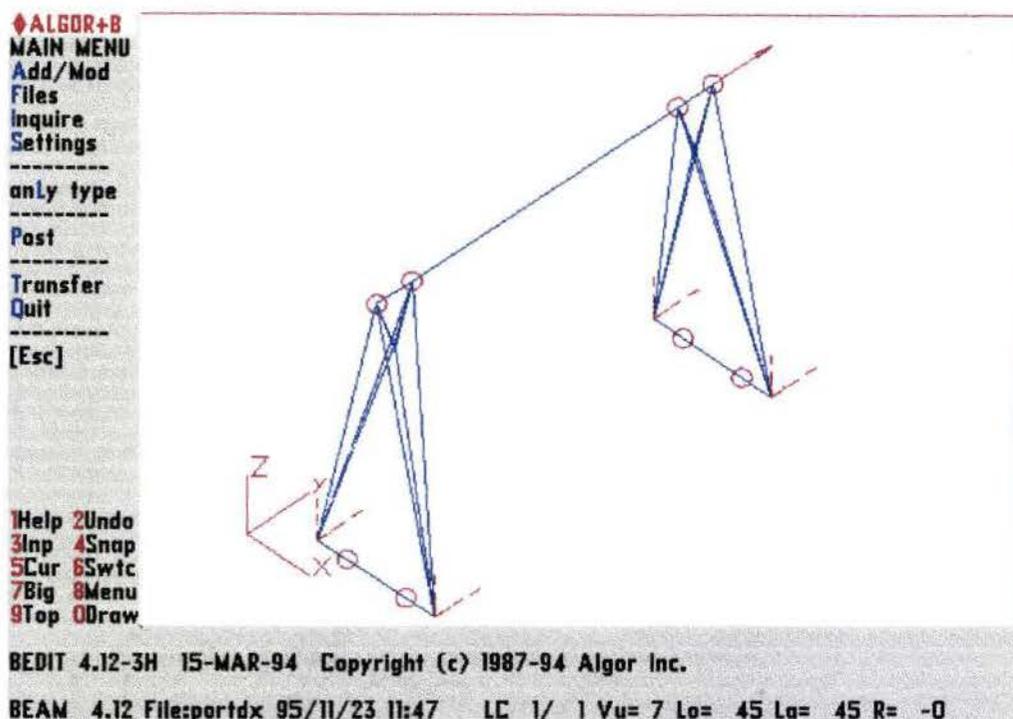
## CARGA VERTICAL EN EL CENTRO DE LA VIGA



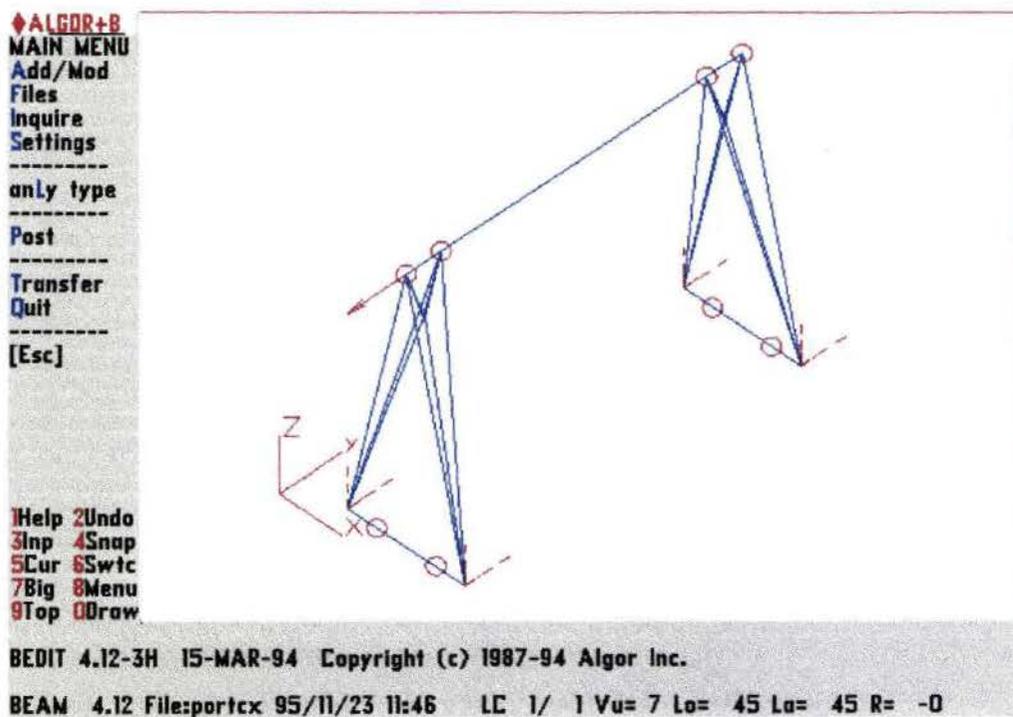
## CARGA VERTICAL EN EXTREMO DE LA VIGA



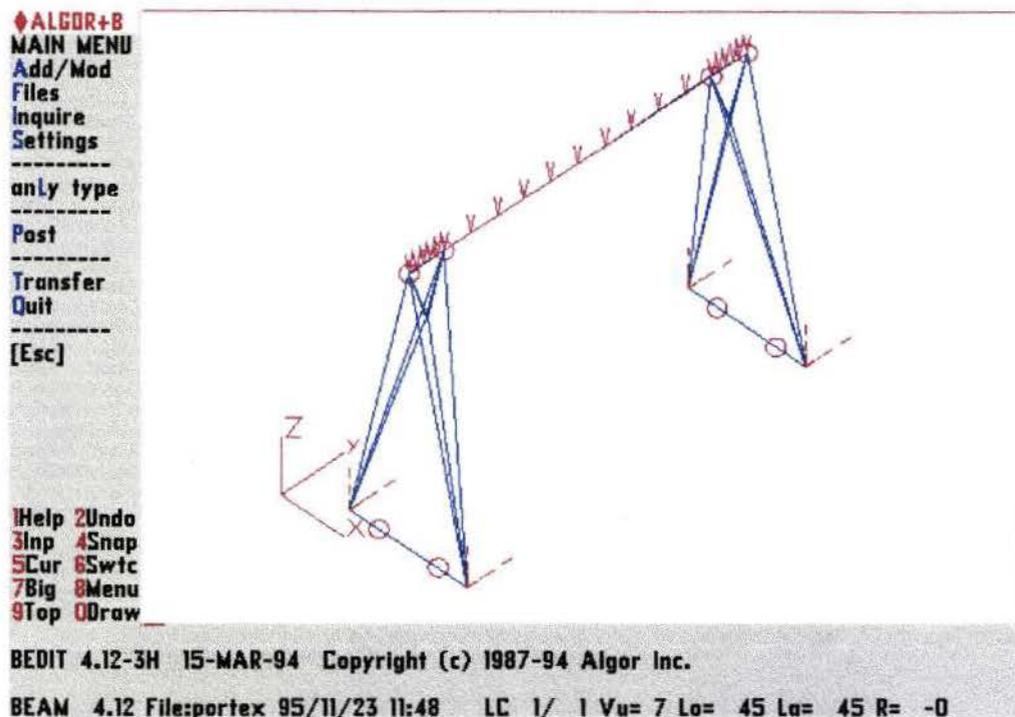
## CARGA HORIZONTAL EN EXTREMO EN DIRECCION +Y.



## CARGA HORIZONTAL EN EXTREMO EN LA DIRECCION -Y.



## PESO PROPIO DELA VIGA (CARGA DISTRIBUIDA)



Cada gráfico mostrado anteriormente corresponde a un archivo de entrada para el análisis mediante el software Algor. Este software emite unos resultados gráficos que son de fácil utilización y unos resultados en archivos texto (ASCII). Es obvio que es mucho más cómodo trabajar con diagramas de momento flector hechos y visualizados gráficamente que tener que construir los diagramas en base a datos numéricos. Por lo tanto la mayoría de datos de diseño que se utilizarán a continuación han sido obtenidos gráficamente y cuando sea posible se mostrarán los gráficos utilizados. De todas formas al final del trabajo, en el Anexo B, se muestran los resultados ASCII obtenidos del software indicado.

A continuación procederemos al diseño de los elementos de la estructura.

#### 4.4. Diseño de los elementos de la estructura.

Se utilizarán las combinaciones de carga más crítica para cada elemento.

##### 4.4.1 Diseño de la viga maestra.

Para el diseño de la viga son necesarios los diagramas de fuerza cortante (DFC) y los de momento flector (DMF). Para los diversos tipos de carga. Estos se muestran en los gráficos siguientes:

#### DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE (CARGA EN EL CENTRO)

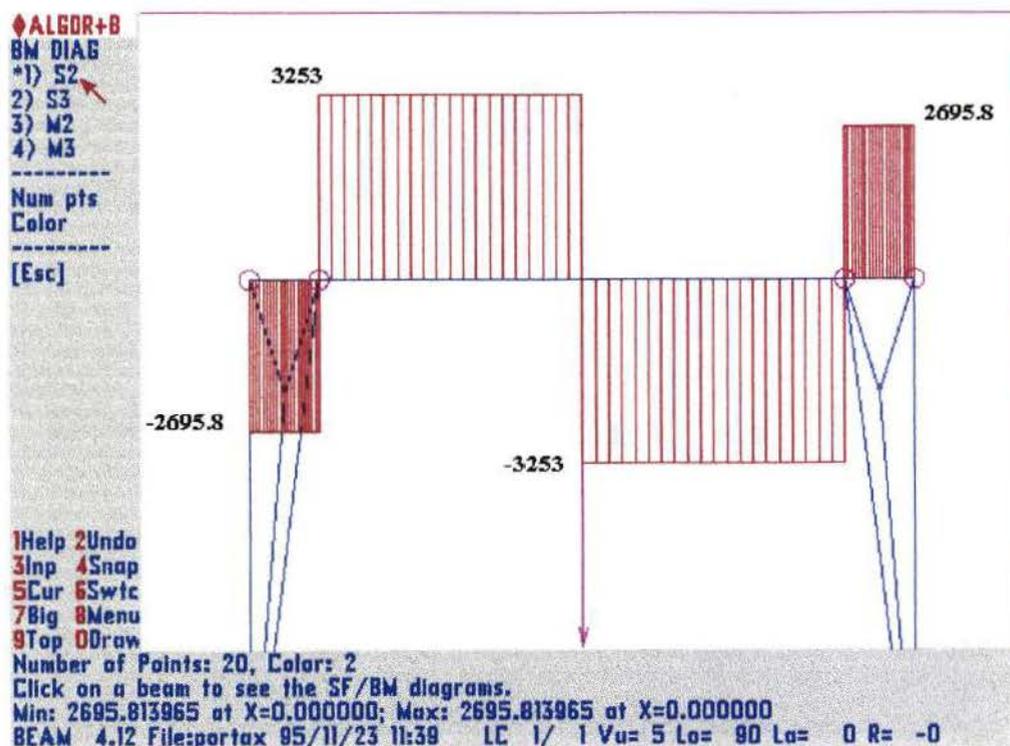


DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE (CARGA HORIZONTAL)

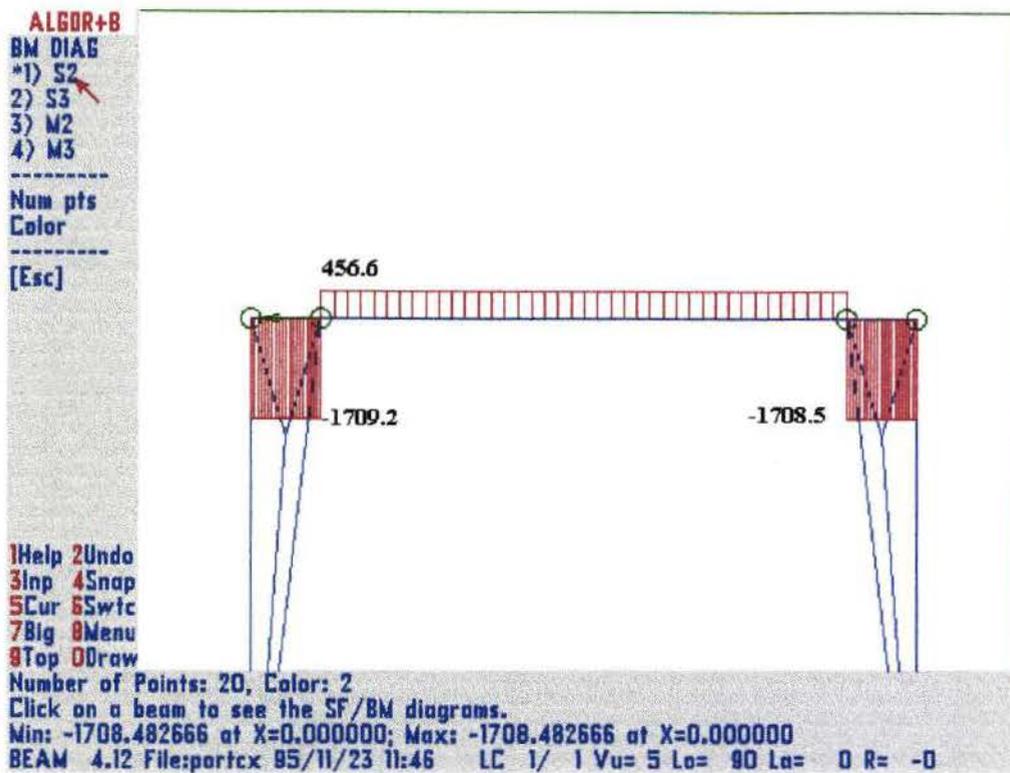
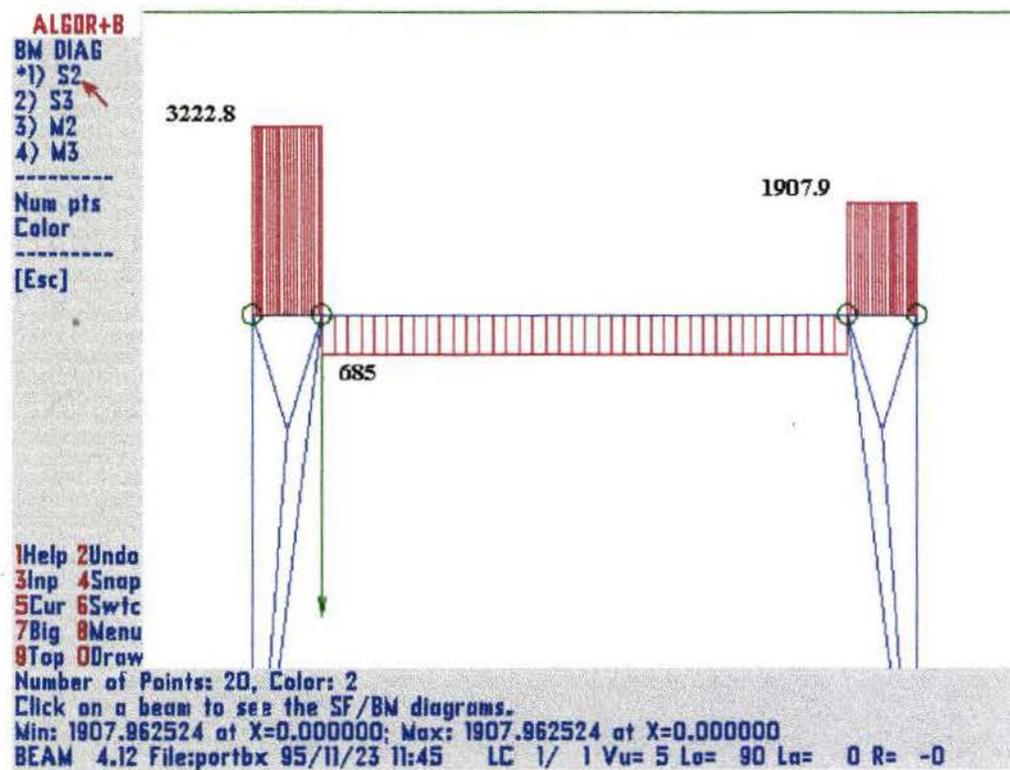
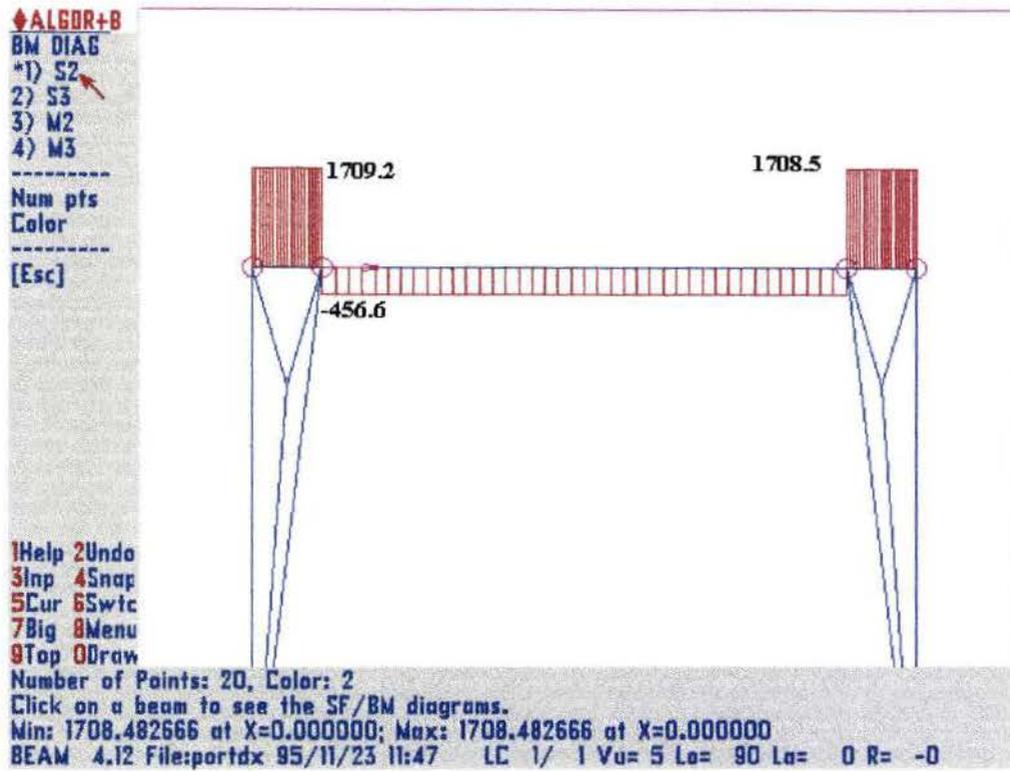


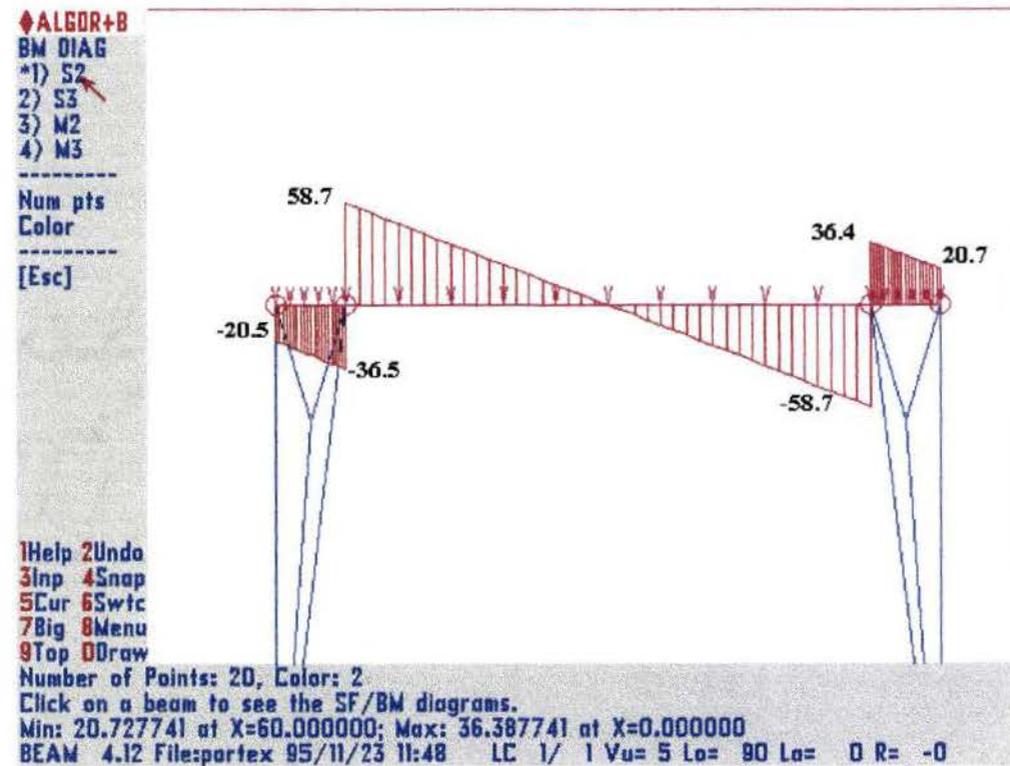
DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE (CARGA EN EXTREMO).



### DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE (CARGA HORIZONTAL)



### DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE (PESO PROPIO DE LA VIGA)



DIGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (CARGA EN EL CENTRO)

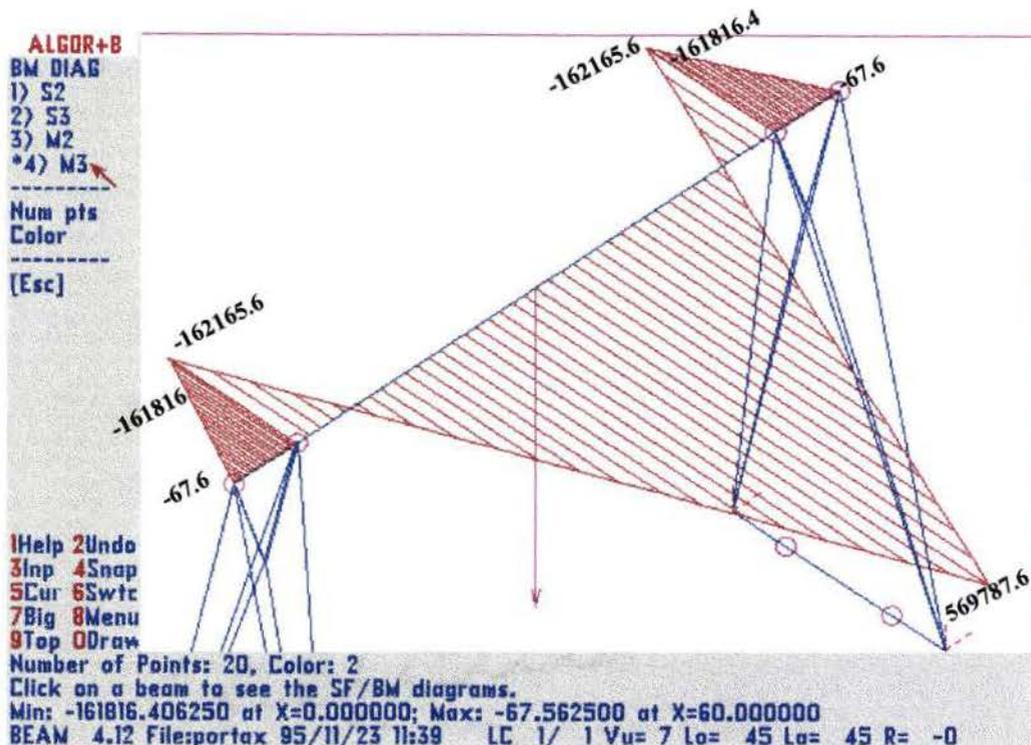


DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (CARGA EN EL EXTREMO)

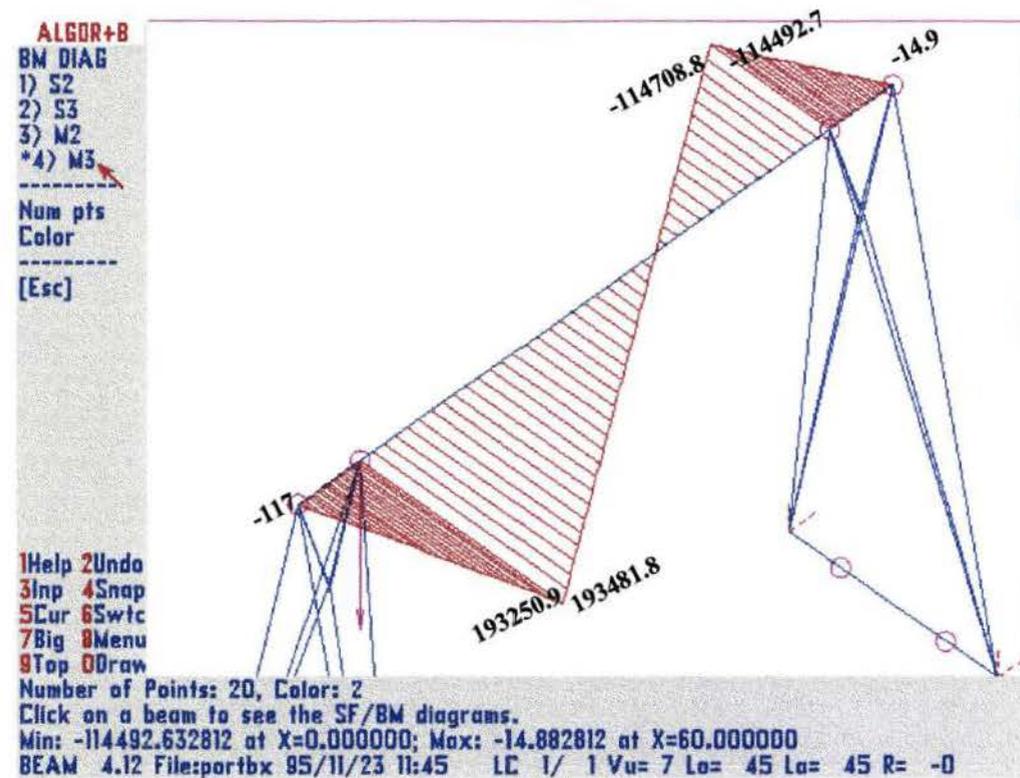


DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (CARGA HORIZONTAL)

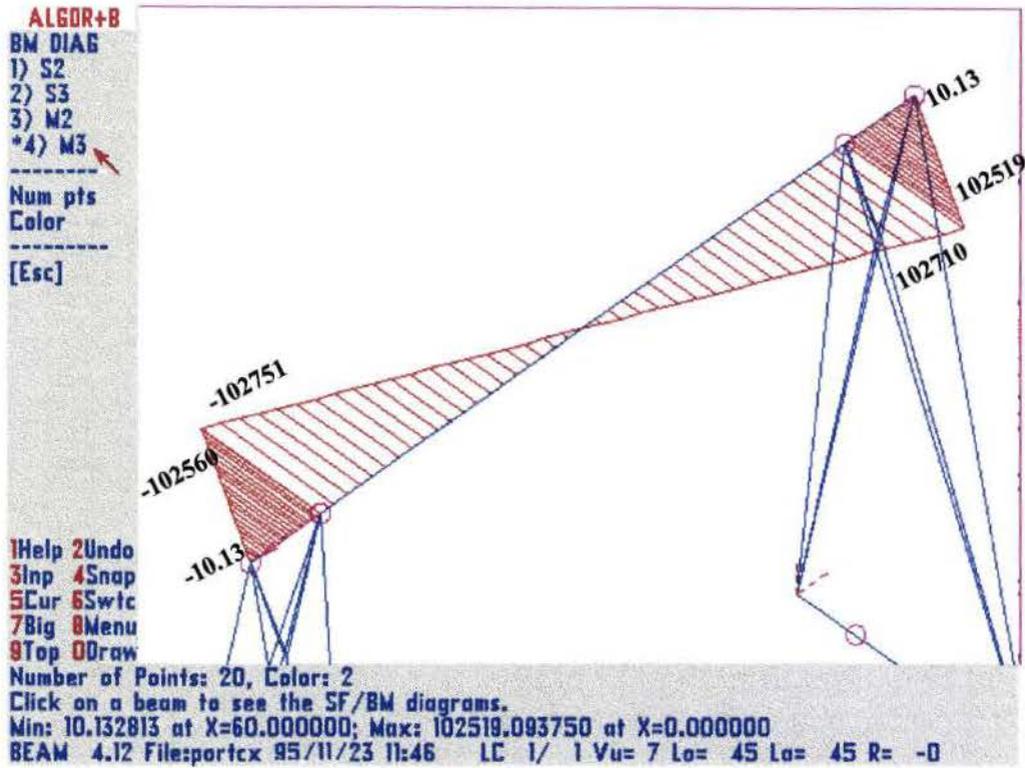
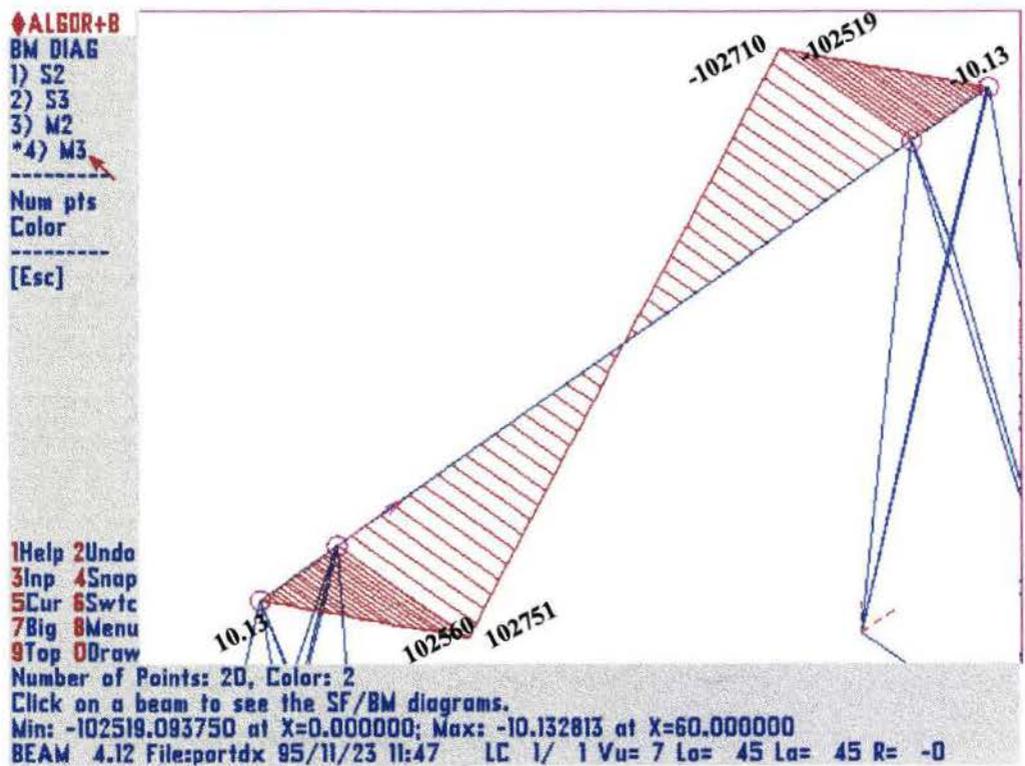
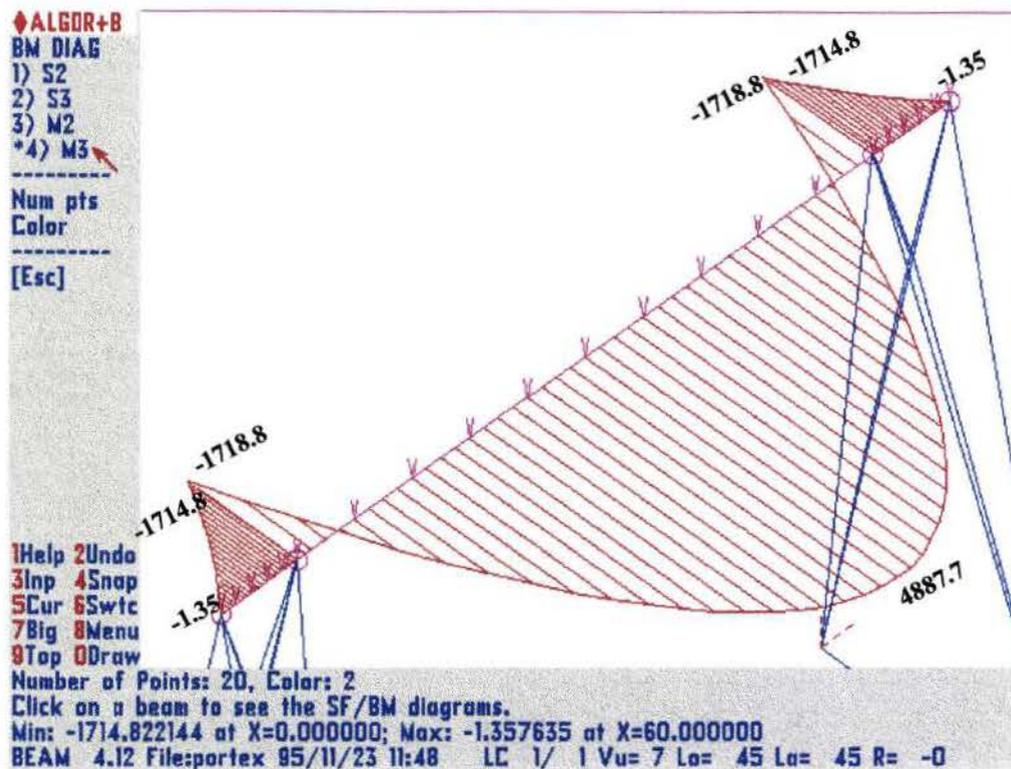


DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (CARGA HORIZONTAL)



### DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (PESO PROPIO DE LA VIGA)



Nótese que en los apoyos interiores de la viga existen dos valores de momento, éstos son saltos producidos por momentos soportados por los pines del apoyo, asimismo de los diagramas anteriores se comprueba que el mayor momento en la viga se da cuando la carga está en el centro de la misma

La combinación crítica de cargas es:

$$Mu = 1,4D + 1,6Lv + Lh$$

De lo anterior se obtiene:

$$Mu = 1,4 \times 4\ 887,7 + 1,6 \times 569\ 788 + 20,5$$

$$Mu = 918\ 524\text{Kg} \times \text{cm} = 9,185\text{t} \times \text{m}$$

$$\therefore Mu = 9,185\text{t} \times \text{m}$$

Además hay que considerar los siguientes requerimientos:

Luz de viga:  $L_b = 450 \text{ cm}$   
 Ancho de ala:  $b_f / 13\text{cm} < b_f < 17\text{cm}$   
 Peralte mínimo:  $d = 10,5 \text{ cm}$

De **LAS TABLAS DE SELECCIÓN DE PERFILES SOLDADO PARA DISEÑO DE MIEMBROS EN FLEXIÓN** <sup>(5)</sup> se obtienen los siguientes datos para la luz de viga  $L_b=450 \text{ cm.}$ :

PERFIL	$\phi_b M_p$ t-m	$\phi_b M_r$ t-m	$L_p$ cm	$L_r$ cm	$L_b$ cm	$M_u$ t-m	$\phi V_n$ t
CVS 300x49	16,2	8,3	298	826	450	13,93	32,5
CVS 250x54	15,1	7,2	181	1079	450	12,73	27,9
CVS 300x44	13,2	7,2	359	782	450	11,91	32,5
CVS 250x44	12,4	5,9	177	859	450	9,80	25,8

Se elige 250x44 por tener menos peso.

De las **TABLAS DE PROPIEDADES PARA DISEÑO DE PERFILES SOLDADOS** <sup>(6)</sup> se obtienen las siguientes características del perfil elegido:

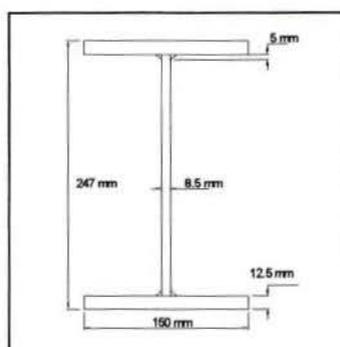


Fig. 4. 15

#### DATOS DE LA SECCION:

PESO = 0,443 kg/cm

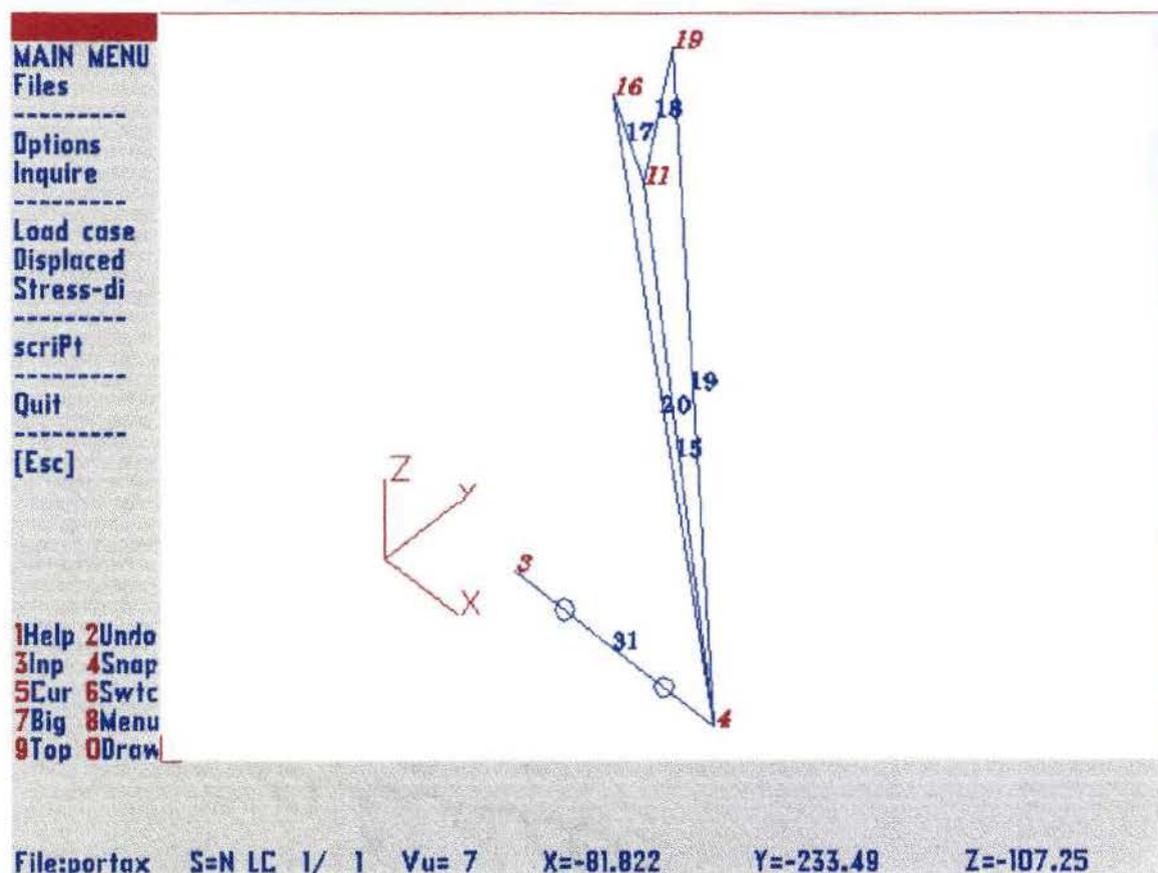
<sup>(5)</sup>ZAPATA BAGLIETTO, Luis F. Diseño estructural en acero. , pp A/25 a A/31

<sup>(6)</sup>ZAPATA BAGLIETTO, Luis F., Ob. cit. pp A/1 a A/15.

$$\begin{array}{ll}
 A = 56,4 \text{ cm}^2 & J = 24,1 \text{ cm}^4 \\
 I_{xx} = 5935 \text{ cm}^4 & S_{xx} = 481 \text{ cm}^3 \\
 I_{yy} = 703 \text{ cm}^4 & S_{yy} = 94 \text{ cm}^3
 \end{array}$$

#### 4.4.2. Diseño del montante.

La estructura consta de 4 montantes iguales, cada montante consta de 5 elementos. Un montante se une a otro montante mediante un extremo de viga y mediante un tirante. La figura siguiente muestra un montante con su respectivo tirante y con la numeración de elementos asignada por el software Algor.



Se diseñará sólo un montante, siendo el resultado válido para los 3 restantes. El montante elegido está constituido por los elementos 15, 17, 18, 19

y 20 tal como se muestra en la figura anterior. Estos elementos junto con su respectivo tirante (elemento 31) tienen las siguientes solicitaciones:

Elemento	Carga en el centro		Carga en el extremo		Carga horizontal(-Y)		Carga horizontal(+Y)		Peso propio de viga	
	R 1	P / A	R 1	P / A	R 1	P / A	R 1	P / A	R 1	P / A
15	-26,47	-12,31	-32,33	-15,04	-6,20	-2,89	6,20	2,89	-0,53	-0,25
17	-4,03	-1,88	-11,95	-5,58	0,22	0,10	-0,22	-0,10	-0,12	-0,06
18	-23,41	-10,85	-20,31	-9,45	-6,85	-3,19	6,85	3,19	-0,42	-0,20
19	-3031,00	-1410,00	-1314,00	-611,10	-1105,00	-514,00	1105,00	514,00	-48,41	-22,52
20	1378,00	640,90	-1631,00	-758,70	870,90	405,10	-870,90	-405,10	10,68	4,97
31	325,30	256,20	582,10	458,40	-45,66	35,95	-45,66	-35,95	7,44	5,86

Elemento	Carga en el centro		Carga en extremo		Carga horizontal(-Y)		Carga horizontal (+Y)		Peso propio de viga	
	M 2	M 3	M 2	M 3	M 2	M 3	M 2	M 3	M 2	M 3
15	55,56	48,40	64,58	-1,10	13,56	21,30	-13,56	-21,30	1,09	0,69
	212,00	244,20	229,80	-14,77	54,51	109,00	-54,51	-109,00	4,09	3,28
17	-24,28	-147,60	-123,10	45,06	9,76	-71,83	-9,76	71,83	-0,96	-1,86
	8,61	-102,80	-244,80	58,84	44,24	-54,56	-44,24	54,56	-1,13	-1,19
18	-201,00	-87,56	-123,80	-27,33	-67,21	-33,68	67,21	33,68	-3,40	-1,28
	-354,50	17,58	-215,50	-85,55	-119,00	21,82	119,00	-21,82	-5,98	-0,03
19	-47,17	-18,59	-30,76	-7,02	-15,49	-6,95	15,49	6,95	-0,81	-0,28
	46,41	159,60	82,04	-29,17	6,68	74,48	-6,68	-74,48	1,06	2,08
20	-7,79	-27,83	-33,59	8,69	2,16	-13,58	-2,16	13,58	-0,28	-0,35
	126,10	139,50	75,31	0,84	42,55	60,73	-42,55	-60,73	2,12	1,91
31	0,00	-7,84	0,00	-1,29	0,00	-3,21	0,00	3,21	0,00	-0,11
	0,00	7,84	0,00	1,29	0,00	3,21	0,00	-3,21	0,00	0,11

#### 4.4.2.1. Diseño del elemento 20.

El elemento 20 se diseña por compresión, pero una vez hallada la sección y evaluado el número de arriostres se verifica la flexo-compresión.

#### DIMENSIONES INICIALES DEL ELEMENTO 20

$$A = 2,15 \text{ cm}^2 \quad I = 1,54$$

$$r_g = 1,54 \text{ cm} \quad L = 510 \text{ cm}$$

#### CALCULO DE LA CARGA MAYORADA DE DISEÑO

$$P_u = 1,2(D) + 1,6(L_v) + 1(L_h)$$

$$P_u = 3470 \text{ kg}$$

#### CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ ( $KL/r_g$ )

$$KL/r_g = 1 \times 510 / 0,85 = 542,4 > 200 \quad \text{NO PASA}$$

Colocando 3 arriostres sobre el elemento la nueva relación de esbeltez será:

$$K(L/4)/r_g = (510/4)/0,85 = 150 < 200 \quad \text{OK}$$

#### CALCULO DE $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{kl / r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{150}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21 \times 10^5}} = 1,63 > 1,5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0,877}{1,63^2} \right) \times 2460 = 811,9 \text{ kg / cm}^2$$

#### CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot A \cdot F_{cr} = 0,85 \times 2,15 \times 811,9 = 1483 \text{ kg} < P_u \quad \text{NO PASA}$$

Probamos con tubo de sección mayor.

TUBO DE 1"

CARACTERISTICAS DE LA SECCION

$$\begin{aligned} A &= 3,187 \text{ cm}^2 & I &= 3,621 \\ r_g &= 1,067 \text{ cm} & L &= 510 \text{ cm}, & L/4 &= 127,5 \end{aligned}$$

CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ ( $KL/r_g$ )

$$KL/r_g = 1 \times 127,5 / 1,067 = 119,5 < 200 \quad \text{OK}$$

CALCULO DE  $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{KL/r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{119,5}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21 \times 10^5}} = 1,302 < 1,5 \Rightarrow F_{cr} = (0,658)^{1,32} \times 2460 = 1210 \text{ kg/cm}^2$$

CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot A \cdot F_{cr} = 0,85 \times 3,187 \times 1210 = 3278 \text{ kg} > P_u \quad \text{NO PASA}$$

Probamos con tubo de sección mayor.

TUBO DE 1 $\frac{1}{4}$ "

CARACTERISTICAS DE LA SECCION

$$\begin{aligned} A &= 4,316 \text{ cm}^2 & I &= 8,117 \\ r_g &= 1,371 \text{ cm} & L &= 510 \text{ cm}, & L/4 &= 127,5 \end{aligned}$$

CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ ( $KL/r_g$ )

$$KL/r_g = 1 \times 127,5 / 1,371 = 92,99 < 200 \quad \text{OK}$$

CALCULO DE  $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{kl/r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{93}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21E5}} = 1,013 < 1,5 \Rightarrow F_{\sigma} = (0,658)^{1,013^2} \times 2\,460 = 1\,601 \text{ kg/cm}^2$$

CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot A \cdot F_{\sigma} = 0,85 \times 3,187 \times 1\,601 = 5874 \text{ kg} > P_u \quad \text{OK}$$

Por lo tanto para el elemento 20 se acepta el tubo de 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>" de diámetro, de peso estándar y de especificación A53 Tipo E - ASTM.

#### 4.4.2.2. Diseño del elemento 19.

Partimos probando con las características del tubo 20 pues pensamos que estos dos elementos deben tener igual sección.

La longitud del tubo 19 es :  $L = 513 \text{ cm}$

CALCULO DE LA CARGA MAYORADA DE DISEÑO

$$P_u = 1,2(D) + 1,6(L_v) + 1(L_h)$$

$$P_u = 6\,012 \text{ kg}$$

CARACTERISTICAS DE LA SECCION (TUBO DE 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>").

$$A = 4,316 \text{ cm}^2$$

$$I = 8,117$$

$$r_g = 1,371 \text{ cm}$$

$$L = 513 \text{ cm,}$$

$$L/4 = 128,25$$

CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ ( $KL/r_g$ )

$$KL/r_g = 1 \times 128,25 / 1.371 = 93,54 < 200 \quad \text{OK}$$

CALCULO DE  $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{kl / r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{93,54}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21E5}} = 1,019 < 1,5 \Rightarrow F_{cr} = (0,658)^{1,019^2} \times 2460 = 1592,9 \text{ kg / cm}^2$$

## CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi_c P_n = 0.85 \cdot A \cdot F_{cr} = 0,85 \times 4,316 \times 1593 = 5844 \text{ kg} < P_u \quad \text{NO PASA}$$

Probamos con tubo de diámetro mayor.

## TUBO DE 1 1/2".

## CARACTERISTICAS DE LA SECCION

$$A = 5,155 \text{ cm}^2$$

$$I = 12,903$$

$$r_g = 1,582 \text{ cm}$$

$$L = 513 \text{ cm,}$$

$$L/4 = 128,25$$

CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ ( $KL/r_g$ )

$$KL/r_g = 1 \times 128,25 / 1.582 = 81,068 < 200 \quad \text{OK}$$

CALCULO DE  $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{kl / r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{81,07}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21E5}} = 0,883 < 1,5 \Rightarrow F_{cr} = (0,658)^{0,883^2} \times 2460 = 1775 \text{ kg / cm}^2$$

## CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi_c P_n = 0.85 \cdot A \cdot F_{cr} = 0,85 \times 5,155 \times 1775 = 7778 \text{ kg} > P_u \quad \text{OK}$$

Por lo tanto aceptamos que el elemento 19 sea hecho de tubo de diámetro nominal  $1\frac{1}{2}$ " ,de peso estándar y de especificación A53 Tipo E - ASTM.

También debe considerarse que para evitar el utilizar tubos de distinto diámetro para cada elemento se determina que el elemento 20 debe ser fabricado con un tubo de la misma sección que el elemento 19.

#### 4.4.2.3. Diseño del elemento 15.

Debido a que las cargas son menores a las soportadas por los elementos anteriores se inicia el diseño probando con un tubo de diámetro  $3/4$ ".

#### CARACTERISTICAS DE LA SECCION.

$$\begin{aligned} A &= 2,15 \text{ cm}^2 & I &= 1,54 \\ r_g &= 1,54 \text{ cm} & L &= 413 \text{ cm} \end{aligned}$$

#### CALCULO DE LA CARGA MAYORADA.

$$P_u = 1,2(D) + 1,6(L_v) + 1(L_h)$$

$$P_u = 58,58 \text{ kg}$$

#### CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ ( $KL/r_g$ )

$$KL/r_g = 1 \times (413/3) / 0,846 = 162,73 < 200 \quad \text{OK}$$

#### CALCULO DE $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{kl / r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{162,73}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21E5}} = 1,77 > 1,5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0,887}{1,77^2} \right) \times 2\,460 = 686 \text{ kg / cm}^2$$

CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot A \cdot F_{cr} = 0,85 \times 2,15 \times 686 = 1\,253 \text{ kg} > P_u \quad \text{OK}$$

Por lo tanto se acepta que el elemento 15 sea fabricado con tubo de diámetro 3/4". De las mismas especificaciones que los anteriores.

#### 4.4.2.4. Diseño de los elementos 17 y 18.

Debido a que los elementos 17 y 18 tienen menor longitud que la del elemento 15 y las cargas son en todos los casos menores a las del mismo elemento se deduce que el diámetro 3/4" cumple para estos elementos también.

De todas formas calculamos los datos de carga admisible para los elementos 17 y 18, pues estos datos son necesarios para la comprobación de la flexo-compresión.

CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ (KL/r<sub>g</sub>)

$$KL/r_g = 1 \times (104,41) / 0,846 = 123,42 < 200 \quad \text{OK}$$

CALCULO DE  $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{kl / r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{123,42}{\pi} \sqrt{\frac{2460}{21E5}} = 1,34 < 1,5 \Rightarrow F_{cr} = (0,658)^{1,34^2} \times 2\,460 = 1\,160 \text{ kg / cm}^2$$

CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi cPn = 0.85.A.Fcr = 0,85 \times 2,15 \times 1\ 160 = 2\ 120\ \text{kg}$$

#### 4.4.2.5. Verificación de la flexo-compresión.

##### a. Elemento 20.

El elemento está sometido a una fuerza de compresión  $P_u = 3470\ \text{kg}$  y tiene una resistencia a la compresión  $\phi.P_n = 5874\ \text{kg}$ .

Además soporta los siguientes momentos flectores en sus extremos.

	CARGA VERTICAL		CARGA HORIZONTAL		PESO PROPIO	
	EXTREM. i	EXTREMO j	EXTREM. i	EXTREMO j	EXTREM. i	EXTREMO j
<b>M3</b>	140	-28	60	-13	2	0,4
<b>M2</b>	126	-8	75	-33	2	-0,2

CALCULO DE  $M_n = M_{n2} = M_{n3}$

De la teoría explicada anteriormente:

$$\text{Si } L_b < L_p \Rightarrow M_n = Z_x \cdot F_y = M_p$$

Para este caso  $L_b = 127,5\ \text{cm}$  (longitud no arriostrada)

$$L_p = \frac{3750 \cdot r_g}{M_p} \sqrt{J \cdot A} = \frac{3750}{11,34} \times 0,54 \times \sqrt{0,39 \times 0,669} = 91,2\ \text{pu lg} = 231\ \text{cm}$$

$$\therefore \text{Como } L_b < L_p \Rightarrow M_n = M_p = 0,324 \times 35 = 11,34\ \text{lb-pulg} = 13061\ \text{kg-cm}$$

CALCULO DE  $P_u / (\phi.P_n)$ :

$$P_u/(\phi \cdot P_n) = 3470/5874 = 0,59 > 0,2 \text{ por lo tanto debe}$$

cumplirse la siguiente expresión:

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$$

CALCULO DE  $\phi_b \cdot M_{nx} = \phi_b \cdot M_{ny} = \phi_b \cdot M_n$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \times 13\,061 = 11\,755$$

CALCULO DE  $M_{ux} = M_{u3} = B1 \cdot M_{nt3} + B2 \cdot M_{lt3}$

$$M_{nt3} = 142 \text{ kg-cm} \quad M_{lt3} = 60 \text{ kg-cm}$$

$$B1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_e}}$$

$$P_u = 3470$$

$$P_e = \frac{A_g}{\lambda c^2} F_y \quad P_e = 4,316 \times 2460 \div (1,013)^2 = 10\,347$$

$$C_m = 0,6 - 0,4(28,5/142) = 0,52$$

$$B1 = 0,52 / (1 - 3470/10347) = 0,78 < 1$$

$$B1 = 1$$

$$B2 = \frac{1}{1 - \frac{\Delta h}{L} \cdot \frac{\sum P_u}{\sum H}}$$

$$\Delta h = \text{deflexión debida a carga horizontal} = 2,5 \text{ cm}$$

$$L = \text{Altura del p\u00f3rtico} = 500 \text{ cm}$$

$$\Sigma P_u = \text{Peso de la viga.} = 253 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = \text{Suma de fuerzas horizontales} = 521 \text{ kg}$$

$$\therefore B_2 = 1,002 = 1$$

$$M_{u_3} = 142 + 60 = 202 \text{ kg-cm}$$

$$\text{CALCULO DE } M_{u_y} = M_{u_2} = B_1 \cdot M_{nt_2} + B_2 \cdot M_{lt_2}$$

$$M_{nt_2} = 128 \text{ kg-cm} \quad M_{lt_2} = 75 \text{ kg-cm}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_e}}$$

$$P_u = 3470$$

$$P_e = \frac{A_g}{\lambda c^2} F_y \quad P_e = 4,316 \times 2460 \div (1,013)^2 = 10\,347$$

$$C_m = 0,6 - 0,4(8,2/128) = 0,52$$

$$B_1 = 0,57 / (1 - 3470/10347) = 0,86 < 1$$

$$B_1 = 1$$

$$B_2 = 1,002 = 1 \text{ Es igual para todos los casos.}$$

$$M_{u_2} = 128 + 75 = 203 \text{ kg-cm}$$

Verificamos la desigualdad:

$$0,59 + (8/9) \times (202/11755 + 203/11755) = 0,620 < 1 \quad \text{OK}$$

**b.Elemento 15.**

El elemento está sometido a una fuerza de compresión  $P_u = 3470$  kg y tiene una resistencia a la compresión  $\phi.P_n = 5874$  kg.

Además sopra los siguientes momentos flectores en sus extremos.

	CARGA VERTICAL		CARGA HORIZONTAL		PESO PROPIO	
	EXTREM. i	EXTREMO j	EXTREM. i	EXTREMO j	EXTREM. i	EXTREMO j
<b>M3</b>	244	48	109	21	3	1
<b>M2</b>	212	56	55	14	4	1

CALCULO DE  $M_n = M_{n2} = M_{n3}$

De la teoría explicada anteriormente:

Si  $L_b < L_p \Rightarrow M_n = Z_x \cdot F_y = M_p$

Para este caso  $L_b = 413,2/3 = 137,7$  cm (longitud no arriostrada)

$$L_p = \frac{3750 \cdot r_g}{M_p} \sqrt{J \cdot A} = \frac{3750}{11,34} \times 0,85 \times \sqrt{0,074 \times 0,333} = 233 \text{ pulg} = 592 \text{ cm}$$

$\therefore$  Como  $L_b < L_p \Rightarrow M_n = M_p = 0,061 \times 35 = 2,14$  lb-pulg = 2 465 kg-cm

CALCULO DE  $P_u / (\phi.P_n)$ :

$$P_u/(\phi \cdot P_n) = 59/1254 = 0,05 < 0,2 \text{ por lo tanto debe}$$

cumplirse la siguiente expresión:

$$\frac{P_u}{2\phi_c \cdot P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$$

CALCULO DE  $\phi_b \cdot M_{nx} = \phi_b \cdot M_{ny} = \phi_b \cdot M_n$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \times 2465 = 2219$$

CALCULO DE  $M_{ux} = M_{u3} = B1 \cdot M_{nt3} + B2 \cdot M_{lt3}$

$$M_{nt3} = 394 \text{ kg-cm} \quad M_{lt3} = 109 \text{ kg-cm}$$

$$B1 = \frac{Cm}{1 - \frac{P_u}{P_e}}$$

$$P_u = 59$$

$$P_e = \frac{A_g}{\lambda c^2} F_y \quad P_e = 2,15 \times 2460 \div (1,773)^2 = 1683$$

$$Cm = 0,6 - 0,4(48,7/447) = 0,56$$

$$B1 = 0,56 / (1 - 59/1683) = 0,58 < 1$$

$$B1 = 1$$

$$B2 = 1,002 = 1 \text{ ( Se trata de la misma estructura)}$$

$$M_{u3} = 394 + 109 = 503 \text{ kg-cm}$$

CALCULO DE  $M_{uy} = M_{u2} = B1 \cdot M_{nt2} + B2 \cdot M_{lt2}$

$$M_{nt2} = 344 \text{ kg-cm} \quad M_{lt2} = 55 \text{ kg-cm}$$

$$B1 = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{Pe}}$$

$$Cm = 0,6 - 0,4(8,2/128) = 0,49$$

$$B1 = 1$$

$$B2 = 1,002 = 1 \text{ Es igual para todos los casos.}$$

$$Mu_2 = 344 + 55 = 399 \text{ kg-cm}$$

Verificamos la desigualdad:

$$59/(2 \times 1254) + (503/2219 + 399/2219) = 0,43 < 1 \quad \text{OK}$$

### c.Elemento 18.

El elemento está sometido a una fuerza de compresión  $P_u = 3470 \text{ kg}$  y tiene una resistencia a la compresión  $\phi \cdot P_n = 5874 \text{ kg}$ .

Además soprt a los siguientes momentos flectores en sus extremos.

	CARGA VERTICAL		CARGA HORIZONTAL		PESO PROPIO	
	EXTREM. i	EXTREMO j	EXTREM. i	EXTREMO j	EXTREM. i	EXTREMO j
<b>M3</b>	87	18	34	22	1	0
<b>M2</b>	354	201	119	67	6	3

CALCULO DE  $M_n = M_{n2} = M_{n3}$

De la teoría explicada anteriormente:

Si  $L_b < L_p \Rightarrow M_n = Z_x \cdot F_y = M_p$

Para este caso  $L_b = 1104,41 \text{ cm}$  (longitud no arriostrada)

$L_p = 592 \text{ cm}$ .

$\therefore$  Como  $L_b < L_p \Rightarrow M_n = M_p = 0,061 \times 35 = 2,14 \text{ lb-pulg} = 2465 \text{ kg-cm}$

CALCULO DE  $P_u/(\phi \cdot P_n)$ :

$P_u/(\phi \cdot P_n) = 45/2119 = 0,02 < 0,2$  por lo tanto debe

cumplirse la siguiente expresión:

$$\frac{P_u}{2\phi_c \cdot P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$$

CALCULO DE  $\phi_b \cdot M_{nx} = \phi_b \cdot M_{ny} = \phi_b \cdot M_n$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \times 2465 = 2219$$

CALCULO DE  $M_{ux} = M_{U3} = B1 \cdot M_{nt3} + B2 \cdot M_{lt3}$

$$M_{nt3} = 140 \text{ kg-cm} \quad M_{lt3} = 34 \text{ kg-cm}$$

$$B1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_e}}$$

$$P_u = 45$$

$$Pe = \frac{Ag}{\lambda c^2} Fy \quad Pe = 1683$$

$$Cm = 0,6 - 0,4(0,20) = 0,52$$

$$B1 = 0,52 / (1 - 45/1683) = 0,53 < 1$$

$$B1 = 1$$

$$B2 = 1,002 = 1 \text{ ( Se trata de la misma estructura)}$$

$$Mu_3 = 140 + 34 = 174 \text{ kg-cm}$$

$$\text{CALCULO DE } Mu_y = Mu_2 = B1. Mnt_2 + B2. Mlt_2$$

$$Mnt_2 = 574 \text{ kg-cm} \quad Mlt_2 = 119 \text{ kg-cm}$$

$$B1 = 1$$

$$B2 = 1,002 = 1$$

$$Mu_2 = 574 + 119 = 693 \text{ kg-cm}$$

Verificamos la desigualdad:

$$45 / (2 \times 1254) + (174 / 2219 + 693 / 2219) = 0,4 < 1 \quad \text{OK}$$

#### 4.4.3. Diseño del tirante (elemento 31).

El elemento se diseña por tracción. Se inicia probando con el elemento con que se realizó el análisis estructural.

**CARACTERISTICAS DE LA SECCION.**

$$\begin{aligned} A &= 1,27 \text{ cm}^2 & I &= 0,13 \text{ cm}^4 \\ r_g &= 0,32 \text{ cm} & L &= 200 \text{ cm} \end{aligned}$$

**CALCULO DE LA CARGA MAYORADA DE DISEÑO.**

$$P_u = 1,2.D + 1,6.L_v + L_h.$$

$$P_u = 986 \text{ kg.}$$

**CALCULO DE LA CARGA PERMISIBLE.**

$$\phi_t.P_n = 0,9.A.F_y = 0,9 \times 1,27 \times 2\,530 = 2\,120 \text{ kg} > P_u \quad \text{OK}$$

Por lo tanto se acepta como tirante una varilla de diámetro nominal 1/2 " hechas de un acero ASTM A36.

**4.4.4. Diseño del acoplamiento montante-viga.**

El acoplamiento superior tiene la siguiente forma.

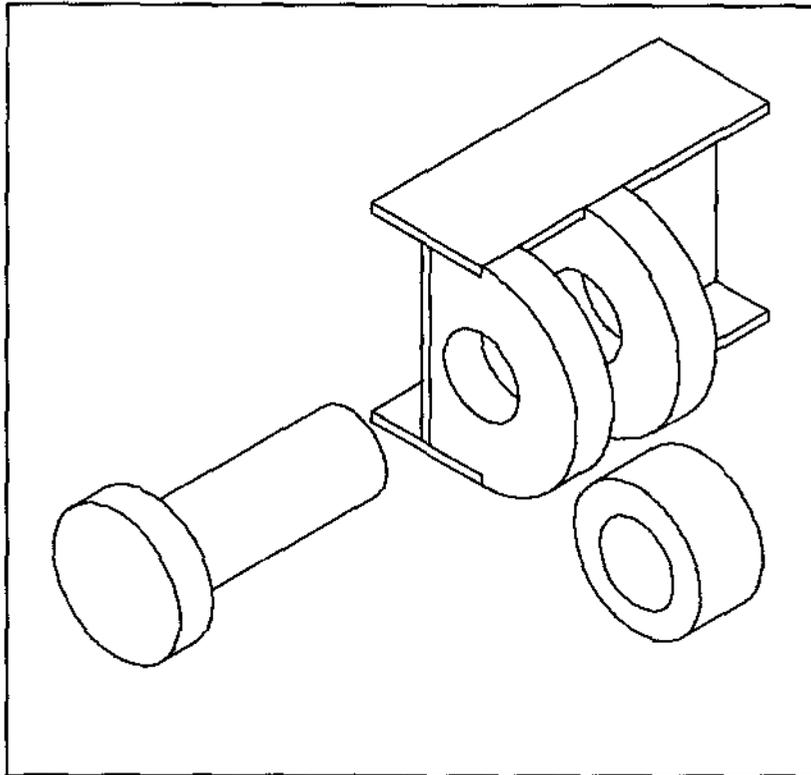


Fig. 4. 16

Las dimensiones a determinar se muestran en la figura siguiente. Es decir se determinará el diámetro del pin ( $d$ ), el espesor de la placa de sujeción ( $t$ ) y el ancho de la rótula de unión entre el pin y los tubos ( $a$ ). Los cálculos determinan las dimensiones mínimas porque, como se verá más adelante, existen características de construcción que definen las dimensiones antes mencionadas.

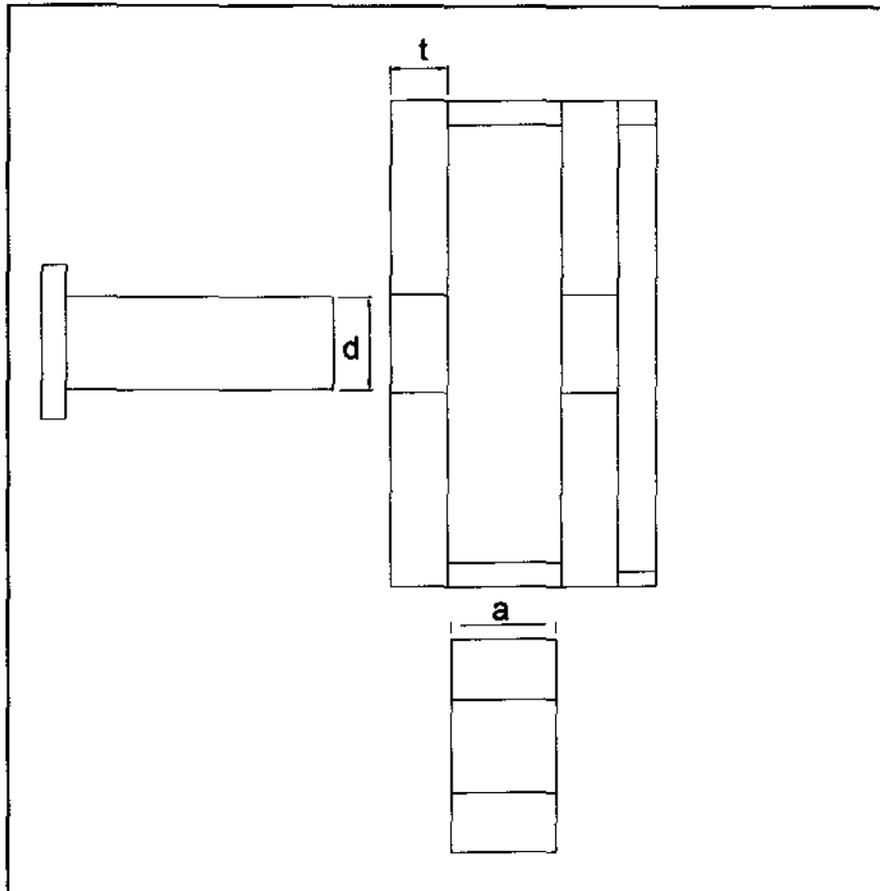


Fig. 4. 17

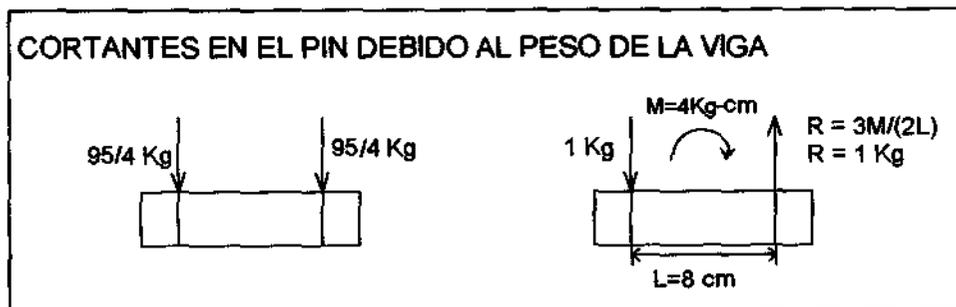
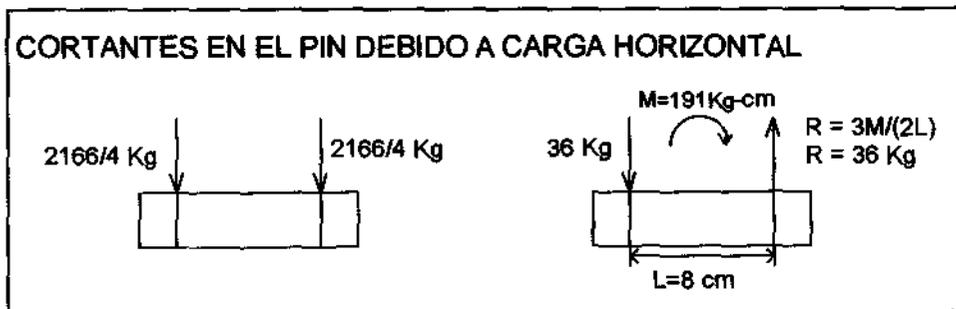
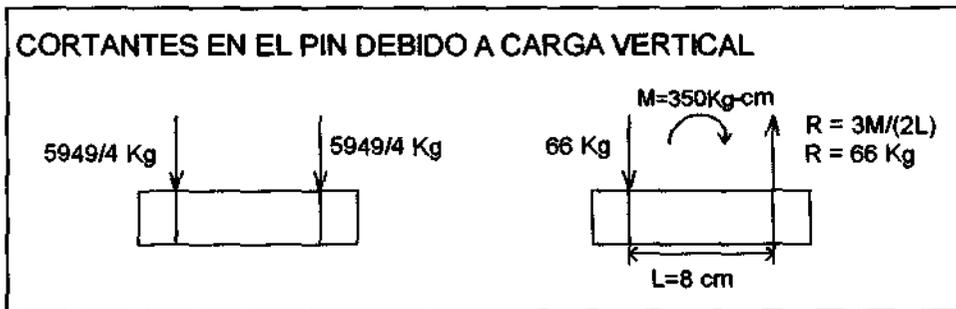
A continuación se procede al cálculo del pin.

#### CALCULO DEL PIN.

El pin se diseña por corte. El pin que se encuentra sometido a mayores cortantes es el pin interior, es decir el que une los elementos 19 y 18 con la viga maestra (ver diagramas de fuerza cortante). Por lo tanto diseñando este pin se tienen diseñados los 8 pines restantes pues esto garantiza la intercambiabilidad de piezas y de repuestos muy útil para el montaje y el mantenimiento preventivo de la estructura.

Este pin no solo trasmite la reacción de la viga hacia los apoyos "traducido" en cortante puro, sino también absorbe momento flector (ver en los diagramas de momentos flectores los cambios bruscos en los puntos de apoyo).

Observando los diagramas de fuerza cortante se determina que la combinación de cargas que ocasiona el mayor cortante es la producida por la carga en el centro más carga horizontal hacia la derecha más peso propio de la viga. Las fuerzas cortantes producto de cada una de las cargas mencionadas se puede ver en la figura siguiente.



Así tenemos que:

Cortante mayor debido a carga en el centro:

$$R_{LVC} = 5\,949/4 + 66 = 1\,553,25 \text{ kg}$$

Cortante mayor debido a carga horizontal (-y):

$$R_{LH} = 2\,166/4 + 36 = 577,5 \text{ kg}$$

Cortante mayor debido al peso propio de la viga:

$$R_D = 95/4 + 0,75 = 24,5 \text{ kg}$$

Por lo tanto la fuerza cortante d diseño es:

$$R_c = 1,2.R_D + 1,6.R_{LVC} + 1.R_{LH}$$

$$R_c = 3\,092 \text{ kg}$$

**CALCULO DE LA CARGA PERMISIBLE DE CORTE.**

$$\phi.R_n = \phi.A.(0,6.F_u)$$

**ESPECIFICACION LRFD.**

$$\phi.R_n = \phi.A.(0,6.F_u) \geq R_c$$

**CALCULO DEL DIAMETRO DEL PIN.**

$$\phi.A.(0,6.F_u) \geq R_c$$

$$0,65 \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot (0,6 \times 2530) > 3092$$

$$d > 2 \text{ cm}$$

Se acepta un pin de diámetro 1". Es decir  $d = 25 \text{ mm}$

El pin tendrá una holgura de 0,16 cm respecto a la placa y la rótula. Por lo tanto el diámetro mínimo del agujero tanto para la placa de sujeción como para la rótula será de 27 mm.

#### CALCULO DEL ANCHO DE ROTULA (a)

Como se puede observar en el cálculo del cortante producido sobre el pin debido al momento absorbido por el mismo, ya se usó la dimensión  $a = 8 \text{ cm}$ .

Calcularemos ahora la dimensión mínima para determinar si los 8 cm asumidos en base los diámetros de los tubos a soldar es correcta.

#### CALCULO DE a POR APLASTAMIENTO.

#### ESPECIFICACION LRFD.

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot (2,4) \cdot d \cdot a \cdot (F_u) \geq R_c$$

$$\phi = 0,75 \text{ (Para aplastamiento.)}$$

#### CALCULO DEL ANCHO DE ROTULA.

$$\phi \cdot (2,4) \cdot d \cdot a \cdot (F_u) \geq R_c$$

$$0,65 \cdot \pi \cdot 2,4 \cdot 2,5 \cdot a \cdot 4080 > 3092$$

$$a > 0,2 \text{ cm}$$

Por lo tanto el ancho de 8 cm asumidos para los cálculos cumple de sobra.

#### CALCULO DEL ANCHO DE ROTULA.

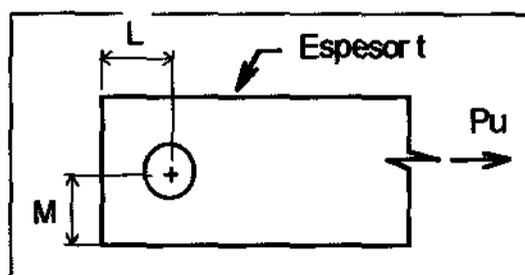
El diámetro de las rótulas se determina por la especificación que la distancia a los bordes deben ser <sup>(7)</sup>.

$$L \geq P_u / (\phi \cdot F_u \cdot t)$$

$$L \geq 1,5d \text{ (LRFD-AISC)}$$

$$M > 4,4 \text{ cm}$$

Donde:



Por lo tanto el diámetro de la rótula debe ser:

$$D_r > 2,7 + 4,4 + 4,4 = 11,5$$

Es decir,  $D_r = 12 \text{ cm.}$

Respecto al ancho de rótula si bien es cierto que los 8 cm cumple con la exigencia del aplastamiento, existen razones constructivas que nos llevan a variar esta dimensión. Como se soldarán tubos a esta rótula y se debe evitar la

<sup>(7)</sup>ZAPATA BAGLIETTO, Lui F., Ob. Cit. Pág. 4-10

interferencia se debe cumplir con las dimensiones mostradas en la figura siguiente.

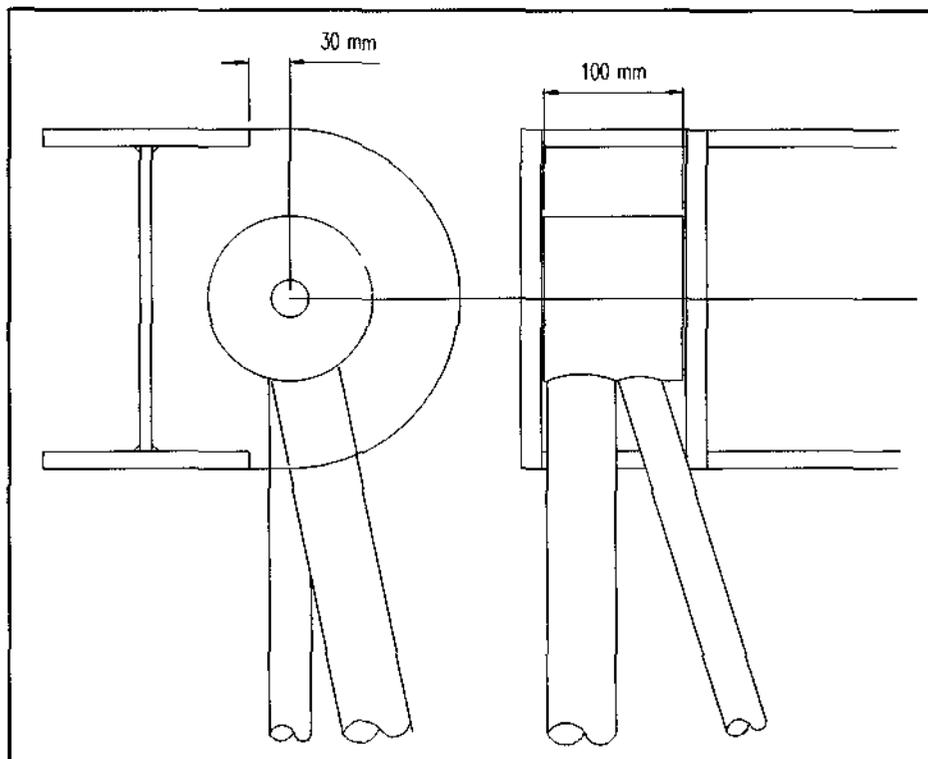


Fig. 4. 18

Como puede verse se varió incluso la posición del centro del agujero de la placa de sujeción.

#### VERIFICACION DE LA TRACCION EN LA ROTULA.

##### ESPECIFICACION LRFD.

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot A_e F_y > R_c$$

$$\phi = 0,75 \text{ (Para tracción)}$$

##### CALCULO DEL AREA EFECTIVA.

$$A_e = 8 \times (12 - (2,5 + 0,35)) = 73,12$$

## VERIFICACION

$$\phi.Ae.Fy > Rc$$

$$0,75. x 73,12 x 2 530 = 13927 > 3092 \quad \text{OK}$$

## CALCULO DEL ESPESOR DE PLACA DE SUJECION (t)

### POR TRACCION.

$$\phi.Ae.Fy > Rc$$

$$0,75. x (24.7-2.7) t x 2 530 > 3092$$

$$t > 0.06 \text{ cm}$$

### POR APLASTAMIENTO.

$$\phi.2,4. d t Fy > Rc$$

$$0,75. x (2,4 x 2,5 x t x 2 530 > 3092$$

$$t > 0.26 \text{ cm}$$

Se acepta una placa de 1/2". Es decir **t = 13 mm.**

## DISEÑO DE LA SOLDADURA.

Lo que hay que determinar es el tamaño del filete de soldadura (Ws).  
 Teniendo en cuenta que nuestro espesor de placa (T) es de 1/2". (Ver fig. siguiente)

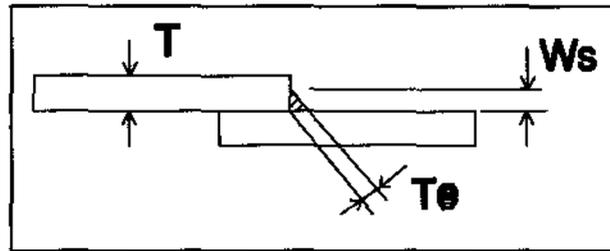


Fig. 4. 19

Existen las siguientes limitaciones para el tamaño de filete:

$$\text{Para } T = 1/2'' \quad W_{\text{MIN}} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Para } T > 1/4'' \quad W_{\text{MAX}} = 11 \text{ mm}^{(8)}$$

Asimismo la longitud de soldadura ( $L_s$ ) debe cumplir lo siguiente:

$$L_s \geq 4 \cdot W_s$$

$$L_s \geq 2 \cdot b \quad (\text{siendo } b \text{ la distancia que separa cordones paralelos})$$

Verificamos si colocando soldadura E 6011 de  $W_s = 5 \text{ mm}$  es suficiente para las sollicitaciones de la placa.

Dato de diseño:  $P_u = 3092 \text{ kg}$ .

CALCULO DE  $R_n$ :

$$\phi R_{nw} = 0,75 T_e (0,60 F_{exx}) \cdot L_s \quad (\text{mat. de soldadura})$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 W_s (0,60 F_u) \cdot L_s \quad (\text{mat. de placa})$$

Se toma como resistencia de diseño el menor de los valores anteriores.

<sup>(8)</sup>ZAPATA BAGLIETTO, Luis. Ob. Cit. Pág. 5-18

Tal como se aprecia en la figura 4.20 la longitud de soldadura a probar es 610 mm.

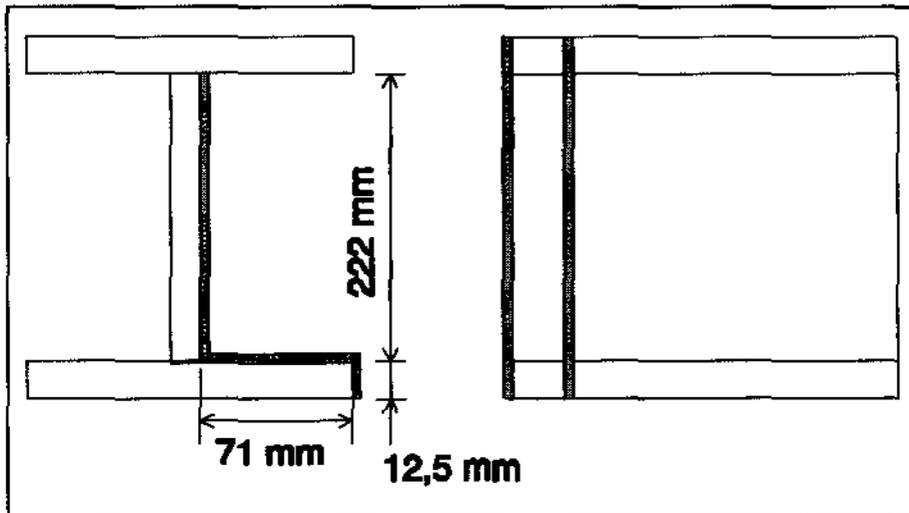


Fig. 4. 20

De la primera expresión:

$$\phi R_{nw} = 0,75 T_e(0,60 F_{exx}). L_s =$$

$$\phi R_{nw} = 0,75(0,707 \times 0,5)0,6 \times 4\,217 \times 61 = 40\,687 \text{ kg} \gg P_u \quad \text{OK}$$

Con la segunda expresión:

$$\phi R_{nw} = 0,75 W_s(0,60 F_u). L_s =$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \times 0,5 \times 0,6 \times 4\,080 \times 61 = 55\,998 \text{ kg} \gg P_u \quad \text{OK}$$

Por lo tanto se usa soldadura E6011 de 5 mm.

#### 4.4.5. Diseño del acoplamiento montante-tirante.

El elemento 31 (tirante) debe ser desmontable. Para cumplir con este requisito se ha pensado darle al tirante la forma que se muestra en la figura siguiente.

Cabe mencionar que los criterios de diseño son iguales a los empleados en el diseño del acoplamiento anterior, por lo que no se detallan demasiado los cálculos.

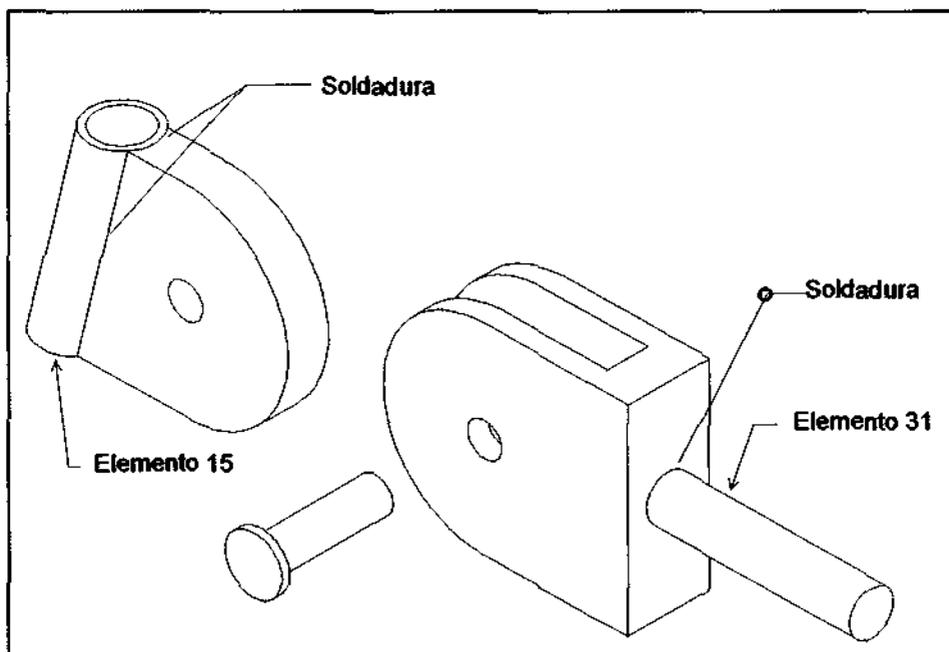


Fig. 4. 21

#### DISEÑO DE LA SOLDADURA.

La soldadura debe cubrir el diámetro de la varilla

$$\therefore L_s = 2 \cdot \pi (0,5 \times 2,54 / 2) = 4 \text{ cm} = 40 \text{ mm}$$

Si probamos la longitud mínima  $L_s$  para  $W_s = 5\text{ mm}$  tenemos que:

$$L_s > 4 \times 5 = 20 \text{ mm} \quad \text{OK.}$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \times (0,707 \times 0,5) \times 0,6 \times 4 \times 217 \times 4 = 2 \ 683 \text{ Kg.}$$

$$P_u = 986 < 2 \ 683 \text{ Kg.} \quad \text{OK.}$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \times 0,5 \times 0,6 \times 4 \ 080 \times 4 = 3 \ 672 \text{ Kg.} > P_u \quad \text{OK.}$$

Por lo tanto se acepta el uso de soldadura E6011 de 5 mm para la unión entre la varilla y el elemento de acople.

#### DISEÑO DEL PIN.

Verificación del cortante:

$$\phi \times A \times 0,6 \times F_u \geq P_u / 2$$

$$0,65 \times (\pi \cdot dp^2 / 4) \times 0,6 \times 2 \ 530 \geq 493,1 \text{ Kg.}$$

$$dp > 0,8 \text{ cm.}$$

$$dp = 10 \text{ mm.}$$

#### DISEÑO DE LAS PLACAS DE UNION.

Se parte de la idea que el agujero debe ser de 12 mm pero que para diseño se toma el diámetro  $d = 13 \text{ mm}$ .

En el gráfico siguiente se puede visualizar las dimensiones a calcular aunque es lógico que si el espesor de las placas en la varilla (elemento 31) es  $t$  entonces el espesor de la placa en el montante (elemento 15) será  $2t$  asimismo las dimensiones  $L$  y  $M$  están en función del diámetro del agujero<sup>(9)</sup>.

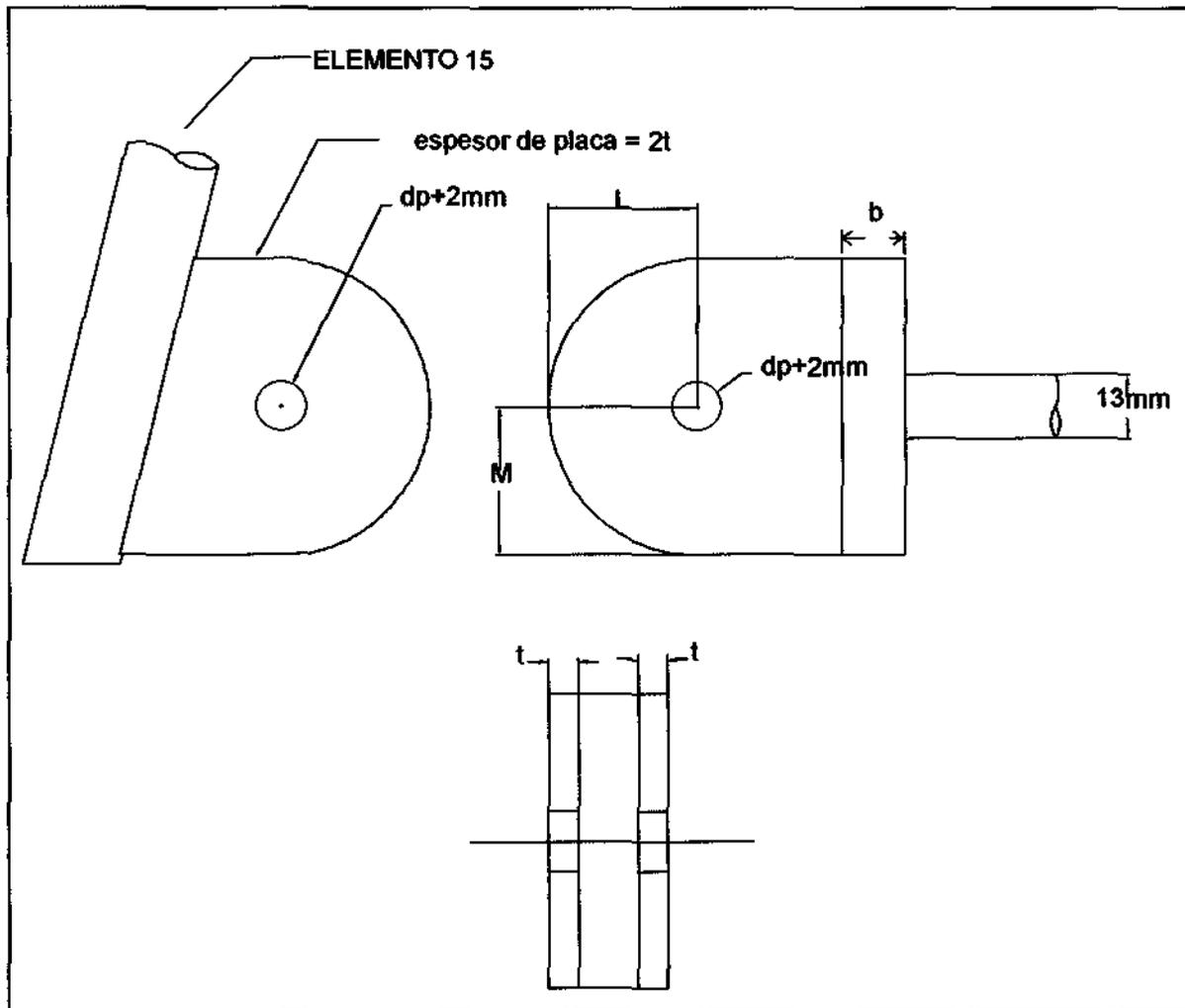


Fig. 4. 22

#### CALCULO DEL ESPESOR DE BASE " b "

Por cortante:

$$\phi \times A \times 0,6 \times F_u \geq P_u / 2$$

<sup>(9)</sup> ZAPATA BAGLIETTO, Luis., Ob. cit. pág. 4-10.

$$0,65 \times (\pi \cdot (0,5 \times 2,54) b \times 0,6 \times 2 \cdot 530) \geq 986,2 \text{ Kg.}$$

$$b > 0,12 \text{ cm.}$$

$$b = 12 \text{ mm.}$$

#### CALCULO DEL ESPESOR DE PLACA "t".

Por aplastamiento:

$$\phi R_n = 0,75 \times 2,4 \times 1,3 \times t \times 4 \cdot 080 > 493$$

$$t > 0,05 \text{ cm}$$

$$t = 6 \text{ mm.}$$

Para la placa interior será el doble, es decir,  $2 \cdot t = 12 \text{ mm}$ .

Se puede observar que se están asumiendo espesores mucho mayores a los valores producto del diseño, esto se está haciendo para que las placas sean de fácil soldabilidad pues espesores pequeños dificultan la soldabilidad con soldadura de arco eléctrico.

Las dimensiones L y M deben cumplir las siguientes condiciones:

$$L \geq P_u / (\phi \cdot F_u \cdot t)$$

$$L \geq 1,5d \text{ (LRFD-AISC)}$$

$$M > 22 \text{ mm}$$

Se puede observar que la dimensión que domina es M y por lo tanto se utilizará:

$$M = L = 26 \text{ mm}$$

Verificación de la tracción:

$$\phi_t P_n = 0,9.(A.F_y) = 0,9x(0,6x2,5)x2\ 530 = 6\ 831 \text{ Kg} > P_u \quad \text{OK}$$

Por lo tanto cumple a la tracción.

Cabe indicar aquí que se colocarán dos placas en los montantes. La placa adicional se utilizará para el montaje de la estructura.

Además esta irá soldada con E6011 de 5mm, pues la longitud  $L_s=148$  mm cumple de sobra la longitud mínima de cordón.

#### 4.4.6. Diseño de la rueda.

La rueda será hecha de acero A30, mediante mecanizado.

Esta constará de un rodamiento axial para el giro de la rueda respecto al eje Z y un rodamiento de agujas para que esta pueda rodar en la dirección de los ejes X o Y. Se eligió de agujas porque es el que nos permite usar el mayor ancho de rodamiento así sólo tendremos que utilizar un solo rodaje.

Los rodamientos se eligieron del catálogo NTN y en base a las cargas verticales en la rueda. Teniendo en cuenta esto la rueda tendrá la siguiente forma:

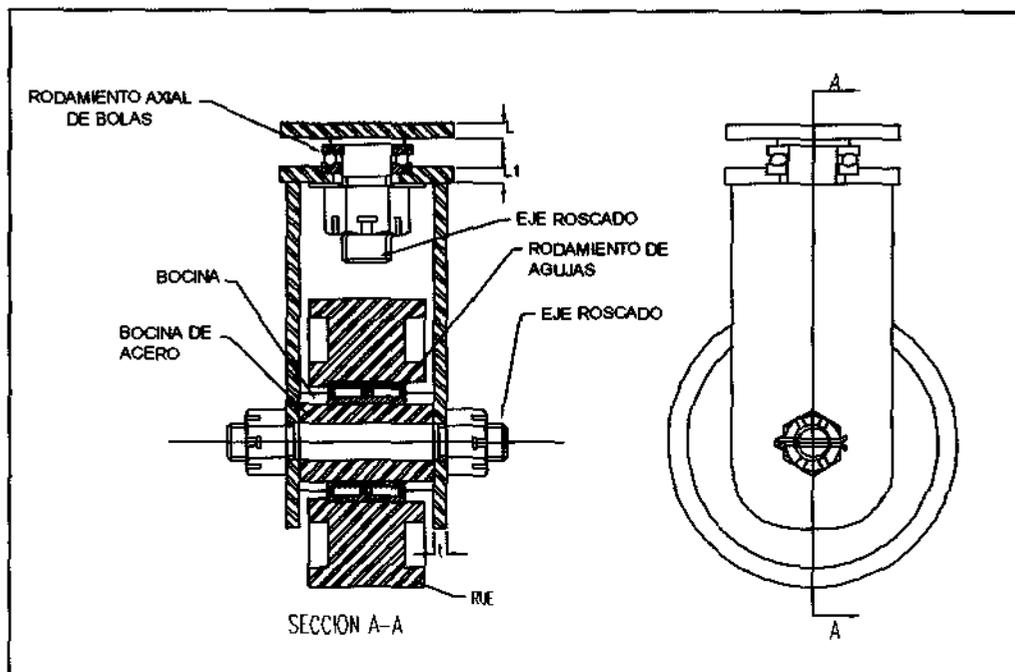


Fig. 4. 23

### CALCULO DE $P_u$ .

$$P_u = 1,6 \times 2911 + 1,2 \times 37 + 1 \times 228$$

$$P_u = 4\,930 \text{ kg} = 48\,314 \text{ N}$$

### ELECCION DEL RODAMIENTO AXIAL.

Carga Estática de Diseño = 48 314 N

Para esta carga se tiene que el rodamiento axial de bolas 51205 soporta una  $Co_a = 50\,500 \text{ N}$  <sup>(10)</sup>.

Este rodamiento tiene las siguientes dimensiones:

$$d = 25 \text{ mm} \quad D = 47 \text{ mm}$$

<sup>(10)</sup>NTN CORPORATION, Rodamientos de bolas y de rodillos., B-222

$$d_1 = 47 \text{ mm} \quad D_1 = 27 \text{ mm}$$

Las dimensiones de hombros y filetes son:

$$D_a^{\text{MAX}} = 34 \text{ mm}$$

$$d_a^{\text{MIN}} = 38 \text{ mm}$$

En la figura siguiente se aprecian las dimensiones anteriores.

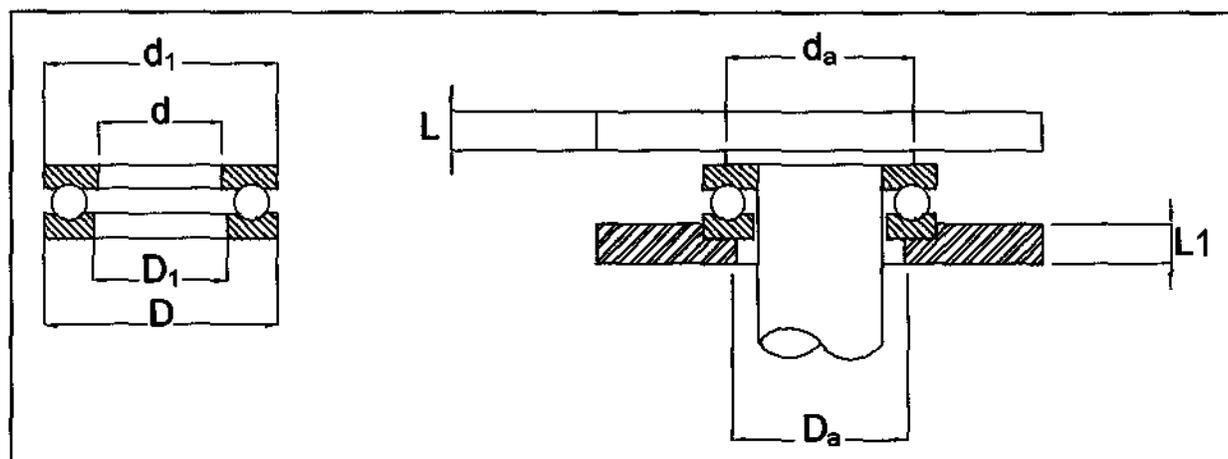


Fig. 4. 24

#### CALCULO DE L Y L<sub>1</sub>

Por corte:

$$\phi R_n. > P_u$$

$$0,75 \times 0,7 F_u (2\pi(3,8) + 2\pi(2,5)) L > 4\ 930$$

$$11\ 305 L > 4\ 930$$

$$L > 0,1 \text{ cm}$$

$$0,75 \times 0,7 F_u \times 2\pi(4,7) \times L_1 > 4\ 930$$

$$L_1 > 0,1 \text{ cm}$$

Se elige un  $L = L_1 = 6\text{mm}$  debido a que a la plancha inferior se le soldaran unas placas que soportarán los ejes y plancha con espesor menor a  $6\text{mm}$  ( $1/4''$ ) son de difícil soldabilidad con soldadura de arco.

Por otro lado debido a que el eje del rodamiento axial es  $25\text{mm}$  tendrá una rosca  $1''\text{ UNF}$  de  $12$  hilos/pulg. al extremo libre. Este eje se sujetará con una tuerca ranurada que tiene  $W = 1\frac{1}{2}''$  (ancho entre caras) y una altura  $H = 1''$ .<sup>(11)</sup>

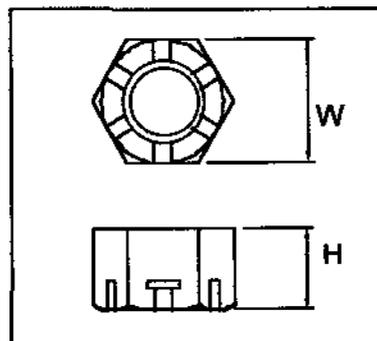


Fig. 4. 25

Los detalles de este diseño se visualizan en el plano de detalle de la rueda en el anexo de planos.

#### CALCULO DEL DIAMETRO DEL EJE DE LA RUEDA.

El diámetro del eje de la rueda está sometido principalmente a cortante.

Por corte :

$$0,65 \times \pi \times d_e^2 \times 0,25 \times 0,6 \times 2530 > 4930/2$$

$$d_e > 1,78 \text{ cm}$$

<sup>(11)</sup>Shigley, Joseph E., Diseño en Ingeniería Mecánica , p. 868.

Se elige  $d_e = 19 \text{ mm}$  para poder roscar a los extremos con una rosca de  $3/4''$  UNF-16 hilos/pulg. Se sujeta igualmente con roscas ranuradas de  $W = 29 \text{ mm}$  ( $1\frac{1}{8}''$ ) y de  $H = 21 \text{ mm}$  ( $\frac{13}{16}''$ )<sup>(12)</sup>

#### CALCULO DEL ESPESOR t

En la fig. 4.6 se puede observar que la placa que transmite el apoyo desde las ruedas hasta los montantes através de los ejes de las ruedas tiene un espesor t. En esta placa predomina el diseño por aplastamiento.

Por aplastamiento:

$$0,75(2,4 \times 2 \times t \times 4080) > 4930$$

$$t > 0,5 \text{ cm}$$

Se elige una plancha de  $\frac{1}{4}''$  (6 mm). La distancia a los bordes no debe ser menor a  $1,5d_e = 1,5 \times 19 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$ . Ni menor a 32 mm para pernos de diámetro  $3/4''$ .

#### ELECCION DEL RODAMIENTO DE AGUJAS.

Con la carga de 48 314 N se elige el rodamiento **NA6908R** el cual tiene las siguientes características dimensionales:

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$D = 62 \text{ mm}$$

$$B = 40 \text{ mm}$$

---

<sup>(12)</sup> Loc. cit.

Ademas tiene las siguientes dimensiones de hombros y de filetes:

$$d_a^{\text{MIN}} = 44 \text{ mm}$$

$$D_a^{\text{MAX}} = 58 \text{ mm}$$

Estas dimensiones pueden identificarse en la figura siguiente:

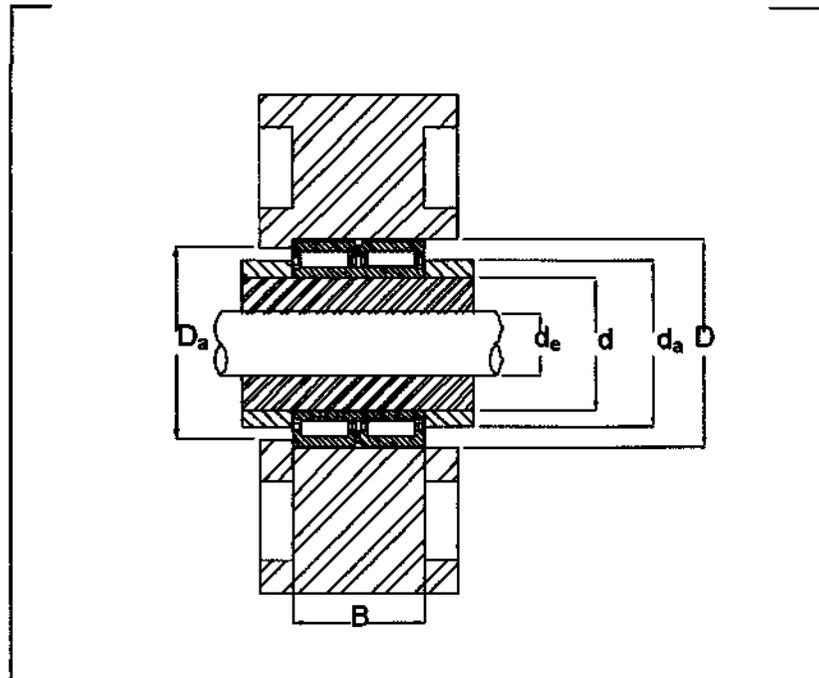


Fig. 4. 26

El rodamiento entrará con una ligera presión entre la pista exterior y la rueda y en forma suave pero exacta entre la pista interior y una bocina que sirve de supe entre la pista interior y el eje de la rueda.

#### DISEÑO DE LA RUEDA

La rueda tendrá un agujero con un diámetro igual al diámetro exterior del rodamiento de agujas. Y un ancho igual a 60mm, es decir 10mm más a cada lado del rodamiento de agujas. Debido a que es hecha de acero se descuenta que soporte el aplastamiento pues la plancha de 6mm de espesor y del mismo material lo soportó.

Las restricciones que dominan el diámetro de la rueda son las de la distancia mínima a los bordes<sup>(13)</sup>.

Esta distancia se calcula como sigue:

Por aplastamiento:

$$0,75 \times L \times 4 \times 4080 > 4930$$

$$L > 0,4 \text{ cm}$$

Se acepta  $L = 1,9 \text{ cm}$  ( para que rueda tenga diámetro  $15 \text{ cm} > 10 \text{ cm}$ ).

En el anexo de planos se muestran los detalles de todas las piezas de la rueda y de la viga.

#### **4.4.7. Diseño de los elementos auxiliares de izaje.**

A continuación se determinará el equipo de izaje del pórtico así como los soportes iniciales de apoyo para la viga antes de izarla.

La viga antes de izarla se coloca en unos soportes de 2m de alto y se eleva mediante unos winches.

#### **CALCULO DE LOS SOPORTES.**

---

<sup>(13)</sup>ZAPATA BAGLIETTO, Luis., Ob. Cit. , p 4-10

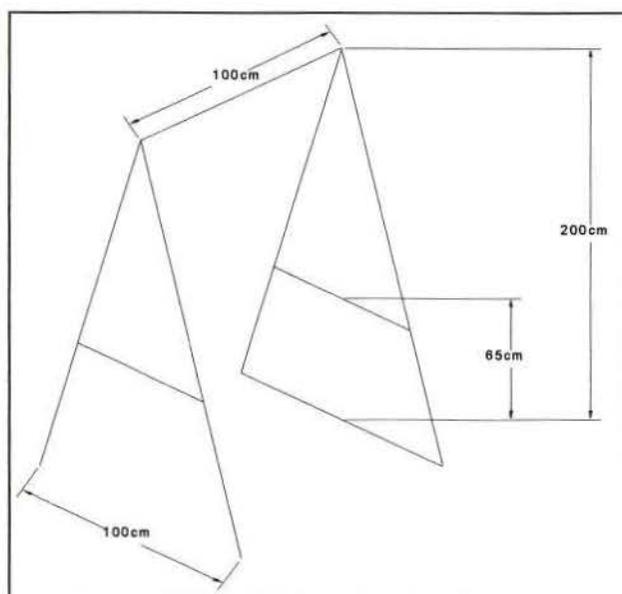
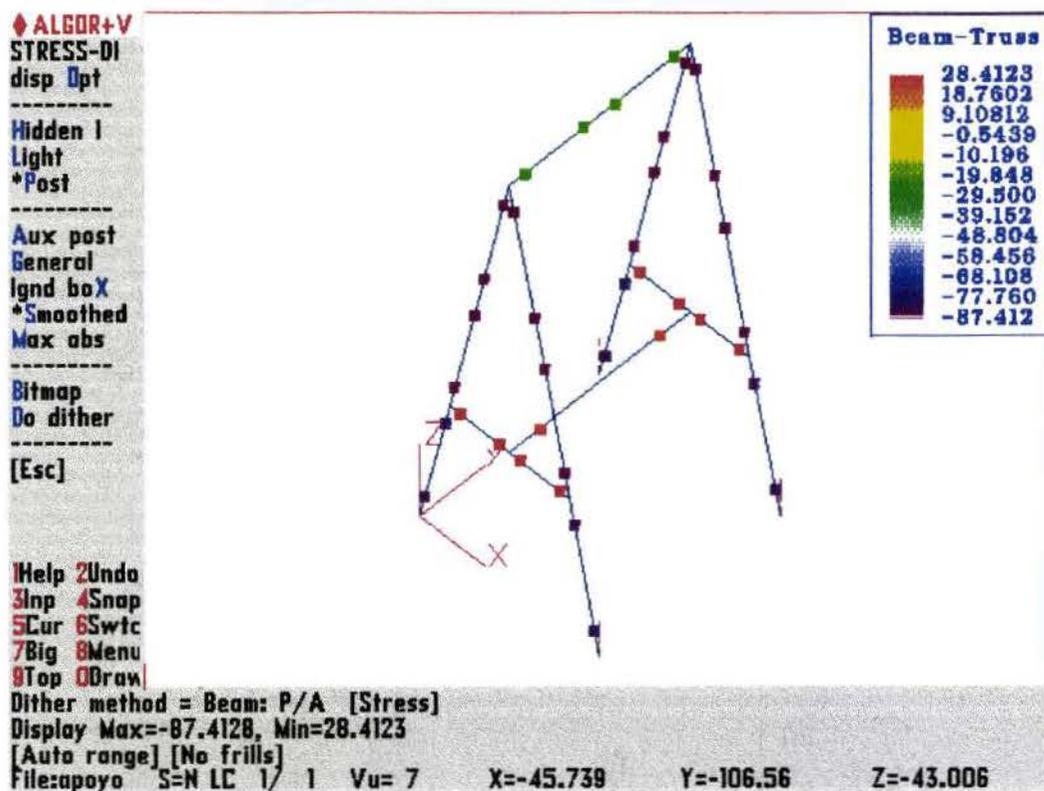


Fig. 4. 27

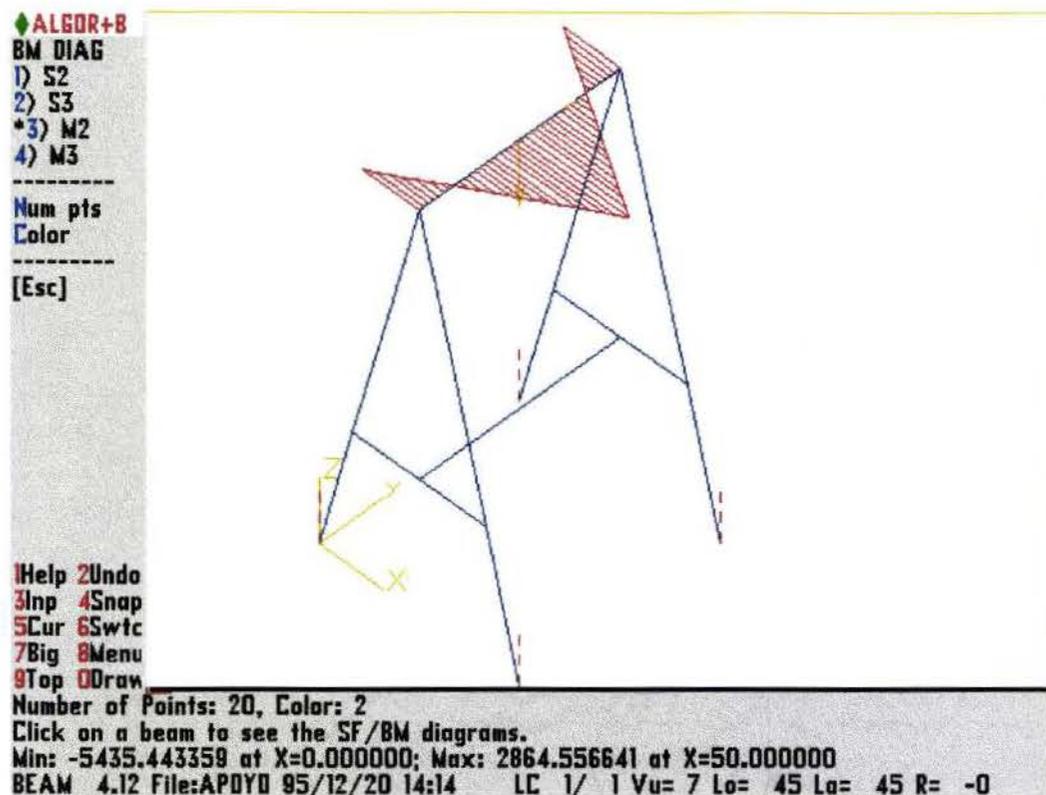
Los soportes tienen la forma que se muestra en la figura anterior.

Se modeló esta forma en Algor y luego del procesamiento se obtuvo los siguientes resultados:



De la figura anterior se obtiene que la carga de diseño de compresión en las diagonales es :

$$P_u = 87,4128 \text{ kg/cm}^2 \text{ (del gráfico)} \times 2,32 \text{ cm}^2 \text{ kg}$$



De la figura anterior se obtiene que el momento flector de diseño es :

$$M_u = 5\,435,4434 \text{ kg-cm (del gráfico anterior)}$$

#### CALCULO DE LA DIAGONAL.

Probamos con un ángulo estructural de las siguientes características:

Angulo de  $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ .

#### CARACTERISTICAS DE LA SECCION

$$A = 2,32 \text{ cm}^2 \quad r_g = 0,48 \text{ cm} \quad L = 69 \text{ cm},$$

CALCULO DE LA RELACION DE ESBELTEZ ( $KL/r_g$ )

$$KL/r_g = 1 \times 69 / 0,48 = 144 < 200 \quad \text{OK}$$

CALCULO DE  $\lambda_e$ .

$$\lambda_e = \frac{kl / r_g}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{144}{\pi} \sqrt{\frac{2530}{21E5}} = 1,6 > 1,5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0,877}{1,6^2} \right) \times 2530 = 867 \text{ kg / cm}^2$$

CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE.

$$\phi c P_n = 0,85 \cdot A \cdot F_{cr} = 0,85 \times 2,32 \times 867 = 1710 \text{ kg} > P_u \quad \text{Ok}$$

Se acepta Angulo de  $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ .

CALCULO DE LA HORIZONTAL

Se harán de dos ángulos de  $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ . Formando una sección T.

Debido a que la distancia no arriostrada es 1m se asume que el momento resistente será:

$$\phi M_n = \phi Z \cdot F_y = 0,9 (2 \times 1,15) \times 2530 = 5237 \text{ kg-cm} < M_u \quad \text{NO PASA}$$

Probamos con dos ángulos de  $2 \times 2 \times \frac{1}{8}$ . porque pesa menos que el ángulo  $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ . pero tiene igual módulo de sección.

$$\phi M_n = \phi Z \cdot F_y = 0,9 (2 \times 2,13) \times 2530 = 9700 \text{ kg-cm} > M_u \quad \text{OK}$$

Por lo tanto se aceptan dos ángulos de  $2 \times 2 \times \frac{1}{8}$  formando una sección "T".

## ELECCION DEL EQUIPO DE IZAJE.

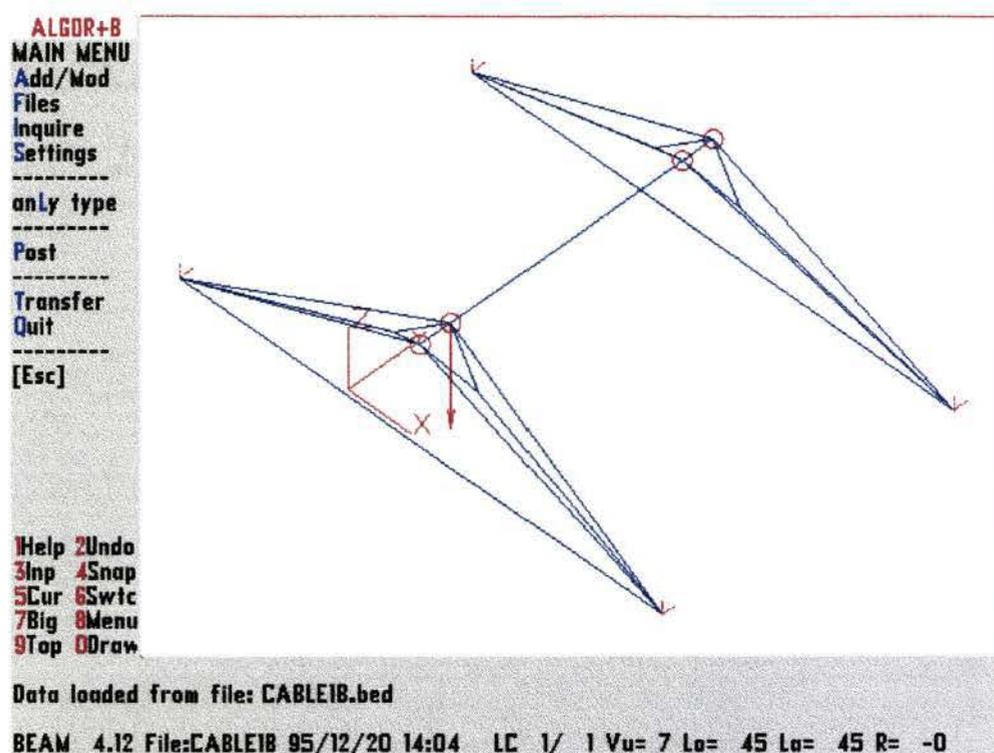
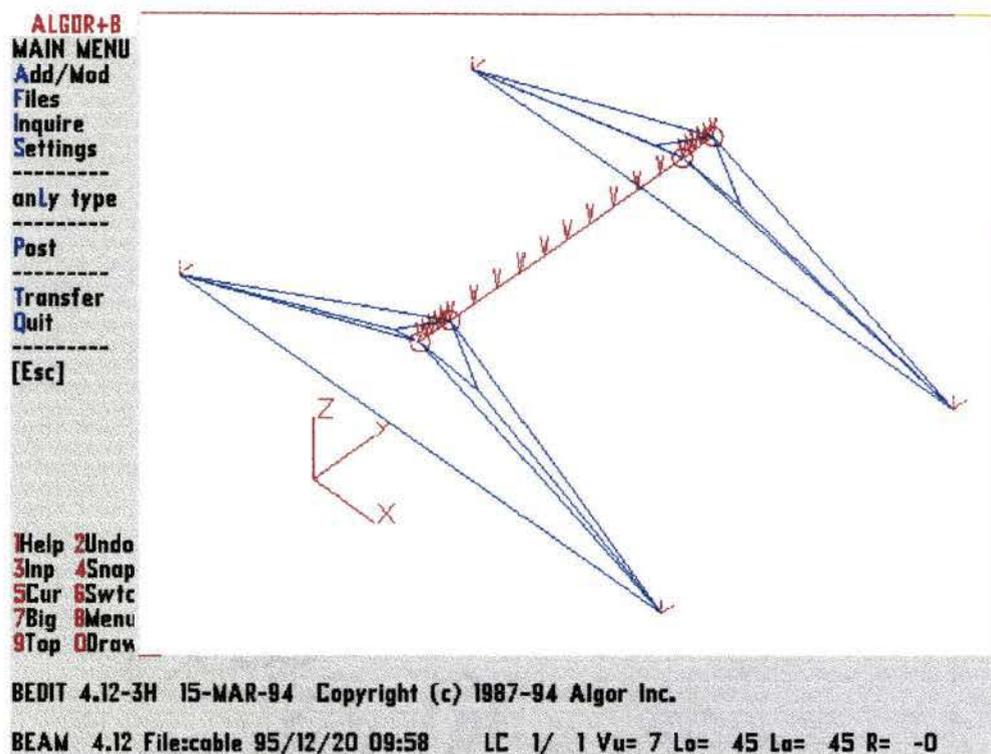
Para la elección del equipo de izaje hay que determinar la magnitud de las fuerzas que soportará.

Este soporta una fuerza de tracción que se calcula cuando la estructura está a 2m de altura y los montantes se encuentran abiertos. Esta fuerza de tracción será ha calculado aplicando sobre la estructura el peso de la viga y el peso del equipo de elevación y transporte. Es decir :

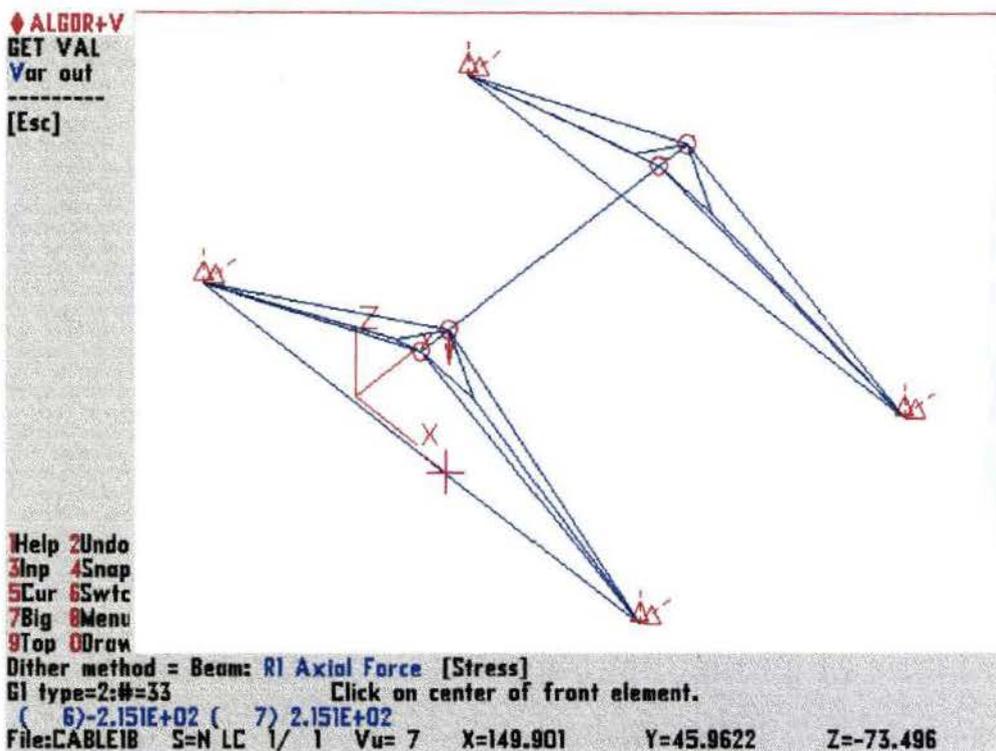
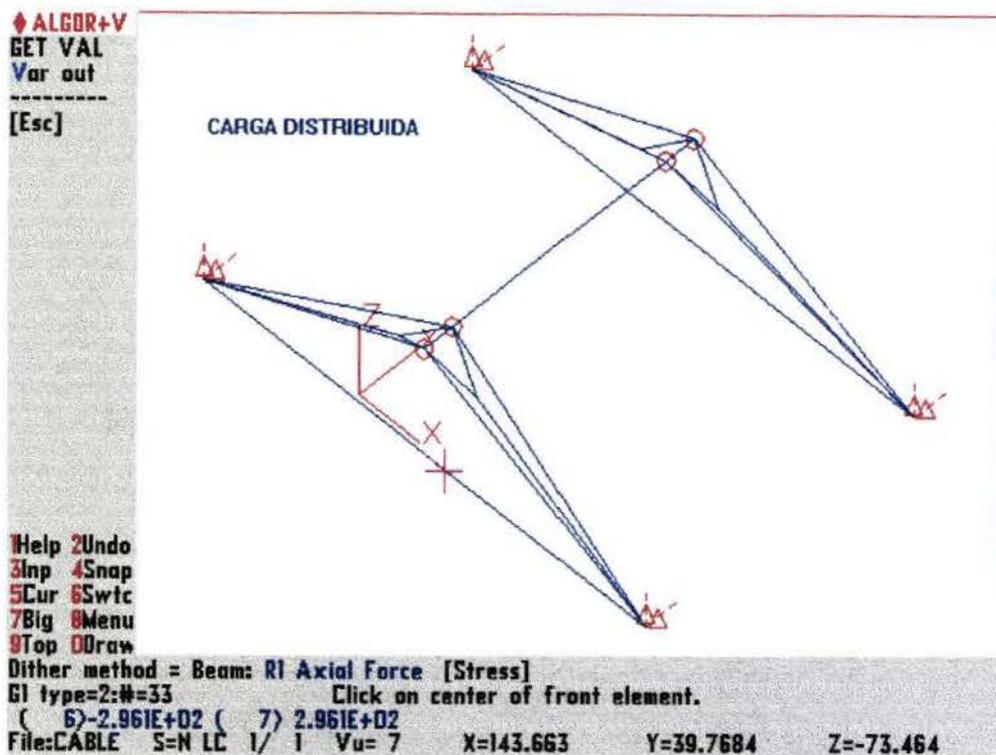
$$C.M, = 0,443 \text{ kg/cm}$$

$$C.V. = 205 \text{ kg.}$$

Ante estas dos cargas se analizó el modelo en Algor. Esto se puede ver en las siguientes figuras.



En los modelos anteriores el tirante es reemplazado por un cable de izaje. Luego de procesados los modelos el objetivo es determinar la fuerza de tracción en el cable.



El software nos permite “picar” con el mouse un elemento y automáticamente obtener su fuerza interna. Observando los dos gráficos anteriores, puede verse una cruz sobre el elemento seleccionado y en la parte

inferior el valor de la fuerza interna para cada condición de carga procesada.

Estos valores son:

Para la carga muerta : 2.961E+02 (tal como se muestra en el gráfico)

Para la carga viva : 2.151E+02 (tal como se muestra en el gráfico)

Por lo tanto la fuerza de tracción de diseño en el cable es:

$$T_u = 1,5(296+215) = 767 \text{ kg}$$

Para esta carga se recomienda dos "winches" de 1 TM cada uno.

## **CONCLUSIONES.**

### **DE LAS GENERALIDADES**

1. En la práctica profesional, especialmente en labores de mantenimiento, el movimiento de cargas (equipos, materiales, repuestos, etc.) es una situación muy frecuente. Por este motivo es necesario tener en cuenta los aspectos teóricos de la manutención para poder elegir adecuadamente la estructura y el equipo de elevación. Decimos esto porque actualmente se da poca importancia a la evaluación y mejoramiento de las estructuras de manutención que se utilizan en las diferentes plantas industriales visitadas.

### **DE LA ESTRUCTURA.**

2. El modelo de la estructura partió de un modelo antiguo de fabricación española; pero tiene una modificación en la forma de los montantes. Esta modificación es porque el modelo original no estaba planeado para tecles y carros de traslación eléctricos, estos equipos introducen en el diseño la consideración de una fuerza horizontal en el sentido de la modificación.
3. La estructura diseñada no existe en la región y sería una buena solución al transporte y elevación de carga en muchos talleres artesanales, plantas industriales, talleres de maestranza, contratistas de la construcción y fabricación

de estructuras, etc. Por experiencia personal, en labores de mantenimiento de plantas industriales muchas veces hay que mover equipos para su reparación, hay que instalar otros, y se tiene que mover caballetes rígidos de un lugar a otro lo cual implica pérdida de horas-hombre y riesgos de accidentes; por lo que una estructura de este tipo sería de mucha utilidad y si se diseña con una adecuada flexibilidad la inversión retornaría en poco tiempo.

#### **DE LA METODOLOGIA DE DISEÑO.**

4. Para el diseño se ha trabajado con la metodología de diseño enseñada en el curso de Construcciones Industriales y con las especificaciones AISC-LRFD expuestas en el mismo curso.
5. La metodología permite un trabajo ordenado, que ahorra tiempo y disminuye costos.
6. Las especificaciones AISC-LRFD son relativamente nuevas y por lo tanto de poca utilización; sin embargo en este trabajo se apreció que facilitan el recálculo, facilitan también la programación del cálculo de un elemento sometido a cargas específicas, se obtienen en muchos casos diseños más económicos que con el método ASD. (Aclaremos que solo se ha presentado el diseño hecho con el método LRFD, puede ser objeto de otro trabajo la comparación de ambos métodos).
7. En otras universidades del país ya se utilizan estas especificaciones para el diseño de estructuras de acero, pensamos que sería conveniente una mayor divulgación en el área IME.

## DEL SOFTWARE EMPLEADO

8. En la fase del análisis se comprobó que el programa SAP-80 presenta la desventaja que su ingreso de datos es mediante un archivo de texto, en el cual se indican las coordenadas, restricciones, numeración de nodos y elementos, etc. Asimismo la salida de resultados es en archivos texto, lo cual hace tedioso el trabajo. Sin embargo tiene la ventaja, de necesitar un hardware elemental, al alcance de cualquier pequeña industria.
9. Contrariamente el software ALGOR presenta un ingreso gráfico de datos, muy atractivo y fácil de usar, además si fuera necesario se puede entrar los datos en formato texto ya que al igual que el SAP-80 también lo requiere sólo que ALGOR lo crea automáticamente a partir de nuestro modelo gráfico. Por otro lado en la salida de resultados es donde ALGOR tiene una de sus mayores ventajas. Estos pueden ser gráficos o en archivo texto, siendo los gráficos de mucha utilidad para el análisis y optimización de la estructura.
10. El aprendizaje y aplicación de ALGOR es relativamente fácil. Es fácil porque se puede empezar teniendo conocimientos básicos de dibujo asistido por computador, conocimientos de inglés intermedio y disponibilidad de tiempo, además el hecho que sus aplicaciones se presenten en módulos separados ayuda a la realización de un aprendizaje ordenado. Sin embargo, debido a que el software siempre entrega resultados gráficos y numéricos independientemente de los datos que se ingresan, éstos deben ser interpretados correctamente: con criterio, conocimiento y responsabilidad. La interpretación puede ser incorrecta si no se tiene suficiente criterio y los conocimientos de ingeniería adecuados. De este modo se corre el riesgo de asumir como correctos resultados equivocados basados en el aspecto de que el programa "corrió" y entrega gráficos vistosos.

- 11.**ALGOR, presenta como desventaja su relativamente alto costo en hardware y en software. Sin embargo prorrateando su costo entre el ahorro de tiempo que genera, la optimización del diseño y por lo tanto ahorro de material y dinero, pensamos que es una buena inversión tanto para empresas dedicadas al CAD y CAM como para plantas industriales donde la construcción tiene asignado un alto presupuesto.
- 12.**Por otro lado en la presentación de los planos de fabricación, el AutoCAD es una herramienta útil: ahorra tiempo, facilita la edición de los planos, mejora la presentación, facilita también el rediseño y mejoramiento del modelo final.
- 13.**Por todo lo anterior mencionamos aquí que todo Ingeniero Mecánico-Eléctrico UDEP debe egresar con conocimientos básicos de ALGOR y otros programas como SurfCAM, CAD Key, Micro Station, AutoCAD, que se encuentran en la universidad y hoy en día constituyen herramientas fundamentales para un buen desenvolvimiento profesional. En este campo se ven muchos temas que pueden ser abordados desde tesis de titulación.

#### **DE LOS OBJETIVOS.**

- 14.**Los objetivos de un trabajo de investigación como este son dos bien definidos: el desarrollar un tema específico y lograr que quien lo realiza adquiera unos conocimientos complementarios a los obtenidos en la carrera.
- 15.**Pensamos, que el tema se ha desarrollado y se ha logrado obtener un producto específico: una estructura útil y lista para su fabricación.
- 16.**En el segundo aspecto, hemos logrado mayores conocimientos en los aspectos teóricos expuestos en el trabajo: manutención, análisis estructural, especificaciones de diseño, etc.; pero además, lo más importante ha sido que se ha aprendido a usar el computador para un diseño específico integral, es decir,

en todas las fases: modelado, análisis, visualización de resultados, presentación de resultados, explicación de resultados, etc. Así por ejemplo, el texto del trabajo es el fruto de un procesador de texto, al que se le han agregado resultados de la visualización del análisis hecha en ALGOR y SAP-80, los planos son el producto de un trabajo hecho en un programa CAD, así mismo algunos datos de salida han sido editados en una hoja de cálculo.

**17.** Por lo anteriormente expuesto el trabajo ha sido una fuente de experiencia en el manejo de herramientas CAD y en el manejo íntegro del computador para obtener un diseño específico. Los futuros ingenieros, insistimos, no pueden dejar de dominar estas técnicas como un complemento valioso para un óptimo ejercicio profesional.

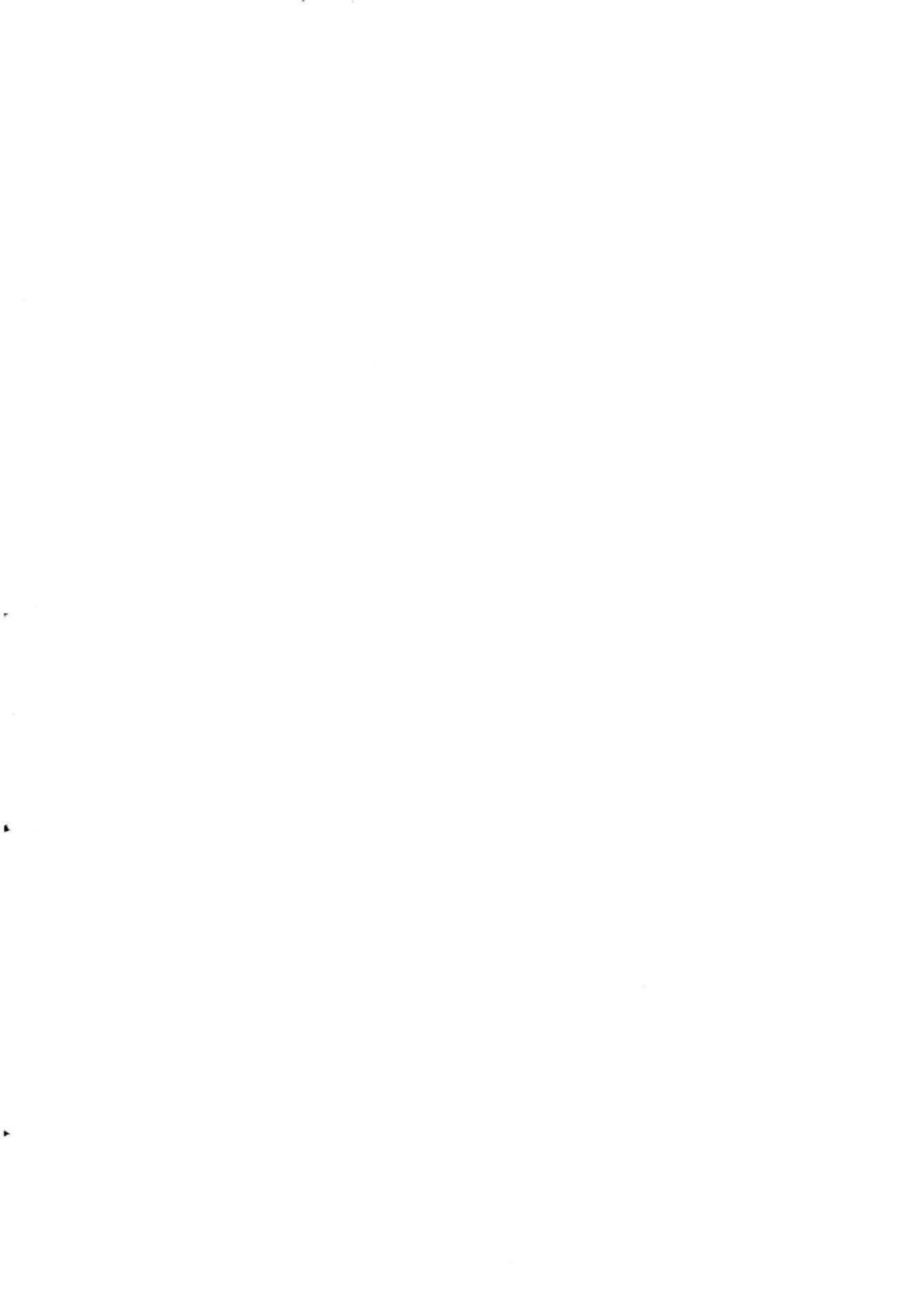
## BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Manual of steel construction: Allowable Stress Design., USA, 1989, 1320pp, 9na Ed.
- ARGÜELLES ALVAREZ, Ramón. La estructura metálica hoy., Madrid, 1975, 498pp, Tomol, Nuevas Gráficas S.A., 2da. Ed.
- APAZA HERRERA, Pablo. Manual de ayudas para el diseño en ingeniería civil., Lima, 1991, 132pp, Azul Editores y Gráficos, 1era Ed.
- BEAUFIT, Fred W. Análisis Estructural., Madrid, 1981, 591pp, Editorial Dossat S.A.
- BEER, Ferdinand; JOHNSTON, E. Russel. Mecánica de materiales., Bogotá, 1982, 618pp, Editorial Mc. Graw-Hill S.A., 1era. Ed.
- BRESLER, Boris; LIN, T.Y. Diseño de estructuras de acero., México, 1970, 926pp, Editorial Limusa-Wiley S.A., 1era. Ed.
- CAMARA PERUANA DE LA CONSTRUCCION. Reglamento nacional de construcciones., Lima, 1988, 570pp, Servicios Gráficos Castro, 7ma. Ed.
- CONSTRUCCIONES HIDRAULICAS E INDUSTRIALES, Catálogo de pórtico desmontable THOMAS., Barcelona.
- ERNST, Hellmut. Aparatos de elevación y transporte., Barcelona, 1970, Editorial Blume, Tomos I y II, 700pp.



- HSIEH, Yuan-Yu. Teoría elemental de estructuras., España, 1982, 440pp, Editorial Prentice-Hall, 1era. Edición.
- JUVINALL, Robert C. Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica., Mexico D.F., 1991, 827pp, Editorial Limusa, 1era. Ed.
- KLEINLOGEL, A. Cálculo de las estructuras porticadas hiper-estáticas., Barcelona, 1955, 460pp, Editorial Labor, 3era. Ed.
- KUTZ, Myer. Enciclopedia de la Mecánica: Ingeniería y técnica., Barcelona, 1986, 2073pp, Grupo Editorial Oceano.
- LARBURU ARRIZABALAGA, Nicolás. Estructuras metálicas de acero: cálculos fundamentales y tablas auxiliares., Madrid, 1983, 390pp., Editorial Paraninto.
- LIVESLEY, R.K. Métodos matriciales para el cálculo de estructuras., Madrid, 1970, 206pp, Editorial Blume.
- MALDONADO AYRES, Gustavo A. Criterios de Diseño de un puente-grúa para una nave industrial., Piura, 1989, 88pp, Tesis (Bach.). Universidad de Piura.
- MARSHAL, W.T.; NELSON, H.M. Estructuras., México, 1982, 455pp, Representaciones y servicios de ingeniería, 1era. Ed.
- MARTIN, Harold C. Introduction to matrix methods of structural analysis., USA, 1966, 331pp, Mc Graw-Hill Book Company.
- MONNE, M; OGUS, A. Aparatos de manutención: Principios y criterios de elección., Barcelona, 1970, 288pp, Editorial Blume, 1era. Ed.
- OBERG, E.; JONES, F.D. Manual universal de la técnica mecánica., Barcelona, 1984, 2448pp, Editorial Labor S.A.
- SHIGLEY, Joseph E.; MITCHELL Larry D. Diseño en ingeniería mecánica., México, 1986, 915pp, Mc Graw-Hill Inc., 3era. Ed.

- ZAPATA BAGLIETTO, Luis F. Diseño estructural en acero., Lima, 1991, 215pp, Ediciones Colegio de Ingenieros del Perú, 1era. Ed.



**ANEXO A: Archivos de entrada y salida para cada alternativa  
geométrica según el programa SAP 80.**

A.1. Alternativa Geométrica 1.

Para éste y todos los casos el programa SAP 80 necesita un archivo de entrada de datos, en él se indica lo siguiente:

- Número de nodos: en el grupo SYSTEM, variable N
- Coordenadas de los nodos: en el grupo JOINTS, cada número de este grupo es un nodo y los datos siguientes son sus coordenadas.
- Grados de libertad: en el grupo RESTRAINTS. Cada valor de la derecha son nodos, la variable R tiene 6 valores que indican: la libertad de desplazamiento en "x", en "y," en "z", la libertad de giro respecto a "x", a "y" y a "z" respectivamente. Cada dato es separado por una coma y si el valor es 0 indica libertad y si es 1 indica restricción.

- Datos físicos y geométricos de las secciones: la variable NM indica el número de secciones geométricas distintas y la variable NL el número de tipos de carga diferentes. A continuación se ingresan el área A, el momento polar de inercia J, el momento de inercia I y el módulo de elasticidad E del material respectivo, son tantas filas según el valor de NM. Luego viene el valor de las cargas según el tipo y finalmente se describe cada elemento.
- Definición del tipo de visualización e impresión: en el grupo PLOT.

Para mayor aclaración del significado de cada grupo y de cada variable consultar el manual del SAP 80.

A continuación se indica el archivo de datos para la primera alternativa geométrica:

```

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 1
SYSTEM
N= 6  L= 2
:
JOINTS
1 X= 0  Y= 0  Z= 0
2 X= 200
3 X= 100  Z= 450
4 Y= 350
5 X= 0  Y= 350  Z= 0
6 X= 200
:
RESTRAINTS
1,2  R= 0,0,1,0,0,0
5,6  R= 0,0,1,0,0,0
3,4  R= 1,0,0,1,0,0
:
FRAME
NM= 3  NL= 2
1 A= 28.1  J= 7  I= 173,1120  E= 21E5
2 A= 10.97  J= 127.33  I= 63.68,63.68
3 A= 5.07  J= 4.086  I= 2.043,2.043
1 WL= 0,0,-0.22
2 PLD= 175,0,-5000
1 1,3  M= 2  LP= 2,0 : LR= 1,0,1,0,0,1

```

```

2 2,3      : LR= 1,0,1,0,0,1
3 4,5
4 4,6
5 3,4 M= 1 LP= 1,0 NSL=1,2
6 1,2 M= 3   NSL=0,0
7 5,6 M= 3
:
PLOT
VP= 1,2 VH= 1,0
:

```

Una vez ingresado el archivo de datos se procede al procesamiento a cargo del programa. Este genera dos tipos de archivos de salida importantes. Uno de estos archivos indica los desplazamientos, giros y las reacciones en cada nodo

**Archivo de salida: Desplazamientos, giros y reacciones en cada nodo.**

```

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 1
SAP80 V85.03

```

```

*****
*** JOINT DISPLACEMENTS ***
*****

```

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	-.4017E-04	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.4043E-06	.0000E+00
2	.4017E-04	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.4043E-06	.0000E+00
3	.0000E+00	.0000E+00	-.4131E-03	.0000E+00	.9787E-22	.0000E+00
4	.0000E+00	.0000E+00	-.4131E-03	.0000E+00	.1397E-22	.0000E+00
5	-.4017E-04	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.4043E-06	.0000E+00
6	.4017E-04	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	-.4043E-06	.0000E+00

LOAD CONDITION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	-.002609	.000000	.000000	.000000	.000026	.000000
2	.002609	.000000	.000000	.000000	-.000026	.000000
3	.000000	.000000	-.026828	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	-.026828	.000000	.000000	.000000
5	-.002609	.000000	.000000	.000000	.000026	.000000
6	.002609	.000000	.000000	.000000	-.000026	.000000

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	.0000	19.2500	.0000	.0000
2	.0000	19.2500	.0000	.0000
3	.0000	.0000	2245.8333	.0000
4	.0000	.0000	-2245.8333	.0000
5	.0000	19.2500	.0000	.0000
6	.0000	19.2500	.0000	.0000

TOTAL .2839E-15 .7700E+02 .0000E+00 -.1768E-15

LOAD CONDITION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Z)	M(X)	M(Y)
1	.3779E-13	.1250E+04	.0000E+00	-.3383E-14
2	-.3779E-13	.1250E+04	.0000E+00	.2116E-14
3	.3120E-14	-.3261E-14	.2188E+06	-.3985E-14
4	.3238E-13	.4580E-12	-.2188E+06	-.4939E-14
5	-.3147E-13	.1250E+04	.0000E+00	.2245E-14
6	.3147E-13	.1250E+04	.0000E+00	-.1284E-14

TOTAL .3550E-13 .5000E+04 .0000E+00 -.9230E-14

El otro archivo de salida nos indica las fuerzas internas y los momentos en cada elemento de la estructura, tal como se observa a continuación:

**Archivo de salida: Fuerzas y momentos en cada elemento.**

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 1  
SAP80 V85.03

\*\*\*\*\*  
\*\*\* FRAME MEMBER FORCES \*\*\*  
\*\*\*\*\*

MEMBERS WITH NUMBERS BETWEEN 1 & 32000

MEM #	LOAD #	AXIAL FORCE	DIST I	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	AXIAL MOMENT
1							
1		-19.72					
		.0	.00	.02			
		461.0	.00	-.25			
2		-1280.48					
		.0	-.04	1.13			

	461.0	-.04	-16.36
2	-----		
1	-19.72		
	.0	.00	-.02
	461.0	.00	.25
2	-1280.48		
	.0	.04	-1.13
	461.0	.04	16.36
3	-----		
1	-19.72		
	.0	.00	.25
	461.0	.00	-.02
2	-1280.48		
	.0	-.04	16.36
	461.0	-.04	-1.13
4	-----		
1	-19.72		
	.0	.00	-.25
	461.0	.00	.02
2	-1280.48		
	.0	.04	-16.36
	461.0	.04	1.13

5	-----				
1	.00			.00	
	.0	.00	.00	38.50	-2245.83
	175.0	.00	.00	.00	1122.92
	350.0	.00	.00	-38.50	-2245.77
2	.00			.00	
	.0	.00	.00	2500.00	-218750.00
	175.0	.00	.00	2500.00	218750.00
		.00		-2500.00	
	350.0	.00	.00	-2500.00	-218750.00
6	-----				
1	4.28				
	.0	.00	.00	.00	.02
	200.0	.00	.00	.00	.02
2	277.74				
	.0	.00	.00	.00	1.13
	200.0	.00	.00	.00	1.13
7	-----				
1	4.28				
	.0	.00	.00	.00	.02
	200.0	.00	.00	.00	.02
2	277.74				
	.0	.00	.00	.00	1.13
	200.0	.00	.00	.00	1.13

## A.2. ALTERNATIVA GEOMÉTRICA 2

Archivo de entrada.

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 2

SYSTEM

N= 8 L= 2

:

JOINTS

1 X= 0 Y= 30 Z= 0

2 X= 200

3 X= 100 Y= 0 Z= 450

4 Y= 60

5 Y= 410

6 Y= 470

7 X= 0 Y= 440 Z= 0

8 X= 200

:

RESTRAINTS

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

7,8 R= 0,0,1,0,0,0

3,6,1 R= 1,1,0,1,0,0

:

FRAME

NM= 3 NL= 2

1 A= 28.1 J= 7 I= 173,1120 E= 21E5

2 A= 6.903 J= 55.442 I= 27.72,27.72

3 A= 5.07 J= 4.086 I= 2.043,2.043

1 WL= 0,0,-0.22

2 PLD= 175,0,-5000

1 1,3 M= 2 LP= 2,0 :LR= 1,0,1,0,0,1

2 1,4 :LR= 0,0,0,0,1,0

3 2,4

4 2,3 :LR= 0,0,0,0,0,0

5 5,7 :LR= 0,0,0,1,0,0

6 6,7 :LR= 0,0,0,0,0,0

7 6,8

8 5,8 :LR= 0,0,0,1,0,0

9 7,8 M= 3 LP= 1,0 :LR= 0,0,0,0,0,0

10 1,2

11 4,5 M= 1 LP= 1,0 NSL= 1,2 :LR= 0,0,0,0,0,0

12 5,6 NSL= 1,0 :LR= 0,1,0,0,1,0

13 3,4 NSL= 1,0 :LR= 1,0,0,1,0,0

:

PLOT

VP= 1,2 VH= 1,0

Archivo de salida: Desplazamientos, giros y reacciones en cada nodo.

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 2  
SAP80 V85.03

\*\*\*\*\*  
\*\*\* JOINT DISPLACEMENTS \*\*\*  
\*\*\*\*\*

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	-.5395E-04	-.1087E-02	.0000E+00	-.3480E-05	.4659E-06	.6207E-06
2	.5395E-04	-.1087E-02	.0000E+00	-.3480E-05	-.4659E-06	-.6207E-06
3	.0000E+00	.0000E+00	-.3726E-03	.0000E+00	.4381E-22	-.1992E-23
4	.0000E+00	.0000E+00	-.5195E-03	.0000E+00	.6316E-22	.3565E-23
5	.0000E+00	.0000E+00	-.5195E-03	.0000E+00	-.2679E-21	-.2645E-23
6	.0000E+00	.0000E+00	-.3726E-03	.0000E+00	-.3104E-21	-.6598E-23
7	-.5395E-04	.1087E-02	.0000E+00	.3480E-05	.4659E-06	-.6207E-06
8	.5395E-04	.1087E-02	.0000E+00	.3480E-05	-.4659E-06	.6207E-06

LOAD CONDITION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	-.002609	-.070581	.000000	-.000226	.000023	.000040
2	.002609	-.070581	.000000	-.000226	-.000023	-.000040
3	.000000	.000000	-.016800	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	-.026337	.000000	.000000	.000000
5	.000000	.000000	-.026337	.000000	.000000	.000000
6	.000000	.000000	-.016800	.000000	.000000	.000000
7	-.002609	.070581	.000000	.000226	.000023	-.000040
8	.002609	.070581	.000000	.000226	-.000023	.000040

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.0000	.0000	25.8500	.0000	.0000	.0000
2	.0000	.0000	25.8500	.0000	.0000	.0000
3	.0000	1.7229	.0000	643.4098	.0000	.0000
4	.0000	-1.7229	.0000	2757.4236	.0000	.0000
5	.0000	1.7229	.0000	-2757.4236	.0000	.0000
6	.0000	-1.7229	.0000	-643.4098	.0000	.0000
7	.0000	.0000	25.8500	.0000	.0000	.0000
8	.0000	.0000	25.8500	.0000	.0000	.0000

TOTAL .2935E-14 .3643E-16 .1034E+03 .3469E-15 -.3414E-16 -.2451E-15

LOAD CONDITION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.4526E-13	.3994E-14	.1250E+04	-.4875E-13	.2416E-14	.5724E-14
2	-.4526E-13	.1835E-14	.1250E+04	-.4673E-13	.1723E-14	-.6760E-14
3	.4049E-14	.8331E+02	-.1155E-12	.3750E+05	.8544E-15	-.3613E-14
4	.3390E-13	-.8331E+02	-.3393E-12	.2563E+06	.8168E-15	-.5912E-15
5	-.5058E-13	.8331E+02	.6768E-12	-.2563E+06	-.3993E-14	.3075E-14
6	-.3198E-13	-.8331E+02	-.6768E-12	-.3750E+05	.4204E-15	-.2524E-14
7	.3468E-13	.8944E-14	.1250E+04	.2565E-13	.4977E-14	-.8663E-14
8	.2216E-13	.1060E-13	.1250E+04	.6761E-13	-.3368E-14	.1687E-13
TOTAL	.1224E-13	.5329E-14	.5000E+04	.2192E-10	.3848E-14	.3517E-14

Archivo de salida: Fuerzas y momentos en cada elemento.

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 2  
SAP80 V85.03

\*\*\*\*\*  
\*\*\* FRAME MEMBER FORCES \*\*\*  
\*\*\*\*\*

MEMBERS WITH NUMBERS BETWEEN 1 & 32000

MEM #	LOAD #	AXIAL FORCE	DIST I	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL TORQUE
1 -----								
1		-13.24					.02	
		.0	.00	-.01	.00	-.04		
		462.0	.00	-.10	.00	-.85		
2		-639.66					1.08	
		.0	-.01	-.88	-.12	-1.99		
		462.0	-.01	-4.62	-.12	-55.80		
2 -----								
1		-13.30					.01	
		.0	.00	.03	.00	.05		
		462.0	.00	-.15	.00	-.94		
2		-643.53					.79	
		.0	-.02	1.87	-.14	2.37		
		462.0	-.02	-7.69	-.14	-60.16		
3 -----								
1		-13.30					-.01	
		.0	.00	-.03	.00	.05		
		462.0	.00	.15	.00	-.94		
2		-643.53					-.79	
		.0	.02	-1.87	-.14	2.37		
		462.0	.02	7.69	-.14	-60.16		

<b>4</b>					
1	-13.24				-.02
	.0	.00	.01	.00	-.04
	462.0	.00	.10	.00	-.85
2	-639.66				-1.08
	.0	.01	.88	-.12	-1.99
	462.0	.01	4.62	-.12	-55.80
<b>5</b>					
1	-13.30				-.01
	.0	.00	.15	.00	.94
	462.0	.00	-.03	.00	-.05
2	-643.53				-.79
	.0	-.02	7.69	-.14	60.16
	462.0	-.02	-1.87	-.14	-2.37
<b>6</b>					
1	-13.24				-.02
	.0	.00	.10	.00	.85
	462.0	.00	.01	.00	.04
2	-639.66				-1.08
	.0	-.01	4.62	-.12	55.80
	462.0	-.01	.88	-.12	1.99
<b>7</b>					
1	-13.24				.02
	.0	.00	-.10	.00	.85
	462.0	.00	-.01	.00	.04
2	-639.66				1.08
	.0	.01	-4.62	-.12	55.80
	462.0	.01	-.88	-.12	1.99
<b>8</b>					
1	-13.30				.01
	.0	.00	-.15	.00	.94
	462.0	.00	.03	.00	-.05
2	-643.53				.79
	.0	.02	-7.69	-.14	60.16
	462.0	.02	1.87	-.14	-2.37
<b>9</b>					
1	5.74				.00
	.0	.00	.03	.00	.02
	200.0	.00	.03	.00	.02
2	277.75				.00
	.0	.00	1.73	.00	.97
	200.0	.00	1.73	.00	.97
<b>10</b>					
1	5.74				.00
	.0	.00	-.03	.00	.02
	200.0	.00	-.03	.00	.02
2	277.75				.00
	.0	.00	-1.73	.00	.97

	200.0	.00	-1.73	.00	.97
11	-----				
1	.00				.00
	.0	.00	.00	38.50	-2245.83
	175.0	.00	.00	.00	1122.92
	350.0	.00	.00	-38.50	-2245.77
2	.00				.00
	.0	.00	.00	2500.00	-218750.00
	175.0	.00	.00	2500.00	218750.00
		.00		-2500.00	
	350.0	.00	.00	-2500.00	-218750.00
12	-----				
1	.00				.00
	.0	.00	.00	-12.59	509.75
	60.0	.00	.00	-25.79	-641.75
2	.00				.00
	.0	.00	.00	-1246.21	37386.36
	60.0	.00	.00	-1246.21	-37386.36
13	-----				
1	.00				.00
	.0	.00	.00	25.79	-641.75
	60.0	.00	.00	12.59	509.75
2	.00				.00
	.0	.00	.00	1246.21	-37386.36
	60.0	.00	.00	1246.21	37386.36

### A.3. ALTERNATIVA GEOMETRICA 3

#### Archivo de datos

```

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 3
SYSTEM
N= 12 L= 2
:
JOINTS
1 X= 0 Y= 30 Z= 0
2 X= 200
3 X= 100 Y= 0 Z= 450
4 Y= 60
5 Y= 410
6 Y= 470
7 X= 0 Y= 440 Z= 0
8 X= 200
9 X= 95 Y= 30 Z= 330

```

10 X= 105  
11 X= 95 Y= 440 Z= 330  
12 X= 105

:  
RESTRAINTS

1,2 R= 0,0,1,0,0,0  
7,8 R= 0,0,1,0,0,0  
3 R= 1,0,0,1,0,0  
4,5 R= 0,0,0,1,0,0  
6 R= 1,0,0,1,0,0

:  
FRAME

NM= 3 NL= 2  
1 A= 28.1 J= 7 I= 173,1120 E= 21E5  
2 A= 2.148 J= 3.08 I= 1.54,1.54  
3 A= 5.07 J= 4.086 I= 2.043,2.043  
1 WL= 0,0,-0.22  
2 PLD= 175,0,-5000  
1 1,3 M= 2 LP= 2,0 :LR= 1,0,1,0,0,1  
2 1,4 :LR= 1,0,1,0,0,1  
3 2,4  
4 2,3  
5 5,7  
6 6,7  
7 6,8  
8 5,8  
9 7,8 M= 3 LP= 1,0 :LR= 1,1,1,1,1,1  
10 1,2  
11 4,5 M= 1 LP= 1,0 NSL= 1,2 :LR= 0,0,0,0,0,0  
12 5,6 NSL= 1,0 :LR= 0,1,0,0,1,0  
13 3,4 NSL= 1,0 :LR= 1,0,0,1,0,0  
14 1,9 M= 2 LP= 2,0 NSL= 0,0  
15 2,10  
16 7,11  
17 8,12  
18 3,9  
19 4,9  
20 3,10  
21 4,10  
22 5,11  
23 6,11  
24 5,12  
25 6,12

:  
PLOT

VP= 1,2 VH= 1,0  
:



11	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
12	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
TOTAL -.2129E-14 .6738E-15 .1034E+03 .2634E-14 -.9843E-14 .2680E-13						
<b>LOAD CONDITION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"</b>						
JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.1358E-13	-.3172E-14	.1250E+04	-.3123E-14	-.1419E-13	-.2700E-13
2	.6037E-13	.2111E-14	.1250E+04	.1135E-13	-.2313E-13	-.1231E-13
3	.1499E-13	-.1608E-13	-.5452E-12	.3750E+05	-.1731E-12	.2615E-13
4	.5119E-13	-.1285E-12	-.5396E-11	.2562E+06	-.1254E-12	.1191E-12
5	.7207E-13	.3598E-12	-.1779E-11	-.2562E+06	.1409E-12	.2072E-13
6	-.1201E-12	-.2174E-12	-.3749E-11	-.3750E+05	.1026E-12	.1068E-14
7	.9326E-13	.3935E-14	.1250E+04	.1276E-13	-.7421E-14	.9949E-13
8	.5185E-13	.8095E-14	.1250E+04	-.2521E-13	-.3934E-14	-.1254E-13
9	-.9029E-13	.1382E-12	.1344E-11	.1468E-13	.2394E-13	.9560E-14
10	-.2277E-13	.1486E-13	-.6092E-13	.2254E-13	-.1083E-12	.1633E-13
11	-.4060E-13	.2019E-12	-.4053E-12	.2924E-13	.1547E-12	-.7738E-14
12	.2063E-13	-.1236E-12	.1475E-11	-.1793E-14	.1221E-12	.3865E-15
TOTAL .1042E-12 .2400E-12 .5000E+04 .1965E-09 .8862E-13 .2332E-12						

Archivo de salida: Fuerzas y momentos en cada elemento.

ANALISIS DE ALTERNATIVA GEOMETRICA 3							
SAP80 V85.03							
*****							
*** FRAME MEMBER FORCES ***							
*****							
MEM #	LOAD #	AXIAL FORCE	DIST I	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	AXIAL TORQUE
1 -----							
1	-13.05	.0	.00	-.38	.00	.01	.01
		462.0	.00	.17	.00	-.05	.46
2	-631.24	.0	.06	-18.31	-.01	.84	.84
		462.0	.06	8.42	-.01	-3.49	-3.49
2 -----							
1	-13.06	.0	.00	-.38	.00	.03	.00
		462.0	.00	.17	.00	-.07	.03
2	-631.34	.0	.06	-18.26	-.01	1.61	-.04
							1.61

		462.0	.06	8.31	-.01	-4.26
3	-----					
1	-13.06					.00
	.0	.00	.38	.00		.03
	462.0	.00	-.17	.00		-.07
2	-631.34					.04
	.0	-.06	18.26	-.01		1.61
	462.0	-.06	-8.31	-.01		-4.26
4	-----					
1	-13.05					-.01
	.0	.00	.38	.00		.01
	462.0	.00	-.17	.00		-.05
2	-631.24					-.46
	.0	-.06	18.31	-.01		.84
	462.0	-.06	-8.42	-.01		-3.49
5	-----					
1	-13.06					.00
	.0	.00	-.17	.00		.07
	462.0	.00	.38	.00		-.03
2	-631.34					.04
	.0	.06	-8.31	-.01		4.26
	462.0	.06	18.26	-.01		-1.61
6	-----					
1	-13.05					-.01
	.0	.00	-.17	.00		.05
	462.0	.00	.38	.00		-.01
2	-631.24					-.46
	.0	.06	-8.42	-.01		3.49
	462.0	.06	18.31	-.01		-.84
7	-----					
1	-13.05					.01
	.0	.00	.17	.00		.05
	462.0	.00	-.38	.00		-.01
2	-631.24					.46
	.0	-.06	8.42	-.01		3.49
	462.0	-.06	-18.31	-.01		-.84
8	-----					
1	-13.06					.00
	.0	.00	.17	.00		.07
	462.0	.00	-.38	.00		-.03
2	-631.34					-.04
	.0	-.06	8.31	-.01		4.26
	462.0	-.06	-18.26	-.01		-1.61
9	-----					
1	5.76					.00
	.0	.00	.00	.00		.63
	200.0	.00	.00	.00		.63
2	278.62					.00

		.0	.00	.15	.00	30.45
		200.0	.00	.15	.00	30.45
10	-----					
1	5.76					.00
	.0	.00	.00	.00	.00	.63
	200.0	.00	.00	.00	.00	.63
2	278.62					.00
	.0	.00	-.15	.00	.00	30.45
	200.0	.00	-.15	.00	.00	30.45
11	-----					
1	.00					.00
	.0	.00	.00	38.50	.00	-2245.83
	175.0	.00	.00	.00	.00	1122.92
	350.0	.00	.00	-38.50	.00	-2245.77
2	.00					.00
	.0	.00	.00	2500.00	.00	-218750.00
	175.0	.00	.00	2500.00	.00	218750.00
		.00		-2500.00	.00	
	350.0	.00	.00	-2500.00	.00	-218750.00
12	-----					
1	1.80					.00
	.0	.00	.00	-12.63	.00	510.98
	60.0	.00	.00	-25.83	.00	-642.98
2	87.06					.00
	.0	.00	.00	-1248.87	.00	37466.03
	60.0	.00	.00	-1248.87	.00	-37466.03
13	-----					
1	1.80					.00
	.0	.00	.00	25.83	.00	-642.98
	60.0	.00	.00	12.63	.00	510.98
2	87.06					.00
	.0	.00	.00	1248.87	.00	-37466.03
	60.0	.00	.00	1248.87	.00	37466.03
14	-----					
1	-.43					.00
	.0	-.01	1.39	.00	.00	-.04
	343.4	-.01	-2.66	.00	.00	.05
2	-20.77					-.12
	.0	-.57	66.97	.02	.00	-2.42
	343.4	-.57	-128.86	.02	.00	2.95
15	-----					
1	-.43					.00
	.0	.01	-1.39	.00	.00	-.04
	343.4	.01	2.66	.00	.00	.05
2	-20.77					.12
	.0	.57	-66.97	.02	.00	-2.42
	343.4	.57	128.86	.02	.00	2.95

16 -----					
1	-.43				.00
	.0	-.01	1.39	.00	.04
	343.4	-.01	-2.66	.00	-.05
2	-20.77				.12
	.0	-.57	66.97	-.02	2.42
	343.4	-.57	-128.86	-.02	-2.95
17 -----					
1	-.43				.00
	.0	.01	-1.39	.00	.04
	343.4	.01	2.66	.00	-.05
2	-20.77				-.12
	.0	.57	-66.97	-.02	2.42
	343.4	.57	128.86	-.02	-2.95
18 -----					
1	-.21				-.26
	.0	.05	-4.14	.00	-.20
	123.8	.05	1.44	.00	.02
2	-9.97				-12.27
	.0	2.18	-200.17	.12	-13.01
	123.8	2.18	69.44	.12	1.30
19 -----					
1	-.22				.26
	.0	.05	-4.14	.00	-.21
	123.8	.05	1.44	.00	.03
2	-10.98				12.82
	.0	2.18	-200.03	.12	-13.31
	123.8	2.18	69.64	.12	1.60
20 -----					
1	-.21				.26
	.0	-.05	4.14	.00	-.20
	123.8	-.05	-1.44	.00	.02
2	-9.97				12.27
	.0	-2.18	200.17	.12	-13.01
	123.8	-2.18	-69.44	.12	1.30
21 -----					
1	-.22				-.26
	.0	-.05	4.14	.00	-.21
	123.8	-.05	-1.44	.00	.03
2	-10.98				-12.82
	.0	-2.18	200.03	.12	-13.31
	123.8	-2.18	-69.64	.12	1.60
22 -----					
1	-.22				-.26
	.0	.05	-4.14	.00	.21
	123.8	.05	1.44	.00	-.03
2	-10.98				-12.82
	.0	2.18	-200.03	-.12	13.31
	123.8	2.18	69.64	-.12	-1.60

23 -----					
1	-21				.26
	.0	.05	-4.14	.00	.20
	123.8	.05	1.44	.00	-.02
2	-9.97				12.27
	.0	2.18	-200.17	-.12	13.01
	123.8	2.18	69.44	-.12	-1.30
24 -----					
1	-22				.26
	.0	-.05	4.14	.00	.21
	123.8	-.05	-1.44	.00	-.03
2	-10.98				12.82
	.0	-2.18	200.03	-.12	13.31
	123.8	-2.18	-69.64	-.12	-1.60
25 -----					
1	-21				-.26
	.0	-.05	4.14	.00	.20
	123.8	-.05	-1.44	.00	-.02
2	-9.97				-12.27
	.0	-2.18	200.17	-.12	13.01
	123.8	-2.18	-69.44	-.12	-1.30

## **ANEXO B.**

A continuación se muestra un ejemplo de los archivos que ALGOR genera después que se modela la estructura a analizar.

Estos archivos presentan la extensión “\*.L” y “\*.S”. El primer archivo es un archivo de entrada de datos antes de procesar el modelo ingresado. Aquí se puede variar el modelo, las restricciones, características del material, etc.

El segundo es un archivo de salida, se genera después de procesar el modelo ingresado. Aquí se pueden apreciar las fuerzas internas, los momentos y las reacciones. Todo lo obtenido en este archivo puede ser visualizado a través del programa de visualización de resultados de ALGOR.

## ARCHIVO DE ENTRADA : PORTAX . L

1\*\*\*\* Algor (c) Linear Stress Analysis - SSAP0H Rel. 01-SEP-94 Ver. 11.06-3H

DATE: NOVEMBER 23,1995

TIME: 11:40 AM

INPUT FILE.....portax

## ANALISIS FZA. VERTICAL AL CENTRO RUEDA EN X

## 1\*\*\*\* CONTROL INFORMATION

number of node points (NUMNP) = 35  
 number of element types (NELTYP) = 2  
 number of load cases (LL) = 1  
 number of frequencies (NF) = 0  
 geometric stiffness flag (GEOSTF) = 0  
 analysis type code (NDYN) = 0  
 solution mode (MODEX) = 0  
 equations per block (KEQB) = 0  
 weight and c.g. flag (IWTG) = 0  
 bandwidth minimization flag (MINBND) = 0  
 gravitational constant (GRAV) = 3.8640E+02

bandwidth minimization specified

## 1\*\*\*\* NODAL DATA

NODE BOUNDARY CONDITION CODES NODAL POINT COORDINATES  
 NO. DX DY DZ RX RY RZ X Y Z T

NO.	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ	X	Y	Z	T
1	1	1	1	1	1	1	0.000E+00	0.000E+00	-1.000E+14	0.000E+00
2	1	1	1	1	1	1	0.000E+00	-1.000E+14	0.000E+00	0.000E+00
3	0	0	0	0	0	0	5.000E+01	-1.000E+01	0.000E+00	0.000E+00
4	0	0	0	0	0	0	2.500E+02	-1.000E+01	0.000E+00	0.000E+00
5	1	1	1	1	1	1	-1.000E+14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	1	1	1	1	1	1	1.000E+14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7	0	0	0	0	0	0	5.000E+01	5.600E+02	0.000E+00	0.000E+00
8	0	0	0	0	0	0	2.500E+02	5.600E+02	0.000E+00	0.000E+00
9	1	1	1	1	1	1	0.000E+00	1.000E+14	0.000E+00	0.000E+00
10	0	0	0	0	0	0	1.490E+02	2.000E+01	4.000E+02	0.000E+00
11	0	0	0	0	0	0	1.510E+02	2.000E+01	4.000E+02	0.000E+00
12	0	0	0	0	0	0	1.490E+02	5.300E+02	4.000E+02	0.000E+00
13	0	0	0	0	0	0	1.510E+02	5.300E+02	4.000E+02	0.000E+00
14	0	0	0	0	0	0	1.499E+02	-1.000E+01	5.000E+02	0.000E+00
15	0	0	0	0	0	0	1.500E+02	-1.000E+01	5.000E+02	0.000E+00
16	0	0	0	0	0	0	1.501E+02	-1.000E+01	5.000E+02	0.000E+00
17	0	0	0	0	0	0	1.499E+02	5.000E+01	5.000E+02	0.000E+00
18	0	0	0	0	0	0	1.500E+02	5.000E+01	5.000E+02	0.000E+00
19	0	0	0	0	0	0	1.501E+02	5.000E+01	5.000E+02	0.000E+00
20	0	0	0	0	0	0	1.500E+02	2.750E+02	5.000E+02	0.000E+00
21	0	0	0	0	0	0	1.499E+02	5.000E+02	5.000E+02	0.000E+00
22	0	0	0	0	0	0	1.500E+02	5.000E+02	5.000E+02	0.000E+00
23	0	0	0	0	0	0	1.501E+02	5.000E+02	5.000E+02	0.000E+00
24	0	0	0	0	0	0	1.499E+02	5.600E+02	5.000E+02	0.000E+00
25	0	0	0	0	0	0	1.500E+02	5.600E+02	5.000E+02	0.000E+00
26	0	0	0	0	0	0	1.501E+02	5.600E+02	5.000E+02	0.000E+00
27	1	1	1	1	1	1	0.000E+00	0.000E+00	1.000E+14	0.000E+00
28	1	1	1	1	1	1	5.000E+01	1.500E+01	0.000E+00	0.000E+00

34 1 1 1 1 1 1 2.500E+02 5.600E+02 2.500E+01 0.000E+00  
 35 1 1 1 1 1 1 5.000E+01 5.600E+02 2.500E+01 0.000E+00  
 \*\*\*\* PRINT OF EQUATION NUMBERS SUPPRESSED

1\*\*\*\* BEAM ELEMENTS

number of beam elements = 34  
 number of area property sets = 4  
 number of fixed end force sets = 0  
 number of materials = 1  
 number of intermediate load sets = 0

1\*\*\*\* MATERIAL PROPERTIES

INDEX	E	MU	MASS DENSITY	WEIGHT DENSITY	THERMAL EXPANSION X	THERMAL EXPANSION Y	THERMAL EXPANSION Z	REFERENCE TEMPERATURE
1	2.10E+06	.300	7.80E-03	3.01E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.000E+00

1\*\*\*\* AREA PROPERTIES

INDEX	AREAS			TORSION	FLEXURAL INERTIAS		
	AXIAL A(1)	SHEAR A(2)	SHEAR A(3)	J(1)	I(2)	I(3)	
1	5.517E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.623E+01	1.812E+01	1.812E+01	
2	2.150E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.080E+00	1.540E+00	1.540E+00	
3	3.320E+01	0.000E+00	0.000E+00	6.200E+00	3.140E+02	2.373E+03	
4	1.270E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.580E-01	1.300E-01	1.300E-01	

1\*\*\*\* STRESS PROPERTIES

INDEX	SECTION MODULI	
	S(2)	S(3)
1	7.247E+00	7.247E+00
2	1.617E+00	1.617E+00
3	4.700E+01	2.340E+02
4	2.050E-01	2.050E-01

1\*\*\*\* ELEMENT LOAD FACTORS

	CASE A	CASE B	CASE C	CASE D
X-DIR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Y-DIR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Z-DIR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

1\*\*\*\* ELEMENT CONNECTIVITY DATA

ELEMENT NO.	NODE I	NODE J	NODE K	NODE INDEX	MAT'L INDEX	SECTN A	SECTN B	SECTN C	SECTN D	ELEMENT LOADS I-END	ELEMENT LOADS J-END	RELEASE CODES	MEMBER NO.
1	7	12	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
2	8	13	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
3	22	26	27	1	3	0	0	0	0	0	0		0
4	13	23	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
5	13	26	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
6	8	26	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
7	8	23	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
8	12	24	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
9	12	21	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
10	7	21	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
11	7	24	9	1	2	0	0	0	0	0	0		0
12	24	26	9	1	1	0	0	0	0	0	10		10
13	25	26	9	1	1	0	0	0	0	10	0		0

14	3	10	9	1	2	0	0	0	0	0	0
15	4	11	9	1	2	0	0	0	0	0	0
16	15	18	27	1	3	0	0	0	0	0	0
17	11	16	9	1	2	0	0	0	0	0	0
18	11	19	9	1	2	0	0	0	0	0	0
19	4	19	9	1	2	0	0	0	0	0	0
20	4	16	9	1	2	0	0	0	0	0	0
21	10	17	9	1	2	0	0	0	0	0	0
22	10	14	9	1	2	0	0	0	0	0	0
23	3	14	9	1	2	0	0	0	0	0	0
24	3	17	9	1	2	0	0	0	0	0	0
25	17	18	9	1	1	0	0	0	0	0	10
26	18	19	9	1	1	0	0	0	0	10	0
27	18	20	27	1	3	0	0	0	0	0	0
28	20	22	27	1	3	0	0	0	0	0	0
29	14	15	9	1	1	0	0	0	0	0	10
30	15	16	9	1	1	0	0	0	0	10	0
31	3	4	9	1	4	0	0	0	0	10	10
32	7	8	9	1	4	0	0	0	0	10	10
33	21	22	9	1	1	0	0	0	0	0	10
34	22	23	9	1	1	0	0	0	0	10	0

## 1\*\*\*\* BOUNDARY ELEMENTS

number of elements = 8

## 1\*\*\*\* ELEMENT LOAD FACTORS

CASE A	CASE B	CASE C	CASE D
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E+00

## 1\*\*\*\* ELEMENT CONNECTIVITY DATA

ELEMENT NODE ---DIRECTION NODES--- CODES SPECIFIED SPECIFIED SPRING  
NUMBER N I J K L KD KR TRANSLATION ROTATION RATE

1	3	28	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10
2	4	29	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10
3	8	30	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10
4	7	31	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10
5	3	32	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10
6	4	33	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10
7	8	34	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10
8	7	35	0	0	0	1	0	0.0000E+00	0.0000E+00	1.000E+10

## 1\*\*\*\* BANDWIDTH MINIMIZATION

minbnd (bandwidth control parameter) = 1  
bandwidth before resequencing = 108  
bandwidth after resequencing = 78

\*\*\*\* Hard disk file size information for processor:

Available hard disk space on drive = 155.009 megabytes

## 1\*\*\*\* NODAL LOADS (STATIC) OR MASSES (DYNAMIC)

NODE NUMBER	LOAD CASE	X-AXIS FORCE	Y-AXIS FORCE	Z-AXIS FORCE	X-AXIS MOMENT	Y-AXIS MOMENT	Z-AXIS MOMENT
20	1	0.000E+00	0.000E+00	-6.506E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

## 1\*\*\*\* ELEMENT LOAD MULTIPLIERS

load case	case A	case B	case C	case D

```

1      0.000E+00 1.000E+00 0.000E+00 1.000E+00
**** EQUATION PARAMETERS
Number of equations = 126
Minimum bandwidth = 1
Maximum bandwidth = 78
Average bandwidth = 28
Storage required (bytes) = 29736
Total memory allocated (bytes) = 1363952
Total memory free (bytes) = 1356192

**** Proceeding with in-core fast solver ...
**** Begin in-core solution
**** load case #1
warning: your model may not be tied down
        enough or you may have a change in
        stiffness somewhere in your model
        which is too abrupt. Check DOF:      125
**** End in-core solution

1**** STATIC ANALYSIS

LOAD CASE = 1

Displacements/Rotations(degrees) of nodes

NODE      X-      Y-      Z-      X-      Y-      Z-
number translation translation translation rotation rotation rotation
1  0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2  0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
3  -1.2201E-02 -3.5735E-08 -1.6266E-07 2.6653E-01 2.1119E-01 -1.6453E-01
4  1.2194E-02 -3.5735E-08 -1.6266E-07 2.6653E-01 -2.1119E-01 1.6453E-01
5  0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
6  0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
7  -1.2201E-02 3.5735E-08 -1.6266E-07 -2.6653E-01 2.1119E-01 1.6453E-01
8  1.2194E-02 3.5735E-08 -1.6266E-07 -2.6653E-01 -2.1119E-01 -1.6453E-01
9  0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
10 6.6335E-01 -8.5167E-01 -1.0583E-01 -4.2993E-01 -3.6324E-01 4.6978E-03
11 -6.6335E-01 -8.5167E-01 -1.0583E-01 -4.2993E-01 3.6324E-01 -4.6910E-03
12 6.6335E-01 8.5167E-01 -1.0583E-01 4.2993E-01 -3.6324E-01 -4.6978E-03
13 -6.6335E-01 8.5167E-01 -1.0583E-01 4.2993E-01 3.6324E-01 4.6910E-03
14 -5.8242E-06 2.3009E-03 1.5624E-01 -4.7140E-01 -3.9349E-01 -3.9932E-06
15 -3.4935E-06 2.3009E-03 1.5692E-01 -4.7141E-01 0.0000E+00 2.7240E-08
16 -1.1630E-06 2.3009E-03 1.5624E-01 -4.7140E-01 3.9348E-01 4.0482E-06
17 1.6237E-06 2.3065E-03 -3.5661E-01 -5.2721E-01 -2.1662E-01 5.4551E-06
18 -3.5152E-06 2.3065E-03 -3.5623E-01 -5.2725E-01 0.0000E+00 2.2638E-08
19 -8.6536E-06 2.3065E-03 -3.5661E-01 -5.2721E-01 2.1663E-01 -5.4082E-06
20 -3.5597E-06 0.0000E+00 -2.0111E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
21 1.6237E-06 -2.3065E-03 -3.5681E-01 5.2721E-01 -2.1662E-01 -5.4551E-06
22 -3.5152E-06 -2.3065E-03 -3.5623E-01 5.2725E-01 0.0000E+00 -2.2638E-08
23 -8.6536E-06 -2.3065E-03 -3.5661E-01 5.2721E-01 2.1663E-01 5.4082E-06
24 -5.8242E-06 -2.3009E-03 1.5624E-01 4.7140E-01 -3.9349E-01 3.9932E-06
25 -3.4935E-06 -2.3009E-03 1.5692E-01 4.7141E-01 0.0000E+00 -2.7240E-08
26 -1.1630E-06 -2.3009E-03 1.5624E-01 4.7140E-01 3.9348E-01 -4.0482E-06
27 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
28 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
29 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
30 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
31 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
32 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
33 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
34 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
35 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00

1**** TEMPORARY FILE STORAGE (MEGABYTES)

```

---

UNIT NO. 7 :	.001
UNIT NO. 8 :	.002
UNIT NO. 9 :	.000
UNIT NO. 10 :	.000
UNIT NO. 11 :	.002
UNIT NO. 12 :	.001
UNIT NO. 13 :	.000
UNIT NO. 14 :	.000
UNIT NO. 15 :	.000
UNIT NO. 17 :	.000

TOTAL	:	.006
-------	---	------

1\*\*\*\* End of file

## ARCHIVO DE SALIDA : PORTAX . S

1\*\*\*\* Algor (c) FEA Stress Processor MKNSO 01-SEP-94, Ver 11.08-3H

DATE: NOVEMBER 23,1995

TIME: 11:40 AM

INPUT FILE.....portax

## 1\*\*\*\* BEAM ELEMENTS

```

number of beam elements   =      34
number of area property sets =      4
number of fixed end force sets =      0
number of materials       =      1
number of intermediate load sets =      0

```

## 1\*\*\*\* BEAM ELEMENT FORCES AND MOMENTS

ELEMENT NO.	CASE (MODE)	AXIAL FORCE			SHEAR FORCE		TORSION	BENDING	BENDING				
		R1	R2	R3	M1	M2	M3	MOMENT	MOMENT				
1	1	2.647E+01	-7.083E-01	6.477E-01	-4.703E+00	-5.556E+01	-4.840E+01	-2.647E+01	7.083E-01	-6.477E-01	4.703E+00	-2.120E+02	-2.442E+02
2	1	2.647E+01	-7.083E-01	-6.477E-01	4.704E+00	5.556E+01	-4.840E+01	-2.647E+01	7.083E-01	6.477E-01	-4.704E+00	2.120E+02	-2.442E+02
3	1	-6.472E+00	2.696E+03	1.624E-04	0.000E+00	-3.989E-03	1.618E+05	6.472E+00	-2.696E+03	-1.624E-04	0.000E+00	-5.755E-03	-6.758E+01
4	1	2.341E+01	6.703E-01	5.321E+00	-1.530E+01	-2.010E+02	8.756E+01	-2.341E+01	-6.703E-01	-5.321E+00	1.530E+01	-3.546E+02	-1.758E+01
5	1	4.033E+00	2.397E+00	1.501E-01	-1.595E+00	-2.428E+01	1.476E+02	-4.033E+00	-2.397E+00	-1.501E-01	1.595E+00	8.612E+00	1.028E+02
6	1	-1.378E+03	-2.190E-01	-2.320E-01	-1.427E+00	-7.790E+00	2.783E+01	1.378E+03	2.190E-01	2.320E-01	1.427E+00	1.261E+02	-1.395E+02
7	1	3.031E+03	-2.747E-01	1.480E-03	3.739E+00	-4.717E+01	1.859E+01	-3.031E+03	2.747E-01	-1.480E-03	-3.739E+00	4.641E+01	-1.596E+02
8	1	4.033E+00	2.397E+00	-1.499E-01	1.593E+00	2.428E+01	1.476E+02	-4.033E+00	-2.397E+00	1.499E-01	-1.593E+00	-8.624E+00	1.028E+02
9	1	2.341E+01	6.703E-01	-5.321E+00	1.530E+01	2.010E+02	8.756E+01	-2.341E+01	-6.703E-01	5.321E+00	-1.530E+01	3.546E+02	-1.758E+01
10	1	3.031E+03	-2.747E-01	-1.496E-03	-3.739E+00	4.717E+01	1.859E+01	-3.031E+03	2.747E-01	1.496E-03	3.739E+00	-4.640E+01	-1.596E+02
11	1	-1.378E+03	-2.190E-01	2.320E-01	1.427E+00	7.789E+00	2.783E+01	1.378E+03	2.190E-01	-2.320E-01	-1.427E+00	-1.261E+02	-1.395E+02
12	1	-2.700E+02	3.237E+00	-1.348E+03	-3.379E+01	1.348E+02	2.686E+01	2.700E+02	-3.237E+00	1.348E+03	3.379E+01	0.000E+00	-2.653E+01
13	1	-2.700E+02	-3.237E+00	1.348E+03	3.379E+01	0.000E+00	2.654E+01	2.700E+02	3.237E+00	-1.348E+03	-3.379E+01	-1.348E+02	-2.686E+01
14	1	2.647E+01	7.083E-01	6.477E-01	4.703E+00	-5.556E+01	4.840E+01	-2.647E+01	-7.083E-01	-6.477E-01	-4.703E+00	-2.120E+02	2.442E+02

15 1 2.647E+01 7.083E-01 -6.477E-01 -4.704E+00 5.556E+01 4.840E+01  
-2.647E+01 -7.083E-01 6.477E-01 4.704E+00 2.120E+02 2.442E+02

16 1 -6.472E+00 -2.696E+03 -1.624E-04 0.000E+00 5.755E-03 6.758E+01  
6.472E+00 2.696E+03 1.624E-04 0.000E+00 3.989E-03 -1.618E+05

17 1 4.033E+00 -2.397E+00 1.501E-01 1.595E+00 -2.428E+01 -1.476E+02  
-4.033E+00 2.397E+00 -1.501E-01 -1.595E+00 8.612E+00 -1.028E+02

18 1 2.341E+01 -6.703E-01 5.321E+00 1.530E+01 -2.010E+02 -8.756E+01  
-2.341E+01 6.703E-01 -5.321E+00 -1.530E+01 -3.646E+02 1.758E+01

19 1 3.031E+03 2.747E-01 1.480E-03 -3.739E+00 -4.717E+01 -1.859E+01  
-3.031E+03 -2.747E-01 -1.480E-03 3.739E+00 4.641E+01 1.596E+02

20 1 -1.378E+03 2.190E-01 -2.320E-01 1.427E+00 -7.790E+00 -2.783E+01  
1.378E+03 -2.190E-01 2.320E-01 -1.427E+00 1.261E+02 1.395E+02

21 1 2.341E+01 -6.703E-01 -5.321E+00 -1.530E+01 2.010E+02 -8.756E+01  
-2.341E+01 6.703E-01 5.321E+00 1.530E+01 3.546E+02 1.758E+01

22 1 4.033E+00 -2.397E+00 -1.499E-01 -1.593E+00 2.428E+01 -1.476E+02  
-4.033E+00 2.397E+00 1.499E-01 1.593E+00 -8.624E+00 -1.028E+02

23 1 -1.378E+03 2.190E-01 2.320E-01 -1.427E+00 7.789E+00 -2.783E+01  
1.378E+03 -2.190E-01 -2.320E-01 1.427E+00 -1.261E+02 1.395E+02

24 1 3.031E+03 2.747E-01 -1.496E-03 3.739E+00 4.717E+01 -1.859E+01  
-3.031E+03 -2.747E-01 1.496E-03 -3.739E+00 -4.640E+01 1.596E+02

25 1 5.953E+02 3.606E+02 2.974E+03 1.746E+02 -2.975E+02 5.410E+01  
-5.953E+02 -3.606E+02 -2.974E+03 -1.746E+02 0.000E+00 -1.804E+01

26 1 5.953E+02 -3.606E+02 -2.974E+03 -1.746E+02 0.000E+00 1.803E+01  
-5.953E+02 3.606E+02 2.974E+03 1.746E+02 2.974E+02 -5.409E+01

27 1 7.147E+02 3.253E+03 0.000E+00 0.000E+00 1.158E-03 1.622E+05  
-7.147E+02 -3.253E+03 0.000E+00 0.000E+00 -1.158E-03 5.698E+05

28 1 7.147E+02 -3.253E+03 0.000E+00 0.000E+00 1.158E-03 -5.698E+05  
-7.147E+02 3.253E+03 0.000E+00 0.000E+00 -1.158E-03 -1.622E+05

29 1 -2.700E+02 -3.235E+00 -1.348E+03 3.379E+01 1.348E+02 -2.686E+01  
2.700E+02 3.235E+00 1.348E+03 -3.379E+01 0.000E+00 2.653E+01

30 1 -2.700E+02 3.235E+00 1.348E+03 -3.379E+01 0.000E+00 -2.654E+01  
2.700E+02 -3.235E+00 -1.348E+03 3.379E+01 -1.348E+02 2.686E+01

31 1 -3.253E+02 0.000E+00 0.000E+00 1.540E-05 0.000E+00 -7.839E+00  
3.253E+02 0.000E+00 0.000E+00 -1.540E-05 0.000E+00 7.840E+00

32 1 -3.253E+02 0.000E+00 0.000E+00 -1.540E-05 0.000E+00 7.839E+00  
3.253E+02 0.000E+00 0.000E+00 1.540E-05 0.000E+00 -7.840E+00

33 1 5.953E+02 -3.606E+02 2.974E+03 -1.746E+02 -2.975E+02 -5.410E+01  
-5.953E+02 3.606E+02 -2.974E+03 1.746E+02 0.000E+00 1.804E+01

34 1 5.953E+02 3.606E+02 -2.974E+03 1.746E+02 0.000E+00 -1.803E+01  
-5.953E+02 -3.606E+02 2.974E+03 -1.746E+02 2.974E+02 5.409E+01

## 1\*\*\*\* BEAM ELEMENT STRESSES

ELEMENT CASE P/A P/A+M2/S2 P/A-M2/S2 P/A+M3/S3 P/A-M3/S3 WORST SUM  
NO. (MODE)

-----

1 1 -1.231E+01 2.205E+01 -4.667E+01 1.762E+01 -4.225E+01 -7.661E+01  
-1.231E+01 -1.434E+02 1.188E+02 -1.634E+02 1.387E+02 -2.945E+02

2 1 -1.231E+01 -4.667E+01 2.205E+01 1.762E+01 -4.225E+01 -7.661E+01  
-1.231E+01 1.188E+02 -1.434E+02 -1.634E+02 1.387E+02 -2.945E+02

3 1 1.949E-01 1.950E-01 1.949E-01 -6.913E+02 6.917E+02 6.917E+02  
1.949E-01 1.948E-01 1.951E-01 -9.386E-02 4.837E-01 4.839E-01

4 1 -1.089E+01 1.134E+02 -1.352E+02 -6.504E+01 4.326E+01 -1.893E+02  
-1.089E+01 -2.301E+02 2.084E+02 -2.176E+01 -1.653E-02 -2.410E+02

5 1 -1.876E+00 1.314E+01 -1.689E+01 -9.313E+01 8.938E+01 -1.081E+02  
-1.876E+00 3.450E+00 -7.202E+00 6.167E+01 -6.542E+01 -7.075E+01

6 1 6.409E+02 6.457E+02 6.360E+02 6.236E+02 6.581E+02 6.629E+02  
6.409E+02 7.188E+02 5.629E+02 5.546E+02 7.271E+02 8.051E+02

7 1 -1.410E+03 -1.381E+03 -1.439E+03 -1.421E+03 -1.398E+03 -1.450E+03  
-1.410E+03 -1.381E+03 -1.438E+03 -1.509E+03 -1.311E+03 -1.537E+03

8 1 -1.876E+00 -1.689E+01 1.314E+01 -9.313E+01 8.938E+01 -1.081E+02  
-1.876E+00 -7.209E+00 3.458E+00 6.167E+01 -6.542E+01 -7.076E+01

9 1 -1.089E+01 -1.352E+02 1.134E+02 -6.504E+01 4.326E+01 -1.893E+02  
-1.089E+01 2.084E+02 -2.302E+02 -2.176E+01 -1.674E-02 -2.410E+02

10 1 -1.410E+03 -1.439E+03 -1.381E+03 -1.421E+03 -1.398E+03 -1.450E+03  
-1.410E+03 -1.438E+03 -1.381E+03 -1.509E+03 -1.311E+03 -1.537E+03

11 1 6.409E+02 6.360E+02 6.457E+02 6.236E+02 6.581E+02 6.629E+02  
6.409E+02 5.629E+02 7.188E+02 5.546E+02 7.271E+02 8.051E+02

12 1 4.894E+01 3.034E+01 6.754E+01 4.523E+01 5.265E+01 7.125E+01  
4.894E+01 4.894E+01 4.894E+01 4.528E+01 5.260E+01 5.260E+01

13 1 4.894E+01 4.894E+01 4.894E+01 4.528E+01 5.260E+01 5.260E+01  
4.894E+01 3.034E+01 6.754E+01 4.523E+01 5.265E+01 7.125E+01

14 1 -1.231E+01 2.205E+01 -4.667E+01 -4.225E+01 1.762E+01 -7.661E+01  
-1.231E+01 -1.434E+02 1.188E+02 1.387E+02 -1.634E+02 -2.945E+02

15 1 -1.231E+01 -4.667E+01 2.205E+01 -4.225E+01 1.762E+01 -7.661E+01  
-1.231E+01 1.188E+02 -1.434E+02 1.387E+02 -1.634E+02 -2.945E+02

16 1 1.949E-01 1.948E-01 1.951E-01 -9.386E-02 4.837E-01 4.839E-01  
1.949E-01 1.950E-01 1.949E-01 -6.913E+02 6.917E+02 6.917E+02

17 1 -1.876E+00 1.314E+01 -1.689E+01 8.938E+01 -9.313E+01 -1.081E+02  
-1.876E+00 3.450E+00 -7.202E+00 -6.542E+01 6.167E+01 -7.075E+01

18 1 -1.089E+01 1.134E+02 -1.352E+02 4.326E+01 -6.504E+01 -1.893E+02  
-1.089E+01 -2.301E+02 2.084E+02 -1.653E-02 -2.176E+01 -2.410E+02

19 1 -1.410E+03 -1.381E+03 -1.439E+03 -1.398E+03 -1.421E+03 -1.450E+03  
-1.410E+03 -1.381E+03 -1.438E+03 -1.311E+03 -1.509E+03 -1.537E+03

20 1 6.409E+02 6.457E+02 6.360E+02 6.581E+02 6.236E+02 6.629E+02  
6.409E+02 7.188E+02 5.629E+02 7.271E+02 5.546E+02 8.051E+02

21 1 -1.089E+01 -1.352E+02 1.134E+02 4.326E+01 -6.504E+01 -1.893E+02  
-1.089E+01 2.084E+02 -2.302E+02 -1.674E-02 -2.176E+01 -2.410E+02

22 1 -1.876E+00 -1.689E+01 1.314E+01 8.938E+01 -9.313E+01 -1.081E+02  
-1.876E+00 -7.209E+00 3.458E+00 -6.542E+01 6.167E+01 -7.076E+01

23 1 6.409E+02 6.360E+02 6.457E+02 6.581E+02 6.236E+02 6.629E+02  
6.409E+02 5.629E+02 7.188E+02 7.271E+02 5.546E+02 8.051E+02

24 1 -1.410E+03 -1.439E+03 -1.381E+03 -1.398E+03 -1.421E+03 -1.450E+03  
-1.410E+03 -1.438E+03 -1.381E+03 -1.311E+03 -1.509E+03 -1.537E+03

25 1 -1.079E+02 -6.686E+01 -1.490E+02 -1.154E+02 -1.004E+02 -1.564E+02  
-1.079E+02 -1.079E+02 -1.079E+02 -1.104E+02 -1.054E+02 -1.104E+02

26 1 -1.079E+02 -1.079E+02 -1.079E+02 -1.104E+02 -1.054E+02 -1.104E+02  
-1.079E+02 -6.686E+01 -1.489E+02 -1.154E+02 -1.004E+02 -1.564E+02

27 1 -2.153E+01 -2.153E+01 -2.153E+01 -7.145E+02 6.715E+02 -7.145E+02  
-2.153E+01 -2.153E+01 -2.153E+01 2.413E+03 -2.457E+03 -2.457E+03

28 1 -2.153E+01 -2.153E+01 -2.153E+01 2.413E+03 -2.457E+03 -2.457E+03  
-2.153E+01 -2.153E+01 -2.153E+01 -7.145E+02 6.715E+02 -7.145E+02

29 1 4.894E+01 3.034E+01 6.754E+01 5.265E+01 4.523E+01 7.125E+01  
4.894E+01 4.894E+01 4.894E+01 5.260E+01 4.528E+01 5.260E+01

30 1 4.894E+01 4.894E+01 4.894E+01 5.260E+01 4.528E+01 5.260E+01  
4.894E+01 3.034E+01 6.754E+01 5.265E+01 4.523E+01 7.125E+01

31 1 2.562E+02 2.562E+02 2.562E+02 2.944E+02 2.179E+02 2.944E+02  
2.562E+02 2.562E+02 2.562E+02 2.944E+02 2.179E+02 2.944E+02

32 1 2.562E+02 2.562E+02 2.562E+02 2.179E+02 2.944E+02 2.944E+02  
2.562E+02 2.562E+02 2.562E+02 2.179E+02 2.944E+02 2.944E+02

33 1 -1.079E+02 -6.686E+01 -1.490E+02 -1.004E+02 -1.154E+02 -1.564E+02  
-1.079E+02 -1.079E+02 -1.079E+02 -1.054E+02 -1.104E+02 -1.104E+02

34 1 -1.079E+02 -1.079E+02 -1.079E+02 -1.054E+02 -1.104E+02 -1.104E+02  
-1.079E+02 -6.686E+01 -1.489E+02 -1.004E+02 -1.154E+02 -1.564E+02

## 1\*\*\*\* BOUNDARY ELEMENTS

number of elements = 8

## 1\*\*\*\* BOUNDARY ELEMENT FORCES/MOMENTS

ELEMENT NO.	CASE (MODE)	FORCE	MOMENT
1	1	-3.5735E+02	0.0000E+00
2	1	-3.5735E+02	0.0000E+00
3	1	3.5735E+02	0.0000E+00
4	1	3.5735E+02	0.0000E+00
5	1	-1.6266E+03	0.0000E+00
6	1	-1.6266E+03	0.0000E+00
7	1	-1.6266E+03	0.0000E+00
8	1	-1.6266E+03	0.0000E+00

Note: A boundary element load or displacement is defined to be positive in the direction from the structure attachment node (NP) to the reference node (NI). Therefore, a positive output force means that the element is in compression. Please refer to REFERENCE MANUAL for more information.

1\*\*\*\* End of file