



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

“ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE
CRUDO EN PLATAFORMAS MARINAS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

P R E S E N T A :

JAIME DELGADO REYNOSO

ASESOR: ING. ALBERTO GONZALEZ LEDESMA

NEZAHUALCOYOTL, EDO DE MÉXICO A 9 DE AGOSTO 2016





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido

1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. OBJETIVO	3
1.1. ESTRUCTURA	4
CAPITULO 1.....	9
CONCEPTOS BASICOS	9
FLEXIBILIDAD. (F)	9
RIGIDEZ (K).....	10
CONCEPTOS CARACTERÍSTICOS DEL ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD SON:....	13
DEFORMACIONES POR DESPLAZAMIENTO.....	13
ESFUERZOS POR DESPLAZAMIENTO.....	13
CAPITULO 2.....	14
BASES DE DISEÑO.	14
2.1. CÓDIGOS.....	14
2.2 MATERIALES	19
CAPITULO 3.....	25
ANÁLISIS TÉCNICO	25
3.1 INTRODUCCIÓN.....	25
3.2 METODO DEL CENTRO ELASTICO.....	59
3.3. METODO SIMPLIFICADO (KELLOGG).....	115
CONCLUSION.....	124

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente Proyecto se enmarca dentro de la especialidad de la ingeniería dedicada al **“ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE CRUDO EN PLATAFORMAS MARINAS”**.

Los sistemas de tuberías están muy presentes en las plantas industriales y son de especial importancia en plantas dedicadas al sector petroquímico por la gran cantidad de sistemas de tuberías que en ellas aparecen.

Los análisis de flexibilidad, por el marco industrial en que se sitúan, están relacionados con especialidades muy diversas y diferentes entre sí. Se relaciona, entre otras, con la metalurgia por los materiales empleados, por ser sistemas que transportan fluidos con unas condiciones de temperatura y presión determinadas y en muchos casos críticas.

Los sistemas de tuberías son el elemento de conexión entre los distintos equipos de la planta y sirven de medio de transporte para los diferentes fluidos que intervienen en los procesos que la planta realiza. Por ello, es necesario realizar los análisis de flexibilidad que garanticen que los sistemas operarán de forma segura, sin roturas o deformaciones excesivas de sus elementos.

Asegurando la operación de la planta sin roturas se garantiza también la seguridad de los operarios que desempeñen su labor en ella, siendo este un factor importante a la hora de la construcción de una planta industrial y, en general, de cualquier proyecto de ingeniería.

Del análisis de flexibilidad se obtienen los datos necesarios para el diseño de los soportes de la línea, como son las restricciones necesarias, su localización y las cargas que sufrirán los soportes y para las cuales deberán estar diseñados.

El análisis de flexibilidad se debe realizar teniendo en cuenta el tipo de soporte requerido para cada condición. Es importante el conocimiento de los diferentes tipos de soportes en el momento de realizar los cálculos de flexibilidad se hablará también de los tipos de soportes típicos más utilizados en los sistemas de tuberías.

1.1. OBJETIVO

El presente proyecto tiene como objetivo central la realización de un análisis de flexibilidad de un sistema de tuberías real. **ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE CRUDO EN PLATAFORMAS MARINAS”**.

Para ello será fundamental también el manejo de información obtenida a partir de planos de equipos, normas internacionales y otros documentos técnicos.

La presentación de los resultados de un estudio de forma clara e inequívoca es muy importante en un trabajo de ingeniería en el que se ven implicadas varias especialidades. Por ello también se pretende completar el estudio de la línea real de forma que sus resultados sean expuestos con la claridad necesaria para facilitar la labor de los responsables de utilizar esa información *a posteriori*.

Como complemento del análisis de flexibilidad de la línea real se pretende sentar las bases de la tarea de los especialistas de soportes que son quienes utilizarán la información que se obtenga del estudio de flexibilidad que supone el tema central del presente proyecto.

1.1. ESTRUCTURA

Como se ha visto, hasta este punto se ha pretendido realizar una introducción del tema fundamental de este proyecto, así como una explicación de los contenidos y estructura del mismo para una mejor comprensión y un seguimiento más fácil de la información.

Se exponen los conceptos previos que es necesario conocer para entender los análisis de flexibilidad.

Aparece toda la información sobre los análisis de flexibilidad, explicando los aspectos necesarios para su desarrollo. De esta forma se habla de los esfuerzos que aparecen en un sistema de tuberías, cómo se analizan esos esfuerzos dependiendo del tipo de línea y de los equipos que estén conectados a ella, cómo minimizar dichos esfuerzos, la normativa aplicable y, así, todos los aspectos necesarios para el buen desarrollo de este tipo de análisis.

Como se ha mencionado en los puntos anteriores, muy relacionado con los análisis de flexibilidad está la especialidad de soportes encargada de diseñar los mismos para conseguir las restricciones que el ingeniero responsable de realizar el análisis de flexibilidad indica en su estudio como necesarias para el buen funcionamiento, de forma segura, de la línea. Por ello se hace una introducción a los tipos de soportes utilizados en las plantas industriales.

Un estudio completo con recopilación de la información necesaria, el estudio propiamente dicho y la presentación de un informe de resultados son los temas principales.

Finalmente se muestran las conclusiones junto con los anexos correspondientes a los planos de los equipos, lista de líneas, diagramas de tuberías e instrumentos, y planos isométricos de la línea estudiada.

CAPITULO 1

CONCEPTOS BASICOS

**FLEXIBILIDAD
RIGIDEZ
ESFUERZO**

CONCEPTOS CARACTERISTICOS DEL ANALISIS DE FLEXIBILIDAD

- 1.- DEFORMACIONES POR DESPLAZAMIENTO**
- 2.- ESFUERZO POR DESPLAZAMIENTOS**

CAPITULO 2

BASES DE DISEÑO

- 2.1 CODIGOS**
- 2.2 MATERIALES**

CAPITULO 3

ANALISIS TECNICO

- 3.1 IINTRODUCCION**
- 3.2 METODO DEL CENTRO ELASTICO**
- 3.3 METODO SIMPLIFICADO KELLOGG**

CONCLUSIONES

Las tuberías en cualquier tipo de industria constituyen una parte esencial del equipo necesario para la realización de sus procesos. Su función es transportar bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, líquidos, gases o partículas sólidas en suspensión con gases o líquidos. En la actualidad el diseño de sistemas de tuberías es una de las partes importantes dentro de la especialidad de diseño, ya que su rango de participación es del 5 al 60% del total de horas-hombre que se requieren para la ingeniería de diseño de una planta industrial.

Los sistemas de tuberías además de diseñarse para su comportamiento hidráulico y la conducción de fluidos, deberán diseñarse en base a su comportamiento “estructural”, el cual se presenta bajo los efectos de : temperatura, presión, peso propio, excitaciones inducidas por los equipos a los que se conectan, viento, sismo, fuerza del fluido en cambio de dirección, etc., a los cuales es sometida y que pueden provocar fallas en la misma o soportes, fisuras, sobre-esfuerzos o desplazamientos del equipo como bombas, turbinas, compresores, etc..

El análisis estructural para los efectos antes mencionados, es denominado usualmente Análisis de Flexibilidad o Análisis de Esfuerzos, y viene a ser una etapa básica dentro de su diseño, la cual tiene como objeto definir la configuración o trazo y aditamentos especiales que no generen esfuerzos excesivos que puedan dañar a la tubería y los equipos interconectados. Podemos establecer que el análisis estructural de los sistemas de tuberías consta de tres etapas que son:

- 1) El análisis de flexibilidad.- Cuyo objeto es determinar las reacciones sobre apoyos y boquillas de equipos, así como las fuerzas internas en la tubería, los desplazamientos y deformaciones.
- 2) El análisis de esfuerzos.- Cuyo objeto es determinar los esfuerzos a que están sujetas las diversas componentes de la tubería y los equipos interconectados.
- 3) Comparación de fuerzas y esfuerzos con límites permisibles especificados por los códigos y por la fabricación de los diversos equipos

Respecto al análisis de flexibilidad, es importante indicar que un analista inexperto pueda caer, en el uso exagerado de la computadora, lo cual resultaría muy costoso al analizar tuberías simples que presentan visiblemente una flexibilidad adecuada y que pueden aceptarse simplemente empleando los métodos analíticos (Grinnel) y simplificado (Kellogg) para un chequeo rápido.

Entre otros casos las tuberías críticas se analizan por medio de computadora, que facilita el involucrar ciertos efectos significativos, como los de su peso propio, cuando se trabaja con altas temperaturas, para reflejar el comportamiento de las tuberías, y presentar zonas de esfuerzos críticos, lo cual nos da la seguridad no solo sobre la tubería sino de la planta en sí.

Por otro lado no resultaría adecuado que un sistema de tubería sea demasiado flexible, ya que además de resultar costoso por el exceso de material, se incrementarán las pérdidas por caídas de presión al tener más cambios de dirección y mayor longitud, lo cual puede afectar el proceso alterando el producto obtenido de la planta en cuanto a calidad, cantidad, costos eficiencias, etc.

Por lo que se refiere a códigos para diseño de tuberías, se emplea el ASME B31 (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS), en el que se especifican las condiciones mínimas de seguridad que se deben cumplir en los sistemas de tuberías, y esto incluye a los requerimientos de flexibilidad y soportaría.

Debido a que estas reglas no son de carácter general, el código ANSI B31 ha sido dividido en 8 secciones las cuales cubren los siguientes campos de aplicación:

- a) Sección 1: Tuberías de potencia ASTM B31.1 – 2012
- b) Sección 2: Tuberías de gas combustible ASME B31.2 – 1968
- c) Sección 3: Tuberías de plantas químicas y refinadoras de petróleo ASME B31.3 – 2012 (Que aquí trataremos)
- d) Sección 4: Sistemas de transportación de petróleo líquido ASME B31.4 – 2012
- e) Sección 5: Tuberías de refrigeración ASME B31.5 – 2012
- f) Sección 7: Tuberías de potencia nuclear ASME B31.7 – 1969
- g) Sección 8: Sistemas de tuberías de transmisión y distribución de gas ASME B31.8 – 2012
- h) Sección 9: Tuberías de servicio en construcciones ASME B31.9 – 2011

Este estudio intenta mostrar los perfiles de los métodos que son utilizados en un análisis de flexibilidad, tomando como modelo un sistema de conducción de crudo en un conjunto de plataformas marinas. Así mismo, se pretende que este estudio, sea de fácil acceso a los ingenieros que se inician en esta área y que en la práctica sea un documento técnico de apoyo.

Los métodos que utilizaremos son:

- a) Método del centro elástico (Grinnell)
- b) Método simplificado (Kellogg)

Los dos primeros métodos requieren de un laborioso cálculo manual, los cuales se encuentran expuestos a error y cuya exactitud y formalidad están en función de la habilidad y experiencia del analista. Sin embargo, estos métodos son útiles para ejecutar rápidos chequeos de un arreglo preliminar del sistema, obteniendo el rango de la magnitud de los esfuerzos y excitar el uso de un método formal innecesario para propuestas no definitivas.

En la actualidad, se utiliza para un análisis formal, y a diferencia de los anteriores tiene la ventaja que al usar un programa de computadora, se obtiene exactitud, dando una solución adecuada, segura y económica, no es parte del alcance de la tesis.

CAPITULO 1

CONCEPTOS BASICOS

El concepto de flexibilidad y rigidez es de vital importancia al estudiar el comportamiento de sistemas de tuberías.

Consideremos el resorte mostrado en la figura. 1.1

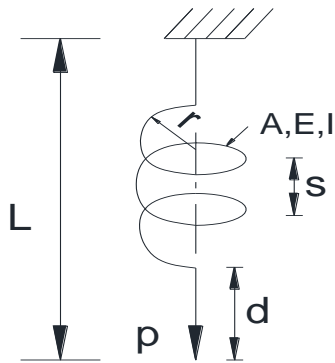


FIG. 1.1

DONDE:

L= longitud del resorte

r = radio de la hélice

A= área de la barra

I = momento de inercia de la barra

S= paso de la hélice

E= momento de elasticidad del material

P= fuerza aplicada

d= desplazamiento producido

Ø= diámetro de la barra

FLEXIBILIDAD. (F)

Se define como el desplazamiento que produce una fuerza unitaria, es decir:

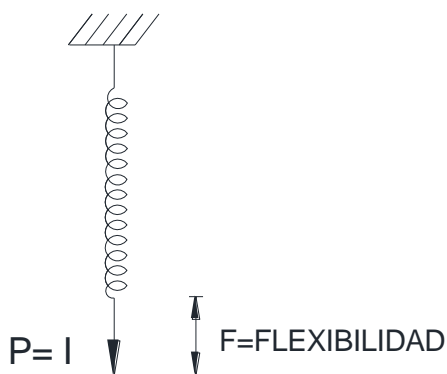


FIG. 1.2

$$d = F \cdot P \dots \dots \dots \text{EQ.1.1}$$

$$F = \frac{d}{P} ; \left[\frac{LONG}{FZA} \right]$$

RIGIDEZ (K)

Se define como la fuerza que produce un desplazamiento unitario.

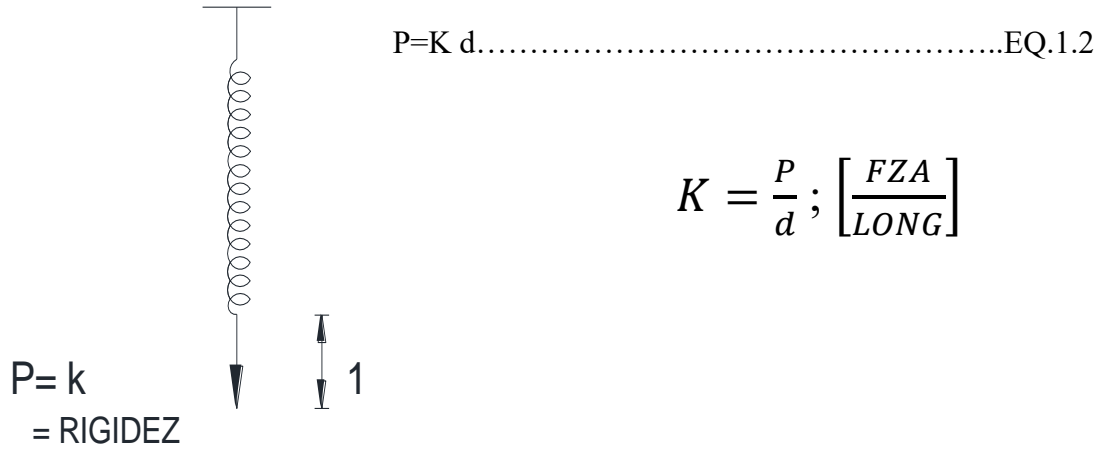


FIG. 1.3

Se observa que $FK = \frac{d}{p} \cdot \frac{p}{d} = 1. ; FK = 1; F = \frac{1}{K}; F = K^{-1}; K = \frac{1}{F};$

$K = F^{-1}; \qquad F^{-1} = K; \qquad F = K^{-1}.$

Es decir estos dos conceptos son recíprocos.

ESFUERZO (σ)

Se define como una fuerza por unidad de área de sección transversal.

$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots EQ.1.3$

Diagrama Esfuerzo – Deformación Obtenido de una Prueba a la Tensión.

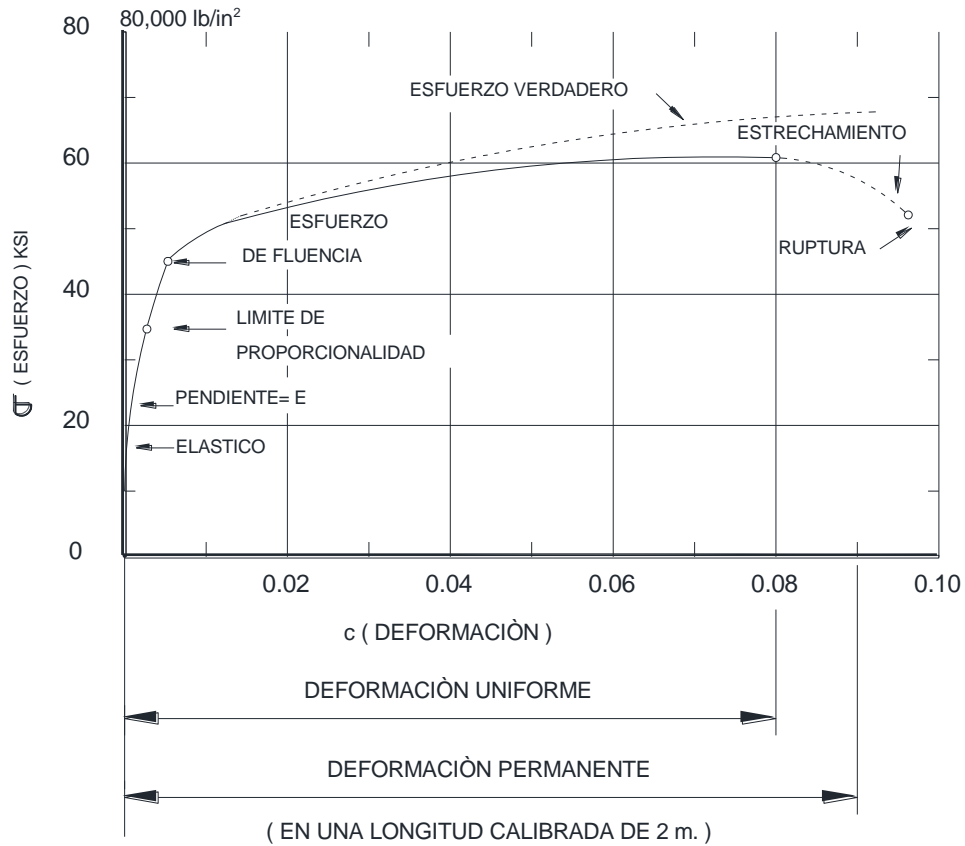


FIG. 1.4

Esfuerzo Último a la Tensión (σ_u) T., es el esfuerzo correspondiente a la carga máxima alcanzada en la prueba a tensión (igual a la carga máxima dividida entre el área original de la sección transversal). Esto se considera generalmente como una medida de la resistencia del material.

LIMITES DE PROPORCIONALIDAD (σ_p). El esfuerzo para el que la deformación deja de ser proporcional al esfuerzo (El límite de la parte recta del diagrama). Esta cantidad indica el rango de esfuerzo para que será válida la suposición de acción elástica.

ESFUERZO DE FLUENCIA (σ_p). El esfuerzo determinado para algunas deformaciones permanentes arbitrarias. El esfuerzo de fluencia, más comúnmente usado, es el determinado por la línea paralela o línea elástica que pasa por una deformación de 0.002, como se muestra en la figura. El límite de fluencia representa un límite práctico superior para el esfuerzo real desarrollado en una estructura.

ELONGACION. La deformación total normal que ocurre a la falla (es medida generalmente como la deformación total permanente después de la falla). La elongación se especifica comúnmente como un porcentaje y se considera como una medida de la ductilidad de un material.

MODULO DE ELASTICIDAD O MODULO DE YOUNG. (E). La relación de esfuerzo deformación, en el rango elástico. La cantidad E se puede considerar como la pendiente de la porción recta del diagrama esfuerzo-deformación, como se muestra en la figura.

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \dots \dots \dots \text{EQ. 1.4}$$

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez de un material, esto es, su resistencia a la deformación axial en tensión o compresión.

Relación de Poisson (ν). El valor absoluto de la relación de deformación transversal a la deformación longitudinal en tensión pura.

$$\nu = \frac{E_{\text{transv.}}}{E_{\text{Long.}}}$$

DEFORMACIÓN TÉRMICA (ET). Un incremento uniforme en la temperatura origina, generalmente, expansión en el material. El aumento en una dimensión, dividido entre la dimensión original, se llama deformación térmica. La medida del cambio por la deformación térmica se llama coeficiente de expansión lineal.

$$ET = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots \text{EQ. 1.5}$$

CONCEPTOS CARACTERÍSTICOS DEL ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD SON:

DEFORMACIONES POR DESPLAZAMIENTO.

a) Desplazamiento Térmico

Un sistema de tubería experimentará cambios dimensionales con cualquier cambio en la temperatura. Si es obligado a una expansión libre o contradicciones por terminales, guías y anclas, será desplazado desde una posición no restringida

b) Desplazamiento de la reacción.

Si las restricciones no son consideradas rígidas, cualquier movimiento predecible de las restricciones bajo cargas y reacciones impuestas por la tubería puede ser tratado como un desplazamiento compensado.

c) Desplazamientos impuestos externamente.

Los movimientos de restricciones causados externamente impondrán desplazamientos sobre la tubería además de aquellos relacionados a efectos térmicos.

d) Deformación total por desplazamiento.

Los desplazamientos térmicos, desplazamientos de las reacciones y los desplazamientos impuestos externamente, tienen efectos equivalentes sobre el sistema de tubería y serán considerados conjuntamente en la determinación de las deformaciones y totales por desplazamiento.

ESFUERZOS POR DESPLAZAMIENTO.

a) Comportamiento Elástico

Los esfuerzos pueden ser considerados proporcionales a las deformaciones totales por desplazamiento en un sistema de tubería en el cual las deformaciones están tan bien distribuidas y no excesivas en cualquier punto (Un sistema de balanceado). Los arreglos de tubería deberán preferiblemente dirigirse para tal condición, la cual es asumida en los métodos de análisis de esfuerzos.

b) Comportamiento de una deformación excesiva.

Los esfuerzos no pueden ser considerados proporcionales a las deformaciones por desplazamiento a lo largo de un sistema de tubería en el cual puede ocurrir una cantidad excesiva de deformaciones, ya sea en su totalidad o en partes del sistema (Un sistema no balanceado). La operación de un sistema no balanceado en el rango de desplazamiento puede tener un efecto perjudicial debido a la acumulación de deformaciones deslizantes en las regiones más susceptibles del sistema.

El desbalance puede ser evitado o minimizado por el diseño y arreglo de sistemas de tubería, usando particularmente materiales de baja ductilidad. Algunos de los efectos del desbalance pueden ser mitigados por el uso del “estirado en frío” (col sprint). Si el desbalance no puede ser evitado, el diseñador usará métodos analíticos apropiados para asegurar una flexibilidad adecuada del sistema.

CAPITULO 2

BASES DE DISEÑO.

2.1. CÓDIGOS

Debido a la importancia que tienen los sistemas de tuberías en plantas industriales, han sido desarrollados códigos para diferentes tuberías de servicios por asociaciones reconocidas internacionalmente. La confiabilidad de las prácticas de ingeniería incorporadas en estos códigos indican los requerimientos mínimos de seguridad para la selección de materiales, dimensiones, diseño, construcción y pruebas de sistemas de tuberías. Por medio de la interpretación y continúa revisión de estos códigos se refleja el conocimiento alcanzado a través de la investigación y experiencia de la industria entera.

Generalmente, los códigos de tuberías forman las bases para las leyes de seguridad. De acuerdo con un código se ha conseguido que esta condición (Seguridad) sea obligatoria para todos los sistemas dentro de su jurisdicción. Aunque muchas de las instalaciones de tuberías actualmente no están dentro del alcance de cualquier código obligatorio, es conveniente cumplir con los códigos aplicables dentro de los intereses de seguridad y como una base para las negociaciones de contratos.

Los códigos para tuberías a presión son, actualmente, códigos no obligatorios. Sin embargo, los requerimientos mínimos de seguridad de estos han sido aceptados por la industria como un estándar para todas las tuberías.

En esta tesis se han recopilado los criterios, condiciones y requerimientos mínimos que deben ser considerados en el análisis de flexibilidad.

Para el análisis que se desarrolla, se emplea el código ASME B31.3, para sistemas de tuberías de Planta Químicas y Refinadoras de Petróleo, en el que se establecen la mayor parte de los criterios, conducciones, condiciones y requerimientos de flexibilidad, así como también, las condiciones y criterios para el diseño de tuberías, los valores de esfuerzos permisibles para diferentes materiales a varias temperaturas y el rango del esfuerzo permisible.

Todos los requerimientos para diseño, fabricación, ensamble, pruebas de presión, esfuerzo, cálculos de esfuerzo en caliente, espesores, deberán apegarse a las especificaciones y estándares enlistados en el código – ASME B31.3.

CONDICIONES DE DISEÑO

1) Presión de diseño.- La presión de diseño de un sistema de tuberías no será menor que la presión a la condición más crítica de la presión externa o interna y temperatura coincidentes esperadas durante el servicio. La condición más crítica es aquella que resulta en el mayor espesor requerido de la componente (tubería).

2) Temperatura de diseño.- La temperatura considerada para el diseño es aquella que se presenta como más crítica, la cual será determinada como sigue:

Tuberías metálicas sin aislamiento:

1) Si la temperatura es menor de 37.7 °C (100 °F) entonces la temperatura del metal es igual a la temperatura del fluido.

2) Para temperaturas del fluido mayores o iguales a 37.7 °C (100 °F), la temperatura del metal no deberá ser menor que el 95% del fluido, a no ser que un alto promedio de la pared sea determinado por pruebas o cálculos de transferencia de calor.

Tubería aislada externamente:

1) Deberá usarse la del fluido salvo que se use temperatura basada en mediciones, pruebas, etc.

Cálculo del espesor (t_m) de pared de tubería por presión.

El espesor requerido de secciones rectas de tubería es determinado de acuerdo con la ecuación;

$$t_m = t + c \dots \dots \dots \text{EQ. 2.1}$$

El espesor mínimo para el tubo seleccionado, considerando las tolerancias mínimas de fabricación, no será menor de t_m .

El espesor de diseño (t) para tubería bajo presión interna no será menor que el calculado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)} \dots \dots \dots \text{EQ. 2.2}$$

Cuando t es menor que $D/6$

Dónde:

- a) t_m = espesor mínimo requerido, pulgada (mm), incluyendo tolerancias mecánicas, corrosión y erosión.
- b) t = Espesor de diseño por presión, pulgada (mm).
- c) c = Suma de tolerancias mecánicas más tolerancias por corrosión, erosión, pulg. (mm).
- d) d = Diámetro interior de diseño. Es el mayor diámetro interior que puede tener con el cual puede mantenerse en servicio la tubería. Esto es, no considera las tolerancias por corrosión, erosión y mecánicas.
- e) p = Presión interna de diseño, PSI.
- f) D = Diámetro exterior de la tubería, pulg. (mm).
- g) SE = Esfuerzo máximo permisible del material a la temperatura de operación, PSI, y la eficiencia de la junta (E).
- h) Y = Coeficiente de estabilidad estructural.

PROPIEDADES REQUERIDAS DE LA TUBERÍA PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZOS.

Expansión Térmica:

Los valores de desplazamiento térmico empleados para la determinación de la tensión de deformación se encuentran tabuladas para varios materiales a diferentes temperaturas en tablas del código ASME B 31.3. El coeficiente de expansión térmica del material de la tubería será determinado en base a la temperatura máxima de operación del fluido que circula por ella.

Dimensiones:

En el análisis de flexibilidad es indispensable conocer el diámetro exterior de la tubería y los accesorios, así como también el espesor para determinar el momento de inercia y el módulo de sección.

Peso:

Se debe conocer el peso de la tubería por unidad de longitud, peso de fluido que transporta, peso durante la prueba hidrostática, así como también el peso de conexiones y válvulas.

CÁLCULO DE ESFUERZOS

Esfuerzo permisible:

El esfuerzo permisible es una función de las propiedades del material y factores de seguridad asociados para un diseño específico, fabricación y requerimientos de inspección. Para llegar a establecer el esfuerzo permisible de diseño es necesario hacer una apreciación adecuada de los requerimientos a los cuales el sistema de tuberías estará expuesto.

Los efectos estáticos de carga individuales es uno de los puntos dentro del diseño de sistemas de tuberías. Cuando los esfuerzos por presión y temperatura son aplicados en forma repetitiva, pueden dar lugar a fractura por fatiga. La falla puede ser también acelerada por cambios súbitos de presión o temperaturas

Para fines de diseño las cargas que tienen lugar en un sistema de tuberías son clasificadas en:

- 1) Aquellas que resultan de la aplicación de fuerzas externas la cuales, si se exceden, pueden ocasionar fallas del material independientemente de la deflexión.
- 2) Aquellas presentadas por una deflexión interna y externa. Son producidas por cambios de temperatura

Además debido a su duración, frecuencia, naturaleza y probabilidad de que ocurran las cargas son clasificadas individualmente de la manera siguiente:

- 1) Las que presentan únicamente durante condiciones de operación.
- 2) Las que se mantienen durante toda la vida del servicio.
- 3) Ocasionales de corta duración, así como las de baja duración acumulada (incluyendo arranque y paro).
- 4) Las que tienen lugar durante emergencias o condiciones anormales de operación de corta duración.

El código ASME B 31.3, contiene en su apéndice A el esfuerzo permisible (SE) para diversos materiales a diferentes temperaturas. El criterio seguido para estos valores ha considerado que los sistemas de tuberías estarán sometidos únicamente a esfuerzos debidos a cargas estáticas que se mantienen durante la vida d servicio de la línea y bajo condiciones normales de operación.

Los esfuerzos de flexión y torsional serán calculados usando el módulo de elasticidad (E) Instalado y después combinado con la siguiente ecuación para terminar el rango del esfuerzo por el desplazamiento calculado (SE), el cual no excederá el rango del esfuerzo permisible (SA).

$$SE = \sqrt{Sb^2 + 4 St^2} \dots\dots\dots EQ. 2.3.$$

Dónde: Sb = Esfuerzo de flexión resultante, PSI.

$$St = \frac{Mt}{2z} = \text{Esfuerzo Torsional, PSI}$$

Mt = Momento torsional, 16 – in

Z = Módulo de sección del tubo, in³

El código establece:

- 1) Esfuerzos longitudinales (Sl): La suma de esfuerzos longitudinales debido a presión, peso propio y otras cargas sostenidas, no excederá el valor del esfuerzo permisible para el material a la máxima temperatura esperada durante la operación.
- 2) Rango de esfuerzos permisible para efectos de temperatura (SA). El rango del esfuerzo Para las temperaturas máxima y mínima que puedan presentar en cualquier punto de la tubería durante un ciclo cualquiera de operación, está definido en el código por la ecuación

$$SA = f(1.25 S_c + 0.25 S_h) \dots \dots \dots EQ. 2.4.$$

Dónde:

Sh = Esfuerzo permisible a la máxima temperatura del metal, PSI.

Sc = Esfuerzo permisible a la mínima temperatura del metal, PSI.

F = Factor de reducción del rango de esfuerzo el cual es función del número total de ciclos de temperatura esperados durante la vida de operación del sistema.

FACTOR DE REDUCCIÓN DEL RANGO DE ESFUERZOS

Ciclos (N)	f
Menores y hasta 7,000	1.0
7,000 a 14,000	0.9
14,000 a 22,000	0.8
22,000 a 45,000	0.7
45,000 a 100,000	0.6
Más de 100,000	0.5

Los valores de Sn y Sc se toman directamente de las tablas del Apéndice A del ANSI B 31.3 -1976, los cuales están basados en una consideración conjunta de:

- 1) La resistencia última a la tensión del material.
- 2) El esfuerzo de fluencia del material.
- 3) El esfuerzo de ruptura para un número dado de horas.
- 4) El esfuerzo correspondiente a un a razón de flujo dada.

Las dos primeras condiciones controlan los efectos para temperaturas moderadas y bajas y las dos últimas para temperaturas elevadas.

Requerimientos para análisis.

Un análisis no formal en un sistema con una flexibilidad adecuada en el que:

- 1) Son aplicados de instalaciones que operan adecuadamente o son reemplazos sin cambios significativos del sistema con un record satisfactorio de servicio.
- 2) Pueden ser adecuadamente juzgados fácilmente por comparación con sistemas previamente analizados.
- 3) Son de tamaño uniforme, no tienen más de dos puntos de fijación, no restricciones intermedias y cae dentro de las limitaciones de la siguiente ecuación empírica:

$$\frac{D Y}{(L - U)^2} \leq K,$$

Dónde:

D = Diámetro exterior de la tubería, in.

Y = Resultante de las deformaciones por desplazamiento, (mm), absorbidas por el sistema de tuberías.

L = Longitud desarrollada de la tubería entre anclas, (m).

V = Distancia entre anclas, línea recta entre anclas, (m).

K = 0.03 para sistema inglés (mm)

= 208.3 para sistema internacional (in)

Todos los sistemas que no cumplan los criterios antes mencionados deben ser analizados por métodos analíticos apropiados para caso específico.

2.2 MATERIALES

La sección de materiales de tubería para cualquier aplicación dada, debe seguir las recomendaciones de códigos aplicables, estándares dimensionales y especificaciones de materiales establecidas. Sin embargo, el ingeniero de diseño debe tomar en consideración los requerimientos de servicio y considerar los efectos de condiciones tales como corrosión, erosión, fatiga térmica o mecánica, termo fluencia, tenacidad e inestabilidad metalúrgica a temperaturas elevadas.

Para asegurar que la componente de tubería de un servicio satisfactorio, normalmente es necesario seleccionar el material apropiado y especificar ciertas propiedades físicas o químicas, usualmente de acuerdo con especificaciones de materiales aplicables, tales como las proporcionadas por el ASTM, el API o algunos otros códigos.

La aceptación de un material de tubería para un servicio dado, depende de si las condiciones de operación exceden las temperaturas y presiones de trabajo seguras para ese material. Aunque hay excepciones generalmente se considera de práctica aceptable suponer que las propiedades físicas y mecánicas del material a la temperatura de trabajo normalmente tienen una relación definida con las mismas propiedades a temperatura ambiente. De este modo con pocas excepciones, las propiedades físicas y mecánicas a temperatura ambiente son usadas como una base en el diseño y en la prueba de aceptación.

La composición química y el tratamiento térmico final que se hace sobre los materiales de tubería frecuentemente involucran consideraciones como aquellas que puedan afectar significativamente las propiedades físicas y la resistencia del material.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales que son de interés varían con las aplicaciones pero como estas pueden ser muy diferentes, se han investigado un gran número de propiedades, las cuales en una forma genérica, suelen dividirse en las siguientes categorías:

- 1) Propiedades Mecánicas
- 2) Propiedades Físicas
- 3) Propiedades Metalúrgicas

Propiedades Mecánicas

Dentro de esta categoría están listadas las características de los materiales que describen su comportamiento bajo diferentes tipos de cargas externas. Se incluyen dentro de esta categoría; resistencia a la tensión, resistencia a la fluencia, elongación, dureza, límite de endurecimiento, resistencia a la fluencia en compresión, resistencia al corte, resistencia al aplastamiento, resistencia a la termo fluencia, resistencia a la fatiga, etc.

Propiedades Físicas

Las características que son usadas para describir un material bajo condiciones que excluyen cualquier fuerza externa son llamadas propiedades físicas. En otras palabras, son aquellas propiedades que se encuentran dentro del mismo material, estas incluyen; densidad, temperatura de fusión, coeficiente de expansión térmica, conductividad eléctrica y térmica, resistividad o eléctrica, etc.

Propiedades Metalúrgicas.

Un entendimiento de las propiedades metalúrgicas de los materiales de tuberías es tan importante como el conocimiento de sus propiedades físicas y Mecánicas. Las consideraciones metalúrgicas cubren en rango muy amplio, desde la extracción de los metales, el vaciado, el forjado o estirado de los materiales de las tuberías, sus características de trabajo, formado y soldado, en respuesta a tratamientos térmicos y los efectos y los efectos de las atmosferas de servicio. Incluso después de que la componente de tubería ha sido instalada y puesta en servicio, consideraciones metalúrgicas pueden entrar e involucrar limpieza química, termo fluencia en altas temperaturas, etc. Cuando una falla ocurre las técnicas metalúrgicas se encuentran entre las principales herramientas empleadas para evaluar las causas y para proponer las soluciones correspondientes.

De este modo un conocimiento de metalúrgica es necesario para la utilización de los procedimientos adecuados de fabricación, soldado, tratamiento térmico y limpieza, sobre todo considerando que esta clasificación no es excluyente de otras propiedades requeridas en algún caso particular específico.

CARACTERISTICAS METALURGICAS DE MATERIALES DE TUBERÍAS

El gran número de aleaciones de metales ferrosos y no ferrosos disponibles en forma de tubería, excluyen cualquier discusión detallada de las características metalúrgicas y propiedades físicas y mecánicas de los materiales. Para obtener las propiedades físicas y mecánicas deseadas, a menudo es importante tener un control sobre la estructura metalúrgica. Tal control puede ser llevado a cabo por operaciones tales como tratamiento térmico, trabajo en caliente, reducción o expansión en frío, etc.

Es importante considerar que con frecuencia suelen existir diferencias significativas en las propiedades físicas, mecánicas y metalúrgicas aún en materiales producidos bajo la misma especificación.

Esto en ocasiones es crítico y puede afectar adversamente las características de fabricación o el comportamiento en servicio.

ACERO AL CARBONO

Incluso los aceros al carbono para tubería, pueden exhibir diferencias significativas. Por ejemplo, la tubería ASTM de especificación A-53, no está sujeta a límites específicos de contenido de carbono y no requiere de oxidación durante la operación de fundido. Variaciones considerables en el contenido del carbono (entre 0.05 y 0.23 %) pueden producir diferencias significativas en las microestructuras y en la respuesta a tratamiento térmico.

La tubería de acero al carbono ASTM de especificación A-106, está designada para las aplicaciones más críticas. Requerimientos de desoxidación y un control estrecho sobre el contenido de carbón produce una estructura casi idéntica en diferentes hornos comerciales

Cuando los materiales de tubería son trabajados en frío, su resistencia y dureza son incrementadas, mientras que su ductilidad es disminuida. La expansión en frío de los materiales de tubería se hace intencionalmente para obtener valores de resistencia más altos. Sin embargo, en algunas atmosferas de servicio, los materiales trabajados en frío pueden ser indeseables. Los efectos de trabajo en frío pueden eliminarse por tratamiento térmico. Hasta una temperatura de 800 °F, la dureza empieza a disminuir, iniciando una etapa conocida como recuperación. A temperatura de 1000 °F la dureza decrece rápidamente. A 1100 °F, se forman pequeños granos equiaxiales en la microestructura. En esta etapa la recuperación se considera completa y empieza la recristalización. A 1150 °F la evidencia del trabajo en frío desaparece completamente. El micro estructura se considera entonces totalmente recristalizada.

ACEROS DE ALEACIÓN

Conforme el contenido de aleación se incrementa, los efectos de las operaciones de calentamiento y tratamiento térmico juegan un efecto creciente sobre la microestructura y las propiedades mecánicas.

Cuando los aceros son expuestos a temperaturas mayores de 800 °F, pueden tener lugar algunos cambios en la microestructura. A temperaturas más altas, la velocidad de los cambios de la estructura es más rápida.

Los aceros al carbono cuando son expuestos a largos periodos a temperatura arriba de 800 °F y los aceros al carbono con molibdeno cuando se exponen a temperaturas arriba de 850 °F han presentado una condición de inestabilidad de carburos conocida como grafitación.

La grafitación implica el fraccionamiento del carburo de hierro, en hierro y carbon y la combinación del carbón como grafito. En aceros la formación de grafito se presenta en forma más pronunciada en las zonas afectadas por el calor, paralelas a la soldadura, lo que como consecuencia da lugar a un debilitamiento.

RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN Y A LA CORROSIÓN

La resistencia a la oxidación y a la corrosión es un factor muy importante en la selección de una aleación para servicio de alta temperatura. Aun cuando las propiedades de resistencia determinan la carga o el esfuerzo que una aleación es capaz de soportar, la resistencia a la oxidación y a la corrosión determina el periodo de tiempo que la estructura funcionará apropiadamente.

La oxidación y la corrosión durante un servicio de alta temperatura ocurre de diferentes formas, como; a) un ataque superficial, b) un ataque por picadura localizada o, c) como un ataque intergranular en las fronteras de grano.

La aleación para tubería seleccionada debe cuando menos, resistir oxidación hasta temperaturas máxima de diseño. Debe ser resistente a los gases de combustión en un horno, al vapor disociado cuando esté presente y al ataque de depósitos de ceniza que pudieran acumularse en los tubos.

ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Ninguna aleación está libre de algún tipo de alteraciones estructurales a temperaturas elevadas. No obstante, una aleación conveniente para servicio de alta temperatura debe ser razonablemente estable desde el punto de vista estructural. Deben retener su ductilidad y su resistencia al choque a la temperatura de servicio. La precipitación, grafitación, fragilización de revenido y las transformaciones de fase, son todas medidas de la estabilidad estructural y deben ser consideradas en la selección de cualquier material para altas temperaturas.

COMPOSICIÓN

La composición es la variable más obvia e importante que afecta la resistencia en altas temperaturas de los materiales de tubería. Un mejoramiento en las propiedades de ruptura por esfuerzos y termo fluencia debido a la adición de aleaciones, generalmente pueden relacionarse con la cantidad y tamaño de las partículas que son distribuidas dentro de la estructura de metal o con un efecto de endurecimiento general de la estructura sin la formación de tales partículas.

La mera adición de elementos de aleación no asegura mejorar las propiedades de ruptura por esfuerzos y termofluencia. Algunos elementos pueden reducir esas propiedades. Otros elementos que en ciertas cantidades pueden actuar en una forma altamente benéfica, en otras cantidades pueden ser perjudiciales.

TRATAMIENTO TÉRMICO

Los tratamientos térmicos son importantes principalmente debido a sus efectos sobre la estructura del metal. Por ejemplo, las temperaturas de tratamiento y las técnicas que producen un tamaño de grano más grande generalmente mejoran las propiedades de ruptura por esfuerzos y termo fluencia de aceros de alta temperatura. Las velocidades de enfriamiento (templado) a partir de las temperaturas de tratamiento son de importancia similar.

Otros factores tales como la distribución de reconstituyentes estructurales, como carburos, también son importantes conforme son afectados por temperaturas de tratamiento térmico y las velocidades de enfriamiento. De este modo un acero normalizado y revenido es a menudo superior al mismo acero en la condición de recocido total.

Cuando los aceros tratados térmicamente son empleados a temperaturas elevadas, se acostumbra usar una temperatura de revenido de cuando menos 150 °F arriba de la temperatura de servicio esperada. Algunos hornos de tratamiento térmico comerciales no proporcionan un control de temperatura uniforme, lo cual puede resultar en estructuras metalúrgicas de diferencia considerable de dos secciones de tubería del mismo lingote de acero original, aunque fueron normalizados y revenidos en el mismo rango de temperaturas.

Las diferencias en la microestructura son considerables y traerá como consecuencia una resistencia diferente al termo fluencia. Sin embargo, a pesar de tales diferencias, las fallas en materiales de tubería se podrían considerar raras, debido principalmente a los factores de seguridad relativamente conservadores aplicados en el diseño.

MATERIALES PARA TUBERÍA

MATERIAL Y NOMBRE COMÚN	DESIGNACIÓN A.S.T.M.	APLICACIONES GENERALES
ACERO AL CARBON		
SOLDADA A TOPE	A - 53	TUBERÍA PARA AGUA Y VAPOR, ENCONTRADAS EN PLANTAS DE VAPOR TAL COMO EN LINEAS PRINCIPALES DE VAPOR, LINEAS DE PURGA, LINEAS DE ALIMENTACIÓN Y PURGAS DE FONDO 800 °F, GAS NO CORROSIVO Y LINEAS DE AIRE EN TUBERÍAS DE PROCESO.
SOLDADA A SOLAPA	A - 53	
SOLDADA POR RESISTENCIA ELECTRICA	A - 135	
SOLDADA POR FUSIÓN ELECTRICA	A - 134 A - 139 A - 155	
SIN COSTURA	A - 53 A - 106	
SOLDADA EN ESPIRAL	A - 211	
HIERRO FORJADO		
SOLDADA A TOPE	A - 72	PARA LINEAS DE CONDENSADOS, SERVICIOS DE AGUA SALADA, SISTEMAS DE AGUAS NEGRAS Y DE SERVICIO Y LINEAS DE AGUA DE SERVICIO.
SOLDADA A SOLAPA	A - 72	
ACERO BAJA ALEACIÓN		
CARBÓN - Mo	A - 335 P1	PARA SERVICIOS DONDE LAS TEMPERATURAS SON MAYORES DE 800 °F COMO LAS LINEAS PRINCIPALES DE VAPOR Y DE RECALENTAMIENTO CON PRESIONES Y TEMPERATURAS ALTAS. EN PARTICULAR LA SELECCIÓN DEPENDE DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN Y LAS CONSIDERACIONES DE CORROSIÓN
1/2% Cr - 1/2% Mo	A - 335 P2	
1% Cr - 1/2% Mo	A - 335 P12	
1 1/2% Cr - 1/2% Mo	A - 335 P11 - A369FP11	
2 1/2% Cr - 1% Mo	A - 335 P22 - A369FP22	
ALEACIONES INTERMEDIAS		
4-G% Cr - 1/2% Ma.	A-335 P5	PARA PROCESOS EN REFINERIAS DE PETRÓLEO, PRECALENTADORES DE AIRE, DONDE EXISTEN CONDICIONES ALTAMENTE CORROSIVAS U OXIDACIONES, UNIDADES CATALITICAS DE CORROSIÓN.
4-G% Cr w / SILICON	A-335 P5b	
4-G% Cr w / TITANIO	A-335 P5c	
4-G% Cr w / CALUMBIO	A-335 P5c	
7% Cr - 1/2% Mo	A-335 P7	
9% Cr - 1% Mo	A-335 P9	
31/2% Ni SIN COSTURA Y SOLDADA P/RESIST.	A.S.T.M. -333 Gr3	TUBERÍA DE PROCESO A BAJA TEMPERATURA DONDE SE REQUIERE RESISTENCIA CONTRA VALORES DE GRANDES IMPACTOS
5% Ni SIN COSTURA Y SOLDADA P/RESIST.	A.S.T.M. -333 Gr5	
6% Ni SIN COSTURA Y SOLDADA P/RESIST.	A.S.T.M. -333 Gr6	
ACERO INOXIDABLE		
18% Cr - 8% Ni	A- 312 TP304 & 304L A - 358 TP 304	TUBERIAS DE VAPOR DE ALTA PRESIÓN PARA TRABAJO DE UNA ESTACIÓN CENTRAL, SOBRECCALENTADORES RADIANTES, TUBOS DE ESCAPE DE MAQUINAS DE COMBUSTIÓN INTERNA, SERVICIOS RESISTENTES A LA CORROSIÓN
18% Cr - 12% Ni	A-312 TP 316 & 316L A-358 TP 316	
18% Cr - 12% Ni	A-312 TP 317	
18% Cr - 10% Ni	A-312 TP 321	
18% Cr - 10% Ni	A-312 TP 347 A-358 TP 347	

* LAS APLICACIONES GENERALES ESTAN SUJETAS A LAS DIFERENTES LIMITACIONES DEL CÓDIGO Y CONDICIONES ESPECIFICAS DE SERVICIO

CAPITULO 3

ANÁLISIS TÉCNICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Todo sistema de tuberías debe tener suficiente flexibilidad para poder resistir expansiones o contracciones térmicas y movimientos de soportes de tubería y terminales, la cual, podría provocar fallas en la tubería o soportes, fisuras, sobre-esfuerzos o deslizamientos de equipo como bombas, compresores, turbinas, etc. Además debe resistir fuerzas tales como peso muerto, fuerza del fluido en cambio de dirección, resistencia a la fricción por movimiento, vibraciones, viento y sismo.

Para lograra estas condiciones es necesario contar con la información necesaria para determinar las fuerzas, momentos y esfuerzos que tienen lugar en el sistema de tuberías, en los anclajes, soportes terminales y en un caso dado, inclusive la base de los anclajes.

El análisis al que puede ser sometido un sistema de tuberías, puede ir desde un análisis por peso muerto hasta el análisis por computadora en el que se consideren simultáneamente efectos térmicos y cargas tanto de peso muerto como dinámicas.

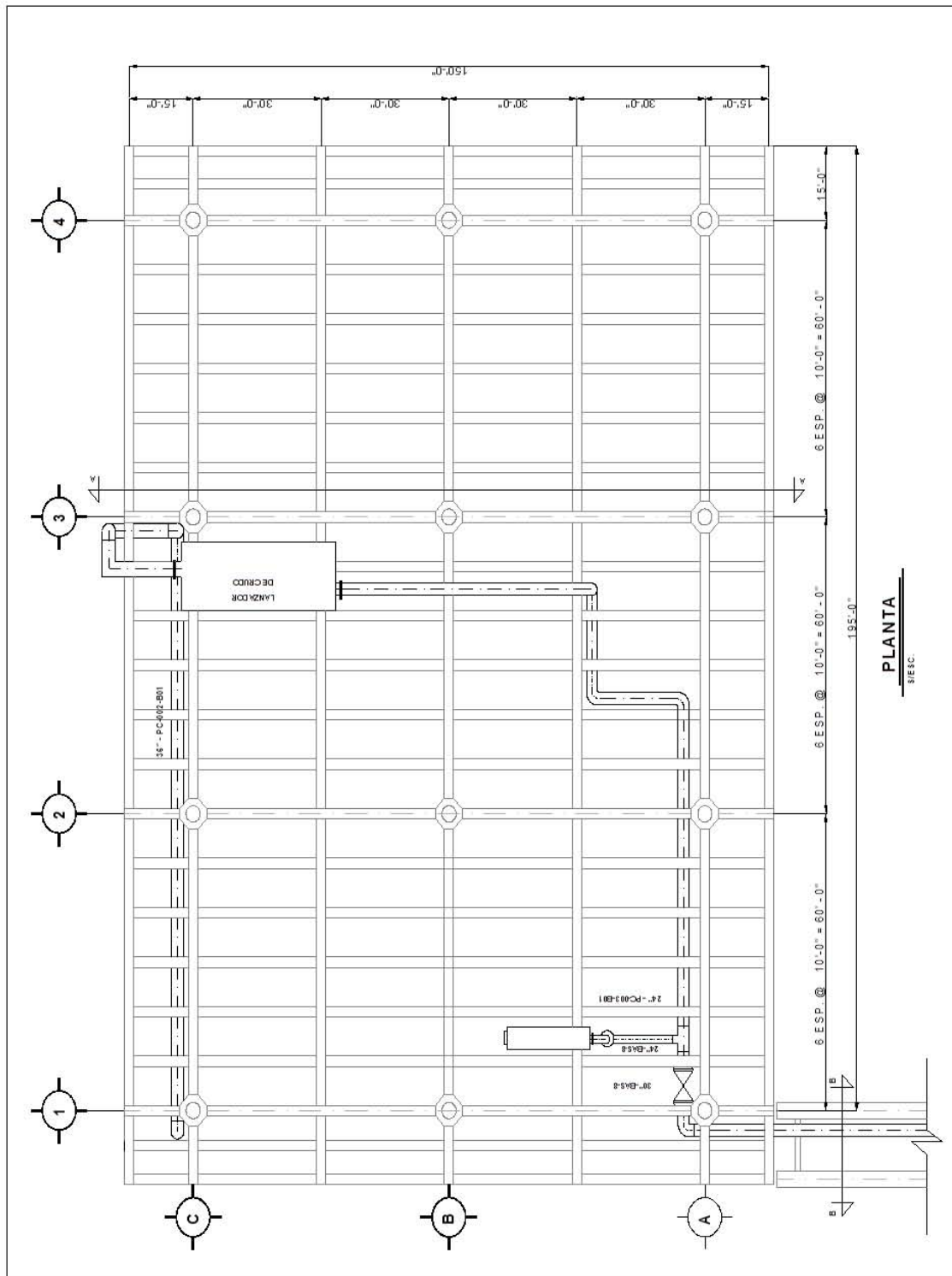
Aunque existen diferentes métodos sobre análisis de esfuerzos en tuberías, esta tesis se limita a presentar los métodos ya mencionados y una explicación de modo que se puedan comprender y aplicar para solucionar problemas de esfuerzos.

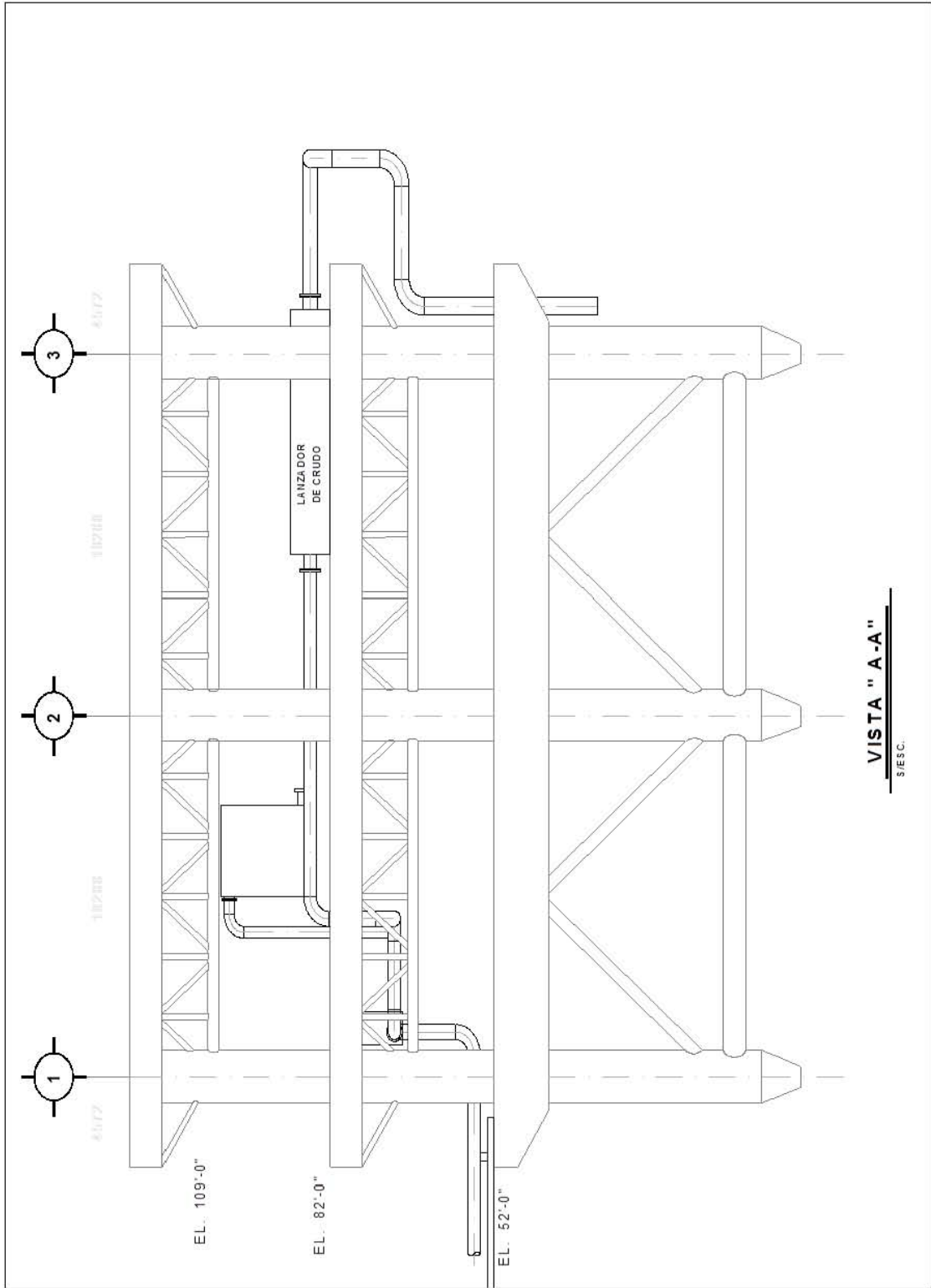
CONDICIONES FUNDAMENTALES QUE DEBEN CONSIDERARSE AL ANALIZAR EL PROBLEMA.

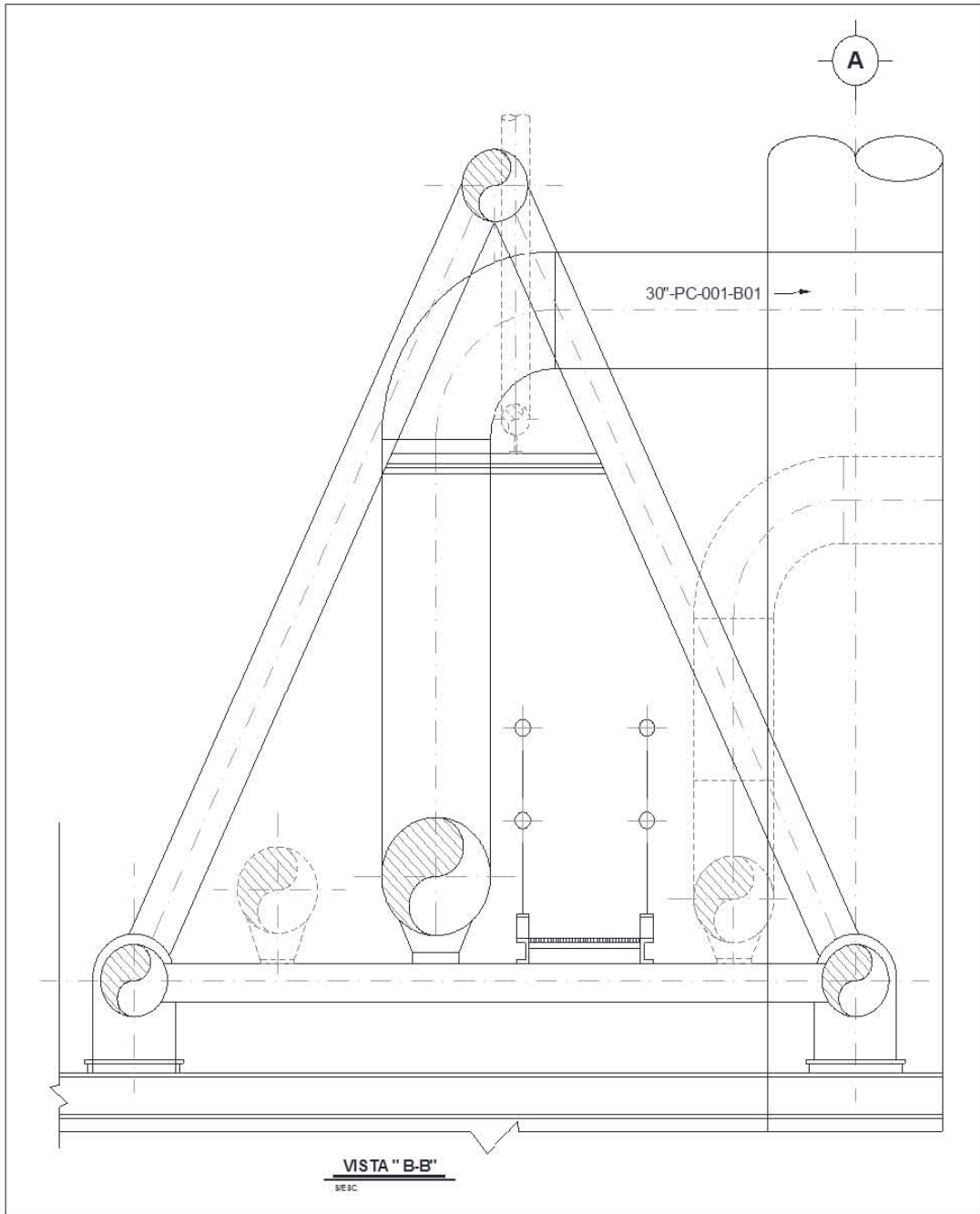
- a) Debido a que el diámetro de la tubería está determinado por las condiciones de flujo, el espesor de la pared por la presión, corrosión, temperatura y tipo de material, en donde el material a su vez se selecciona de acuerdo a las condiciones de temperatura y corrosión del fluido que circula. Entonces no será posible, en forma económica, modificar el diámetro o espesor de la tubería para mejorar la flexibilidad del sistema.
- b) El sobre-esfuerzo no se mejora aumentando el espesor de la tubería, sino que por el contrario, ello implica que el sistema se rigidice haciendo más crítico el problema.
- c) Existen componentes de tuberías, tales como codos y cambios de dirección que presentan un comportamiento en flexión diferente al de los tramos rectos de tubería, lo cual se refleja en un incremento de la flexibilidad.
- d) Los efectos térmicos que usualmente se consideran como efectos secundarios, son en general los de mayor importancia, pues son los que en la mayoría de los casos gobiernan su diseño.

- e) Deben definirse las condiciones de temperatura y presión a que trabajará el sistema durante su operación normal, así como durante condiciones especiales tales como; arranque, paro, etc., ya que por lo general estas condiciones son muy severas y deben estudiarse.
- f) Deben conocerse o definirse aunque sea en forma cualitativa, la magnitud de las fuerzas y/o esfuerzos permisibles de los equipos interconectados, así como la contribución de flexibilidad que estos puedan proporcionar al sistema, ya que la práctica usual es considerar que las boquillas son infinitamente rígidas.
- g) Deben especificarse las restricciones que las estructuras de apoyo o soportes de la tubería pueden ocasionar al presentarse desplazamientos diferenciales en la tubería, debido a etapas de arranque y/o paro, hundimientos del terreno, desplazamientos de equipo y tuberías de interconexión.
- h) Es preciso definir la importancia de las diferentes formas de restricciones intermedias tales como: guías, apoyos direccionales, anclas, etc., ya que suelen afectar considerablemente el comportamiento de la tubería.
- i) Deben estudiarse las características del comportamiento del material de la tubería ya que pueden verse afectadas por las condiciones de temperatura y tipo de fluido que se maneja.
- j) Es importante que se definan las limitaciones en cuanto a pérdidas por caídas de presión, ya que ésta viene a ser una restricción para dar flexibilidad modificando el trazo del sistema de tubería.
- k) Debe tenerse presente que un buen diseño de soportes y restricciones intermedias, además de los efectos de peso propio, deben reducir fuerzas, momentos, esfuerzos en la tubería, así como proteger el equipo interconectado.
- l)
- m) En el diseño y análisis de apoyos y soportes de tubería, deben especificarse las características de temperatura, presión y fluido con que se pruebe la tubería.
- n) En sistemas que trabajan a altas presiones, debe tenerse presente que espesores mayores y más reforzados en las conexiones ramales, ocasionan fuerzas mayores tanto en la conexión como en el equipo interconectado y que por lo tanto pueden requerir mayor flexibilidad.

- o) Para absorber los efectos de la vibración ocasionada por el equipo interconectado o por condiciones naturales como viento y sismo; la tubería deberá guiarse y apoyarse adecuadamente y estas restricciones deben ser consideradas en el análisis de flexibilidad.







Cálculo del espesor de pared de la tubería.

1) Línea 30"- PC – 001 – B01

Código	ANSI B 31.3
Presión de Diseño	275 PSI
Temperatura de Diseño	212 °F
Material	SA – 333 GR 6
Diámetro Nominal	30 in.

$$t_m = t + c$$

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)}$$

Dónde: P = Presión de diseño = 275 PSI
D = Diámetro Nominal = 30 in
SE = Esfuerzo permisible del material a la
Temperatura de 212 °F = 17,000 PSI (De Código Apéndice A)
Y eficiencia de la junta (E).
Y = Coeficiente de estabilidad estructural = 0.4 @ 212 °F (Código)
C = Tolerancia por corrosión y erosión = 0.125 in.

Sustituyendo Valores:

$$t = \frac{275 \times 30}{2(17000 + 275 \times 0.4)} = 0.241 \text{ in}$$

$$t_m = 0.241 + 0.125 = 0.366 \text{ in}$$

El cuál es el espesor de pared teórico (mínimo) sin tolerancia por fabricación del 12% para SA – 333 - Gr 6 (Código ASTM Sección II PG 368).

Entonces el espeso real será:

$$t_r = \frac{t_m}{100\% - 12\%} = \frac{0.366}{1.00 - 0.125} = 0.418 \text{ in}$$

Y el espesor comercial inmediato superior es de 0.5 in

$$t_r = 0.50 \text{ in}$$

1) Línea 36" PC – 002 – B01

$$t = \frac{275 \times 36}{2 (17000 + 275 \times 0.4)} = 0.289$$

$$t_m = 0.289 \text{ in} + 0.125 \text{ in} = 0.414 \text{ in}$$

$$t_r = \frac{0.414}{0.875} = 0.473 \text{ in}$$

Entonces: $t_r = 0.50 \text{ in}$

2) Línea 24 " – PC – 003 – B01

$$t = \frac{275 \times 24}{2 (17000 + 275 \times 0.4)} = 0.193 \text{ in}$$

$$t_m = 0.193 \text{ in} + 0.125 \text{ in} = 0.318$$

$$t_r = \frac{0.318}{0.875} = 0.363$$

Entonces: $t_r = 0.5 \text{ in}$

Cálculo de las reacciones en los soportes por peso muerto.

Fluido	Petróleo Crudo
Gravedad específica	$G = 0.852$
Densidad	$\rho = 53.2 \text{ lb/ft}^3$
Material	SA = 333 Gr 6
Diámetro (Espesor)	$D = 24 \text{ in} (t = 0.375 \text{ in})$ $D = 30 \text{ in} (t = 0.5 \text{ in})$ $D = 36 \text{ in} (t = 0.5 \text{ in})$

Formulas:

Peso unitario W_o : $W = G \times 0.3405 (D - 2t)^2 \text{ lb/ft. (Grinnell Pag. 165)}$

Momento de Inercia I ; $I = \pi / 64 (D^4 - d^4) \text{ in}^4$

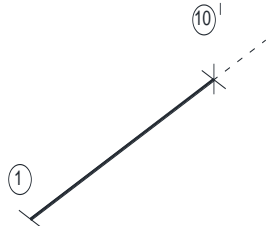
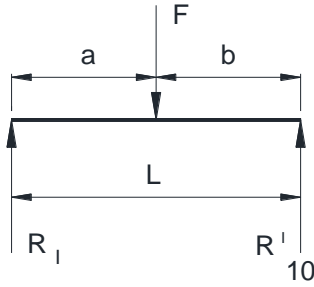
Módulo de Sección Z ; $Z = \pi / 32. D^4 - d^4/D \text{ in}^3$

Número de Línea	Peso Unitario Wu (lb/in)	Momento de inercia I (in ⁴)	Módulo de Sección Z (in ³)	Módulo de Elasticidad E (PSI)
30"-PC-001-B01	20.3	5042.2	336.0	27.66 x 10 ⁶
36"-PC-002-B01	29.5	8786.2	488.1	27.66 X 10 ⁶
24"-PC-003-B01	13.0	1942.3	161.8	27.66 X 10 ⁶

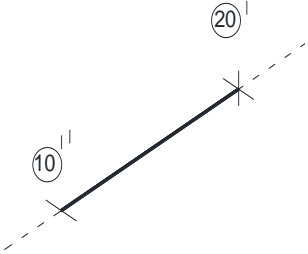
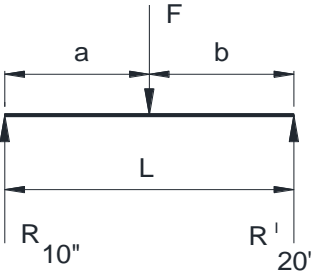
El esfuerzo flexionante permisible (Sa) se considera igual al esfuerzo permisible del material en frío (Sc), cuyo valor en el código ANSI B 31.3, apéndice A Pag. 102 para acero al carbono SA – 333 Gr 6 es:

$$S_a = S_c = 17,000 \text{ PSI}$$

SECCION 1 - 10

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=20.3 Lb./in</p> <p>SA= 17000 Lb./in²</p> <p>I = 5042.2 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ Lb./in²</p> <p>Z= 336 in³</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L= 636 in</p> <p>a= 318 in</p> <p>b= 318 in</p>
<p>$F_T = WL = 12910.8 \text{ Lb}$</p>	<p>$M_T = \frac{FL}{4} = 2052817.2 \text{ Lb-in}$</p>	<p>$f_T = \frac{FL^3}{48EI} = 0.497 \text{ in}$</p>	
<p>$S_B = \frac{M_T}{z} = 6109.5 \text{ Lb/in}^2$</p>	<p>$R_I = 6455.4 \text{ Lb}$</p> <p>$R_{10} = 6455.4 \text{ Lb}$</p>	<p>$6109.5 < 17000$</p> <p>$S_B < S_A$</p>	

SECCION 10 - 20

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=20.3 Lb./in</p> <p>SA= 17000 Lb./in²</p> <p>I = 5042.2 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ Lb./in²</p> <p>Z= 336 in³</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L= 700 in</p> <p>a= 350 in</p> <p>b= 350 in</p>
<p>F= WL= 14210 Lb</p>	<p>$M_T = \frac{FL}{4} = 2486750 \text{ Lb-in}$</p>	<p>$f_T = \frac{FL^3}{48 EI} = 0.729 \text{ in}$</p>	
<p>$S_B = \frac{M_T}{Z} = 7401 \text{ Lb/in}^2$</p>	<p>$R_{10''} = R_{20''} = 7105 \text{ Lbs.}$</p> <p>$R_{10} = R_{10'} + R_{10''}$</p> <p>$Y = 6455.4 + 7105$</p> <p>$R_{10} = 13560.4 \text{ Lbs.}$</p>	<p>$7401 < 17000$</p> <p>$S_B < S_A$</p>	

SECCION 30 - 40

SECCION 20 - 30

FIGURA

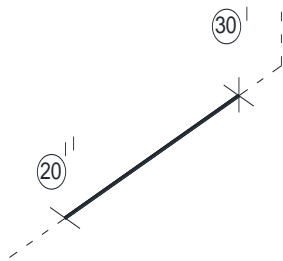
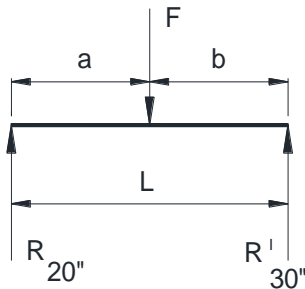


DIAGRAMA DE CARGAS



CONSTANTES

$$W_u = 20.3 \text{ Lb./in}$$

$$S_A = 17000 \text{ Lb./in}^2$$

$$I = 5042.2 \text{ in}^4$$

$$E = 2.76 \times 10^7 \text{ Lb./in}^2$$

$$Z = 336 \text{ in}^3$$

DISTANCIAS

$$L = 656 \text{ in}$$

$$a = 328 \text{ in}$$

$$b = 328 \text{ in}$$

$$F = WL = 13316.8 \text{ Lb}$$

$$M_T = \frac{FL}{4} = 2183955.2 \text{ Lb-in}$$

$$f_T = \frac{FL^3}{48EI} = 0.562 \text{ in}$$

$$S_B = \frac{M_T}{z} = 6499.8 \text{ Lb/in}^2$$

$$R_{20''} = R_{30''} = 6658.4 \text{ Lbs.}$$

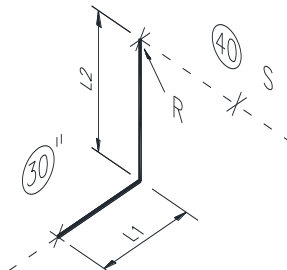
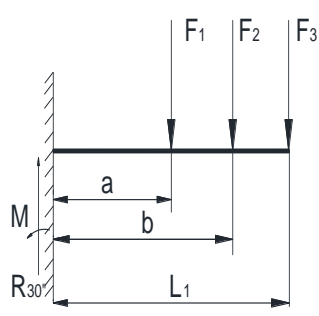
$$R_{20} = R_{20'} + R_{20''}$$

$$= 7105 + 6658.4$$

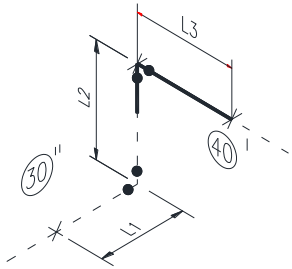
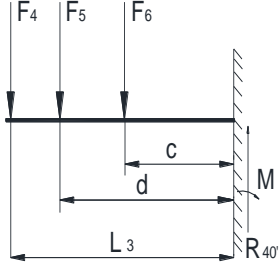
$$R_{20} = 13763.4 \text{ Lb}$$

$$6499.8 < 17000$$

$$S_B < S_A$$

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=20.3 Lb/in</p> <p>SA= 17000 Lb/in²</p> <p>I = 5042.2 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ Lb/in²</p> <p>Z= 336 in³</p> <p>I = 5042.2 in⁴ Lb/in²</p> <p>E = 2.76x 10⁷ Lb/in²</p> <p>Z= 336 in³</p> <p>I = 4.08</p> <p>R= 45 in</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L= 240 in</p> <p>a= 13.1875 in</p> <p>b= 223.665 in</p>
<p>F= WL=2a=3958.5 Lb.</p> <p>$F_2 = \frac{57 \times 90}{180} \times R \times W = 1435$ Lb</p> <p>F₃ = 0.8 WL₂ = 2136 Lb.</p>	<p>M₁= Fa = 385953.75 Lb.- in</p> <p>M₂ = F₂ b = 320959.27 Lb. in</p> <p>M₃ = F₃ L = 519120 Lb. in</p> <p>MT = 1 226 033 Lb. in</p>	<p>$f_1 = \frac{F_1 a^2}{6EI} (3L_1 - a) = 0.028$ in</p> <p>$f_2 = \frac{F_2 b^2}{6EI} (3L - b) = 0.0426$ in</p> <p>$f_3 = \frac{F_3 L^3}{6EI} = 0.0716$ in</p> <p>f_T = 0.1422 in</p>	
<p>$S_B = \frac{M_T}{z} i = 14887.5$ Lb/ in²</p>	<p>R_{30''} = 7556.5 Lb.</p> <p>R₃₀ = R_{30''} + R_{30''}</p> <p>= 6658.4 + 7556.5</p> <p>R₃₀ = 14214.9 Lbs.</p>	<p>14887.5 < 17000</p> <p>S_B < S_A</p>	

SECCION 30 - 40

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p> $W_u=20.3 \text{ Lb/in}$ $S_A= 17000 \text{ Lb/in}^2$ $I = 5042.2 \text{ in}^4$ $E= 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$ $Z= 336 \text{ in}^3$ $L^1=4.08$ $R= 45 \text{ in}$ </p>	<p>DISTANCIAS</p> <p> $L_2= 133.1875 \text{ in}$ $L_3= 66.5 \text{ in}$ $C= 10.75 \text{ in}$ $d= 50.165 \text{ in}$ </p>
<p> $F_4= 0.2 W L_2=540.75 \text{ Lb.}$ $F_5=F_2= 1435 \text{ Lb.}$ $F_6= W=2C=436.5 \text{ Lb.}$ </p>	<p> $M_4=F_4 L_3= 35959.8 \text{ Lb.- in}$ $M_4=F_5 \cdot d= 41986.7 \text{ Lb.- in}$ $M_4=F_6 c = 4681.6 \text{ Lb.- in}$ $M_T= 112\ 628 \text{ Lb.-in}$ </p>	<p> $f_4 = \frac{F_4 L^3}{3 EI} = 0.00038 \text{ in}$ $f_5 = \frac{F_5 d^2}{3 EI} (3L_3-d) = 0.00065 \text{ in}$ $f_6 = \frac{F_6 c^2}{3 EI} (3L_3-c) 0.00001 \text{ in}$ $f_t=0.001 \text{ in}$ </p>	
<p> $S_B= \frac{M_T}{z} i = 1367.6 \text{ Lb/ in}^2$ </p>	<p> $R_{40''} = 2412.2 \text{ Lbs.}$ </p>	<p> $6499.8 < 17000$ $S_B < S_A$ </p>	

SECCION 40- 50

FIGURA

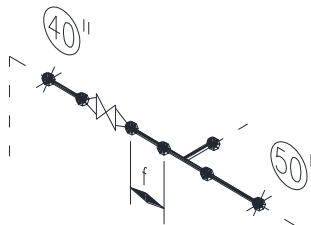
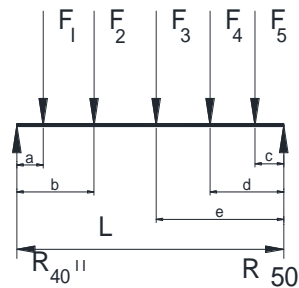


DIAGRAMA DE CARGAS



CONSTANTES

$W_u=20.3 \text{ Lb/in}$
 $S_A= 17000 \text{ Lb/in}^2$
 $I = 5042.2 \text{ in}^4$
 $E= 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$
 $Z= 336 \text{ in}^3$

DISTANCIAS

$L= 240 \text{ in}$
 $a= 13.06 \text{ in}$
 $b= 62 \text{ in}$
 $c= 19 \text{ in}$
 $d= 60 \text{ in}$
 $e= 112.06 \text{ in}$
 $f= 60.13 \text{ in}$

$F_1= W \times 2a = 530.2 \text{ Lb}$
 $F_2= 10327 \text{ Lb}$
 $F_3= W \times f = 1220.5 \text{ Lb}$
 $F_4= 1090 \text{ Lb}$
 $F_5= W \times 2c = 771.4 \text{ Lb}$

$M_1= F_1 a(L-a)/L = 6547.6 \text{ Lb-in}$
 $M_2= F_1 b(L-b)/L = 474869.9 \text{ Lb-in}$
 $M_3= F_1 e(L-e)/L = 72909.4 \text{ Lb-in}$
 $M_4= F_1 d(L-d)/L = 49050 \text{ Lb-in}$
 $M_5= F_1 c(L-c)/L = 13496.3 \text{ Lb-in}$
 $M_6= 616873.2 \text{ Lb-in}$

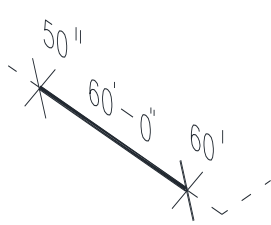
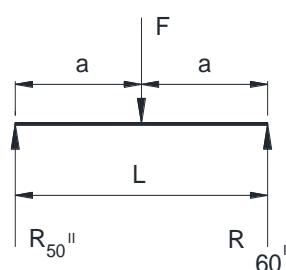
$f_1 = \frac{F_1 a^3}{48 EI} = (3L^2 - 4a^2) = 0.000178 \text{ in}$
 $f_2 = \frac{F_1 b^3}{48 EI} = (3L^2 - 4b^2) = 0.0150 \text{ in}$
 $f_3 = \frac{F_1 e^3}{48 EI} = (3L^2 - 4e^2) = 0.0025 \text{ in}$
 $f_4 = \frac{F_1 d^3}{48 EI} = (3L^2 - 4d^2) = 0.00155 \text{ in}$
 $f_5 = \frac{F_1 c^3}{48 EI} = (3L^2 - 4c^2) = 0.000376 \text{ in}$
 $ft. = 0.0176 \text{ m}$

$S_B = \frac{M_T}{z} = 1835.9 \text{ Lb/in}^2$

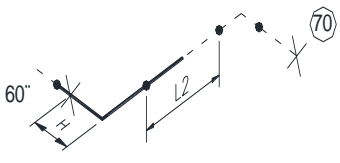
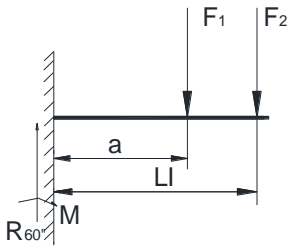
$R_{40''} = 9063.9 \text{ Lbs}$
 $R_{50''} = 4875.1 \text{ Lbs}$
 $R_{50'} = R_{40'} + R_{40''}$
 $= 2412.2 + 9063.9$
 $R_{40'} = 11476.1 \text{ Lb}$

$1835.9 < 17000$
 $S_B < S_A$

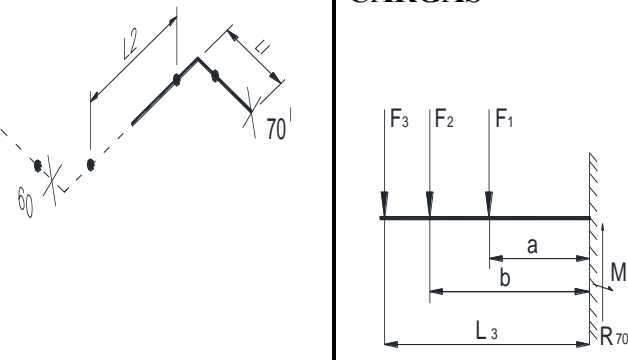
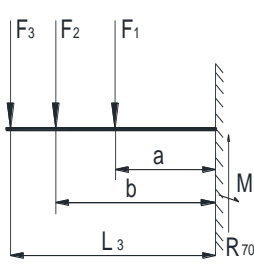
SECCION 50- 60

 <p>FIGURA</p>	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>$W_u=20.3 \text{ Lb/in}$</p> <p>$S_A= 17000 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$I = 5042.2 \text{ in}^4$</p> <p>$E= 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$Z= 336 \text{ in}^3$</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>$L= 720 \text{ in}$</p> <p>$a= 360 \text{ in}$</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1= W \times 2a = 530.2 \text{ Lb}$</p> <p>$F_2= 10327 \text{ Lb}$</p> <p>$F_3= W \times f = 1220.5 \text{ Lb}$</p> <p>$F_4= 1090 \text{ Lb}$</p> <p>$F_5= W \times 2c= 771.4 \text{ Lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> $M = \frac{FL}{\Delta} = \frac{14616 \times 720}{16\text{-in}} = 2630880$	<p>DEFLEXIONES</p> $M = \frac{FL}{\Delta 8FT} = \frac{14616 \times 720}{48 \times 2.76 \times 10^7 \times 50 \times \Delta 2.2}$ <p>$= 0.816 \text{ in}$</p>	
<p>ESFUERZO</p> $S_B = \frac{M}{z} = \frac{2630880}{336}$ <p>$= 7830 \text{ PSI}$</p>	<p>REACCION</p> <p>$R_{50''} = R_{60'} = 9063.9$</p> <p>$R_{50} = R_{50'} + R_{50''}$</p> <p>$= -4875.1 + 7308$</p> <p>$R_{50} = 12183.1 \text{ Lb}$</p>		

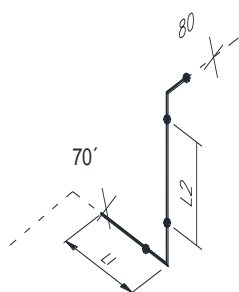
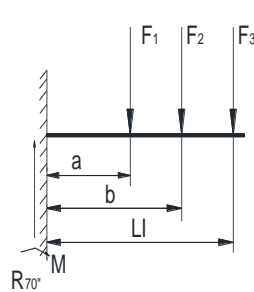
SECCION 60-70

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>$W_u=20.3 \text{ Lb/in}$</p> <p>$S_A= 17000 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$I = 5042.2 \text{ in}^4$</p> <p>$E= 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$Z= 336 \text{ in}^3$</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>$L_1= 18.6$</p> <p>$L_1= 150$</p> <p>$a= 2.28$</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1= \pi \times 90 \text{ RW} =1435 \text{ Lb}$</p> <p>$F_2=W L \ 2/2 =1528.5 \text{ Lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>$M_1= F_1a=3271.8 \text{ 16-in}$</p> <p>$M_2= F_2b \ L2/2=28318.5 \text{ 16- in}$</p> <p>$M_T= M_1 + M_2$</p> <p>$M_T= 31590.3 \text{ 16- in}$</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = \frac{F_1 a^3}{6 EI} = (3L-a)=2.09 \times 10^{-7} \text{ in}$</p> <p>$f_2 = \frac{F_2 L I^3}{3 EI} = 2.3 \times 10^{-5} \text{ in}$</p> <p>$f_T = 2.3 \times 10^{-5} \text{ in}$</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>$S_B= \frac{M}{2} i= \frac{31590.3 \times 4.08}{336}$</p> <p>$S_B= 383.6 \text{ PSI}$</p>	<p>REACCIONES</p> <p>$R_{60''} = 2957.5 \text{ Lbs.}$</p> <p>$R_{60} = R_{60'} + R_{60''}$</p> <p>$= 7308 + 2957.5$</p> <p>$R_{60} = 10265.5 \text{ Lb}$</p>		

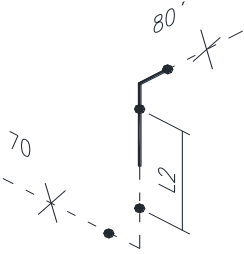
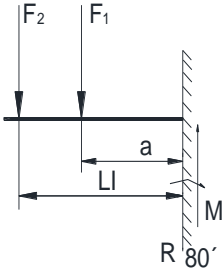
SECCION 70

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>$W_u=20.3 \text{ Lb/in}$</p> <p>$S_A= 17000 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$I = 5042.2 \text{ in}^4$</p> <p>$E= 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$Z= 336 \text{ in}^3$</p> <p>$L=4.08$</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>$L_3= 101.3$</p> <p>$a= 28.14 \text{ in}$</p> <p>$b= 84.96 \text{ in}$</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1= W \times 2a = 1142.516 \text{ Lb}$</p> <p>$F_2= 1435 \text{ Lb}$</p> <p>$F_3= W \times L_2/2 = 1522.5 \text{ Lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>$M_1= F_1 \times c = 32149.9 \text{ Lb-in}$</p> <p>$M_2= F_2 \times b = 131917.6 \text{ Lb-in}$</p> <p>$M_3= F_3 \times L_3 = 154229.2 \text{ Lb-in}$</p> <p>$M_T= M_1+M_2+M_3$</p> <p>$M_T= 308296.7 \text{ Lb-in}$</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = \frac{F_1 \times c^2}{6 EI} = (3L-c) = 0.0002 \text{ in}$</p> <p>$f_2 = \frac{F_2 \times b^2}{6 EI} = (3L-b) = 0.0027 \text{ in}$</p> <p>$f_3 = \frac{F_3 \times L^3}{3 EI} = 0.0038 \text{ in}$</p> <p>ft.=0.0067 in</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>$S_B= \frac{M}{Z} i=$</p> <p>$\frac{308296.7 \times 4.08}{336}$</p> <p>$=3752.8 \text{ PSI}$</p>	<p>REACCIONES</p> <p>$R_{70} = 4100 \text{ Lbs}$</p>		

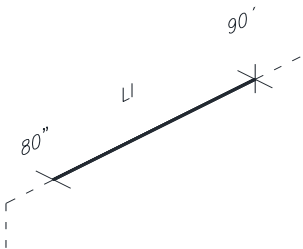
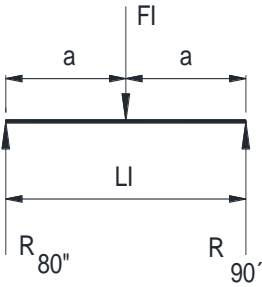
SECCION 70

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>$W_u=20.3 \text{ Lb/in}$</p> <p>$S_A= 17000 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$I = 5042.2 \text{ in}^4$</p> <p>$E= 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$Z= 336 \text{ in}^3$</p> <p>$L=4.08$</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>$L_1= 138 \text{ in}$</p> <p>$L_2= 59.87 \text{ in}$</p> <p>$a= 46.5 \text{ in}$</p> <p>$b= 121.6 \text{ in}$</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1= W \times 2a = 1887.9 \text{ Lb}$</p> <p>$F_2= 1435 \text{ Lb}$</p> <p>$F_3= W L_2 = 1215.5 \text{ Lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>$M_1= F_1 a = 87787.3 \text{ Lb-in}$</p> <p>$M_2= F_2 b = 174496 \text{ Lb-in}$</p> <p>$M_3= F_3 L_1 = 167739 \text{ Lb-in}$</p> <p>$M_T= M_1+M_2+M_3$</p> <p>$= 430022.3 \text{ Lb-in}$</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = \frac{F_1 a^2}{5 EI} = (3L-a) = 0.0017 \text{ in}$</p> <p>$f_2 = \frac{F_2 b^2}{6 EI} = (3L-b) = 0.0074 \text{ in}$</p> <p>$f_3 = \frac{F_3 L_1^3}{3 EI} = 0.0076 \text{ in}$</p> <p>$ft.=0.016 \text{ in}$</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>$S_B= \frac{M}{Z} i =$</p> <p>$\frac{430022.3 \times 4.08}{336}$</p> <p>$S_B=5221.7 \text{ PSI}$</p>	<p>REACCIONES</p> <p>$R_{70''} = 4538.4 \text{ Lbs.}$</p> <p>$R_{70'} = R_{70''} + R_{70''}$</p> <p>$= 4100 + 4538.4$</p> <p>$R_{70} = 8638.4 \text{ Lb}$</p>		

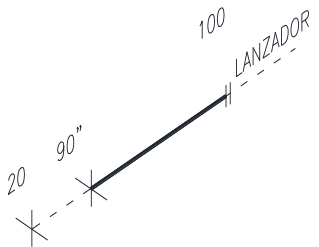
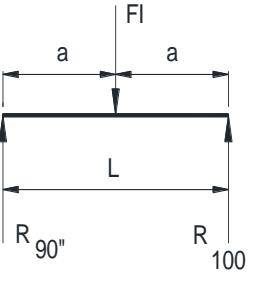
SECCION 80

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>$W_u=20.3 \text{ Lb/in}$</p> <p>$S_A= 17000 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$I = 5042.2 \text{ in}^4$</p> <p>$E= 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$</p> <p>$Z= 336 \text{ in}^3$</p> <p>$L=4.08$</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>$L_1= 28 \text{ in}$</p> <p>$L_2= 59.87 \text{ in}$</p> <p>$a= 11.67 \text{ in}$</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1= \pi \times 90 \text{ RW} =1435 \text{ Lb}$</p> <p>$F_2=W \frac{L_2}{2}=1528.5 \text{ Lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>$M_1=F_1 a=16746.4 \text{ Lb- in}$</p> <p>$M_2=F_2 L_1 =17015.6 \text{ Lb- in}$</p> <p>$M_T= M_1+M_2$</p> <p>$M_T= 33762 \text{ Lb- in}$</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = \frac{F_1 a^2}{6 EI} = (3L_1-C) =0.00001 \text{ in}$</p> <p>$f_2 = \frac{F_2 L_1^2}{3 EI} =0.00003 \text{ in}$</p> <p>$ft.=0.00004 \text{ in}$</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>$S_B= \frac{M}{Z} = \frac{33762 \times 4.08}{336}$</p> <p>$S_B=409.9 \text{ PSI}$</p>	<p>REACCIONES</p> <p>$R_{80'} = 2042.7 \text{ Lbs.}$</p>		

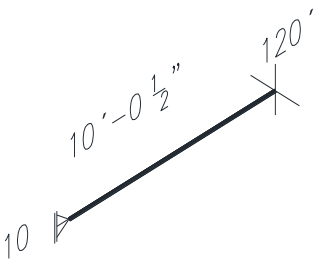
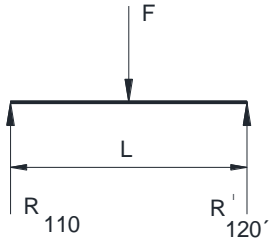
SECCION 80-90

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=20.3 Lb/in</p> <p>SA= 17000 Lb/in²</p> <p>I = 5042.2 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ Lb/in²</p> <p>Z= 336 in³</p> <p>L=4.08</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L₁= 360 in</p> <p>a= 180 in</p>
<p>FUERZAS</p> <p>F₁= W x L= 20.3x 360</p> <p>=7308 lb</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>M₁= FL/4=7308x360/4</p> <p>M₁= 657720 Lb- in</p>	<p>DEFLEXIONES</p> $f_1 = \frac{FL^2}{48EI} = \frac{7308 \times (360)^3}{48 \times 2.76 \times 10^7 \times 5042.2} \text{ in}$ <p>f₁=0.05 in</p>	
<p>ESFUERZO</p> $S_B = \frac{M}{Z} = \frac{657720}{336}$ <p>S_B=1457.5 PSI</p>	<p>REACCIONES</p> <p>R_{80"} = R_{90"} = 3654 Lb.</p> <p>R₈₀ = R_{80'} + R_{80"}</p> <p>K₈₀ = 2042.1 + 3654</p> <p>R₈₀ = 5696.7 Lb</p>		

SECCION 90-100

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=20.3 Lb./in</p> <p>S_A= 17000 Lb./in²</p> <p>I = 5042.2 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ Lb/in²</p> <p>Z= 336 in³</p> <p>L=4.08</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L=335.5 in</p> <p>a= 167.75 in</p>
<p>FUERZAS</p>	<p>MOMENTOS</p>	<p>DEFLEXIONES</p>	
<p>F₁= W x L= 20.3x 335.5</p> <p>F=6810.7 lb</p> <p>S_B= $\frac{M}{Z} = 571247.4/336$</p> <p>S_B=1700.1 PSI</p>	<p>M₁= FL/4=6810.7x335.5/4</p> <p>M= 571247.4 Lb- in</p> <p>R_{90"} = R_{100"}= 3405.3 Lbs.</p> <p>R₉₀ = R_{90"} + R_{90"}</p> <p>K₈₀= 3654 + 3405.3</p> <p>R₉₀= 7059.3 Lbs</p>	<p>$f_1 = \frac{FL^2}{48EI} =$</p> <p>$\frac{6810.7x(335.5)^3}{48x2.76x10^7x5042.2}$ in</p> <p>f₁=0.038 in</p>	

SECCION 110-120

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=356 Lb/FT</p> <p>SA= 17000 PSI</p> <p>I = 8756 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ Lb/in²</p> <p>Z= 488 in³</p> <p>L=5.29</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L=120.25" in</p> <p>a= 60.25" in</p> <p>b= 60.25" in</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1 = W \times L = 356 \times 120.25$</p> <p>$F_1 = 3574.8 \text{ lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>$M_1 = \frac{FL}{4} = \frac{3574.8 \times 120.25}{4}$</p> <p>$M_1 = 107467.4 \text{ Lb-in}$</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{3574.8(120.25)^3}{48 \times 2.76 \times 10^6 \times 8756} \text{ in}$</p> <p>$f_1 = 0.0005 \text{ in}$</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>$S_B = \frac{MT}{Z}$</p> <p>$S_B < S_A$</p>	<p>REACCIONES</p> <p>$R_{110} = \frac{F_1}{2} = 1787.4$</p> <p>$\text{lb} = R_{120}$</p> <p>$R_{110} = \frac{F_1}{2} = 1787.4$</p> <p>$\text{lb} = R_{120}$</p>	<p>MOMENTO MÀXIMO DE FLEXIÒN</p> <p>$M = 107467.4 \text{ lb-in}$</p> <p>DEFLEXIÒN MÀXIMA (f)</p> <p>$FT = 0.0005 \text{ in}$</p>	

SECCION 120-A

FIGURA

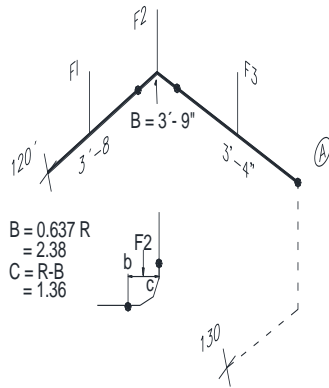
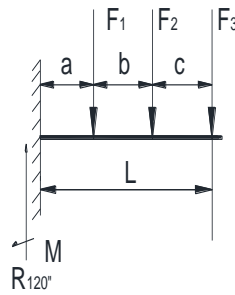


DIAGRAMA DE CARGAS



CONSTANTES

$W_u = 356 \text{ Lb/FT}$
 $S_A = 17000 \text{ PSI}$
 $I = 8756 \text{ in}^4$
 $E = 2.76 \times 10^7 \text{ Lb/in}^2$
 $Z = 488 \text{ in}^3$
 $L = 5.29$

DISTANCIAS

$L = 89'' \text{ in}$
 $a = 21.96'' \text{ in}$
 $b = 50.64'' \text{ in}$
 $c = 16.32'' \text{ in}$

FUERZAS

$F_1 = W \times L_1 = 13000 \text{ lb}$
 $F_2 = \frac{\pi \times 90}{180} \times R \times W = 2097 \text{ lb}$
 $F_3 = W \times L_2 = 1186.6 \text{ lb}$

MOMENTOS

$M_1 = F_1 (2a+b) = 28664.3 \text{ lb-in}$
 $M_2 = F_2 (a+b) = 152242.2 \text{ lb-in}$
 $M_3 = F_3 \times L \times x = 105607.4 \text{ lb-in}$

DEFLEXIONES

$f_1 = \frac{FL^3}{6EI} = (3L - a) = 0.080 \text{ in}$
 $f_2 = \frac{F_2 c}{48EI} = (3L^2 - 4c^2) = 0.00006 \text{ in}$
 $f_3 = \frac{F_3 L^3}{3EI} = -0.001 \text{ in}$

ESFUERZO

$S_B = \frac{286513.9}{488} \times 5.29$
 $S_B = 3155.5 \text{ PSI}$
 $S_B < S_A$

REACCIONES

$R_{120''} = F_1 + F_2 + F_3 = 4588.9$
 $R_{120} = R_{120'} + R_{120''}$
 $R_{120} = 1787.4 + 4588.4$
 $R_{120} = 6376.3 \text{ lb}$

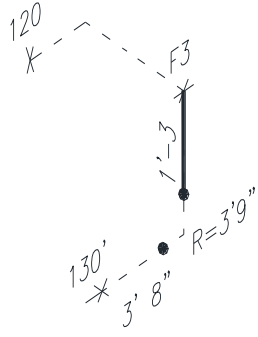
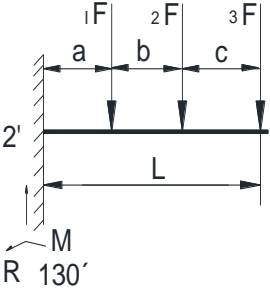
MOMENTO MÁXIMO DE FLEXIÓN

$M_T = M_1 + M_2 + M_3 = 286513.9 \text{ lb-in}$

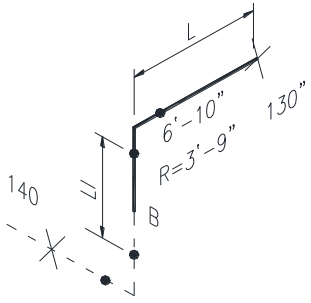
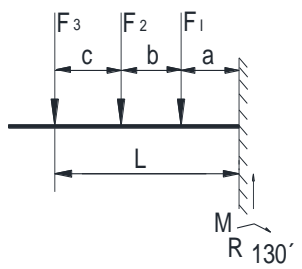
DEFLEXIÓN MÁXIMA (f)

$FT = F_1 + F_2 + F_3$
 $= 0.001 \text{ in}$

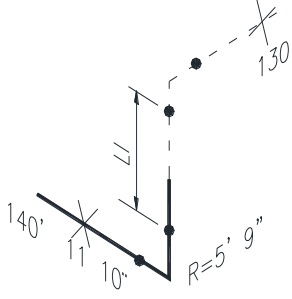
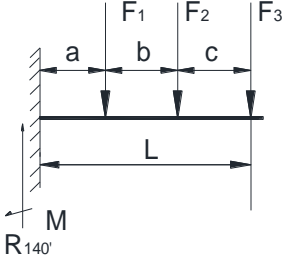
SECCION A-130

 <p>FIGURA</p>	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=29.66 Lb/FT</p> <p>SA= 17000 PSI</p> <p>I = 8756 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ PSI</p> <p>Z= 488 in³</p> <p>L=5.29</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L=89" in</p> <p>a= 21.96" in</p> <p>b= 50.64" in</p> <p>c= 16.32" in</p>
<p>FUERZAS</p>	<p>MOMENTOS</p>	<p>DEFLEXIONES</p>	
<p>$F_1 = W \times L_1 = 1305.3 \text{ lb}$</p> <p>$F_2 = \frac{\pi \times 90}{180} \times R \times W = 2097 \text{ lb}$</p> <p>$F_3 = W \times L = 5073 \text{ lb}$</p>	<p>$M_1 = F_1 \times a = 28664.3 \text{ lb-in}$</p> <p>$M_2 = F_2 (a+b) = 152242.2 \text{ lb-in}$</p> <p>$M_3 = F_3 \times L = 451497 \text{ lb-in}$</p>	<p>$f_1 = \frac{FLa^2}{6EI} = (3L - a) = 0.00 \text{ in}$</p> <p>$f_1 = \frac{F_2 c}{48EI} = (3L^2 - 4c^2) = 0.00006 \text{ in}$</p> <p>$f_3 = \frac{F_3 L^3}{3EI} = = 0.0049$</p>	
<p>ESFUERZO</p>	<p>REACCIONES</p>	<p>MOMENTO MÀXIMO DE FLEXIÒN</p>	
<p>$S_B = \frac{M_T}{Z} i$</p> <p>S_B=6855.3 PSI</p> <p>S_B < S_A</p>	<p>R_{130'} = F₁+F₂+F₃</p> <p>R_{130'} = 8475.3 lb</p>	<p>$M_T = M_1 + M_2 + M_3 = 632403.5 \text{ lb-in}$</p>	
		<p>DEFLEXIÒN MÀXIMA (f)</p>	
		<p>F_T=0.0049 in</p>	

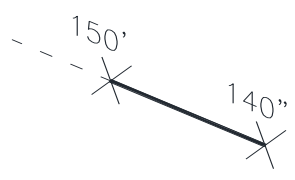
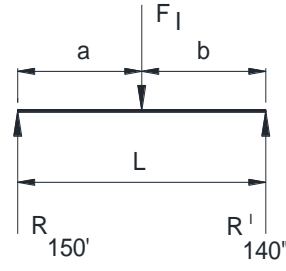
SECCION 130

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>$W_u=29.66 \text{ Lb/FT}$</p> <p>$S_A= 17000 \text{ PSI}$</p> <p>$I = 8756 \text{ in}^4$</p> <p>$E= 2.76 \times 10^7 \text{ PSI}$</p> <p>$Z= 488 \text{ in}^3$</p> <p>$L=5.29$</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>$L=187 \text{ in}$</p> <p>$L_1=217.71 \text{ in}$</p> <p>$a= 77 \text{ in}$</p> <p>$b= 105.68 \text{ in}$</p> <p>$c=16.32 \text{ in}$</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1= W \times L_1= 2432.6 \text{ lb}$</p> <p>$F_2= \frac{\pi \times 90}{180} \times R \times W = 2097 \text{ lb}$</p> <p>$F_3= W \times L= 3228.5 \text{ lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>$M_1= F_1 \times a = 99736.6 \text{ lb}$</p> <p>$M_2= F_2 \times (a+b) = 230186.7 \text{ lb}$</p> <p>$M_3= F_3 \times L = 410019.5 \text{ lb}$</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = \frac{F_1 a^2}{6EI} = (3L - a) = 0.0009 \text{ in}$</p> <p>$f_1 = \frac{F_2 c}{48EI} = (3L^2 - 4c^2) = 0.0001 \text{ in}$</p> <p>$f_3 = \frac{F_3 L^3}{3EI} = 0.009 \text{ in}$</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>$S_B = \frac{M_T}{Z} i = \frac{739942.8 \times 5.28}{488}$</p> <p>$S_B = 8021 \text{ PSI}$</p> <p>$S_B < S_A$</p>	<p>REACCIONES R.</p> <p>$R_{130'} = 7758.1 \text{ lb}$</p> <p>$R_{130} = R_{130'} + R_{130''}$</p> <p>$R_{130'} = 16233.4 \text{ lb}$</p>	<p>MOMENTO MÀXIMO DE FLEXIÒN</p> <p>$M_T = 739942.8 \text{ lb-in}$</p> <p>DEFLEXIÒN MÀXIMA (f)</p> <p>$F_T = 0.010 \text{ in}$</p>	

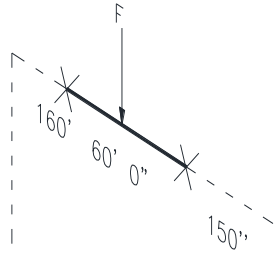
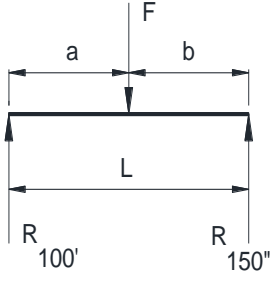
SECCION 140

FIGURA	DIAGRAMA DE CARGAS	CONSTANTES	DISTANCIAS
		<p>$W_u=29.66 \text{ Lb/FT}$</p> <p>$S_A= 17000 \text{ PSI}$</p> <p>$I= 8756 \text{ in}^4$</p> <p>$E= 2.76 \times 10^7 \text{ PSI}$</p> <p>$Z= 488 \text{ in}^3$</p> <p>$L=5.29$</p>	<p>$L=187 \text{ in}$</p> <p>$L_1=217.71 \text{ in}$</p> <p>$a= 77 \text{ in}$</p> <p>$b= 105.68 \text{ in}$</p> <p>$c=16.32 \text{ in}$</p>
<p align="center">FUERZAS</p> <p>$F_1= W \times L_1= 4212.6 \text{ lb}$</p> <p>$F_2= \frac{\pi \times 90}{180} \times R \times W = 2097 \text{ lb}$</p> <p>$F_3= W \times \frac{L_1}{2} = 3228.5 \text{ lb}$</p>	<p align="center">MOMENTOS</p> <p>$M_1= F_1 \times a = 324375.2 \text{ lb-in}$</p> <p>$M_2= F_2 \times (a+b) = 221687.9 \text{ lb-in}$</p> <p>$M_3= F_3 \times L = 603729.5 \text{ lb-in}$</p>	<p align="center">DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = \frac{F_1 a^2}{6EI} = (3L - a) = 0.008 \text{ in}$</p> <p>$f_2 = \frac{F_2 c}{48EI} = (3L^2 - 4c^2) = 0.0003 \text{ in}$</p> <p>$f_3 = \frac{F_3 L^3}{3EI} = 0.0411 \text{ in}$</p>	
<p align="center">ESFUERZO</p> <p>$S_B = \frac{M_T}{Z} i =$</p> <p>$S_B = 12463.9 \text{ PSI}$</p> <p>$S_B < S_A$</p>	<p align="center">REACCIONES R.</p> <p>$R_{140'} = 9538.1 \text{ lb}$</p>	<p align="center">MOMENTO MÀXIMO DE FLEXIÒN</p> <p>$M_T = 1149792.6 \text{ lb-in}$</p> <p align="center">DEFLEXIÒN MÀXIMA (f)</p> <p>$F_T = 0.049 \text{ in}$</p>	

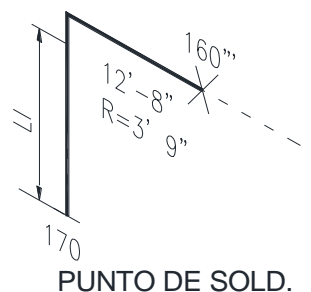
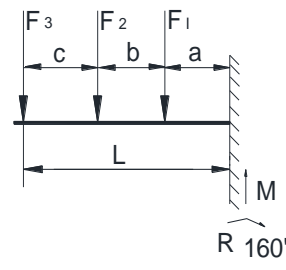
SECCION 140-150

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=29.66 Lb/FT</p> <p>SA= 17000 PSI</p> <p>I = 8756 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ PSI</p> <p>Z= 488 in³</p> <p>L=5.29</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L=480 in</p> <p>a=b=240in</p>
<p>FUERZAS</p> <p>F₁= W x L= 356x40lb</p> <p>F₂= 14240 lb</p>	<p>MOMENTOS</p> $M_1 = \frac{F_1 L}{4} = 14240 \times 480 / 4$ <p>M₁= 1.708800 lb-in</p>	<p>DEFLEXIONES</p> $f_1 = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{14240 \times (480)^3}{48 \times 27.6 \times 10^6 \times 8756} \text{ in}$ <p>f₁=0.136 in</p>	
<p>ESFUERZO</p> $S_B = \frac{M_T}{Z} = \frac{1708800}{488}$ <p>S_B=3501.6 PSI</p> <p>S_B < S_A</p>	<p>REACCIONES R.</p> $R_{140''} = R_{150'} = \frac{F_1}{2} = 7120 \text{ lb}$ $R_{140'} = R_{140''} + R_{140''}$ <p>R_{140'} = 17993.6 lb</p>	<p>MOMENTO MÁXIMO DE FLEXIÓN</p> <p>M_T=1708800 lb-in</p> <p>DEFLEXIÓN MÁXIMA (f)</p> <p>F_T=0.136 in</p>	

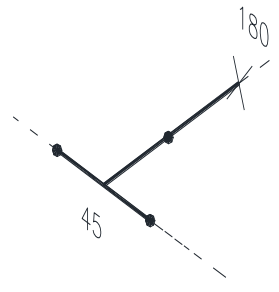
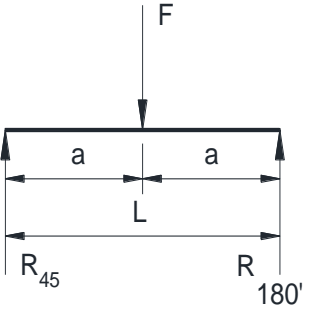
SECCION 150-160

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=356 Lb/FT</p> <p>SA= 17000 PSI</p> <p>I = 8756 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ PSI</p> <p>Z= 488 in³</p> <p>L=5.29</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L=480 in</p> <p>a=360</p> <p>b=360in</p>
<p>FUERZAS</p> <p>F₁= W x L= 356x60lb</p> <p>F₁= 21360 lb</p>	<p>MOMENTOS</p> $M_1 = \frac{FxL}{2} = 21360 \times 720 / 4$ <p>M₁= 3844800 lb-in</p>	<p>DEFLEXIONES</p> $f_1 = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{21360 \times (720)^3}{48 \times 27.6 \times 10^6 \times 8756} \text{ in}$ <p>f₁=0.687 in</p>	
<p>ESFUERZO</p> $S_B = \frac{M_T}{Z} = \frac{3844800}{488}$ <p>S_B=7878.7 PSI</p> <p>S_B < S_A</p>	<p>REACCIONES R.</p> $R_{150''} - R_{160''} = \frac{F_1}{2} = 10680 \text{ lb}$ <p>R₁₅₀ = 7120 + 10680</p> <p>R₁₅₀ = 17800 lb</p>	<p>MOMENTO MÀXIMO DE FLEXIÒN</p> <p>M_T=5844800 lb-in</p> <p>DEFLEXIÒN MÀXIMA (f)</p> <p>F_T=0.687in</p>	

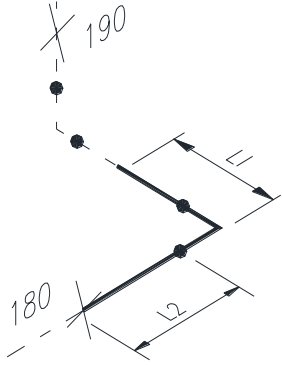
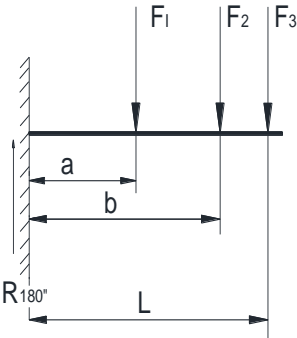
SECCION 160-170

FIGURA	DIAGRAMA DE CARGAS	CONSTANTES	DISTANCIAS
 <p>PUNTO DE SOLD.</p>		<p>Wu=356 Lb/FT</p> <p>SA= 17000 PSI</p> <p>I = 8756 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ PSI</p> <p>Z= 488 in³</p> <p>L=5.29</p>	<p>L=197 in</p> <p>L₁=63 in</p> <p>a=76 in</p> <p>b=104.68 in</p> <p>c=16.22 in</p>
<p>FUERZAS</p> <p>F₁= W x L= 4509.31b</p> <p>F₂= $\frac{\pi \times 90}{180} \times R \times W = 2097\text{lb}$</p> <p>F₃=WxL=1869 lb</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>M₁=F₁x a =342700.3 lb-in</p> <p>M₂=F₂ x(a+b)=378885.9 lb-in</p> <p>M₃=F₃xL=368193 lb-in</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>f₁ = $\frac{F_1 a^2}{6EI} = (3L - a) = 0.009$ in</p> <p>f₁ = $\frac{F_2 c}{48EI} = (3L^2 - 4c^2) =$ 0.0003 in</p> <p>f₃ = $\frac{F_3 L^3}{3EI} =$ =0.019 in</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>S_B=</p> <p>$\frac{M_T}{Z} i = \frac{1352780.7 \times 5.29}{488}$</p> <p>S_B=11813.5 PSI</p> <p>S_B < S_A</p>	<p>REACCIONES R.</p> <p>R_{160"} =8475.3 lb</p> <p>R₁₆₀ =10680+8675</p> <p>R₁₆₀ =19155.3 lb</p>	<p>MOMENTO MÀXIMO DE FLEXIÒN</p> <p>M_T=1089785.7 lb-in</p> <p>DEFLEXIÒN MÀXIMA (f)</p> <p>F_T=0.03 in</p>	

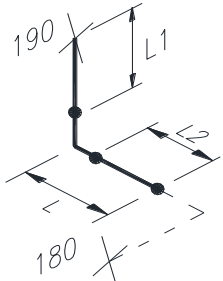
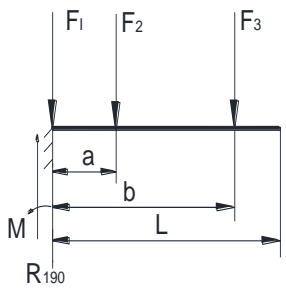
SECCION 45-180

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wu=13.06 Lb/in</p> <p>S_A= 17000 lb/in²</p> <p>I = 1942.3 in⁴</p> <p>E= 2.76X10⁷ lb/in²</p> <p>Z= 161.8 in³</p> <p>L=3.6</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L=36 in</p> <p>a=18 in</p>
<p>FUERZAS</p> <p>F₁= W L= 470.16lb</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>M₁= $\frac{FL}{4}$ = 4231.44 lb-in</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>f₁ = $\frac{F_2 c}{48EI}$ = 8.5x10⁻⁶ in</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>S_B= $\frac{M_T}{Z}$ i=94.3 lb/in²</p>	<p>REACCIONES R.</p> <p>R_{45"} = 235.1 lb</p> <p>R₁₈₀ = 235.1 lb</p>	<p>94.3 < 17000</p> <p>S_B < S_A</p>	

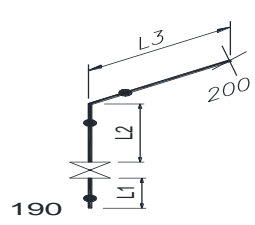
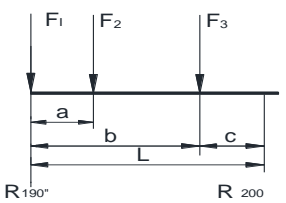
SECCION 180-190

FIGURA	DIAGRAMA DE CARGAS	CONSTANTES	DISTANCIAS
		<p> $W_u = 13.06 \text{ Lb/in}$ $S_A = 17000 \text{ lb/in}^2$ $I = 1942.3 \text{ in}^4$ $E = 2.76 \times 10^7 \text{ lb/in}^2$ $Z = 161.8 \text{ in}^3$ $L = 3.6$ </p>	<p> $L = 171.5 \text{ in}$ $L_1 = 5.5 \text{ in}$ $L_2 = 126.5 \text{ in}$ $a = 63.25 \text{ in}$ $b = 155.16 \text{ in}$ </p>
<p style="text-align: center;">FUERZAS</p> <p> $F_1 = W L_2 = 1652.9 \text{ lb}$ $F_2 = \frac{\pi \times 90}{180} \times R \times W = 923.1 \text{ lb}$ $F_3 = W L_1 = 71.8 \text{ lb}$ $F_T = 2647.8 \text{ lb}$ </p>	<p style="text-align: center;">MOMENTOS</p> <p> $M_1 = F_1 a = 104545.9 \text{ Lb-in}$ $M_2 = F_2 b = 143232.8 \text{ Lb-in}$ $M_3 = F_3 L = 12313.7 \text{ Lb-in}$ $M_T = 260092.4 \text{ Lb-in}$ </p>	<p style="text-align: center;">DEFLEXIONES</p> <p> $f_1 = \frac{F_1 a^2}{6EI} = (3L - a) = 0.0092 \text{ in}$ $f_2 = \frac{F_2 b^2}{6EI} = (3L - b) = 0.025 \text{ in}$ $f_3 = \frac{F_3 L^3}{3EI} = 0.036 \text{ in}$ </p>	
<p style="text-align: center;">ESFUERZO</p> <p> $S_B = \frac{M_T}{Z} i = \frac{260092.4 \times 3.6}{161.8}$ $S_B = 5786.9 \text{ PSI}$ </p>	<p style="text-align: center;">REACCIONES R.</p> <p> $R_{180'} = 2647.8$ $R_{180} = R_{180'} + R_{180''}$ $R_{180} = 135.1 + 2647.8$ $R_{180} = 2882.9 \text{ lb}$ </p>	<p> $5786.9 < 17000$ $S_B < S_A$ </p>	

SECCION 180-190

FIGURA	DIAGRAMA DE CARGAS	CONSTANTES	DISTANCIAS
		<p> $W_u=13.06 \text{ Lb/in}$ $S_A= 17000 \text{ lb/in}^2$ $I = 1942.3 \text{ in}^4$ $E= 2.76 \times 10^7 \text{ lb/in}^2$ $Z= 161.8 \text{ in}^3$ $L=3.6$ </p>	<p> $L=505. \text{ in}$ $L_1=49.2 \text{ in}$ $L_2=5.5 \text{ in}$ $a=16.3 \text{ in}$ $b=19.05 \text{ in}$ </p>
FUERZAS	MOMENTOS	DEFLEXIONES	
<p> $F_1= W L_1= 642.5 \text{ lb}$ $F_2= \frac{\pi \times 90}{180} RW =923.1 \text{ lb}$ $F_3=WL_2=71.8 \text{ lb}$ $F_T=1637.43 \text{ lb}$ </p>	<p> $M_1=0$ $M_2= F_2 a =150.46.5 \text{ Lb- in}$ $M_3= F_3 b=1367.8 \text{ Lb-in}$ $M_T= 16414.3 \text{ Lb- in}$ </p>	<p> $f_1 = 0$ $f_2 = \frac{F_2 a^2}{6EI} = (3L - a) = 0.0001 \text{ in}$ $f_3 = \frac{f_3 a^2}{6EI} = (3L - b) = 0.00001 \text{ in}$ $f_T = 0.00011 \text{ in}$ </p>	
ESFUERZO	REACCION		
<p> $S_B= \frac{M}{2} i = \frac{16414.3 \times 3.6}{161.8}$ $S_B=365.2 \text{ PSI}$ </p>	<p> $R_{190}=1637.4 \text{ lbs}$ </p>	<p> $365.2 < 17000$ $S_B < S_A$ </p>	

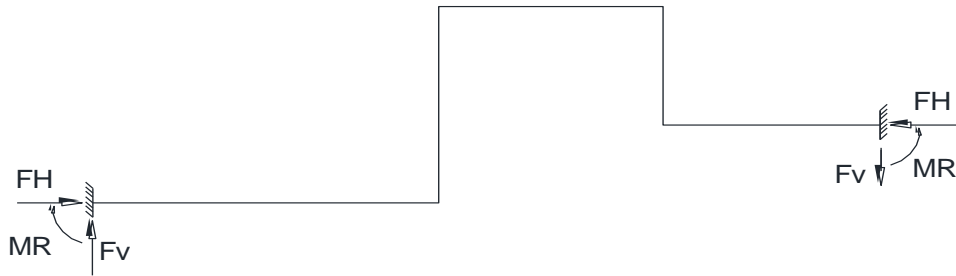
SECCION 190-200

<p>FIGURA</p> 	<p>DIAGRAMA DE CARGAS</p> 	<p>CONSTANTES</p> <p>Wvalvy. =6034 Lbs.</p>	<p>DISTANCIAS</p> <p>L₁=30.8. in L₂=116 in L₃=31.5 in L= 76.5 in a= 16.3 in b= 60.8 in c= 15.7 in</p>
<p>FUERZAS</p> <p>$F_1 = W(L_1+L_2)+W_v = 7951.2 \text{ lb}$</p> <p>$F_2 = \frac{\pi \times 90}{180} R \times W = 923.1 \text{ lb}$</p> <p>$F_3 = W \times 2c = 410.1 \text{ lb}$</p>	<p>MOMENTOS</p> <p>$M_1 = 0$</p> <p>$M_2 = \frac{f_2 a (L-a)}{L} = 11840.5 \text{ Lb in}$</p> <p>$M_3 = \frac{(f_3 bc)}{L} = 5117.2 \text{ Lb-in}$</p> <p>$M_T = 16957.7 \text{ Lb-in}$</p>	<p>DEFLEXIONES</p> <p>$f_1 = 0$</p> <p>$f_2 = \frac{F_2 a}{48 E I} = (3L_2 - 4a^2) = 0.0001 \text{ in}$</p> <p>$f_3 = \frac{f_3 c}{48 E I} = (3L_2 - 4c^2) = 0.00004 \text{ in}$</p> <p>$f_T = 0.00014 \text{ in}$</p>	
<p>ESFUERZO</p> <p>$S_B = \frac{M}{2} i$</p> <p>$S_B = 377.3 \text{ PSI}$</p>	<p>$R_{200} = \frac{M_2 + M_3}{L} = 221.66 \text{ lb}$</p> <p>$R_{190} = ((F_1 + F_2 + F_3) - R_{200})$</p> <p>$R_{190} = 9062.7 \text{ lbs}$</p> <p>$R_{190} = R_{190}' + R_{190}''$</p> <p>$R_{190} = 10700.1 \text{ lbs.}$</p>	<p>$377.3 < 17000$</p> <p>$S_B < S_A$</p>	

3.2 METODO DEL CENTRO ELASTICO

PRINCIPIO DE ANÁLISIS

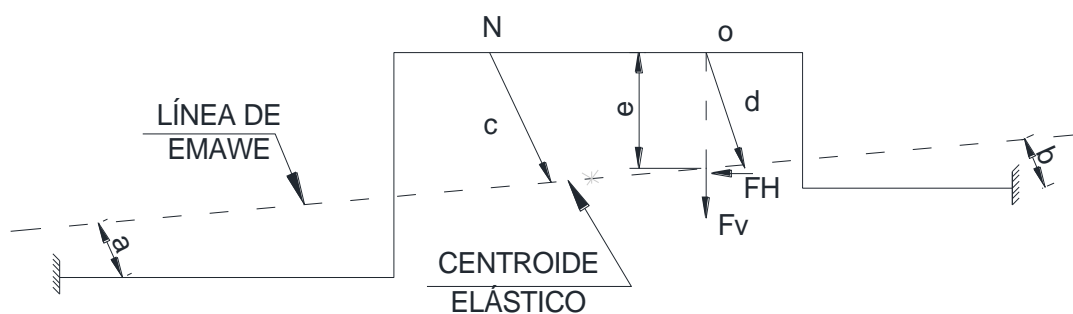
Cuando un sistema de tuberías como el mostrado en la siguiente figura, está sujeto a expansión térmica, las reacciones en las anclas, extremos o boquillas presentan las siguientes características:



- 1) Las reacciones horizontales (FH) son iguales y opuestas.
- 2) Las reacciones verticales (FV) son iguales y opuestas.
- 3) Los momentos ML y MR normalmente son distintas.

Se considera que la tubería está fija rigidamente en sus extremos y que los esfuerzos cortantes y normales causados por las reacciones son despreciables, considerando únicamente los esfuerzos debidos a momentos de flexión.

El proceso de análisis es simplificado combinando las tres reacciones en cada extremo



en una simple fuerza, tal como.

Las fuerzas FV y FH son combinadas en una fuerza “T”, la cual es aplicada a una distancia (a) o (b) de los puntos de anclaje. Así que: $T_a = ML$; $T_b = MR$; las dos fuerzas “T” son opuestas y se encuentran actuando en la misma línea de acción la cual usualmente es conocida como “línea de empuje” la cual pasa a través de un punto que es conocido como CENTRO ELASTICO DEL SISTEMA.

Una vez que la fuerza “T” y su posición son encontrados, los momentos en la tubería pueden determinarse rápidamente, así para cualquier punto “N” u “O” , como se muestra en la figura, los momentos están definidos como el producto de la fuerza “T” por su distancia perpendicular “c” o “d” medida desde la línea de empuje al punto en cuestión.

El valor real de la fuerza “T”, no necesita ser calculado ya que el momento en un punto, por ejemplo el “o”, se puede determinar multiplicando la distancia vertical “e”, medida desde ese punto hasta la línea de empuje, por la fuerza horizontal (FH); ya que la componente vertical (FV) no tiene momento alrededor del punto “o”

Los puntos donde la línea de empuje cruza el sistema de tubería, evidentemente que son puntos de momento cero y para disminuir esfuerzos en el sistema por efecto de válvulas, juntas, etc., es conveniente que sean localizadas lo más cerca de estos puntos de momento cero.

METODO DEL CENTRO ELASTICO (GRINNELL)

Línea 30” – PC – 001 – B01

Presión de Operación	$P = 125 \text{ PSI}$
Temperatura de Operación	$T = 212 \text{ °F (100 °C)}$
Material	$SA = 333 \text{ Gr 6}$
Espesor	$t = 0.5 \text{ in}$
Esfuerzo Admisible	$SA = 17,000 \text{ PSI}$
Diámetro Nominal	$D = 30 \text{ in}$
Diámetro Interior	$d = 29 \text{ in}$
Momento de Inercia	$I = 5042.4 \text{ in}^4$
Módulo de Sección	$Z = 336 \text{ in}^3$
Características de Flexibilidad	$h = 0.1$
Factor de Intensificación del esfuerzo	$i = 4.08$
Factor de Flexibilidad	$f = 1.65/h = 16.5$
Factor de Expansión Térmica	$C = 1.08 \text{ in/100 ft}$

Las incógnitas por determinar serán las fuerzas de reacción F_x , F_y , F_z , en el punto de anclaje o considerados fijos; los momentos de reacción M_{xy} , M_{xz} y M_{yz} ; además el valor y localización del máximo esfuerzo combinado.

El procedimiento de solución es considerar uno de los puntos de anclaje fijo y el otro temporalmente libre. La expansión térmica moverá entonces el punto del extremo libre.

Se establecen ejes X, Y y Z en el punto del extremo libre debiendo estar opuestos a la dirección del movimiento del extremo libre. Proyectar el sistema de tubería dentro de los tres planos formados por estos ejes. Los tres planos son denominados como: X-Y, X-Z y Y-Z.

Posteriormente se deberá localizar el centro de gravedad y el cálculo de los momentos de inercia de las líneas para cada proyección sobre cada plano.

El cálculo de los momentos de inercia de las líneas resulta en dos momentos por cada eje, los cuales deben sumarse para obtener el total.

$$I_x = I_x (x-y) + I_x (x-z)$$

$$I_y = I_y (x-y) + I_y (y-z)$$

$$I_z = I_z (x-z) + I_z (y-z)$$

Se deberán obtener después los productos de inercia; (I_{xy} , I_{xz} , I_{yz}).

Debiendo sustituir los valores obtenidos en las siguientes ecuaciones, determinando así; F_x , F_y , y F_z .

$$+ F_x I_x - F_y I_{xy} - F_z I_{xz} = L_x C I_p$$

$$- F_x I_{xy} + F_y I_y - F_z I_{yz} = L_y C I_p$$

$$- F_x I_{xz} - F_y I_{yz} + F_z I_z = L_z C I_p$$

Donde:

L_x = Distancia en dirección del eje X entre los puntos de anclaje en pies.

L_y = Distancia en dirección del eje Y entre los puntos de anclaje en pies.

L_z = Distancia en dirección del eje Z entre los puntos de anclaje en pies.

I_p = Momento de inercia de la sección transversal del tubo.

C = Factor de expansión térmica.

Ya que se han determinado los valores de las fuerzas de reacción F_x , F_y y F_z , regresar a los diagramas de proyección de la configuración en los tres planos (x-y, x-z, y-z) y aplique las reacciones respectivas sobre el centroide en cada plano. Las fuerzas en el centroide multiplicadas por la distancia de extremo libre, nos da los momentos de reacción en este punto. La fuerza en el centroide multiplicada por la distancia a cualquier otro punto nos da el momento flexionante en dicho punto.

Cada punto del sistema está sujeto a un torque producido por el momento en el plano perpendicular al segmento de la línea. Una vez que se ha determinado el momento de torsión, se debe determinar el momento flexionante resultante el cual se obtiene de la suma vectorial de los otros dos momentos que suceden en el punto de consideración

Una vez localizado el punto donde ocurre el máximo momento flexionante, el mínimo torsional deberá determinarse en cual sucede el máximo esfuerzo combinado, el cual debe ser menor que el esfuerzo admisible, de lo contrario deberá modificarse la configuración.

INERCIAS DE LINEAS

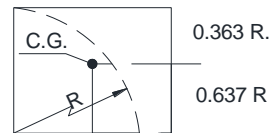
Cuando se determina la localización del centroide de un sistema y el valor de las inercias es necesario considerar cada segmento individualmente. El valor de cada segmento es función de su longitud, forma y localización aplicada a su centro de gravedad.

CENTRO DE GRAVEDAD DE SEGMENTOS DE LINEA (C. G.)

LINEA RECTA



CURVA 90°



CENTROIDE

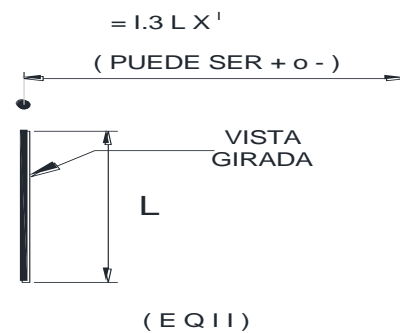
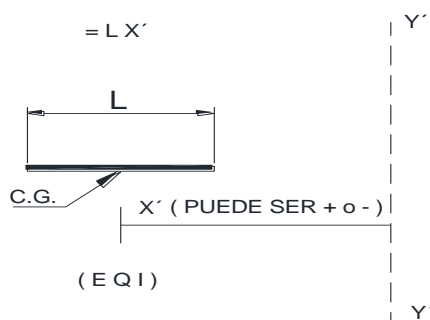
El centroide de un sistema es localizado por la suma algebraica de los productos individuales de los valores de los segmentos y la distancia normal desde el eje al C.G.

LINEA RECTA EN EL PLANO PERPENDICULAR

LINEA RECTA

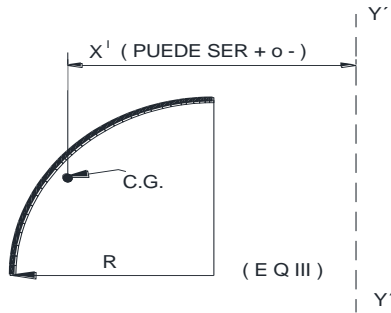
DE PROYECCIÓN

AL PLANO DE PROYECCIÓN.



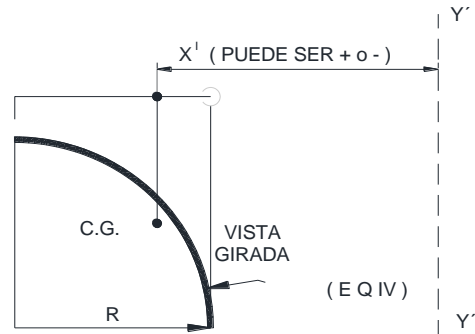
CURVA 90° EN EL PLANO PERPENDICULAR DE PROYECCIÓN

$$= R \frac{\pi R}{2} x^I = 1.57 R R x^I$$



CURVA 90° AL PLANO DE PROYECCIÓN

$$= 1.15 \frac{\pi R}{2} x^I = 1.81 R x^I$$

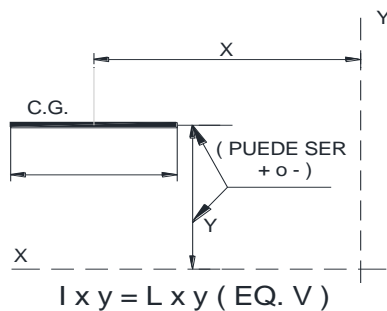


PRODUCTO DE INERCIA

El producto de inercia de un elemento es su longitud multiplicada por sus distancias desde los dos ejes. El producto de inercia de un sistema es la suma de todos aquellos productos. Entonces las distancias X y Y pueden tener signo + o -, y el resultado será positivo o negativo.

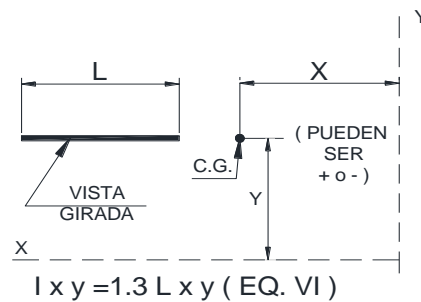
Las siguientes formulas dan el producto de inercia para diferentes segmentos de línea:

Línea recta en el plano de Proyección paralela a Cualquier eje.



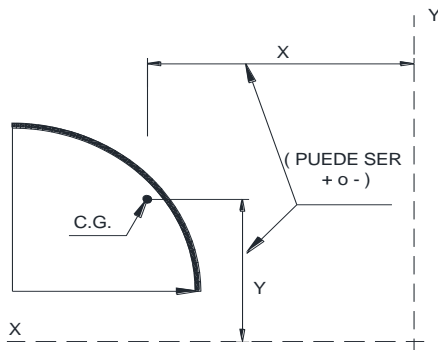
$$I_{xy} = L x y \text{ (EQ. V)}$$

Línea recta perpendicular al plano de proyección



$$I_{xy} = 1.3 L x y \text{ (EQ. VI)}$$

CURVA 90° EN EL PLANO DE PERPENDICULAR PROYECCIÓN CON REFERENCIA A LOS EJES NO A TRAVÉS DEL C.G.



$$I_{xy} = \pm R \left(0.137 R^3 \right) + R \frac{\pi R}{2} xy$$

VIII)

$$= \pm R \left(0.137 R^3 \right) + 1.57 R Rxy$$

(EQ. VII)

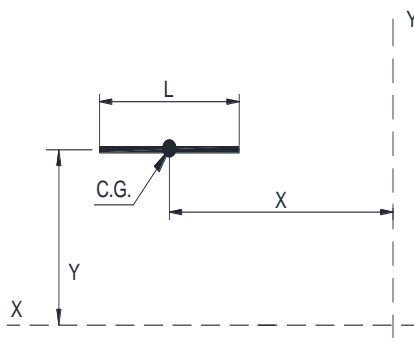
MOMENTO DE INERCIA

El momento de inercia de un elemento es su longitud multiplicada por el cuadrado de su distancia desde un eje.

El momento de inercia de un sistema es la suma de todos aquellos productos, el momento de inercia tiene signo positivo únicamente.

Las siguientes formulas dan el momento de inercia para diferentes segmentos de línea:

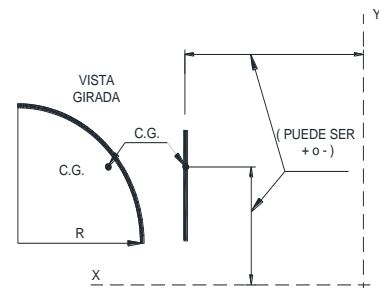
LÍNEA RECTA EN EL PLANO DE PROYECCIÓN



$$I_x = L y^2 \text{ (PARALELA AL EJE) (Eq. IX A)}$$

$$I_y = \frac{L^3}{12} + Lx^2 \text{ (PERPENDICULAR AL EJE) (Eq. IX B)}$$

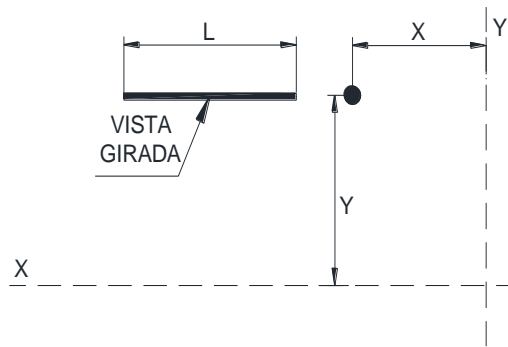
CURVA 90° AL PLANO DE



$$I_{xy} = 1.15 \frac{\pi R}{2} xy \quad \text{(EQ.)}$$

$$= 1.81 Rxy$$

LINEA RECTA PERPENDICULAR AL PLANO DE PROYECCIÓN

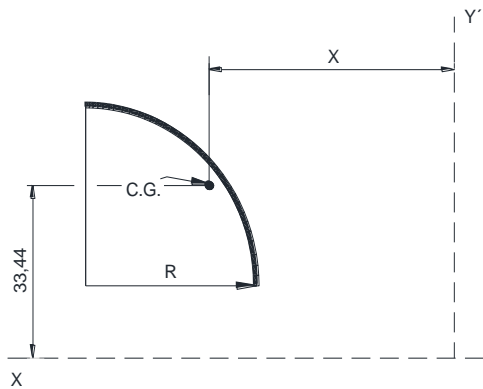


$$I_x = 1.3 L y^2$$

(Eq. X)

$$I_y = 1.3 L x^2$$

CURVA 90° EN EL PLANO DE PROYECCIÓN

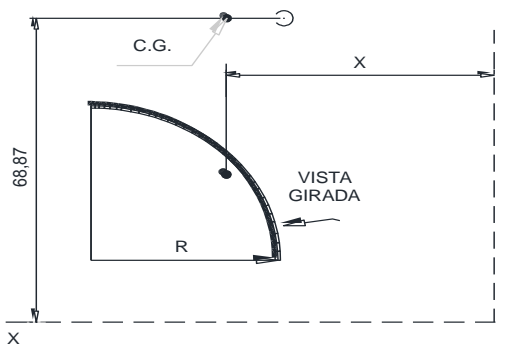


$$I_x = R (0.149 R^3) + R \frac{\pi R}{2} y^2 \text{ (Eq. XI A)}$$

$$= R (0.149 R^3) + 1.57 R R y^2$$

$$I_y = R (0.149 R^3) + 1.57 R R x^2 \text{ (Eq. XI B)}$$

CURVA 90° PERPENDICULAR AL PLANO DE PROYECCIÓN

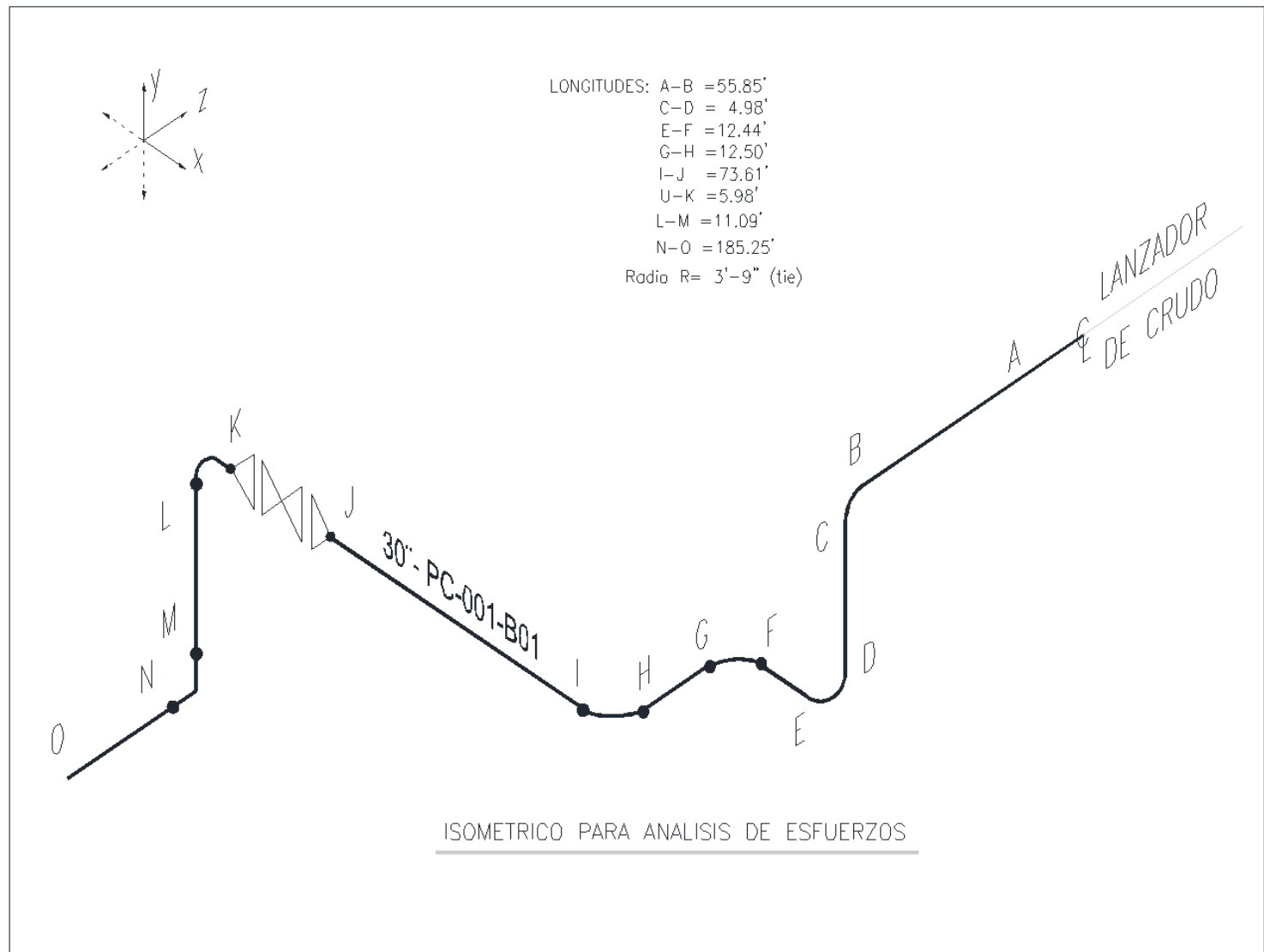


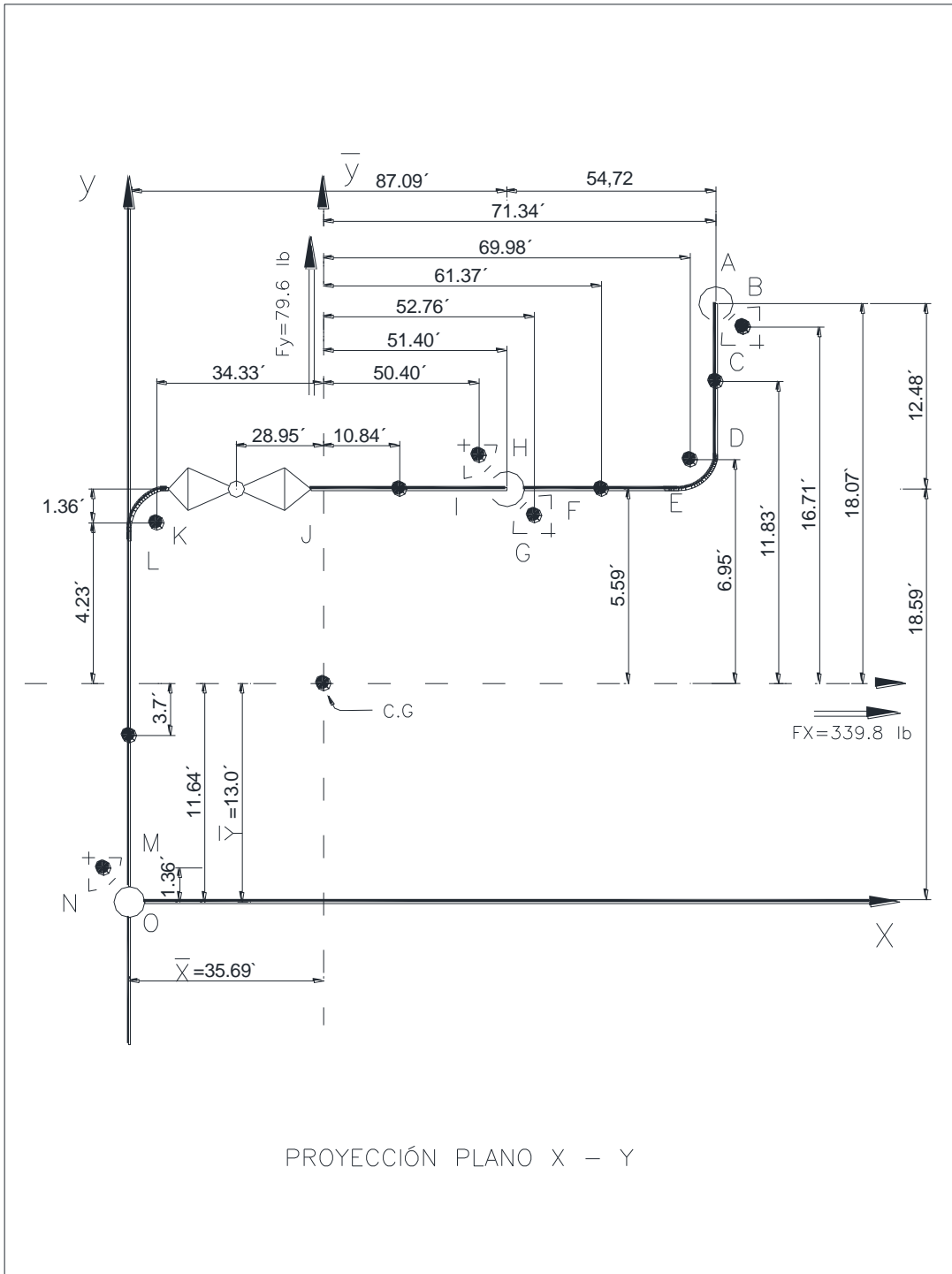
$$I_x = 1.15 \frac{\pi R}{2} y^2 \text{ (Eq. XII A)}$$

$$= 1.81 R y^2 \text{ (PARALELA AL EJE)}$$

$$I_y = 1.15 (0.149 R^3) + 1.81 R x^2 \text{ (Eq. VIII B)}$$

(PERPENDICULAR AL EJE)





PLANO X - Y

CENTRO DE GRAVEDAD (CALCULADO CON ORIGEN EN O)

SEG. y'	NUM. EQ. Ly'	LONGITUD L, FT	x'	Lx'
AB 31.07	II 2255.7	1.3 X 55.85 = 72.6	107.03	7770.4
BC 29.71	IV 202.0	1.81 X 3.75 = 6.8	107.03	727.8
CD 24.83	I 123.6	4.98 = 4.9	107.03	533.0
DE 19.95	III 1937.1	1.57 X 16.5 X 3.75 = 97.1	105.67	10260.5
EF 18.59	I 230.5	12.46 = 12.4	97.03	1203.2
FG 18.59	IV 126.4	1.81 X 3.75 = 6.8	88.45	601.4
GH 18.59	II 301.1	1.3 X 12.5 = 16.2	87.09	1410.8
HI 18.59	IV 126.4	1.81 X 3.75 = 6.8	85.73	582.9
IJ 18.59	I 1368.4	73.61 = 73.6	46.53	120.1
JK 18.59	I 111.1	5.98 = 5.9	6.74	40.3
KL 17.23	III 1673.0	1.57 X 16.5 X 3.75 = 97.1	1.36	132.0
LM 9.29	I 103.0	11.09 = 11.0	0	0
MN 1.36	IV 9.2	1.81 X 3.75 = 6.8	0	0
NO 0	II 0	1.3 X 182.25 = 236.9	0	0

$$\sum L = 655.1 \quad \sum L x' = 23382.4 \quad \sum L y' = 8567.7$$

$$\bar{X} = \frac{\sum L x'}{\sum L} = \frac{23382.4}{655.1} = 35.69 \text{ ft}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum L y'}{\sum L} = \frac{8564.7}{655.1} = 13.0 \text{ ft}$$

MOMENTO DE INERCIA I_y

SEG	NUM EQ.		
AB	X	$1.3L x^2 = 1.3 x x55.85 (71.34)^2$	369515.6
BC	XII A	$181Rx^2 = 1.81 R (71.34)^2$	34544.3
CD	IX	$Lx^2 = 4.98 (71.34)^2$	25345.2
DE	XI B	$k (0.149 R^3) + 1.57 Kb X^2 = K(0.19r^3) + 1.57 Kr (69.98)^2$	462362.9
EF	IX B	$L^{3/12} + Lx^2 = (12.44)^{3/12} + 12.44 (61.37)^2$	47012.9
FG	XII B	$1.15(0.149 R^3) + 1.81 Rx^2 = 1.15 (0.149R^3) + 1.81 R (52.76)^2$	18902.8
GH	X	$1.3 Lx^2 = 1.3 x 12.5 (51.4)^2$	42931.8
HI	XII B	$1.15 (0.149 R^3) + 1.81R x^2 = 1.15 (0.149 R^3) + 1.18 R (50.04)^2$ 17004.9	
IJ	IXB	$L^{3/12} + Lx^2 = (73.61)^{3/12} + 73.61 (10.84)^2$	41887.1
JK	IXB	$L^{3/12} + Lx^2 = (5.98)^{12} + 5.98 (-28.95)^2$	5029.4
KL	XIB	$k(0.149R^3) + 1.57 KR x^2 = K(0.149R^3) + 1.57 KR (-34-33)^2$	114618.3
LM	IXA	$Lx^2 = 11.09 (-35.69)^2$	14126.2
MN	XIIA	$1.81 Rx^2 = 1.81 R (-35.69)^2$	8645.7
NO	X	$1.3L x^2 = 1.3 x 182.25 (-35.69)^2$	301789.4

$$\sum I_y = 1503716.5$$

PLANO X – Y
PRODUCTO DE INERCIA I_{xy}

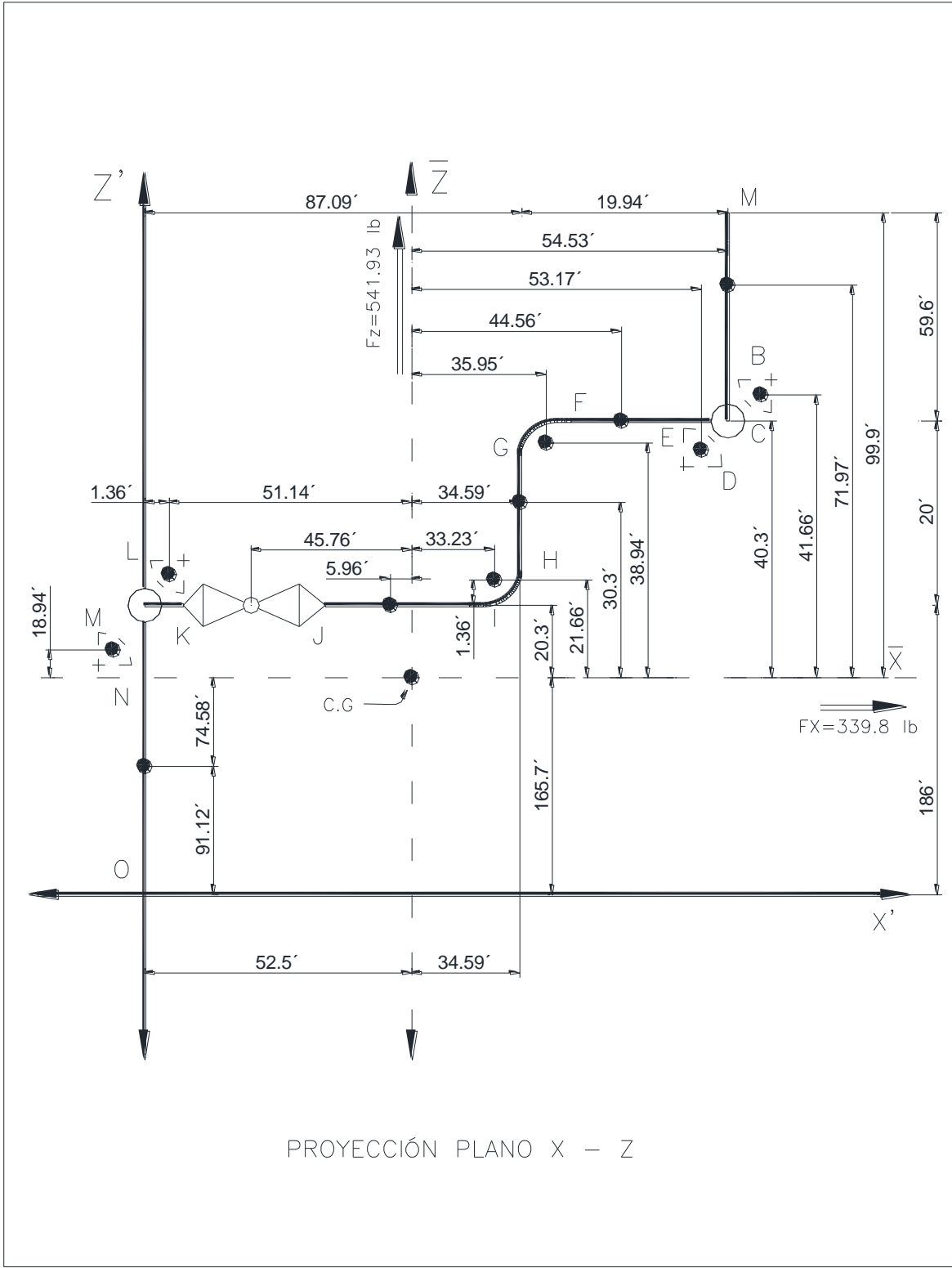
SEG.	UN. EQ.		
AB	VI	$1.3 L x y = 1.3 x 55.85 x 71.34 x 18.07$	+ 93596.1
BC	VIII	$1.81 R_{xy} = 1.81 x 3.75 x 71.34 x 16.71$	+ 8091.3
CD	V	$L_{xy} = 4.98 x 71.34 x 11.83$	+ 4202.9
DE	VII	$k (0.137R3) + 1.57kRy = k (0.37R3) H.57 KR x 69.98 x 6.95 =$	+ 47366.1
EF	V	$L_{xy} = 12.44 x 61.37 x 5.59 =$	+ 4267.6
FG	VIII	$1.891 R_{xy} = 1.81 R x 52.76 x 5.59 =$	+ 2001.8
GH	VI	$1.3 L_{xy} = x 12.5 x 51.4 x 5.59 =$	+ 4669.0
HI	VII	$1.81 R_{xy} = 1.81 R x 50.04 x 5.59 =$	+ 1898.6
IJ	V	$L_{xy} = 73.61 x 10.84 x 5.59 =$	+ 4460.4
JK	V	$L_{xy} = 5.98 x (-28.95) x 5.59 =$	- 967.7
KL	VII	$K (0.137 R3) + 1.5 KR x y = K (0.137 R3) + 1.157 KR (-34.33) (4.23) =$	- 13987.6
LM	V	$L_{xy} = 11.09 (-35.69) (-3.7) =$	+ 1464.4
MN	VIII	$1.81 R_{xy} = 1.81 R (-35.69) (-11.64) =$	+ 2919.7
NO	VI	$1.3 L_{xy} = 1.3 x 182.25 (-35.69) (-13) =$	+ 109926.0

$$\sum I_{xy} = + 269808.6$$

MOMENTO DE INERCIA I_x

SEG.	NUM. EQ.		
AB	X	$1.3 Ly^2 = 1.3 \times 55.85 (18.07)^2$	23707.3
BC	XII B	$1.15 (0.149 R^3) + 1.81Ry^2 = 1.15 (0.149 R^3) + 1.81R (16.71)^2$	1904.2
CD	IX B	$L^3/12 + Ly^2 = (4.98)^3/12 + 4.98 (11.83)^2$	707.2
DE	XI A	$K (0.149R^3) + 1.57 KR Y^2 = K (0.149R^3) + 1.57 KR (6.95)^2$	4821.9
EF	IX A	$Ly^2 = 12.44 (5.59)^2$	388.7
FG	XII A	$1.81Ry^2 = 1.81 R (5.59)^2$	212.1
GH	X	$1.3 Ly^2 = 1.3 \times 12.5 (5.59)^2$	507.8
HI	XII A	$1.81Ry^2 = 1.81 R (5.59)^2$	212.1
IJ	IX A	$Ly^2 = 73.61 (5.59)^2$	2300.1
JK	IX A	$Ly^2 = 5.98 (5.59)^2$	186.9
KL	XI A	$K (0.149R^3) + 1.57KRy^2 = k (0.149 r^3) + 1.57 kr (4.23)^2$	1867.8
LM	IX B	$L^3/12 + Ly^2 = (11.09)^3/12 + 11.09 (-3.7)^2$	265.5
MN	XII B	$1.15 (0.149R^3) + 1.81 Ry^2 = 1.15 (0.149R^3) + 1.81R (-11.64)^2$	928.7
NO	X	$1.0 Ly^2 = 1.3 \times 182.25 (-13)^2$	40040.3

$$\sum I_x = + 78050.6$$



PLANO X – Z

CENTRO DE GRAVEDAD (CALCULADO CON ORIGEN EN O)

SEG.	NUM EQ.	LONMGITUD L, FT	x'	Lx'	z	Lz'
AB	I	55.85 = 55.80	107.03	5977.6	235.8	13169.4
BC	IV	1.81 x 3.75 = 6.80	107.03	727.8	207.36	1410.0
CD	II	1.3 x 4.98 = 4.90	107.03	521.2	206.0	1003.2
DE	IV	1.81 x 3.75 = 6.80	105.67	718.6	206.0	1400.8
EF	J	12.44 = 12.40	97.06	1207.4	206.0	2562.6
FG	III	1.57 x 16.5 x 3.75 = 97.10	88.45	8588.5	204.64	19870.5
GH	I	12.5 = 2.50	87.09	1088.6	196.0	2450.0
HI	III	1.57 x 16.5 x 3.75 = 97.10	85.73	8324.3	187.36	18192.6
IJ	I	73.6 = 73.60	46.53	3425.0	186.0	13691.4
JK	I	5.98 = 5.90	6.74	40.3	186.0	1112.3
KL	IV	1.81 x 3.75 = 6.80	1.36	9.2	186.0	1264.8
LM	II	1.3 x 11.09 = 4.40	0	0	186.0	2680.3
MN	IV	1.81 x 3.75 = 6.80	0	0	184.64	1255.6
NO	I	182.25 = 182.25	0	0	91.12	16606.6
		$\sum L = 583.3$		$\sum Lx' = 30628.5$		$\sum Lz' = 96670.1$

$$\bar{X} = \frac{\sum Lx'}{\sum L} = \frac{30628.5}{583.3} = 52.5 \text{ ft}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Lz'}{\sum L} = \frac{96670.1}{583.3} = 165.7 \text{ ft}$$

PLANO X – Z

PRODUCTO DE INERCIA I_{xz}

SEG.	NUM. EQ.		
AB	V	L x Z = 55.85 X 54.53 x 71.97	+ 319 184.7

BC	VIII	$1.81 R_{xz} = 1.81 R \ 54.53 \times 41.66$	+ 15419.3
CD	VI	$1.3 L_{xz} = 1.3 \times 4.98 \times 54.53 \times 40.3$	+ 14227.0
DE	VII	$1.81 R_{xz} = 1.81 R \times 53.17$	+ 14543.9
EF	V	$L X z = 12.44 \times 44.56 \times 40.3$	+ 22339.3
FG	VII	$-K (0.137R3) + 1.57 KR_{xz} = -k (0.137R3) + 1.57KR \times 35.95 \times 38.94$	+ 136110.0
GH	V	$L_{xz} = 12.5 \times 34.59 \times 30.3$	+ 13100.9
HI	VII	$-K (0.137R) + 1.57 KR \times z = -k (0.137R3) + 1.57 KR \ 33.23 \times 21.66$	+ 70039.6
IJ	V	$L \times z = 73.61 (-5.96) \ 20.3$	- 8905.9
JK	V	$L \times z = 5.98 (-45.76) \ 20.3$	- 5555.0
KL	VIII	$1.81 R_{xz} = 1.81 R (-51.14) \ 20.3$	- 7046.4
LM	VI	$1.3L \times z = 1.3 \times 11.09 (-52.5) \ 20.3$	- 15364.9
MN	VIII	$1.81R \times z = 1.81 R (-52.5) (18.94)$	- 6749.1
NO	V	$L \times z = 182.25 (-52.5) (-74.58) + 713590.8$	

$$\sum I_{xz} = 1174934.2$$

MOMENTO DE INERCIA I_x

SEG.	NUM. EQ.		
AB	IX A	$L^{3/12} + Lz^2 = (55.85)^{3/12} + 55.85 (71.97)^2$	303802.6
BC	XII B	$1.15 (0.149 R^3) + 1.81 Rz^2 = 1.15 (0.49R^3) + 1.81R (41.66)^2$	11789.1
CD	X	$1.3 Lz^2 = 1.3 \times 11.09 (40.3)^2$	23414.5
DE	XII A	$1.81 Rz^2 = 1.81 \times 3.75 (40.3)^2$	11023.7
EF	IX A	$Lz^2 = 12.44 (40.3)^2$	20203.7
FG	XI A	$K (0.149R^3) + 1.57 KRz^2 = K (0.149R^3) + 1.57 KR (38.94)^2$	147434.0
GH	IX A	$L^{3/12} + Lz^2 = (12.5)^{3/12} + 12.5 (30.3)^2$	11638.9
HI	XI A	$K (0.149 R^3) + 1.57 KRz^2 = K (0.149 R^3) + 1.57KR (21.66)^2$	45705.2
IJ	IX A	$Lz^2 = 73.61 (20.3)^2$	30333.9
JK	XI A	$Lz^2 = 5.98 (20.3)^2$	2464.3
KL	XII A	$1.81 Rz^2 = 1.81 R (20.3)^2$	2797.0
LM	X	$1.3 Lz^2 = 1.3 \times 11.09 (20.3)^2$	5941.1
MN	XII B	$1.15 (0.149 R^3) + 1.81 Rz^2 = 1.15 (0.149 R^3) + 1.81 R (18.94)^2$	2443.9
NO	IX B	$L^{3/12} + Lz^2 = (182.25)^{3/12} + 182.25 (-74.58)^2$	1518160.4

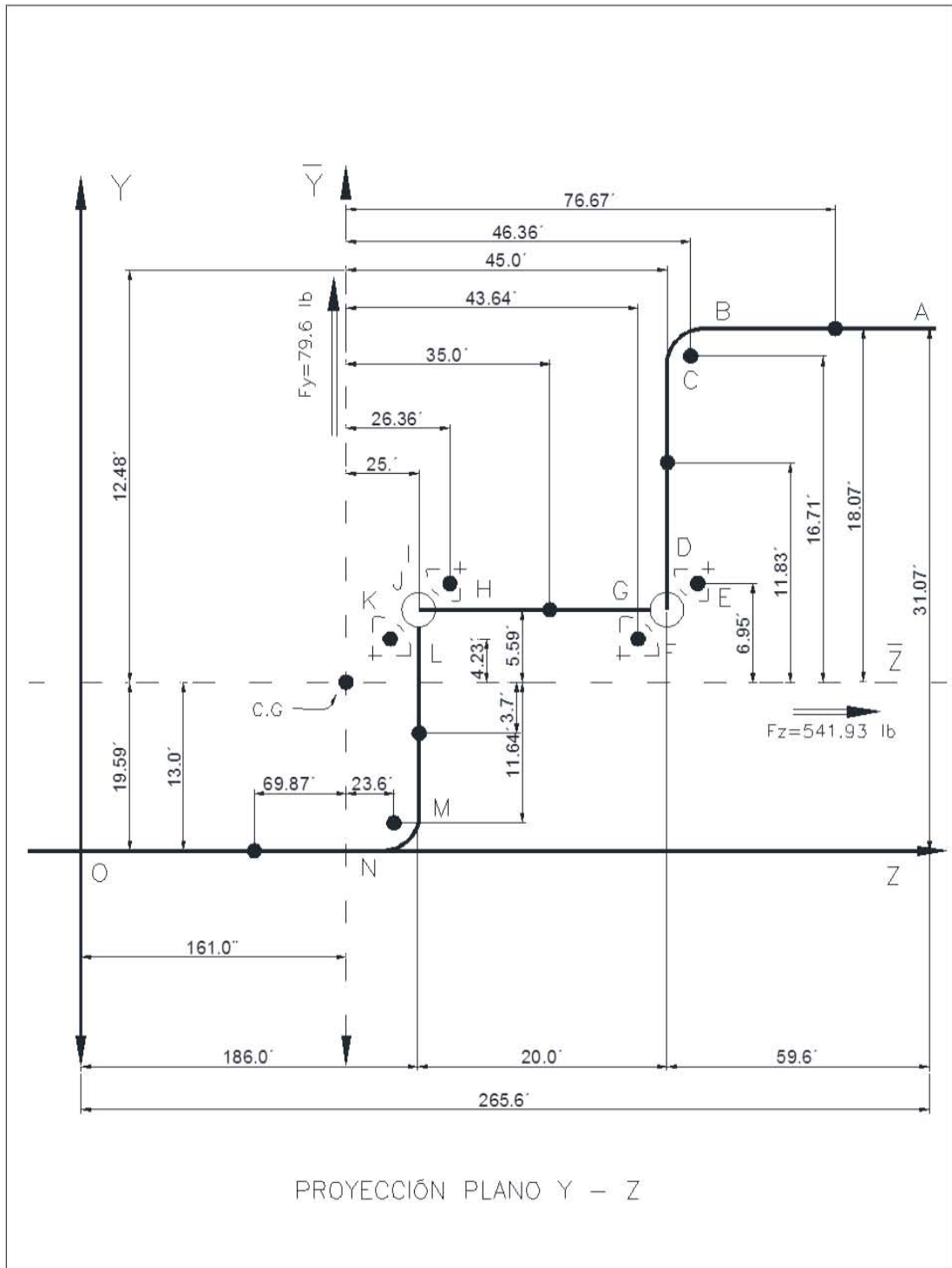
$$\sum I_x = 2137149.1$$

PLANO X – Z

MOMENTO DE INERCIA I_z

SEG.	NUM. EQ.		
AB	IX A	$L_{xz} = 55.85 (54.58)^2$	166071.1
BC	XII A	$1.81 R_{xz} = 1.81 r (54.53)^2$	20182.8
CD	X	$1.3 L_{xz} = 1.3 \times 4.98 (54.53)^2$	19250.6
DE	XII B	$1.15 (0.149R^3) + 1.81 R x^2 = 1.15 (0.149 R^3) + 1.81R (53.17)^2$	19197.6
EF	IX B	$L^{3/12} + L_{xz} = (12.44)^{3/12} + 12.44 (44.56)^2$	24861.2
FG	XI B	$K (0.149R^3) + 1.57 KR x^2 = k (0.149 R^3) + 1.57 KR (35.95)^2$	125557.3
GH	IX A	$Lx^2 = 12.5 (34.59)^2$	14955.8
HI	XI B	$K (0.149R^3) + 1.57 KR_{xz} = K (0.149R^3) + 1.57 KR (33.23)^2$	107398.9
IJ	IX B	$L^{3/12} + Lx^2 = (73.61)^{3/12} + 73.61 (-5.96)^2$	35852.3
JK	IX B	$L^{3/12} + Lx^2 = (5.98)^{3/12} + 5.98 (-45.76)^2$	12539.8
KL	XII B	$1.15 (0.149R^3) + 1.81 R x^2 = 1.15 (0.149r^3) + 1.81r (-51.14)^2$	17760.4
LM	X	$1.3 Lx^2 = 1.3 \times 11.09 (-52.5)^2$	39736.8
MN	XII A	$1.81 R x^2 = 1.81 \times R (-52.5)^2$	18708.0
NO	IX A	$Lx^2 = 182.25 (-52.5)^2$	502326.6

$$\sum I_z = 1124399.7$$



PROYECCIÓN PLANO Y - Z

PLANO Y – Z
CENTRO DE GRAVEDAD (CALCULADO CON ORIGEN EN O)

SEG.	NUM. EQ.	LONGITUD L, FT	Y'	Ly'	Z'	LZ'
AB	I	55.85 = 55.8	31.07	1735.3	174.47	9744.1
BC	III	1.57 x 16.5 x 3.75 = 97.1	29.71	2884.8	207.36	20134.6
CD	I	4.98 = 4.9	24.83	123.6	206.0	1025.9
DE	IV	1.81 x 3.75 = 6.8	19.95	135.7	206.0	1400.8
EF	II	1.3 x 12.44 = 16.1	18.59	300.6	206.0	3331.0
FG	IV	1.81 x 3.75 = 6.8	18.59	126.4	204.64	1391.5
GH	I	12.5 = 12.5	18.59	232.4	196.0	2450.0
HI	IV	1.81 x 3.75 = 6.8	18.59	126.4	187.36	1274.0
IJ	II	1.3 x 73.61 = 95.7	18.59	1779.0	186.0	17800.2
JK	II	1.3 x 5.98 = 7.7	18.59	144.4	186.0	1445.8
KL	IV	1.81 x 3.75 = 6.8	17.23	117.1	186.0	1264.8
LM	I	11.09 = 11.0	9.3	103.1	186.0	2062.7
MN	III	1.57 x 16.5 x 3.75 = 97.1	1.36	132.0	184.64	17928.5
°NO	I	182.25 = 182.2	0	0	91.12	16606.6
		$\sum L = 607.7$	$\sum L y' = 7940.8$		$\sum L z' = 97859.9$	

$$\bar{X} = \frac{\sum L y'}{\sum L} = \frac{7940.8}{607.7} = 13.0 \text{ FT}$$

$$\bar{Z} = \frac{\sum L z'}{\sum L} = \frac{97859.9}{607.7} = 161.0 \text{ FT}$$

PLANO Y – Z

PRODUCTO DE INERCIA I_y

SEG.	NUM. EQ.		
AB	V	$L_{yz} = 55.86 \times 18.07 \times 76.67$	+ 77376.1
BC	VII	$K (0.137R3) + 1.57 kR_{yz} = K (0.137R3) + 1.57 KR 16.71 \times 46.36$	+ 75114.8
CD	V	$L_{yz} = 4.98 \times 11.83 \times 45$	+ 2651.1
DE	VIII	$1.81 R_{yz} = 1.81 R 6.95 \times 45$	+ 2122.8
EF	VI	$1.3 L_{yz} = 1.3 \times 12.44 \times 5.59 \times 45$	+ 4068.0
FG	VIII	$1.81 R_{yz} = 1.81 R 5.59 \times 43.64$	+ 1655.8
GH	V	$L_{yz} = 12.5 \times 5.59 \times 35$	+ 2445.6
HI	VIII	$1.81 R_{yz} = 1.81 R 5.59 \times 26.36$	+ 1000.1
IJ	VI	$1.3 L_{yz} = 1.3 \times 73.61 \times 5.59 \times 25$	+ 13373.1
JK	VI	$1.3 L_{yz} = 1.3 \times 5.98 \times 5.59 \times 25$	+ 1086.4
KL	VIII	$1.85 R_{yz} = 1.81 R 4.23 \times 25$	+ 717.8
LM	V	$L_{yz} = 11.09 (-3.7) 25$	- 1025.8
MN	VII	$K (0.137 R3) + 1.57 KR_{yz} = K (0.137 R3) + 1.57KR (-11.64) (-23.64)$	- 26850.2
NO	V	$L_{yz} = 182.25 (-13) 69.87$	+ 165539.5

$$\sum I_{yz} = 319275.1$$

MOMENTO DE INERCIA I_y

SEG.	NUM. EQ		
AB	IX B	$L^{3/12} + L z^2 = (55.85)^{3/12} + 55.85 (76.67)^2$	342819.8
BC	XI A	$K (0.149 R^3) + 1.57 KRz^2 = K(0.149R^3) + 1.57 KR (46.36)^2$	208915.8
CD	IX A	$Lz^2 = 4.98 (45)^2$	10084.5
DE	XII A	$1.81 Rz^2 = 1.81 R (45)^2$	13744.7
EF	X	$1.3 Lz^2 = 1.3 \times 12.44 (45)^2$	32748.3
FG	XII B	$1.15 (0.149 R^3) + 1.81 Rz^2 = 1.15 (0.149 R^3) + 1.81 R (43.64)^2$	12935.5
GH	IX B	$L^{3/12} + Lz^2 = (12.5)^{3/12} + 12.5 (35)^2$	15475.2
HI	XII B	$1.15 (0.149R^3) + 1.81 Rz^2 = 1.15 (0.144r^3) + 1.81 r (26.36)^2$	4725.3
IJ	X	$1.3 Lz^2 = 1.3 \times 73.61 (25)^2$	59808.1
JK	X	$1.3 Lz^2 = 1.3 \times 5.98 (25)^2$	4858.8
KI	XII A	$1.81Rz^2 = 1.81 R (25)^2$	4242.2
LM	IX A	$Lz^2 = 11.09 (25)^2$	6931.2
MN	XI A	$K (0.149R^3) + 1.57 KRz^2 = K(0.149R^3) + 1.57 KR (23.64)^2$	54418.4
NO	IX B	$L^{3/12} + Lz^2 = (182.25)^{3/12} + 182.25 (-69.87)^2$	1394164.9

$$\sum I_y = 2165872.7$$

PLANO Y – Z

MOMENTO DE INERCIA I z

SEG.	NUM. EQ.		
AB	IX A	$L_y^2 = 55.85 (18.07)^2$	18236.4
BC	XI A	$K (0.149R^3) + 1.57 K R_y^2 = K (0.149R^3) + 1.57 K R (16.71)^2$	27254.5
CD	IX B	$L^{3/12} + L_y^2 = (4.98)^{3/12} + (4.98)^{3/12} + 4.98 (11.83)^2$	707.2
DE	XII B	$1.15 (0.149R^3) + 1.81 R_y^2 = 1.15 (0.149 R^3) + 1.81R(6.956)^2$	336.9
EF	X	$1.3 L_y^2 - 12.44 (5.59)^2$	388.7
FG	XII A	$1.81 R_y^2 = 1.81 R (5.59)^2$	212.1
GH	IX A	$L_{yz} = 12.5 (5.59)^2$	390.6
HI	XII A	$1.81 R_{yz} = 1.81 R (5.59)^2$	212.1
IJ	X	$1.3 L_y^2 = 1.3 \times 73.61 (5.59)^2$	2990.2
JK	X	$1.3 L_y^2 = 1.3 \times 5.98 (5.59)^2$	242.9
KL	XII B	$1.15 (0.149R^3) + 1.81 R_y^2 = 1.15 (0.149R^3) + 1.81R (4.23)^2$	130.5
LM	IX B	$L^{3/12} + L_y^2 = (11.09)^{3/12} + 11.09 (3.7)^2$	265.5
MN	XI A	$F (0.149R^3) + 1.57 K R_y^2 = K (0.149R^3) + 1.57KR (11.64)^2$	13291.6
NO	IX A	$L_y^2 = 182.25 (-13)^2$	30800.2

$$\sum I_z = 95459.4$$

$$I_x = 78050.6 + 2137149.1 = 2\,215\,199.7$$

$$I_y = 1503\,716.5 + 2165\,872.7 = 3669589.2$$

$$I_z = 1124\,399.7 + 95\,459.4 = 1\,219\,859.1$$

$$I_{xy} = 269\,808.6$$

$$I_{xz} = 1174\,934.2$$

$$I_{yz} = 319275.1$$

$$L_x = 107.03$$

$$L_y = 31.07$$

$$L_z = 265.6$$

$$C_{121}^{\circ F} = 176.3$$

$$I_p = 5042.2$$

$$L_x C I_p = 107.03 \times 176.3 \times 5042.2 = 95143\,233.2$$

$$L_y C I_p = 31.07 \times 176.3 \times 5042.2 = 27\,619\,361.4$$

$$L_z C I_p = 265.6 \times 176.3 \times 5042.2 = 236\,102\,426.8$$

Sustituyendo valores, obtenemos las siguientes ecuaciones.

$$(1) + 2215\,199.7 F_x - 269\,808.6 F_y - 1174\,934.2 F_z = 95\,143\,233.2$$

$$(2) - 269\,808.6 F_x + 3669589.2 F_y - 319\,275.1 F_z = 27619\,361.4$$

$$(3) - 1174\,934.2 F_x - 319\,275.1 F_y + 1319\,859.1 F_z = 236\,102\,426.8$$

SOLUCION DE ECUACIONES

	Fx	Fy	Fz	CONSTANTES	
(1)	+ 22151 99.7	- 269808.6	- 1174934.2	- 95143233.2	
(4)	- 1.0	+ 0.121	+ 0.530	+ 42.95	
(2)	- 269 808.6	+ 3669589.2	- 319275.1	- 27619361.4	
(5)	+ 269808.6	- 32646.8	- 143105.5	- 11512331.2	
(6)	0	+ 3636942.4	- 462380.6	- 39131692.6	
(7)		- 1.0	+ 0.127	+ 10.76	
(3)	- 1174934.2	- 319275.1	+ 1219859.1	- 236102426.8	
(8)	+ 1174934.2	- 143105.5	- 623191.	- 50425913.6	
(9)		+ 462380.6	- 58784.4	- 4974985.4	
(10)	0	0	+ 537893.7	- 291503325.8	
(11)			- 1.0	+ 541.93	
(11A)			- Fz	541.93	
			+ Fz	541.93	541.93
(7A)		- Fy	+ 0.127(541.93)	+ 10.76	0
(7B)		+ Fy	+ 68.82	+ 10.76	79.58
(4A)	- Fx	+0.121(79.58)	+ 0.530(541.93)	+ 42.95	0
	+ Fx	+ 9.63	+ 287.22	+ 42.95	339.8

MOMENTOS

	PLANO X – Y PLANO Y – Z	PLANO X – Z	
A	+ 339.8 (18.07) – 79.6 (71.34)	+ 339.8 (99.9) – 541.9 (54.53)	+ 541.9 (18.07) – 79.6 (104.6)
	= + 461.5	= 4396.2	= + 1466
	M = $\sqrt{(4396.2)^2 + (1466)^2} = 4634$ TB = 461.5		
B	+ 339.8 (18.07) – 79.6 (71.34)	+ 339.8 (44.05) – 541.9 (54.53)	+ 541.9 (18.07) – 79.6 (48.75)
	= + 461.5	= - 14581.6	= + 5911.6
	M = $\sqrt{(14581.6)^2 + (5911.6)^2} = 15734.3$ TB = 461.5		
C	+ 339.8 (14.32) – 79.6 (71.34)	+ 339.8 (40.3) – 541.9 (54.53)	+ 541.9 (14.32) – 79.6 (45)
	= + 812.7	= - 15855.9	= + 4178.0
	M = $\sqrt{(812.7)^2 + (4178)^2} = 7223.8$ TB = 15855.9		
D	+ 339.8 (9.34) – 79.6 (71.34)	+ 339.8 (40.3) – 541.9 (54.53)	+ 541.9 (9.34) – 79.6 (45)
	= + 2504.9	= - 15855.9	= + 1479.3
	M = $\sqrt{(2504.9)^2 + (1479.3)^2} = 2908.9$ TB = 15855.9		
E	+ 339.8 (5.59) – 79.6 (67.59)	+ 339.8 (40.3) – 541.9 (50.78)	+ 541.9 (5.59) – 79.6 (45)
	= + 3480.7	= - 13823.7	= + 552.8
	M = $\sqrt{(3480.7)^2 + (13823.7)^2} = 14255.1$ TB = 552.8		
F	+ 339.8 (5.59) – 79.6 (55.15)	+ 339.8 (40.3) – 541.9 (38.34)	+ 541.9 (5.59) – 79.6 (45)
	= + 2490.4	= - 7082.5	= + 552.8
	M = $\sqrt{(2490.4)^2 + (7082.5)^2} = 7507.6$ TB = 552.8		
G	+ 339.8 (5.59) – 79.6 (51.4)	+ 339.8 (36.55) – 541.9 (34.59)	+ 541.9 (5.59) – 79.6 (41.25)
	= + 2191.9	= - 6324.6	= + 552.8
	M = $\sqrt{(6324.6)^2 + (254.3)^2} = 6329.7$ TB = 2191.9		
H	+ 339.8 (5.59) – 79.6 (51.4)	+ 339.8 (24.05) – 541.9 (34.59)	+ 541.9 (5.59) – 79.6 (28.75)
	= + 2191.9	= - 10572.1	= + 740.72
	M = $\sqrt{(10572.1)^2 + (740.7)^2} = 10598$ TB = 2191.9		

	PUNTO	MOMENTO FLEXIONANTE (16 - ft)	TORQUE (16 – ft)
	A	4634.0	461.5
	B	15734.3	461.5
	C	7223.8	15855.9
	D	2908.9	15 855.9
	E	14255.1	552.8
	F	7507.6	552.8
	G	6329.7	2191.9
	H	10598.0	2191.9
	I	9995.0	1039.2
	J	30335.3	1039.2
	K	33610.4	1039.2
	L	3605.5	35347.7
**	M	7009.1	35347.7
*	N	35175.5	1576.4
	O	29994.2	1576.4

* El máximo momento flexionante, es de 35 175.5 lb- ft, el cual ocurre en el punto “N”, que es tubo curvado con un factor de intensificación de esfuerzo $i = 0.408$. Un torque “T”, de 1576.4 lb- ft.

** El máximo torque “T”, es 35347.7 lb – ft en la línea L-M y el momento flexionante “M”, es de 7009.1 lb – ft en el punto “M”, que es tubo curvado con un factor de intensificación de esfuerzo $i = 4.08$.

El máximo esfuerzo de expansión se determina como sigue:

Caso *

$$M = 35175.5 \text{ lb – ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 422106 \text{ lb - in}$$

$$T = 1576.4 \text{ lb – ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 18916.8 \text{ lb - in}$$

$$S_B = \frac{M}{Z} i = \frac{422\ 106}{336} \times 4.08 = 5125.5 \text{ PSI}$$

$$S_T = \frac{T}{2Z} = \frac{18916.8}{2 \times 336} = 28.15 \text{ PSI}$$

$$S_E = \sqrt{(S_B)^2 + 4(S_T)^2} = \sqrt{(5125.5)^2 + 4(28.25)^2}$$

$$S_E = 5125.8 \text{ PSI}$$

Caso * *

$$M = 7009.1 \text{ lb} - \text{ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 84109.2 \text{ lb} - \text{in}$$

$$T = 35347.7 \text{ lb} - \text{ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 424172.4 - \text{in}$$

$$S_B = \frac{M}{Z} i = \frac{84109.2}{336} \times 4.08 = 1021.3 \text{ PSI}$$

$$S_T = \frac{T}{2Z} = \frac{424172.4}{2 \times 336} = 631.2 \text{ PSI}$$

$$S_E = \sqrt{(S_B)^2 + 4(S_T)^2} = \sqrt{(1021.3)^2 + 4(631.2)^2}$$

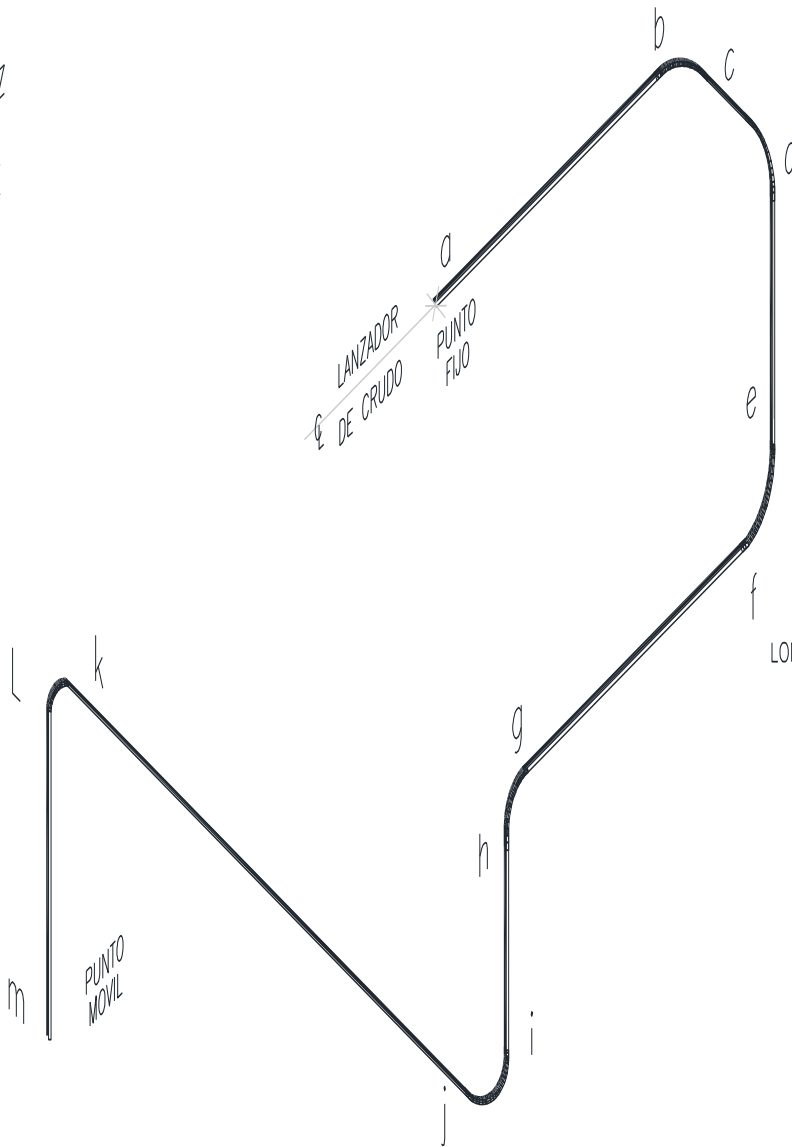
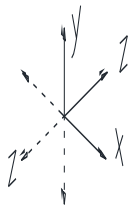
$$S_E = 1623.5 \text{ PSI}$$

El máximo esfuerzo de expansión S_E , es 1623.5 psi, ocurre en el punto "N" y es menor que el esfuerzo admisible S_A , de 17000 psi, por lo tanto el sistema no está esforzado y es flexible.

METODO DEL CENTRO ELASTICO

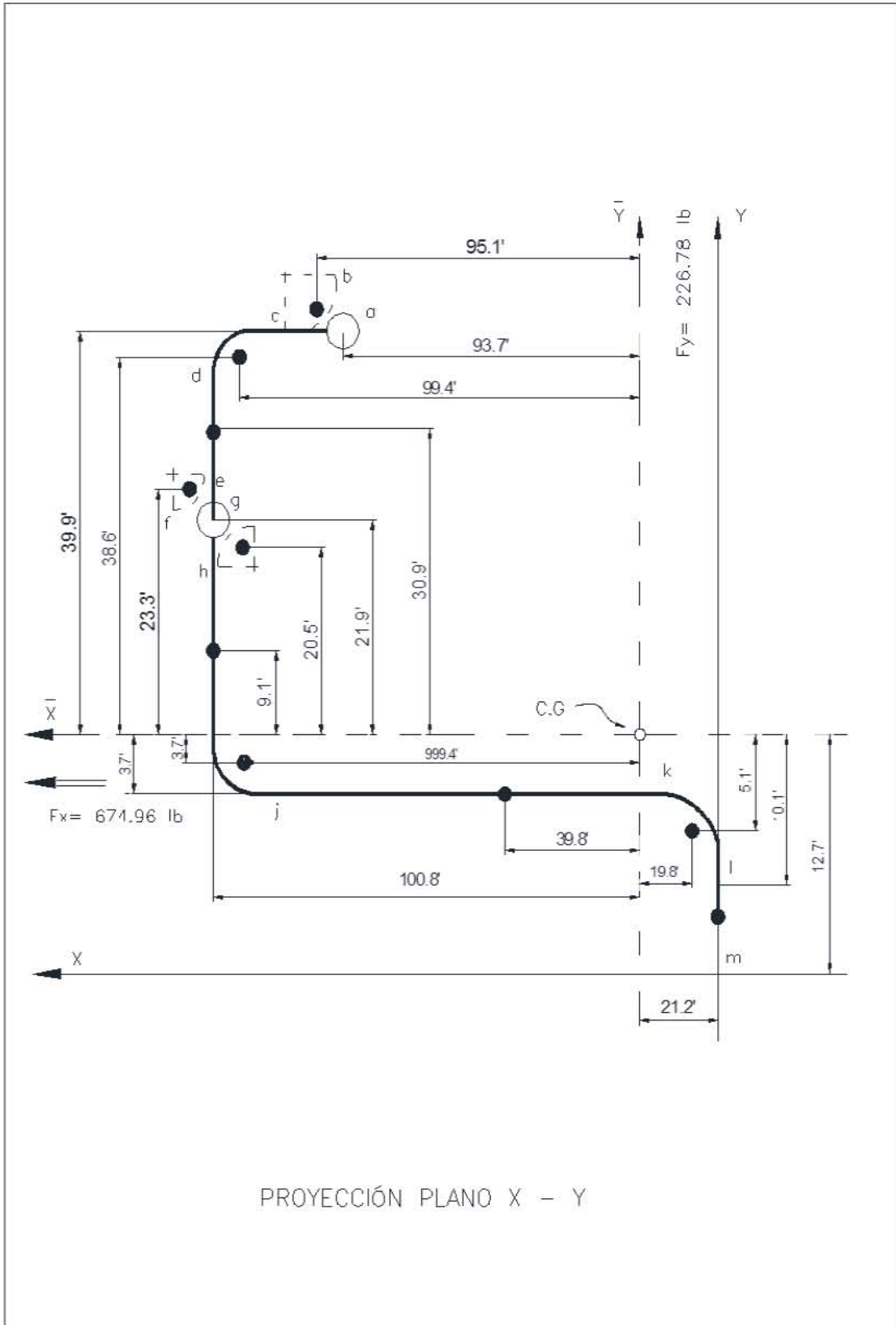
LINEA: 36"- PC - 002-B01

Presión de operación	$P = 125 \text{ PSI}$
Temperatura de operación	$T = 212 \text{ }^\circ\text{F}$
Material	SA - 333 Gr. 6
Espesor	$t = 0.5 \text{ in}$
Esfuerzo admisible	$S_A = 17000 \text{ PSI}$
Diámetro nominal	$D = 36 \text{ in}$
Diámetro interior	$d = 35 \text{ in}$
Momento de inercia	$I = 8756 \text{ in}^4$
Módulo de sección	$Z = 488 \text{ in}^3$
Característica de flexibilidad	$h = 0.07$
Factor de intensificación del esfuerzo	$i = 5.29$
Factor de flexibilidad	$k = 23.6$
Factor de expansión térmica	$C = 176.32$



LONGITUDES: a-b = 12.75'
d-e = 10.50'
f-g = 10.50'
h-i = 18.14'
j-k = 114.5'
l-m = 5.25'
Radio R= 3'-9 (tie)

ISOMETRICO PARA ANALISIS DE ESFUERZOS



CENTRO DE GRAVEDAD

SEG.	No. EQ.	L	x'	Lx'	y'	Ly'
a b	I	12.75	114.92	1465.2	52.64	671.2
b c	IV	1.85 X 3.75 = 6.79	116.29	709.3	52.64	257.2
c d	III	1.57 X 23.6 X 3.75 = 138.95	120.64	16762.2	51.28	7124.9
d e	I	10.5	122.0	1281.0	43.64	458.2
e f	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	122.0	828.1	36.0	244.4
f g	I	10.5	122.0	1281.0	34.64	363.7
g h	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	122.0	828.1	33.28	225.9
h i	I	18.14	122.0	2213.1	21.82	395.8
i j	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	120.64	818.9	10.36	70.3
j k	I	114.5	61.0	6984.5	9.0	1030.5
k l	III	1.57 X 23.6 X 3.75 = 1316.45	1.36	1792.9	7.64	10056.3
l m	I	5.25	0.0	0.0	2.63	13.8
$\Sigma L = 1654.18$			$\Sigma Lx' = 35044.4$		$\Sigma Ly' = 21012.4$	

$$\bar{x} = \frac{\Sigma Lx'}{\Sigma L} = 21.2$$

$$\bar{y} = \frac{\Sigma Ly'}{\Sigma L} = 12.7$$

PRODUCTO DE INERCIA

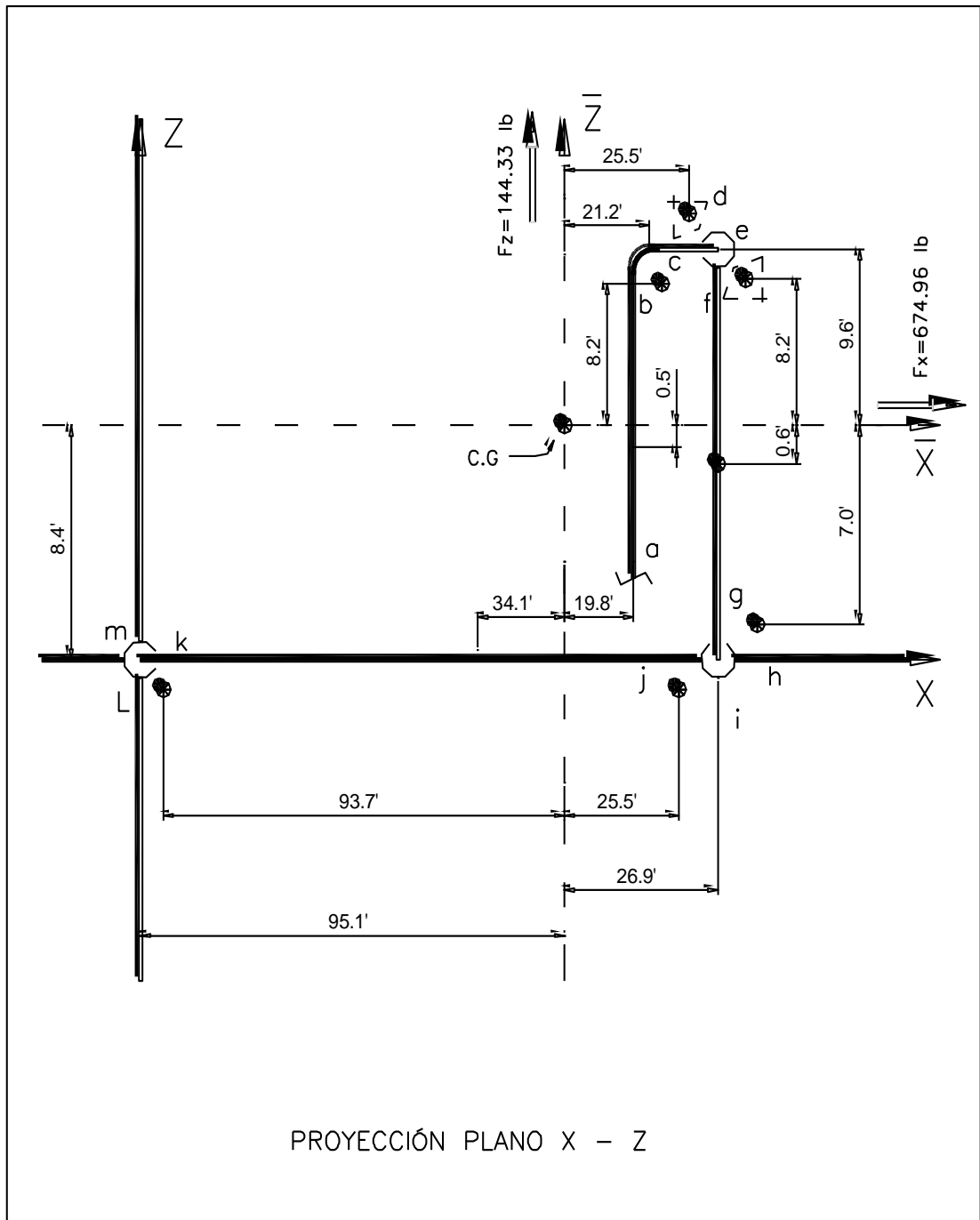
SEG.	No. EQ.	$I_{x y}$	
a b	VI	$1.3 \times 12.75 \times 93.7 \times 39.9$	61967.8
b c	VIII	$1.81 \times 5.75 \times 95.1 \times 39.9$	25755.1
c d	VII	$23.6 \times 0.137 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times 99.4 \times 38.6$	533280.2
d e	V	$10.5 \times 100.8 \times 30.9$	32704.6
e f	VIII	$1.81 \times 3.75 \times 100.8 \times 23.3$	15941.4
f g	VI	$1.3 \times 10.5 \times 100.8 \times 21.9$	30132.6
g h	VIII	$1.81 \times 3.75 \times 100.8 \times 20.5$	14025.7
h i	V	$18.14 \times 100.8 \times 9.1$	16639.5
i j	VII	$22.6 \times 0.137 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times 99.4 \times (-2.3)$	-31595.1
j k	V	$14.5 \times 39.8 \times (-3.7)$	-16861.3
k l	VII	$22.6 \times 0.137 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (-19.8) \times (-5.1)$	14201.3
l m	V	$5.25 \times (-21.2) \times (-10.1)$	1124.1
		$I_{x y} = 697315.8$	

MOMENTO DE INERCIA

SEG.	No. EQ.	I_x	
a b	X	$1.3 \times 12.75 \times (39.9)^2$	26387.6
b c	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (39.9)^2$	10805.8
c d	XI A	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (38.6)^2$	207207.9
d e	IX B	$\frac{(10.5)^3}{12} + 10.5 \times (30.9)^2$	10122.0
e f	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (23.3)^2$	3693.9
f g	X	$1.3 \times 10.5 \times (21.9)^2$	6546.7
g h	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (20.5)^2$	2861.5
h i	IX B	$\frac{(18.14)^3}{12} + 18.14 \times (9.1)^2$	1999.6
i j	XI A	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (-2.3)^2$	920.5
j k	IX A	$114.5 \times (-3.7)^2$	1567.5
k l	XI A	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (-5.1)^2$	3799.4
l m	IX B	$\frac{(5.25)^3}{12} + 5.25 \times (-10.1)^2$	547.6
			$I_x = 276\ 460.0$

SEG.	No. EQ.	I y	
a b	X	$1.3 \times 12.75 \times (93.7)^2$	145 523.4
b c	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 2.75 \times (-95.1)^2$	61 395.3
c d	XI B	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (-99.4)^2$	1 373 012.1
d e	IX A	$10.5 \times (-100.8)^2$	106 686.7
e f	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (-100.8)^2$	68 965.3
f g	X	$1.3 \times 10.6 \times (-100.8)^2$	138 692.7
g h	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (-100.8)^2$	68 965.3
h i	IX A	$18.14 \times (-100.8)^2$	184 314.0
i j	XI B	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (-99.4)^2$	1 373 012.1
j k	IX B	$\frac{(14.5)^3}{12} + 114.5 \times (-39.8)^2$	306 466.2
k l	XI B	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (19.8)^2$	54 657.4
l m	IX A	$5.25 \times (21.2)^2$	2 359.6
		I y = 3 884 050.1	

MOMENTO DE INERCIA



SEG.	No. EQ.	L	x'	Lx'	z'	Lz'
a b	I	12.75	114.9	1465.0	7.9	100.7
b c	III	1.57 X 23.6 X 2.15 = 138.95	116.3	16159.9	16.6	2306.6
c d	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	120.6	818.9	18.0	122.2
d e	II	1.3 X 10.5 =13.65	122.0	1665.3	18.0	245.7
e f	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	122.0	828.4	16.6	112.7
f g	I	10.5	122.0	1281.0	9.0	94.5
g h	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	122.0	828.4	1.4	9.5
h i	II	1.3 X 18.14 =23.58	122.0	2876.8	0.0	0.0
i j	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	120.6	818.9	0.0	0.0
j k	I	114.5	61.0	6984.5	0.0	0.0
k l	IV	1.81 X 3.75 = 6.79	1.4	9.5	0.0	0.0
l m	II	1.3 X 5.25 = 6.83	0.0	0.0	0.0	0.0
		$\sum L = 354.71$	$\sum L x' = 33\ 736.6$	$\sum L z' = 2991.9$		

CENTRO DE GRAVEDAD

$$y = \frac{\sum L X'}{\sum L} = 95.1$$

$$z = \frac{\sum L Z'}{\sum L} = 8.4$$

SEG.	No. EQ.	I x z	
a b	V	$12.75 \times 19.8 \times (-0.5)$	-126.2
b c	VII	$23.6 \times 0.137 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times 21.2 \times 8.2$	+ 23 983.7
c d	VIII	$1.81 \times 3.75 \times 25.5 \times 9.6$	+ 1 661.6
d e	VI	$1.3 \times 10.5 \times 26.9 \times 9.6$	+ 3 525.0
e f	VIII	$1.81 \times 3.75 \times 26.9 \times 8.2$	+ 1 497.2
f g	V	$10.5 \times 26.9 \times (-0.6)$	- 169.5
g h	VIII	$1.81 \times 3.75 \times 26.9 \times (-7.0)$	-1 278.1
h i	VI	$1.3 \times 18.14 \times 26.9 \times (-8.4)$	-5 328.6
i j	VIII	$1.81 \times 3.75 \times 25.5 \times (-8.4)$	-1 453.9
j k	V	$114.5 \times (-34.1) \times (-8.4)$	+ 32 797.4
k l	VIII	$1.81 \times 3.75 \times (-93.7) \times (-8.4)$	+ 5 342.3
l m	VI	$1.3 \times 5.25 \times (-95.1) \times (-8.4)$	+ 5 452.1
		I x z =+ 65903.0	

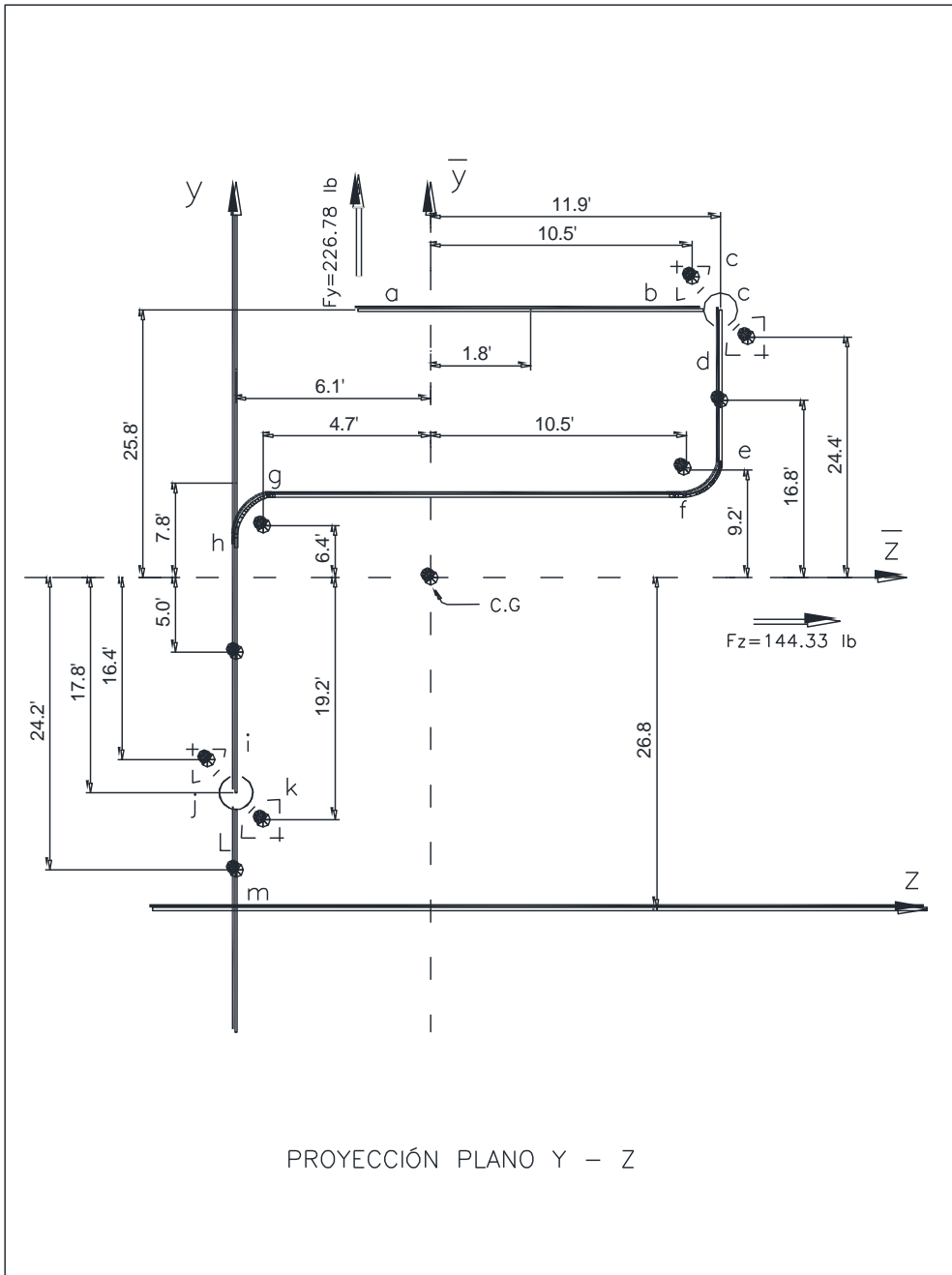
PRODUCTO DE INERCIA

MOMENTO DE INERCIA

SEG.	No. EQ.	I_x	
a b	IX B	$\frac{(12.75)^3}{12} + 12.75 \times (0.5)^2$	175.9
b c	XI A	$23.6 \times 0.149 \times (3.75) + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (8.2)^2$	9 528.1
c d	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (9.6)^2$	625.5
d e	X	$1.3 \times 10.5 \times (9.6)^2$	1 258.0
e f	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (9.6)^2$	634.6
f g	IX B	$\frac{(10.5)^3}{12} + 10.5 \times (-0.6)^2$	100.2
g h	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (-7.0)^2$	341.6
h i	X	$1.3 \times 18.14 \times (-8.4)^2$	1 663.9
i j	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (-8.4)^2$	478.9
j k	IX A	$114.5 \times (-8.4)^2$	8 079.1
k l	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (-8.4)^2$	478.9
l m	X	$1.3 \times 5.25 \times (-8.4)^2$	481.6
$I_x = 23 846.3$			

MOMENTO DE INERCIA

SEG.	No. EQ.	I_z	
a b	IX A	$12.75 \times (19.8)^2$	4 998.5
b c	XI B	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (21.2)^2$	62 632.9
c d	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (26.9)^2$	4 920.5
d e	X	$1.3 \times 10.5 \times (26.9)^2$	9 877.3
e f	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (26.9)^2$	4 911.5
f g	IX A	$10.5 \times (26.9)^2$	7 597.9
g h	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (26.9)^2$	4 911.5
h i	X	$1.3 \times 18.4 \times (26.9)^2$	17 064.2
i j	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (25.5)^2$	4 422.6
j k	IX B	$\frac{(114.5)^3}{12} + 114.5 \times (-34.1)^2$	258 235.4
k l	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (-93.7)^2$	59 601.2
l m	X	$1.3 \times 5.25 \times (-95.1)^2$	61 725.4
			$I_z = 500 898.9$



CENTRO DE GRAVEDAD

SEG.	No. EQ.	L	y'	Ly'	z'	Lz'
a b	I	12.75	52.6	670.7	7.9	100.7
b c	IV	$1.81 \times 3.75 = 6.79$	52.6	357.2	16.6	112.7
c d	IV	$1.81 \times 3.75 = 6.79$	51.2	347.6	18.0	122.2
d e	I	10.5	43.6	457.8	18.0	189.0
e f	III	$1.57 \times 23.6 \times 3.75$ =138.95	36.0	5002.2	16.6	2306.6

f g	I	10.5	34.6	363.3	9.0	94.5
g h	III	$1.57 \times 23.6 \times 3.75$ $=138.95$	33.2	4613.1	1.4	194.5
h i	I	18.4	21.8	395.5	0.0	0.0
i j	IV	$1.81 \times 3.75 = 6.79$	10.4	70.6	0.0	0.0
j k	II	$1.3 \times 114.5 = 148.85$	9.0	1339.7	0.0	0.0
k l	IV	$1.81 \times 3.75 = 6.79$	7.6	51.6	0.0	0.0
l m	I	5.25	2.6	13.7	0.0	0.0
		$\Sigma L = 511.05$	$\Sigma L Y' = 13\,683.0$		$\Sigma L Z' = 3120.2$	

$$\bar{y} = \frac{\Sigma L y'}{\Sigma L} = 26.8$$

$$\bar{z} = \frac{\Sigma L Z'}{\Sigma L} = 6.1$$

PRODUCTO DE INERCIA

SEG.	No. EQ.	I y z	
a b	V	12.75 x 1.8 x 25.8	592.1
b c	VIII	1.81 x 3.75 x 10.5 x 25.8	1 838.7
c d	VIII	1.81 x 3.75 x 11.9 x 24.4	1 970.8
d e	V	10.5 x 11.9 x 16.8	2 099.2
e f	VII	23.6 X 0.137 X (3.75) ³ + 1.57 X 23.6 X 3.75 X 10.5 X 9.2	13 251.6
f g	V	10.5 X 2.9 X 7.8	237.5
g h	VII	23.6 X 0.137 X (3.75) ³ + 1.57 X 23.6 X 3.75 X (-4.7) X 6.4	-4 350.0
h i	V	18.14 X (-6.1) X (-5.0)	553.3
i j	VIII	1.81 X 3.75 X (-6.1) X (-16.4)	679.0
j k	VI	1.3 X 114.5 X (-6.1) X (-17.8)	16 162.1
k l	VIII	1.81 X 3.75 X (-6.1) X (-19.2)	795.0
l m	V	5.25 X (-6.1) X (-24.2)	775.0
I y z = 34604.3			

MOMENTO DE INERCIA

SEG.	No. EQ.	I_y	
a b	IX B	$\frac{(12.75)^3}{12} + 12.75 \times (-1.8)^2$	214.0
b c	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (-10.5)^2$	757.4
c d	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (-11.9)^2$	961.2
d e	IX A	$10.5 \times (-11.9)^2$	1 468.9
e f	XI B	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (-10.5)^2$	15 504.1
f g	IX B	$\frac{(110.5)^3}{12} + 10.5 \times (-2.9)^2$	184.8
g h	XI B	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (4.7)^2$	2 845.5
h i	IX A	$18.14 \times (6.1)^2$	675.0
i j	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (6.1)^2$	252.6
j k	X	$1.81 \times 114.5 \times (6.1)^2$	5 538.7
k l	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (6.1)^2$	252.6
l m	IX A	$5.25 \times (6.1)^2$	195.4
			$I_y = 28868.2$

MOMENTO DE INERCIA

SEG.	No. EQ.	I z	
a b	IX A	$12.75 \times (25.8)^2$	
b c	XII A	$1.81 \times 3.75 \times (25.8)^2$	4518.0
c d	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (24.4)^2$	4050.0
d e	IX B	$\frac{(1.05)^3}{12} + 10.5 \times (16.8)^2$	3060.0
e f	XI A	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (9.2)^2$	11 945.7
f g	IX A	$10.5 \times (7.8)^2$	638.8
g h	XI A	$23.6 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.57 \times 23.6 \times 3.75 \times (6.4)^2$	5 876.6
h i	IX B	$\frac{(18.14)^3}{12} + 18.4 \times (-5.0)^2$	950.9
i j	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (-16.4)^2$	1 834.6
j k	X	$1.3 \times 114.5 \times (-17.8)^2$	47 161.6
k l	XII B	$1.15 \times 0.149 \times (3.75)^3 + 1.81 \times 3.75 \times (-19.2)^2$	2 511.2
l m	IX B	$\frac{(5.25)^3}{12} + 5.25 \times (-24.2)^2$	3 086.7
			I z =94 121.2

MOMENTOS DE INERCIA TOTALES

$$I_x = 276\,460.0 + 23\,846.3 = 300\,306.3 \text{ ft}^3$$

$$I_y = 3\,884\,050.1 + 28\,868.2 = 3\,912\,918.3 \text{ ft}^3$$

$$I_z = 500\,898.9 + 94\,121.2 = 595\,020.1 \text{ ft}^3$$

PRODUCTO DE INERCIA

$$I_{xy} = + 697\,315.8 \text{ ft}^3$$

$$I_{xz} = + 65\,903.0 \text{ ft}^3$$

$$I_{yz} = + 34\,604.3 \text{ ft}^3$$

Introducir estos valores en las siguientes ecuaciones y resolver para F_x , F_y y F_z

$$+ F_x I_x - F_y I_{xy} - F_z I_{xz} = L_x c I$$

$$- F_x I_{xy} + F_y I_y - F_z I_z = L_y c I$$

$$- F_x I_{xz} + F_y I_{yz} + F_z I_z = L_z c I$$

L_x = Distancia en la dirección X de “a-m”.

L_y = Distancia en la dirección Y de “a-m”.

L_z = Distancia en la dirección Z de “a-m”.

$$L_x = 114.9 \text{ ft}$$

$$L_y = 52.6 \text{ ft}$$

$$L_z = 1.5 \text{ ft}$$

$$L_x c I = 114.9 \times 176.32 \times 8756 = 177\,389\,275.0$$

$$L_y c I = 52.6 \times 176.32 \times 8756 = 81\,206\,926.6$$

$$L_z c I = 1.5 \times 176.32 \times 8756 = 2\,315\,786.9$$

$$(1) + 300\,306.3 F_x - 697\,315.8 F_y - 65\,903.0 F_z = 177\,389\,275.0$$

$$(2) - 697\,315.8 F_x - 3912\,918.3 F_y - 34604.3 F_z = 81\,206\,926.6$$

$$(3) - 65\,903.0 F_x - 34\,604.3 F_y + 595\,020.1 F_z = 2\,315\,786.9$$

SOLUCION DE ECUACIONES

	F x	Fy	Fz	CONSTANTE	
1	+ 300 3006.3	-698 315.8	-65 903.0	- 177 389 275.0	
4	- 1.0	+2.3	+0.2	+ 590.694	
2	-697 315.8	+ 3 912 918.3	-34 604.3	- 81 206 926.6	
5	+ 697 315.8	-1 619 177.9	-153 027.7	- 411 900 596.8	
6	0.0	+ 2 293 740.4	- 187 632.07	- 493 107 523.4	
7	0.0	-1.0	+ 0.0818	+ 214.9796	
3	- 65 903.0	-34 604.3	+595 020.1	- 2 315 786 .9	
8	- 65 903.0	-153 027.7692	- 14 462.6	- 38 928 538.6	

9	0.0	+187 632.0692	-15 348.6	- 40 337 077.83	
10	0.0	0.0	+ 565 208.9	- 81 581 403 .33	
11	0.0	0.0	- 1.0	+ 144.3385	
11-A	0.0	0.0	- Fz	+ 144.3385 =	0
11-B	0.0	0.0	+ Fz =	+ 144.3385 =	144.3385
7-A		-Fy=	+ 0.0818 X 144.3385	+ 214.9796 =	0
7-B		+Fy=	+ 11.8068	+ 214.9796 =	226.7364
4-A	+ Fx=	+ 2.322 X 226.7864	+ 0.219 X 144.3385	+ 590 .694 =	0
4-B	-Fx =	+ 52.6598	+ 31.6110	+ 590 .694 =	674. 9639

MOMENTOS

	PLANO x-y	PLANO x-z	PLANO y-z
a	$674.96 \times 39.9 - 226.78 \times 93.7$ $= 5681.62$	$-674.96 \times 6.9 - 144.33 \times 19.8$ $= - 7514.96$	$144.33 \times 25.8 + 226.78 \times 4.6$ $= 4766.90$
	$M = \sqrt{(7514.96)^2 + (4766.9)^2} = 8899.32$		$T_B = 5681.62$
b	$= 5681.62$	$674.96 \times 5.9 - 144.33 \times 19.8$ $= - 1124.53$	$144.33 \times 25.8 - 226.78 \times 8.2$ $= 1864.12$
	$M = \sqrt{(1124.53)^2 + (1864.12)^2} = 2177.04$		$T_B = 5681.62$
c	$674.96 \times 39.9 - 226.78 \times 97.3$ $= 4865.21$	$674.96 \times 9.6 - 144.33 \times 23.4$ $= 3102.29$	$144.33 \times 25.8 - 226.78 \times 11.9$ $= 1025.03$
	$M = \sqrt{(4865.21)^2 + (3102.29)^2} = 5770.14$		$T_B = 1025.03$
d	$674.96 \times 36.2 - 226.78 \times 100.8$ $= 1574.13$	$674.96 \times 9.6 - 144.33 \times 26.9$ $= 2597.14$	$144.33 \times 22.1 - 226.78 \times 11.9$ $= 491.01$
	$M = \sqrt{(1574.3)^2 + (491.01)^2} = 1648.93$		$T_B = 2597.14$
e	$674.96 \times 25.7 - 226.78 \times 100.8$		$144.33 \times 11.6 - 226.78 \times 11.9$

	= 5512.95	= 2597.14	= - 1024.45
	$M = \sqrt{(5512.95)^2 + (1024.45)^2} = 5607.33$		$T_B = 2597.14$
f	$674.96 \times 21.9 - 226.78 \times 100.8$ = - 8077.8	$674.96 \times 5.9 - 144.33 \times 26.9$ = 99.79	$144.33 \times 7.8 - 226.78 \times 8.2$ = - 733.82
	$M = \sqrt{(99.79)^2 + (733.82)^2} = 740.57$		$T_B = 8077.8$
g	= - 8077.8	$-674.96 \times 4.7 - 144.33 \times 26.9$ = - 7054.79	$144.33 \times 7.8 + 226.78 \times 2.4$ = 1670.05
	$M = \sqrt{(754.29)^2 + (71670.05)^2} = 7249.77$		$T_B = 8077.8$
h	$674.96 \times 18.2 - 226.78 \times 100.8$ = - 10575.15	$-674.96 \times 8.4 - 144.33 \times 26.9$ = - 9552.14	$144.33 \times 4.1 + 226.78 \times 6.1$ = 1975.11
	$M = \sqrt{(10575.15)^2 + (1975.11)^2} = 10758.01$		$T_B = 9552.14$

MOMENTOS

	PLANO x-y	PLANO x-z	PLANO y-z
i	$674.96 \times 0.1 - 226.78 \times 100.8$ $= - 22926.92$	$674.96 \times 8.4 - 144.33 \times 26.9$ $= - 9552.14$	$-144.33 \times 14.1 + 226.78 \times 6.1$ $= - 651.70$
	$M = \sqrt{(22926.92)^2 + (651.70)^2} = 22936.18$		$T_B = 9552.14$
J	$-674.96 \times 3.7 - 226.78 \times 97.1$ $= 24517.69$	$-674.96 \times 8.4 - 144.33 \times 23.2$ $= - 9018.12$	$-144.33 \times 17.8 + 226.78 \times 6.1$ $= -1185.72$
	$M = \sqrt{(24517.69)^2 + (-9018.12)^2} = 26123.62$		$T_B = 1185.72$
k	$-674.96 \times 3.7 + 226.78 \times 17.5$ $= -1471.30$	$-674.96 \times 8.4 + 144.33 \times 91.4$ $= 7522.10$	$-144.33 \times 17.8 + 226.78 \times 6.1$ $= -1185.72$
	$M = \sqrt{(1471.30)^2 + (7522.10)^2} = 7664.64$		$T_B = 1185.72$
l	$-674.96 \times 7.5 + 226.78 \times 21.2$ $= -254.46$	$-674.96 \times 8.4 + 144.33 \times 95.1$ $= 8056.12$	$-144.33 \times 21.6 + 226.78 \times 6.1$ $= -1734.17$

	$M = \sqrt{(254.46)^2 + (1734.17)^2} = 1752.74$		$T_B = 3056.12$
m	$-674.96 \times 12.7 + 226.78 \times 21.2$ $= 3764.26$	$-674.96 \times 8.4 + 144.33 \times 95.1$ $= 8056.12$	$-144.33 \times 26.8 + 226.78 \times 6.1$ $= -2484.69$
	$M = \sqrt{(3764.26)^2 + (2484.69)^2} = 4510.36$		$T_B = 8056.12$

PUNTO	MOMENTO FLEXIONANTE (Lb- ft)	TORQUE (Lb- ft)	
a	8899.8	5681.6	
b	2177.0	5681.6	
c	5770.1	1025.0	
d	1648.9	2597.1	
e	5607.3	2597.1	
f	740.6	8077.8	
g	7249.8	1670.0	
h	10758.0	9552.1	
**	i	22 936.2	9552.1
*	j	26 123.6	1185.7
	K	7664.6	1185.7
	l	1752.7	8056.1
	m	4510.4	8056.1

* El Máximo Momento Flexionante (M) es de 26 123.6 Lb- ft el cual ocurre en el punto “J”, que es tubo curvado con un Factor de Intensificación de Esfuerzos $i = 5.29$. Un Torque (T) de 1185.7 Lb- ft.

** El Máximo Torque (T) es de 9552.1 lb-ft en la línea “h-i” y el Momento Flexionante (M) es de 22 936.2 lb-ft en el punto “i”, que es tubo curvado, con un Factor de Intensificación de esfuerzo de $i = 5.29$.

El Máximo Esfuerzo de expansión se determina como sigue.

CASO *

$$M = 26\,123.6 \text{ lb-ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 313\,483.44 \text{ lb-in.}$$

$$T = 1185.7 \text{ lb-ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 14\,228.6 \text{ lb-in}$$

$$S_B = \frac{M}{Z} = \frac{313\,483.4}{Z} \times \frac{5.29}{488} = 3398.21 \text{ PSI}$$

$$S_T = \frac{T}{2Z} = \frac{14\,228.6}{2 \times 488} = 14.57 \text{ PSI}$$

$$S_E = \sqrt{(S_B)^2 + 4(S_T)^2} = \sqrt{(3398.21)^2 + 4(14.57)^2}$$

$$\underline{S_E = 3398.33 \text{ PSI}}$$

CASO **

$$M = 22\,936.18 \text{ lb-ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 275\,234.16 \text{ lb-in}$$

$$T = 9552.14 \text{ lb-ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 114\,625.7 \text{ lb-in}$$

$$S_B = \frac{M}{Z} = \frac{275\,234.16}{Z} \times \frac{5.29}{488} = 2983.59 \text{ PSI}$$

$$S_T = \frac{T}{2Z} = \frac{114\,625.7}{2 \times 488} = 117.44 \text{ PSI}$$

$$S_E = \sqrt{(S_B)^2 + 4(S_T)^2} = \sqrt{(2983.59)^2 + 4(117.44)^2}$$

$$S_E = 2992.81 \text{ PSI}$$

El Máximo Esfuerzo de Expansión S_E es de 3398.21 PSI, el cual ocurre en el punto “j” y es menor que el Esfuerzo Admisible S_A , de 17,000 PSI, por lo tanto el sistema no está esforzado y es flexible.

3.3. METODO SIMPLIFICADO (KELLOGG)

Este método fue propuesto por la COMPAÑÍA KELLOGG sobre la base de su experiencia adquirida en diseño y operación de plantas, el cual apareció en el año de 1955 y es el que activamente se empleaba en el Código ANSI B31.3 en sus requerimientos sobre análisis de flexibilidad que establecimos anteriormente. Este criterio ha tenido considerables objeciones, primero porque su origen es desconocido y su rango de validez no puede ser examinado teóricamente y segundo, porque puede fallar para configuraciones no usuales que conecten a equipo delicado, sin embargo el código se ha responsabilizado dada su experiencia y continúa citándose en las ediciones de aquellos tiempos.

Como se mencionó anteriormente, este criterio establece que una configuración de tubería es considerada con flexibilidad adecuada, con las limitaciones antes señaladas, si la desigualdad:

$$\frac{D Y}{(L-U)} \leq 0.03 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Se satisface, si se excede la cantidad 0.03 significa que se requiere analizar empleando un método de análisis más refinado, como se dijo antes, este método no da información directa respecto al rango de reacciones en las terminales de la tubería o el equipo, sino que trata únicamente con la integridad de la tubería.

La fórmula de la ecuación (1) puede describirse como:

$$\frac{D Y}{U^2 (R-I)^2} \leq 0.03 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde $R = L/U$. Ésta fórmula está dada gráficamente en la carta (C-4) del libro de la COMPAÑÍA KELLOGG. Observando que en “Y” se consideran tanto los efectos de expansión de la tubería, así como los movimientos de los puntos extremos.

Aunque la ecuación (2) no valúa directamente los esfuerzos, al considerar o igualar dicha ecuación con 0.03 que es el límite de aceptabilidad, el rango de esfuerzos máximo actuante (S_E) contenido en dicha ecuación puede ser encontrado como:

$$\frac{D Y}{U^2 (R-1)^2} = 0.03$$

O bien:

$$\frac{33.3 D Y}{U^2 (R-1)^2} = 1$$

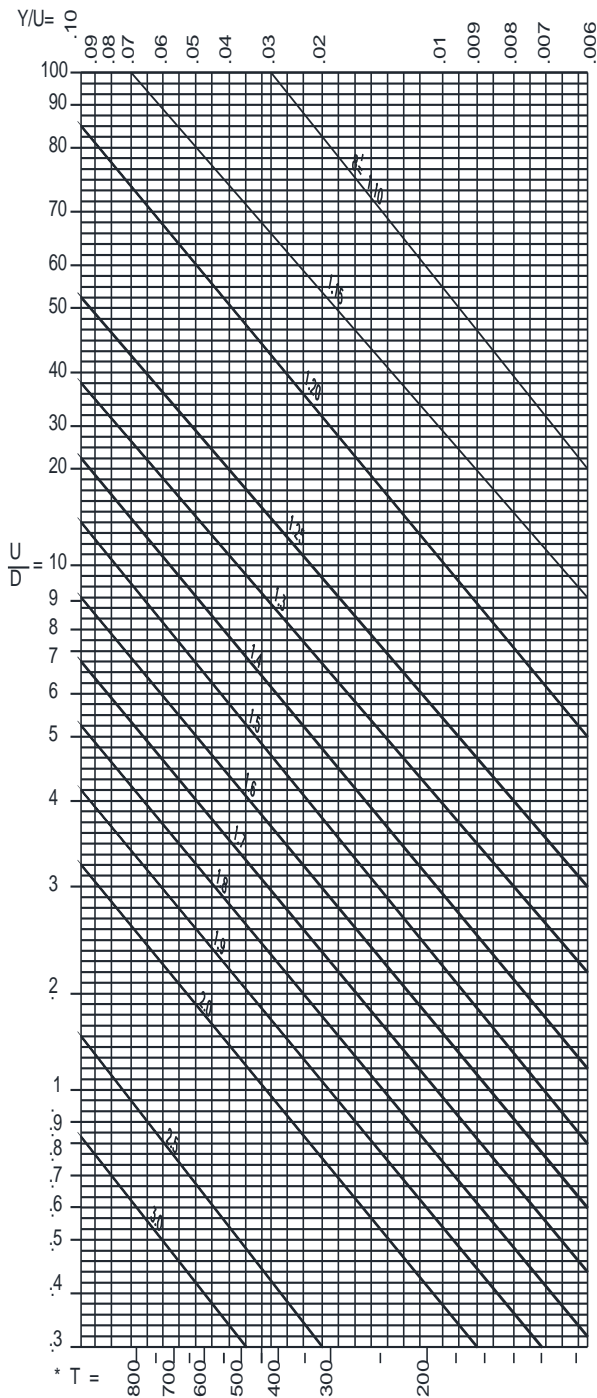
Con lo cual:

$$S_E = \frac{33.3 D Y}{U^2 (R-1)^2} S_A$$

Donde S_A = RANGO DE ESFUERZOS.

Es importante indicar, que este método simplificado, no es capaz de tratar con sistemas que tengan más de dos extremos o terminales

C-4 CARTA PARA CRITERIO DEL CÓDIGO ANSI B31.3, PORTE 620 (a) DE TUBERÍAS DE PLANTAS QUIMICAS Y REFINERIAS DE PETROLEO



$$\frac{U}{D} = \frac{\text{Distancia entre anclas, ft}}{\text{Diámetro exterior, in}}$$

Es obligatorio un análisis de tubería sí:

$$\frac{L}{U} \leq R'$$

D = Diámetro exterior del tubo, in.

L = Longitud desarrollada del tubo, ft

Y = Resultante de la expansión Térmica restringida y Desplazamientos netos en las terminales, in.

U = Distancia entre anclas (longitud en Línea recta entre anclas), ft

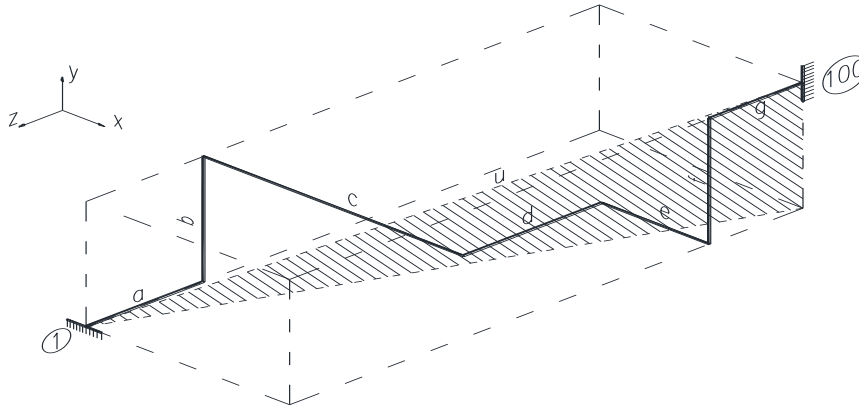
T = Temperatura, °F.

* = La escala de temperatura puede Ser usada en lugar de Y/U cuando no hay desplazamiento de los puntos de anclaje.

Fundamento de la carta es obligatorio un análisis de la tubería si el siguiente criterio no es satisfecho.

$$\frac{DY}{(L-U)^2} \leq 0.03$$

METODO SIMPLIFICADO (KELLOGG)



LINEA DE 30"- PC-001-B01 Material: Acero al carbono

Diámetro= 30" Cedula 20

Temperatura de diseño = 212 0F

Esfuerzo permisible $S_A = 17000$ Psi

PASO 1: Establecer las distancias entre anclas.

$$a = 186' - 0'' = 2232.00''$$

$$e = 19' - 11 \frac{3}{8}'' = 239.37''$$

$$b = 18' - 7 \frac{3}{16}'' = 223.18''$$

$$f = 12' - 5 \frac{7}{8}'' = 67.87''$$

$$c = 87' - 1 \frac{1}{8}'' = 1045.12''$$

$$g = 60' - 3 \frac{1}{2}'' = 723.50''$$

$$d = 20' - 0'' = 240.00''$$

$$x = c + e = 1045.12'' + 239.37'' = 1284.49''$$

$$y = b + f = 223.18'' + 67.87'' = 291.05''$$

$$z = a + d + g = 2232.00'' + 240.00'' + 723.50'' = 3195.50''$$

FORMULA
$$\frac{D Y}{(L-U)^2} \leq 0.03$$

PASO 2 : Determinar “U”, longitud recta entre puntos 1 Y 100

$$U = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{(1248.49)^2 + (289.05)^2 + (3195.5)^2}$$

$$U = 3442.88$$

PASO 3: Determinar “Y”, expansión térmica que será absorbida.

$$Y = Ue$$

e = Coeficiente de expansión térmica.

$$= 1.09 \text{ in} / 100 \text{ ft a } 212 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$= 0.0109 \text{ in} / \text{ft}$$

$$U = 3442.88 \text{ in} \times \text{ft} / 12 \text{ in} = 286.9 \text{ ft}$$

Entonces $Y = 286.9 \text{ ft} \times 0.0109 \text{ in} / \text{ft}$

$$= 3.12 \text{ in}$$

PASO 4: Determinar el valor de “L”, longitud total de la línea.

$$L = a + b + c + d + e + f + g$$

$$= 2232.0 + 223.18 + 1045.12 + 12 + 240.0 + 239.37 + 65.87 + 723.5$$

$$= 4769.04 \text{ in} = 397.42 \text{ ft}$$

PASO 5: Sustituir valores en la fórmula.

$$\frac{D Y}{(L - U)^2} = \frac{30 \times 3.12}{(397.42 - 286.9)^2} = 0.007 < 0.03$$

POR CONSIGUIENTE LA LINEA ES FLEXIBLE

PASO 6: Calcular el rango de esfuerzo actuante máximo S_E .

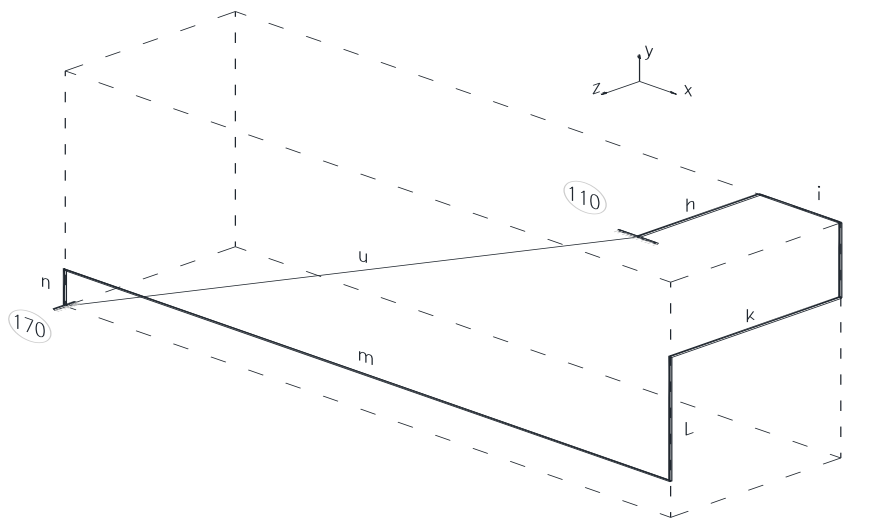
$$S_E = \frac{33.3 D Y}{U^2(R-1)^2} S_A$$

$$R = \frac{L}{U} = \frac{397.42}{286.9} = 1.38$$

$$S_E = 33.3 \times 3.12 \times 17000 / (286.92)^2 (1.38 - 1)^2 = 4458 \text{ psi}$$

$$S_E < S_A$$

METODO SIMPLIFICADO (KELLOGG)



LINEA 36"– PC 002-B01 Material: Acero al carbono

Diámetro = 36" Cédula 20

Temperatura de diseño = 212 °F

Esfuerzo permisible $S_A = 17\,000$ Psi

PASO 1 : Establecer la distancia entre anclas.

$$h = 16' - 6'' = 198.00''$$

$$l = 25' - 7 \frac{1}{16}'' = 307.69''$$

$$i = 7'' - 1'' = 85.00''$$

$$m = 122' - 0'' = 1464.00''$$

$$j = 18' - 0'' = 216.00''$$

$$n = 9' - 0'' = 108.00''$$

$$k = 18' - 0'' = 216.00''$$

$$x = m - i = 1464.00'' - 85.00'' = 1379.00''$$

$$y = j + l + n = 216.00'' + 307.69'' + 108.00'' = 631.69''$$

$$z = k - h = 216.00'' + 198.00'' - 198.00'' = 18.00''.$$

$$\text{FORMULA } \frac{DY}{(L-U)^2} \leq 0.03$$

PASO 2: Determinar la longitud "U", la longitud recta entre los puntos 110 Y 170

$$U = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{(1379.00)^2 + (631.69)^2 + (18.00)^2}$$

$$U = 1516.90$$

PASO 3: DETERMINAR Y, EXPANSION TERMICA QUE SERA ABSORBIDA

$$Y = Ue$$

e = Coeficiente de expansión térmica.

$$= 1.09 \text{ in} / 100 \text{ ft } \text{ A } 212 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$= 0.0109 \text{ in} / \text{ft}$$

$$U = 1516.9 \text{ in} = 126.408 \text{ ft}$$

Entonces:

$$Y = 126.408 \text{ ft} \times 0.0109 \text{ in} / \text{ft} \\ = 1.37 \text{ in}$$

PASO 4 : Determinar el valor de "L", longitud total de la línea.

$$L = h + i + j + k + L + m + n \\ = 1989.00 + 85.00 + 216.00 + 216.00 + 307.69 + 1464.00 + 18.00 \\ = 2504.69 \text{ in} = 208.724 \text{ ft}$$

PASO 5 : Sustituir valores en la fórmula.

$$\frac{DY}{(L-U)^2} = \frac{36' \times 1.37''}{(208.724' - 126.408')^2} = 0.007. < 0.03$$

Por lo cual el sistema es flexible.

PASO 6: Calcular el rango del esfuerzo actuante máximo S_E .

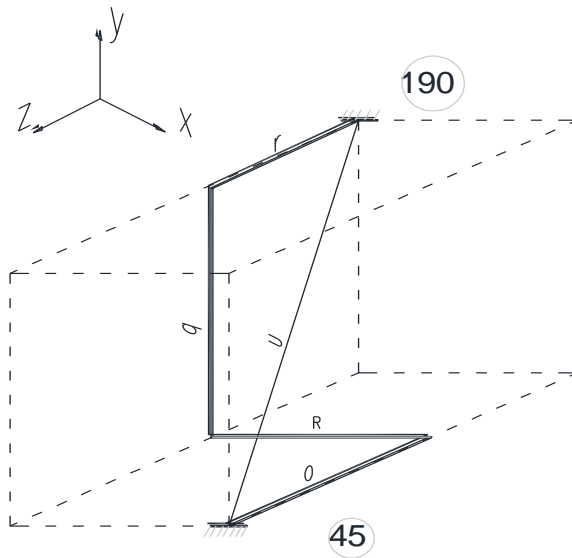
$$S_E = \frac{33.3 D Y}{U^2 (R-1)^2} SA$$

$$R = \frac{L}{U} = \frac{208.724}{126.408} = 1.65$$

$$SE = \frac{33.3 \times 36 \times 1.37}{(126.408)^2 (1.65-1)^2} \times 17000 = 4135.62$$

$$SE < SA$$

METODO SIMPLIFICADO (KELLOGG)



LINEA DE 24" – PC - 003 -801

Material: Acero al carbono

Diámetro = 24"

Temperatura de diseño = 212 °F

Esfuerzo permisible $S_A = 17000$ Psi

PASO 1: Establecer distancias entre anclas.

$$o = 17' - 3 \frac{1}{2}" = 207.5 \text{ in}$$

$$q = 27' - 8 \frac{7}{16}" = 332.43 \text{ in}$$

$$p = 8' - 5" = 101.0 \text{ in}$$

$$v = 6' - 4 \frac{1}{2}" = 76.5 \text{ in}$$

$$x = p = 101.0 \text{ in}$$

$$y = q = 332.43 \text{ in}$$

$$z = r = 76.5 + 207.5 = 284 \text{ in}$$

$$\text{FORMULA } \frac{DY}{(L-U)^2} \leq 0.03$$

PASO 2 : Determinar la longitud "U", longitud entre puntos 45 y 190.

$$U = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{(101.00)^2 + (332.43)^2 + (284)^2}$$

$$U = 448.74\text{m}$$

PASO 3 : Determinar "Y", expansión térmica que será absorbida.

$$Y = Ue$$

e = Coeficiente de expansión térmica.

$$= 0.0109 \text{ in / ft}$$

$$U = 448.74 \text{ in x ft / 12 in} = 37.39 \text{ ft}$$

$$\text{ENTONCES } Y = 37.39 \times 0.0109 \\ = 0.41$$

PASO 4 : Determinar el valor "L", longitud total de la línea.

$$L = 0 + P + q + r \\ = 207.5 + 101 + 332.43 + 76.5 \\ = 705.43 \text{ in} = 58.78 \text{ ft}$$

PASO 5: Sustituir valores en la fórmula.

$$\frac{DY}{(L-U)^2} = \frac{24 \times 0.41}{(58.78-37.39)^2} = 0.021 < 0.03$$

Por consiguiente la línea es flexible.

PASO 6: Calcular el rango del esfuerzo actuante S_E .

$$S_E = \frac{333 DY}{U^2(R-I)^2} S_A$$

$$R = \frac{L}{U} = \frac{58.78}{37.39} = 1.57$$

$$S_E = \frac{33.3 \times 24 + 0.41}{37.39^2 (1.57-1)^2} \times 17,000 = 12263.9 \text{ PSI}$$

$$S_E < S_A$$

CONCLUSION

El análisis de flexibilidad se realiza en la etapa final del diseño de los sistemas de tuberías, comprende el análisis de concentración de esfuerzos, donde el sistema está sometido a altos gradientes de temperatura que conllevan a la generación de tensiones debido a expansiones o contracciones térmicas

La simulación de las restricciones iniciales que introduzca el diseñador, pueden dar resultados incongruentes con los esperados normalmente, siendo responsabilidad del analista identificarlas. Es por esas razones que el análisis de flexibilidad de forma teórica no debe subestimarse, el entendimiento de los principios de este fenómeno brindan los conocimientos necesarios al analista para identificar incongruencias en los resultados obtenidos o incluso hacer evaluaciones sencillas que determinen de manera rápida y aproximada la criticidad del sistema.

El análisis de flexibilidad simplifica e idealiza muchos efectos del sistema presión, temperatura, diámetro, espesor y material. Los métodos anteriores no permiten un análisis completo del mismo; sin embargo, nos dan una aproximación aceptable de su comportamiento. La complejidad (número de ramificaciones) limita el análisis manual, ya que se tendría que idealizar efectos más complejos con criterios definidos por el analista en base a su experiencia. **Debido a estas razones, se puede concluir de forma general que el análisis manual de flexibilidad no es concluyente, es criterio del analista definir si los resultados obtenidos son suficientes para aliviar los esfuerzos ocasionados por las deformaciones térmicas para que el sistema de tuberías no colapse.**

Los análisis de sistemas de tuberías más complejos deben ser evaluados con software de cálculo como CAEPIPE, CEASAR II, ANSYS, entre otros. Esto debido a que los sistemas con mayores elementos tienen comportamientos que no pueden ser estimados con facilidad. Las estimaciones y simplificaciones pueden llevar a errores de diseño que pueden convertirse en altos esfuerzos inesperados.

Es importante conocer el tipo de carga a evaluar, evaluar la falla del sistema debido al peso de una válvula es completamente diferente a evaluar la falla del sistema. De esta forma, la previa clasificación de las cargas involucradas en el sistema es paso primordial para aplicar algún método de análisis.

El coeficiente de dilatación térmica en los metales es alto, por ello los esfuerzos generados por expansiones térmicas en tramos rectos pueden fácilmente colapsar el sistema de tuberías. Si la deformación es alta, se deben utilizar accesorios adicionales al sistema de tuberías para aliviar las tensiones ocasionadas por la deformación.

Las soluciones constructivas seleccionadas para aliviar los esfuerzos de flexibilidad son diversos, capacidad de absorción de deformaciones, costo de accesorios, modificar

arreglos geométricos y detalles constructivos. No existen soluciones únicas y un balance de todas estas características deben ser evaluadas por el analista.

El código ASME B31.1 nos da las pautas generales de diseño, es decir, nos brinda información para determinar los esfuerzos de flexibilidad resultantes y los esfuerzos de flexibilidad límites de diseño. Sin embargo, la norma no especifica cómo determinar los momentos producidos por las deformaciones térmicas. Es por ello que los métodos para determinar estos momentos son independientes de los métodos de análisis de flexibilidad. Las formas y herramientas usadas por el analista son válidas y es responsabilidad del mismo comprobar la confiabilidad de estos métodos.