ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño de un Sistema Elevado para Almacenamiento de Desechos Vegetales con Capacidad de 18 Metros Cúbicos en Planta Procesadora de Plátano"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

CESAR GERARDO MALDONADO SOLANO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2006

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS.

A MIS PADRES

A MI HIJO

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Eduardo Rivadeneria P. DECANO DE LA FIMCP PRESIDENTE	Ing. Manuel Helguero G. DIRECTOR DE TESIS
_____	_____
Ing. Federico Camacho B. VOCAL	Ing. Francisco Torres A. VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

Cesar Gerardo Maldonado Solano.

RESUMEN

La presente tesis de grado ha sido desarrollada para dar una solución técnica en el almacenamiento de los desperdicios vegetales orgánicos de una empresa alimenticia, productora de chifles a partir de plátano, maduro y banano verde; desperdicios que serán posteriormente recogidos por un volquete.

La finalidad es crear un procedimiento más higiénico para el manejo de estos desperdicios que en la actualidad son arrumados al pie del proceso alimenticio y llevado posteriormente en carretillas para nuevamente ser arrumados en las afueras de la instalación.

A partir de este proyecto se implementará un tanque elevado rectangular que permitirá el almacenamiento de estos desechos, los mismos que serán llevados por medio de una banda transportadora hacia este almacenado. La estructura soporte para el tanque, será lo suficientemente alta y ancha que permita la circulación y ubicación de los volquetes por debajo del tanque, los que serán abastecidos por gravedad una vez abierta el fondo tipo compuerta para la evacuación de tales desperdicios.

En este documento se realizará:

- El dimensionamiento del tanque

- El diseño y selección de espesores de chapa de las paredes, a través del cálculo de placas planas con un modelo intermedio entre filos simplemente apoyados y totalmente empotrados. Se realizarán las consideraciones de la norma American Society of Mechanical Engineer-ASME Sección 8, división 1 “Diseño de recipientes a presión” para lineamientos generales, así como normas europeas.

- La selección del perfil de los rigidizadores con la respectiva separación iterativa como dato de entrada para mantener el espesor de las paredes dentro de medidas enmarcadas en el sentido común y de manera mesurada.

- El diseño de la estructura que soportará el tanque, el que deberá resistir las diferentes cargas tanto internas, peso muerto, carga viva y momento de volteo por sismo. Se realizará las consideraciones realizadas en la norma American Welding Society-AWS D1.1 “Código para soldadura en estructuras de acero” y en la American Institute of Steel Construction-AISC “Manual de construcciones de acero”.

- Finalmente se realizará una evaluación de los costos en los que se incurrirá en la ejecución del proyecto con sus tiempos estimados.

Al término de esta tesis, se espera tener una base que sirva en el futuro como guía para proyectos parecidos.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN VI

INDICE GENERAL IX

ABREVIATURAS XII

SIMBOLOGIA XIII

INDICE DE FIGURAS XIV

INDICE DE TABLAS XV

INDICE DE PLANOS XVII

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES DE LA PLANTA, DEFINICIÓN DE PROBLEMA SOLUCIÓN 3

1.1 Generalidades de la planta 3

1.2 Análisis de problema y planteamiento de solución 4

1.3 Diseño de forma de tanque de almacenamiento de desechos vegetales. 6

1.4 Normas a utilizar 9

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE TANQUE RECTANGULAR Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS 10

2.1 Características de material.....10

2.2 Carga interna considerada en tanque 10

2.3 Diseño de paredes de tanque y selección de rigidizador 12

2.4 Diseño del sistema de compuerta para descarga 43

2.5 Sistema para la protección de superficie en tanque.....70

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE.....74

3.1 Característica de materia 74

3.2 Cargas actuantes en estructura soporte 75

3.3 Análisis estructural 80

3.4 Sistema para la protección de superficie en estructura soporte 96

CAPÍTULO 4

4. PROGRAMACIÓN DE PROYECTO Y COSTOS 97

4.1 Diagrama de Gantt para programación de proyecto 97

4.2 Costos para ejecución de proyecto 100

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....102

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ASME	American Society Mechanical Engineer
ASTM	American Society Testing Material
AWWA	American Water Works Association
cm	Centímetro
cm^2	Centímetros cuadrados
cm^4	Centímetros a la cuarta
K	Kilo
Kg	Kilogramo
Lb	Libra
m	metros
m^3	Metros cúbicos
min	minuto
mm	milímetro
Pie	Pie
Pulg.	Pulgada
Psi	libras por pulgada cuadrada
s, seg	segundo(s)
Ton	Tonelada (s)
USD	Dólares de Estados Unidos de Norteamérica

SIMBOLOGÍA

(’)	Pie
(´´)	Pulgadas
%	Porcentaje
A	Área
ºC	Grados centígrados
CA	Espesor adicionado por efectos de corrosión
F	Fuerza
G	Gravedad específica de líquido a ser almacenado
g	Aceleración de la gravedad
H	Altura
L	Longitud
M	Momento
n	Factor de seguridad
W	Presión de trabajo o carga distribuida
T	Período de vibración del tanque, tensión lineal
t	Espesor de diseño
v	Velocidad de viento

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Diseño de forma de sistema de almacenamiento y descarga de desechos vegetales 8
Figura 2.1 Medidas externas de tanque....12
Figura 2.2 Gráfico para coeficiente de momento 17
Figura 2.3 Esquema de pared sin rigidizador intermedio....19
Figura 2.4 Esquema de pared un rigidizador intermedio 22
Figura 2.5 Esquema de pared con varios rigidizadores 25
Figura 2.6 Modelo para el cálculo de momento de rigidizador de pared 27
Figura 2.7 Carga aplicada a un rigidizador de pared 30
Figura 2.8 Carga aplicada a dos rigidizador de pared 32
Figura 2.9 Gráfico de comportamiento de pesos totales con El tipo de perfil UPN en pared 35
Figura 2.10 Gráfico de comportamiento de pesos totales con el tipo de perfil IPE en pared 38
Figura 2.11 Carga aplicada a borde superior de tanque....39
Figura 2.12 Esquema de piso sin rigidizador intermedio 47
Figura 2.13 Esquema de piso con un rigidizador intermedio 50
Figura 2.14 Carga linealmente distribuida en un rigidizador....57
Figura 2.15 Carga linealmente distribuida en dos rigidizadores 59
Figura 2.16 Carga linealmente distribuida en n rigidizadores....61
Figura 2.17 Gráfico de comportamiento de pesos totales con El tipo de perfil IPE en piso....63
Figura 2.18 Diagrama de cuerpo libre de carga a vencer para la apertura de fondo 66
Figura 3.1 Aplicación de cargas en el modelo de pórtico 81
Figura 3.2 Designación de elementos con respectivas longitudes 82

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Espesores promedio de pared determinados en base a número de rigidizadores 26
Tabla 2 Perfiles tipo UPN seleccionados de acuerdo a la cantidad de rigidizadores intermedios en pared 35
Tabla 3 Tabla para la toma de decisión en la selección del Número total de rigidizadores UPN intermedios de pared...35
Tabla 4 Perfiles tipo IPE seleccionados de acuerdo a la cantidad de rigidizadores intermedios en pared 38
Tabla 5 Tabla para la toma de decisión en la selección del Número total de rigidizadores IPE intermedios de pared.....38
Tabla 6 Espesores promedio de piso determinados en base a Número de rigidizadores....55
Tabla 7 Perfiles tipo IPE seleccionados de acuerdo a la cantidad de rigidizadores intermedios en piso....63
Tabla 8 Tabla para la toma de decisión en la selección del Número total de rigidizadores IPE a escoger. 63
Tabla 9 Perfiles tipo UPN seleccionados de acuerdo a la cantidad de rigidizadores intermedios en piso....66
Tabla 10 Tabla para la toma de decisión en la selección del Número total de rigidizadores UPN a escoger....66
Tabla 11 Coeficiente de arrastre para viento....77
Tabla 12 Reacciones internas y momentos en los elementos A partir de la aplicación de las diferentes cargas 84
Tabla 13 Reacciones internas en los elementos según combinaciones....86
Tabla 14 Reacciones internas máximas entre las combinaciones Para dos pórticos....88
Tabla 15 Fuerzas internas a considerar para cálculos 95
Tabla 16 Tabla para el cálculo y selección del perfil de elementos sometidos a flexo-compresión 96

Tabla 17 Tabla para el cálculo y selección del perfil de elementos sometidos a tensión.....96
Tabla 18 Tabla para el cálculo y selección del perfil de elementos sometidos a compresión.....96
Tabla 19 Costos del proyecto.....101

ÍNDICE DE PLANOS

Plano	1	Sistema de Almacenamiento de Desechos Vegetales.
Plano	2	Estructura Soporte de Tanque Rectangular
Plano	3	Tanque Rectangular.
Plano	4	Rieles Fondo Movible
Plano	5	Sistema de Transmisión.

INTRODUCCIÓN

Dentro de este proyecto se diseñara un tanque de almacenamiento elevado de forma rectangular para albergar desperdicios vegetales orgánicos de una empresa alimenticia, productora de chifles a partir de plátano maduro y banano verde, para de esta manera generar un ambiente de mayor higiene al momento de manejar y desechar este tipo de desperdicios.

El diseño del tanque rectangular se da a partir de la experiencia asimilada en otras empresas donde existen problemas de atascamiento en las típicas tolvas de tipo prisma truncado, para lo cual el operador del tanque deberá generar golpes a los desperdicios para ayudar a su libre caída. Este tanque rectangular con capacidad de 19 metros cúbicos aproximados se encuentra apoyado en una estructura lo suficientemente alta y ancha con el fin de que los volquetes puedan estacionarse bajo ella y así poder recoger estos desperdicios una vez abierto el fondo con su respectivo mecanismo de apertura.

El diseño de las paredes y su fondo se lo realiza bajo las fórmulas contempladas en la teoría de placas planas, donde su espesor es reducido según el número de rigidizadores colocados. Puesto que el número de rigidizadores en teoría podrían ser infinitos con un espaciamiento infinitesimal entre uno y otro, se aplica una matriz de decisión en el cual se valora el peso

completo provocado tanto por la placa así como el peso propio de estos rigidizadores que generan esta reducción en el espesor de placa.

La estructura que soporta el tanque se la diseñó bajo los cálculos típicos en el análisis de estructura, para lo cual se consideran las diferentes cargas externas, así como peso muerto, carga sísmica, carga de viento y carga viva. La combinación de cargas se la realiza por las recomendaciones hechas en el “Manual de Construcciones de Acero” del Instituto Americano de Construcciones de Acero con sus siglas en ingles AISC bajo el método de LFRD.

Para el diseño del mecanismo de apertura se usan los criterios de diseño de mecanismos y las recomendaciones hechas por lo distintos fabricantes de accesorios de transportadores industriales.

CAPÍTULO 1

6. GENERALIDADES DE LA PLANTA, DEFINICIÓN DE PROBLEMA Y SOLUCIÓN.

6.1 Generalidades de la planta.

La planta productora de chifles se encuentra ubicada en la provincia del Guayas en las afueras de la ciudad de Guayaquil, precisamente en el kilómetro 25 vía a Daule, ubicada muy cerca del cantón Nobol, al Oeste del Cantón Samborondón. Este sector goza de un clima agradable que va del sub.-tropical seco hasta el tropical húmedo de acuerdo a la estación del año, con una temperatura promedio de 25ºC. a 30ºC. (1).

El abastecimiento de plátanos y bananos para la producción del chifle se lo realiza en Ecuador entre las provincias costeñas que normalmente se dedican al cultivo de estos productos como son Guayas, Los Ríos y ElOro.

En la actualidad el mercado para esta empresa productora se encuentra solo a nivel nacional, sin embargo dada la apertura del mercado en la Unión Europea, las exigencias fitosanitarias se vuelven mayores y la necesidad de crear una mayor infraestructura con procedimientos acordes a las certificaciones internacionales de calidad están generando la inversión en maquinaria y modernos procesos para el manejo de sus desechos.

6.2 Análisis de problema y planteamiento de solución.

Dentro del proceso para la producción de chifles se utiliza tanto banano como plátano; no existiendo diferencias dentro del manejo de los despojos de su corteza, es por ello que solo se hablará posteriormente de chifles en general y de sus despojos o desechos vegetales.

En la planta en la actualidad existe un problema para el manejo de estos desechos mencionados, puesto que se están generando

grandes cantidades de basura orgánica siendo estos acumulados al pie del personal que pela el producto; aunque existe personal de limpieza realizando el traslado hacia los varios contenedores en las afueras de la planta, este procedimiento ya no tiende a ser el más indicado ya que no resulta rentable contratar un grán número de este personal para esta tarea, generándose así la no contratación y por tanto la acumulación excesiva de estos desechos, observándose un proceso no muy higiénico nada acorde a las exigencias fitosanitarias a los cuales se quiere llegar.

Para el caso citado, la administración para cumplir sus metas exigidas para este año, se ve en la necesidad de crear un contenedor de mayor volumen, incorporando adicionalmente un sistema que permita la transportación de estos desechos y de esta manera evitar así la acumulación de estos en el proceso de producción de los chifles.

Con la experiencia en otras compañías importantes dentro de esta línea de producción, se intenta la construcción de un tanque elevado lo suficientemente alto y ancho para que un vehículo o volquete pueda estacionarse bajo él y a través de un fondo deslizable se genera su apertura, permitiendo que esta basura caiga de manera

libre en el vehículo, haciendo mucho más fácil el manejo de estos residuos.

Se ha estimado que el volumen de desecho a almacenar en el lapso de tres días trabajando ocho horas diarias será de 19.11 metros cúbicos; se deberá tener en cuenta que este volumen se encuentra proyectado con un incremento en la producción de tres y que un volquete (carro basurero) será contratado una vez cada tres días para la transportación de estos desechos fuera de la planta a un botadero oficial.

6.3 Diseño de forma de tanque de almacenamiento de desechos Vegetales.

Para los requerimientos de este sistema de almacenamiento se han dado diversos requerimientos por parte de los técnicos de la planta, entre ellos:

- ✓ El tanque deberá tener una capacidad de almacenamiento igual a 19.11 metros cúbicos.

- ✓ Este tanque deberá ser preferiblemente rectangular, puesto que en experiencias captadas en otras empresas, la forma del

contenedor tipo tolva genera atascamiento de producto al momento de realizar la apertura de la compuerta para su respectiva descarga.

- ✓ El fondo de acuerdo al tipo de sistema a realizar, deberá tener un fondo movible o de desplazamiento para la descarga ya mencionada y no deberá exceder los 2.10 metros de ancho para evitar la descarga fuera del balde del volquete en mención.

- ✓ Dentro de las consideraciones de la estructura que soportará el tanque, se exige que la parte alta por donde puede pasar un volquete medida desde el suelo, deberá ser mínima de 4 metros y la parte ancha para su libre circulación de 3.8 metros.

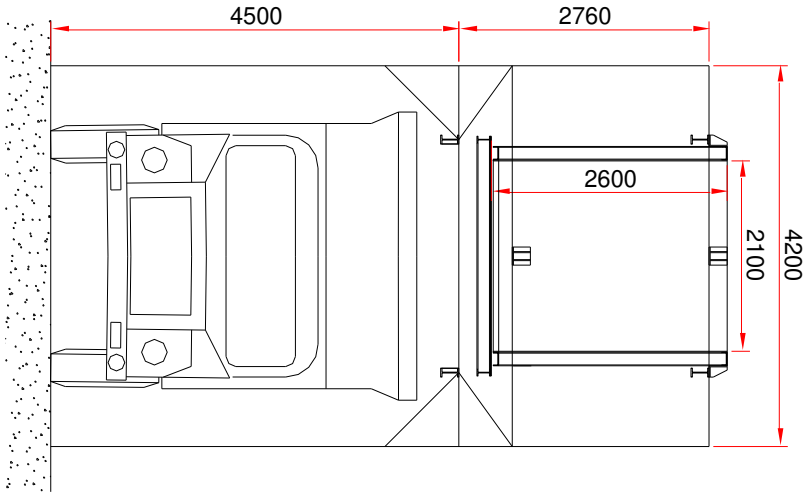
- ✓ Cualquier perfil o plancha seleccionada dentro de la construcción deberá poderse adquirir dentro del mercado nacional.

- ✓ El diseño tanto de la estructura y del tanque deberá ajustarse a normas internacionales para su construcción.

Una vez expresado los diferentes puntos a considerar, se plantea que el tanque tendrá una forma rectangular con medidas de 3.5x2.6x2.1 metros para albergar 19.11 m^3 y que la estructura deberá

mostrar una forma eficiente donde su comportamiento en uno de sus ejes sea tipo estructura y en el otro sea del tipo pórtico.

En la figura 1.1, se muestra el diseño de forma del cual se partirá para el diseño completo del sistema de almacenamiento.


4500
2760
2600
2100
4200

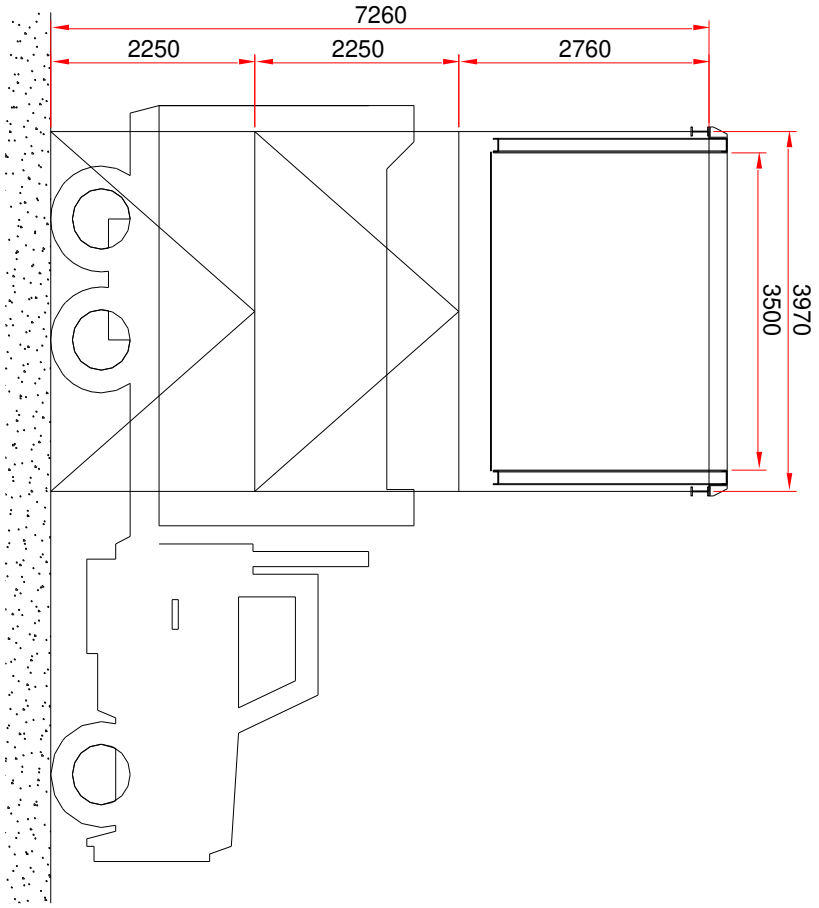

7260
2250
2250
2760
3500
3970

FIGURA 1.1.- DISEÑO DE FORMA DE SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DESCARGA DE DESECHOS VEGETALES

6.4 **Normas a utilizar.**

El diseño del tanque rectangular estará regido bajo los buenos criterios de ingeniería mecánica según establece la norma ASME (Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica) sección VIII, división 1, para todos los diseños de elemento sometidos a presión interna. El cálculo de espesor de las placas rectangulares se ha tomado como base no una norma, sino la teoría de placas planas contemplada en el texto guía “Resistencia de Materiales” por F.B Seely. Al espesor finalmente se añade un espesor adicional como margen por corrosión, el cual lo define la misma norma ASME según convenga los intereses y exigencias del propietario del tanque, este espesor adicionado para nuestro caso es mínimo 3mm.

Dentro del diseño de la estructura metálica se utiliza la teoría planteada por la AISC (Instituto Americano de construcciones de Acero), en su Manual de construcciones de Acero “LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN”, modelo LFRD, primera edición 1986, en su capítulo A4 (2). Para preparación de superficies y acabados tanto para el tanque como para la estructura se utilizarán la norma SSPC, el que nos permite aplicar una preparación superficial SSPC-SP 10, equivalente a un metal casi blanco.

CAPÍTULO 2

7. DISEÑO DE TANQUE RECTANGULAR Y RIGIDIZADORES

7.1 Forma y característica de materiales.

Tomando como base la tesis “Diseño de Tanque Normado para Reservorio de Agua con Capacidad de 320 Metros Cúbicos”, ESPOL-2004, del Ingeniero Jorge Luis Loyola Segura, nos referiremos para la selección del material del tanque rectangular a la norma API 650 sección 2, sub.-sección 2.2 con título Placas, el cual sugiere seleccionar entre los aceros A-36 (acero estructural), A-283 grados C

y D, A-285 grado C; seleccionando para ello el ASTM A-36, por ser un elemento común en el mercado.

7.2 Carga interna considerada en tanque.

La carga interna aplicada en el tanque se remite únicamente a la carga muerta dada por el material a almacenar, cuya densidad de acuerdo a los datos dados por los ingenieros en alimentos de la planta se encuentra en un rango de 900 a 1100 Kg./m^3 según el estado de putrefacción del desecho. Para los cálculos posteriores se hará uso de una densidad promedio de 1000Kg/m^3.

Puesto que el tanque es un recipiente para almacenamiento, se asume no excederá los 1000 ciclos, por lo que no se contemplará el cálculo por fatiga, en el caso del uso del moto-reductor para la apertura del fondo este será prendido tiempos limitados cada 3 días en promedio.

De igual forma dentro del cálculo del espesor de paredes no se contempla el peso propio del material o placa, ya que este peso será adsorbido por los rigidizadores.

Las cargas vivas que se apliquen sobre el techo de este tanque tampoco serán consideradas directamente al tanque sino a la estructura, puesto que el tanque básicamente no tendrá techo al ser este descubierto para la caída libre de los desechos. Cualquier carga viva será aplicada directamente a la estructura.

7.3 Diseño de paredes de tanque y selección de rigidizador.

En este capítulo se calculará el espesor de pared del tanque rectangular y se realizará la mejor selección del tipo de rigidizador.

Diseño de Placa de Pared

Para el diseño de la placa de las paredes del tanque rectangular, se empezará primero determinando la presión promedio que soportará el tanque en sus paredes. Como se conoce según el diseño de forma planteado en el sub-capítulo 1.3, las medidas del tanque se encuentran en 3.50 metros de largo, 2.60 de alto y 2.10 de ancho, con una densidad promedio de los desechos vegetales a almacenar en 1000Kg/m^3. Ver figura adjunta a manera de referencia.

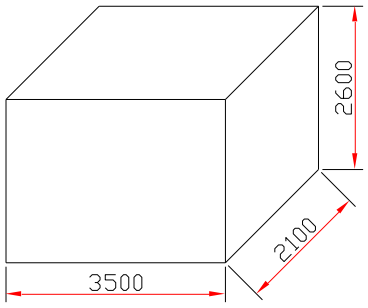


FIGURA 2.1.- MEDIDAS EXTERNAS DEL TANQUE.

Se procede a calcular por tanto la presión media, esta servirá para asumir una presión uniformemente distribuida en toda la placa. Se señala que los cálculos respectivos se desarrollarán en el lado

mayormente crítico en uno de los cuatro lados del tanque, es decir en la cara de mayor longitud.

Por tanto el cálculo de carga en el punto medio se desarrolla de la siguiente manera:

$$w = Pr_{media} = \rho.g.H \qquad 2.1$$

Donde:

Pr_{media}: Es la presión en el punto medio de la placa y es el valor que debemos encontrar. Sus unidades se encuentran en Pascales (N/m^2)

ρ : Es la densidad del desecho vegetal, $1000 Kg/m^3$.

w: Será la simbología utilizada al momento de aplicar la teoría de placas planas al considerar a la presión media como la carga distribuida uniformemente.

g: Es la aceleración de la gravedad, $9.81 m/s^2$.

H: Es la altura media de la placa a ser analizada, su valor corresponde a 1.30metros (H = 2.60 m./ 2)

Por tanto:

$$w = Pr(N/m^2) = 1000\,(Kg/m^3)\,x9.81(m/s^2)\,x1.30\,m = 12753\ Pa$$

Una vez obtenido la presión o carga distribuida en la pared del tanque, se diseñara el espesor de placa. Para este cálculo se incurrirá en la teoría de las placas planas obtenida a partir del libro texto RESISTENCIA DE MATERIALES por FRED B. SEELY (1954) en el capítulo XVI página 459, el cual sugiere aplicar para estos casos un ***espesor promedio*** entre los dos siguientes casos (Ver Anexo A):

(1) **Placas con bordes simplemente apoyados (3)**.- Cuyo esfuerzo máximo en la placa se halla en sus ejes diagonales. El esfuerzo máximo en estas diagonales (área crítica) se la determina por la fórmula:

$$s = \frac{1}{2} \text{ x } \frac{a^2}{a^2 + b^2} \text{ x } \frac{w.b^2}{t^2} \qquad 2.2$$

Donde:

s: Es el esfuerzo de trabajo realizado en la placa y deberá ser menor que el esfuerzo de diseño sugerido. El material del fondo y de las paredes se ha especificado como ASTM A-36. De la norma del INSTITUTO AMERICANO DE PETROLEO API-Standard 650, 10^{ma} edición, en su página 3.8 en la tabla 3.2 se especifica como datos de diseño para el Acero ASTM A36 lo siguiente:

Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo último (MPa)	Esfuerzo de diseño(MPa)
250	400	**160**

t: Es el espesor de placa expresada en metros para la consistencia de unidades. Este dato dentro de la metodología de los cálculos, será un dato iterativo, del cual se determinará vía fórmula el esfuerzo resultante dado por este espesor. Este esfuerzo de trabajo deberá ser menor o igual que el esfuerzo de diseño sugerido (160MPa) o muy próximo (Factor de seguridad igual a 1), en el caso que sea mayor, se deberá aumentar el espesor de placa para así evitar deformaciones permanentes.

w: Es la carga distribuida por unidad de área determinada anteriormente, 12753Pa.

a: Es el lado mayor de la placa expresada en metros.

b: Es el lado menor de la placa expresada en metros.

(2) **Placas con bordes totalmente empotrados (3)**.- Cuyo esfuerzo máximo en la placa se dan en los ejes centrales a manera de cruz. Para la determinación de este esfuerzo dentro de su área

crítica se hallará primero el momento máximo a partir de la fórmula siguiente (5):

$$M_{max} = (n).w.b^2 \qquad 2.3$$

Donde:

n: Es el coeficiente de momento hallado a partir del gráfico dado por la figura 2.2. Para esto se halla previamente la relación de lado corto sobre lado largo conocido como alfa (α) y se avanza hasta la curva determinada experimentalmente; el coeficiente de momento se lo encuentra en el eje de las ordenadas (eje y).

w: Es la carga distribuida por unidad de área determinada anteriormente, 12753 Pa.

b: Es el lado menor de la placa expresada en metros.

Una vez expresado el momento máximo, se halla el esfuerzo de trabajo máximo realizado en la placa dada la carga de trabajo por unidad de área distribuida en la placa de piso. Este esfuerzo es:

$$s = \frac{6.M_{max}}{t^2} \qquad 2.4$$

Realizando el reemplazo respectivo con la fórmula anterior se tiene:

$$s = \frac{6.n.w.b^2}{t^2} \qquad 2.5$$

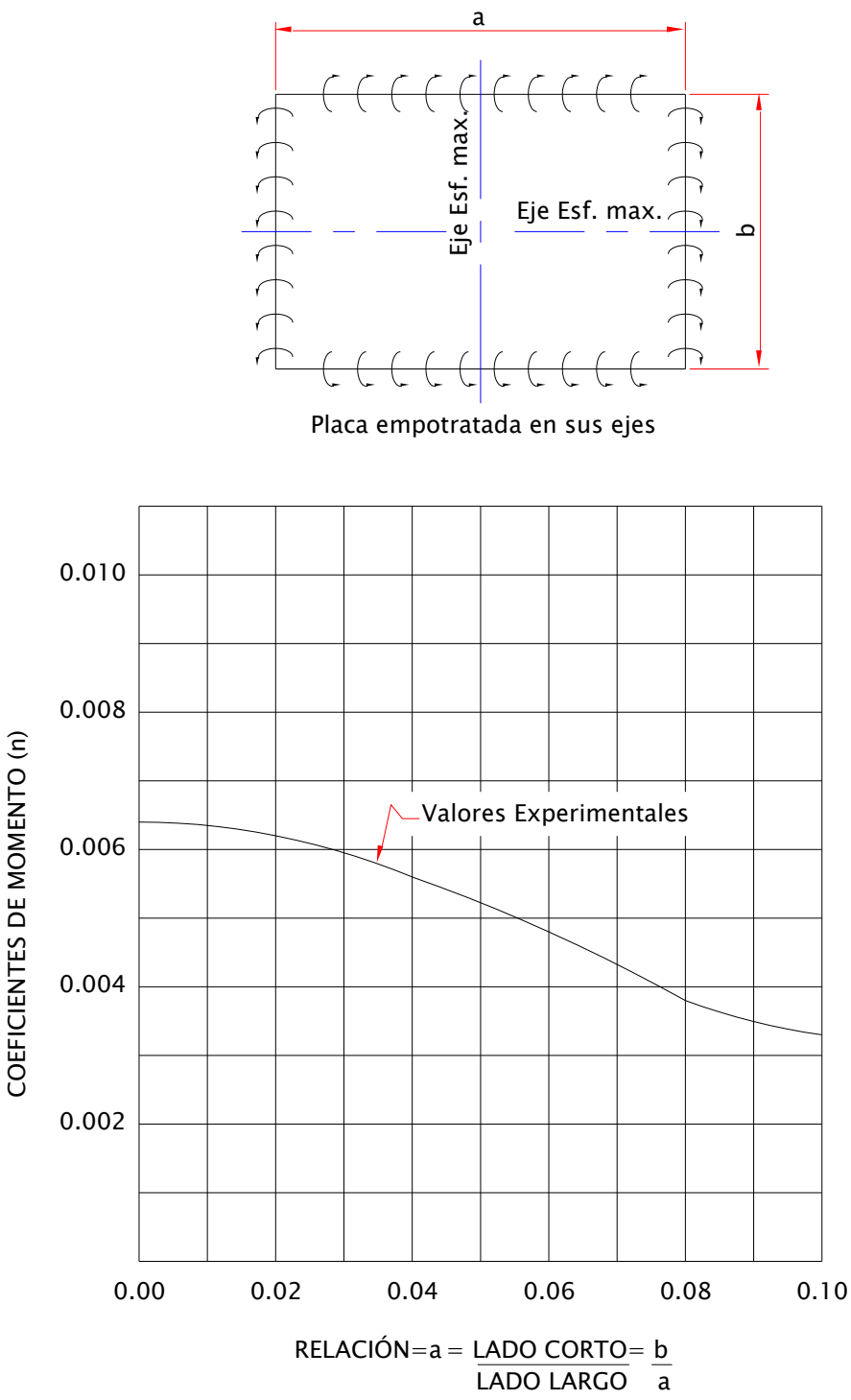


Figura 2.2.- COEFICIENTE DE MOMENTO

De igual manera que en el caso (1), t representa el espesor de placa expresada en metros para la consistencia de unidades.

Este dato dentro de la metodología de los cálculos también será un dato iterativo, del cual se determinará el esfuerzo de trabajo expresado, y deberá ser “menor o igual que” el esfuerzo de diseño sugerido (160MPa).

Definido los casos para la determinación de espesor de placa se empezará con el cálculo del mismo para diferentes espaciamientos de rigidizadores, en un primer caso se planteará la condición de la no existencia de rigidizadores intermedios (solo rigidizadores en los extremos) teniendo por tanto una placa del mismo porte que toda la cara del tanque (3.50x2.60 metros), posteriormente se añadirán rigidizadores intermedios.

Caso: Placa sin rigidizadores (Placa 3.50 x 2.60 metros).- Para este caso se considera entonces los siguientes datos de entrada.

Datos de entrada:

a: Lado mayor de placa, 3.50 metros

b: Lado menor de placa, 2.60 metros

w: Carga distribuida en fondo de tanque, 12753 Pa

t: Se aplica un espesor de placa de tal manera que dentro del cálculo de esfuerzo máximo nos de cómo resultado un esfuerzo próximo o igual al esfuerzo de diseño (160MPa). Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes espesores, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se aplica 13.20 milímetros o equivalente a 0.01320 metros.

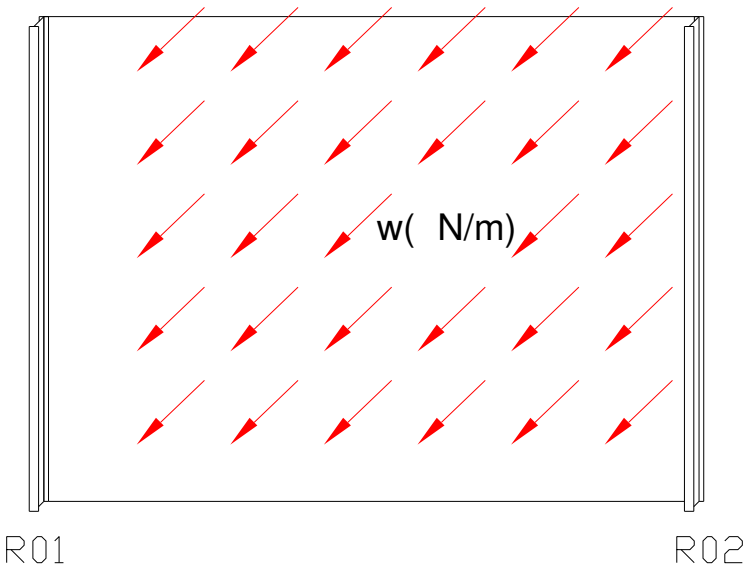


Figura 2.3.- ESQUEMA DE PARED SIN RIGIDIZADORES INTERMEDIO

Aplicando la fórmula 2.2 para el caso de placa simplemente apoyado en sus extremos, se obtiene:

$$s = \frac{1}{2} x \frac{(3.50\,\mathrm{m})^2}{(3.50\,\mathrm{m})^2 + (2.60\,\mathrm{m})^2} x \frac{(12753\ \mathrm{MPa})\,x(2.60\,\mathrm{m})^2}{(0.01320\ \mathrm{m})^2} = 159.42\,\mathrm{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos simplemente apoyados el espesor de placa asumido de 13.20mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo "menor que o igual" al esfuerzo de diseño.

Aplicando ahora la ecuación 2.5 para el caso de sus extremos, totalmente empotrados con los siguientes datos de entrada, se desarrolla lo siguiente:

Datos de entrada

a: Lado mayor de placa, 3.50 metros

b: Lado menor de placa, 2.60 metros

w: Carga distribuida en pared de tanque, 12753 Pa.

n: Valor encontrado de (0.042). Este dato es hallado como se dijo anteriormente a partir del gráfico 2.2, obteniendo previamente la relación b/a = 0.74

t: Se asume un espesor de placa de tal manera que dentro del cálculo de esfuerzo máximo nos de cómo resultado un esfuerzo próximo o igual al esfuerzo de diseño (160MPa). Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar

diferentes espesores, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se asume 11.70 milímetros o equivalente a 0.01170 metros

$$s = \frac{6 x 0.042 \, x 12753 \text{ Pa} x (2.60 \text{m})^2}{(0.01170 \text{ m})^2} = 158.70 \text{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos totalmente empotrados el espesor de placa asumido de 14.23mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo "menor que o igual" al esfuerzo de diseño.

Una vez hallado ambos espesores, se sugiere la aplicación de un espesor intermedio entre ambos datos, es así que el espesor hallado sería:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{13.20\text{mm} + 11.70\text{mm}}{2} = 12.45\text{mm}$$

Respuesta hallada 12.45 milímetros

Caso: Placa con 1 rigidizador central (Placa 2.60x1.75 metros).- Para este caso se tienen entonces los siguientes datos de entrada.

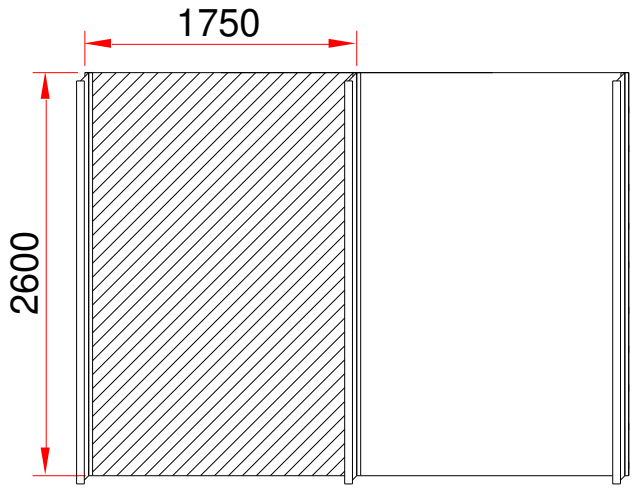


Figura 2.4.- ESQUEMA DE PARED CON UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO.

Datos de entrada

a: Lado mayor de placa, 2.60 metros

b: Lado menor de placa, 1.75 metros

w: Carga distribuida en fondo de tanque, 12753 Pa

t: Se asume un espesor de placa de igual manera que en el caso anterior, cuyo esfuerzo de trabajo de cómo resultado un esfuerzo próximo “menor o igual que” el esfuerzo de diseño (160MPa). Como se explico anteriormente, el espesor deberá aproximárselo usando una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se asume 9.17 milímetros o equivalente a 0.00917 metros.

Aplicando la fórmula 2.2 para el caso de placa simplemente apoyado en sus extremos, se obtiene:

$$s = \frac{1}{2} x \frac{(2.60\,\mathrm{m})^2}{(2.60\,\mathrm{m})^2 x (1.75\,\mathrm{m})^2} x \frac{12753\,(\mathrm{MPa}) x (1.75\,\mathrm{m})^2}{(0.00917\ \mathrm{m})^2} = 159.82\,\mathrm{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos simplemente apoyados el espesor de placa asumido de 9.17mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo menor que o casi igual al esfuerzo de diseño.

Aplicando ahora la ecuación 2.5 para el caso de sus extremos, totalmente empotrados con los siguientes datos de entrada, se desarrolla lo siguiente:

Datos de entrada

a: Lado mayor de placa, 2.60 metros

b: Lado menor de placa, 1.75 metros

w: Carga distribuida en fondo de tanque, 12753 Pa.

n: Valor encontrado de (0.043). Este dato es hallado como se dijo anteriormente a partir del gráfico 2.2, obteniendo previamente la relación b/a = 0.67

t: Se asume un espesor de placa de tal manera que dentro del cálculo de esfuerzo máximo nos de cómo resultado un esfuerzo

próximo o igual al esfuerzo de diseño (160MPa). Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes espesores, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se asume 7.94 milímetros o equivalente a 0.00794 metros

$$s = \frac{6 x 0.043 \, x 12753 \text{ Pa} x (1.75 \text{m})^2}{(0.00794 \text{ m})^2} = 159.83 \text{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos totalmente empotrados el espesor de placa asumido de 7.94mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo “menor que o igual” al esfuerzo de diseño.

Una vez hallado ambos espesores, se sugiere la aplicación de un espesor intermedio entre ambos datos, es así que el espesor hallado sería:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{9.17\text{mm} + 7.94\text{mm}}{2} = 8.56\text{mm}$$

Respuesta hallada 8.56 milímetros.

Caso: Varios rigidizadores.- A partir de la misma metodología aplicada en los dos casos anteriores, se irá añadiendo rigidizador tras rigidizador, obteniendo un conjunto de espesores de acuerdo al número de estos, es así que se presenta la siguiente tabla a partir de los cálculos ya realizados. Más adelante se decidirá que espesor tomar.

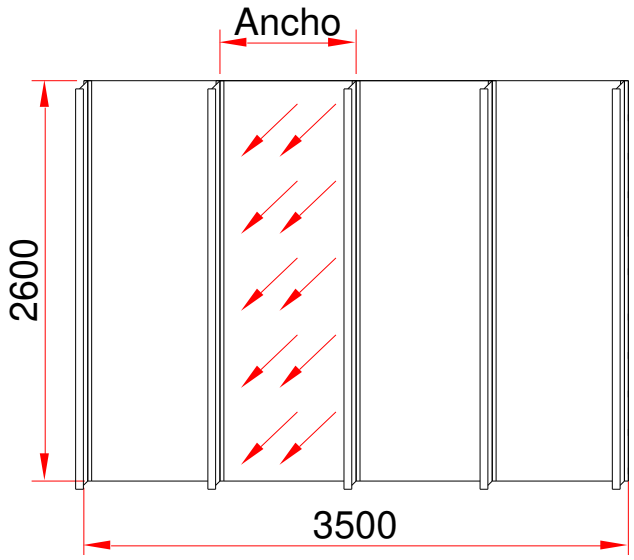


Figura 2.5.- ESQUEMA DE PARED CON VARIOS RIGIDIZADORES INTERMEDIOS.

TABLA 1

ESPESORES PROMEDIOS DE PARED DETERMINADOS EN BASE A NÚMERO DE RIGIDIZADORES.

Datos de entrada			Caso: Extremos Apoyados		Caso: Extremos Empotrados				Resultado
# Rigidizad.Interm	a mm	b mm	t1 mm	s1 Mpa	Alfa=b/a (Adim.)	n (Adim.)	t2 mm	s2 Mpa	(t1+t2)/2 mm
0	3.500	2.600	13,20	159,42	0,74	0,042	11,70	159,70	12,45
1	2.600	1.750	9,17	159,82	0,67	0,043	7,94	159,83	8,56
2	2.600	1.167	6,73	159,58	0,45	0,054	5,94	159,49	6,34
3	2.600	875	5,24	159,71	0,34	0,059	4,65	159,85	4,95
4	2.600	700	4,27	159,78	0,27	0,060	3,75	159,97	4,01
5	2.600	583	3,60	159,22	0,22	0,063	3,21	159,01	3,41
6	2.600	500	3,10	159,97	0,19	0,063	2,75	159,36	2,93

Diseño De Rigidizadores Con Selección De Perfil UPN.

Una vez determinado los diferentes espesores, dados los diferentes casos, se procederá a diseñar o seleccionar estos rigidizadores; posteriormente a ello se realizará una tabla de decisión en el que primará la selección ideal del caso basado principalmente en el menor peso.

Para la selección del rigidizador o selección del perfil, se asume un tipo de viga simplemente apoyada con carga uniformemente variada.

La metodología de este cálculo se la realizada a partir de la teoría expuesta en el texto MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS del autor BEER F. y JOHNSTON E. V edición, en su página 198 y en sus ejercicios resueltos en la 199 y 200. (4)

Determinando en primer lugar la carga puntual ubicada a 1/3 de la altura, desde el fondo, se calcula el momento máximo por flexión determinado por la fórmula 2.6 (Ver figura 2.6):

Una vez determinado el modelo para el cálculo, se expone la fórmula de momento máximo para una viga puntual aplicada a 1/3 de su altura.

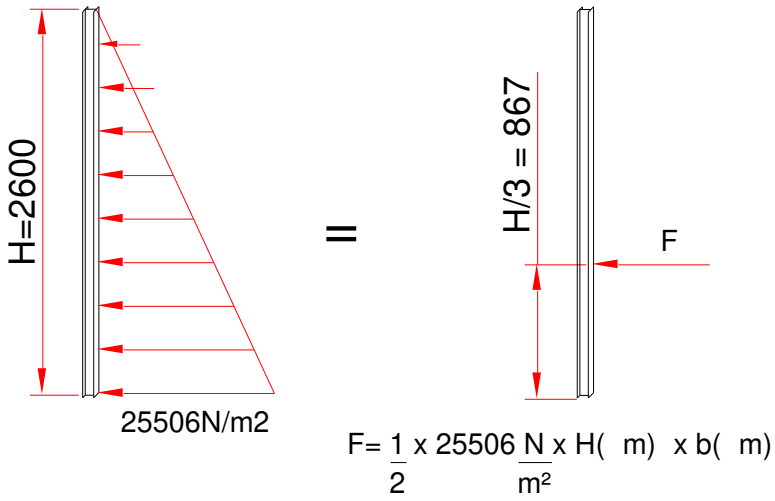


Figura 2.6.- MODELO PARA EL CÁLCULO DE MOMENTO DE RIGIDIZADOR PARED

$$M_{max}(N-m) = \frac{2}{9} xF(N) xH(m) \qquad 2.6$$

Donde:

F: Es la carga puntual de la viga cuyas unidades son N y se la haya de acuerdo a lo indicado en el gráfico 2.6. Sus unidades están dadas en Newton.

H: Es la longitud o luz del rigidizador dado en metros por la consistencia de unidades. Este valor es estandarizado por 2.60metros.

Una vez determinado el momento máximo se aplica la fórmula de esfuerzo de trabajo en vigas sometidas a flexión, el cual no deberá ser mayor que el esfuerzo de diseño (160MPa). (6)

$$\sigma = \frac{M_{max}.C}{I} \qquad 2.7$$

Donde:

C: Es la distancia de fibra externa medida desde el centro del perfil hacia su punto más alejado. Esta distancia deberá ser dada en metros.

I: Es la Inercia del perfil seleccionado y estará dada en m^4. Para la selección de este perfil se seleccionará un perfil cuyo esfuerzo de trabajo hallado sea menor o igual al esfuerzo de diseño. Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes perfiles tipo UPN, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft.

Caso: Pared sin rigidizadores (Placa 3.50 x 2.60 metros).- Puesto que no existen rigidizadores para el primer caso hallado, lógicamente no se procederá a realizar ningún cálculo para este caso.

Caso: Pared con 1 rigidizador medio (Placa 2.60x1.75 metros).- Se determinará la carga puntual ubicada a un tercio de la altura a partir del análisis de la carga uniformemente variada aplicada a este caso.

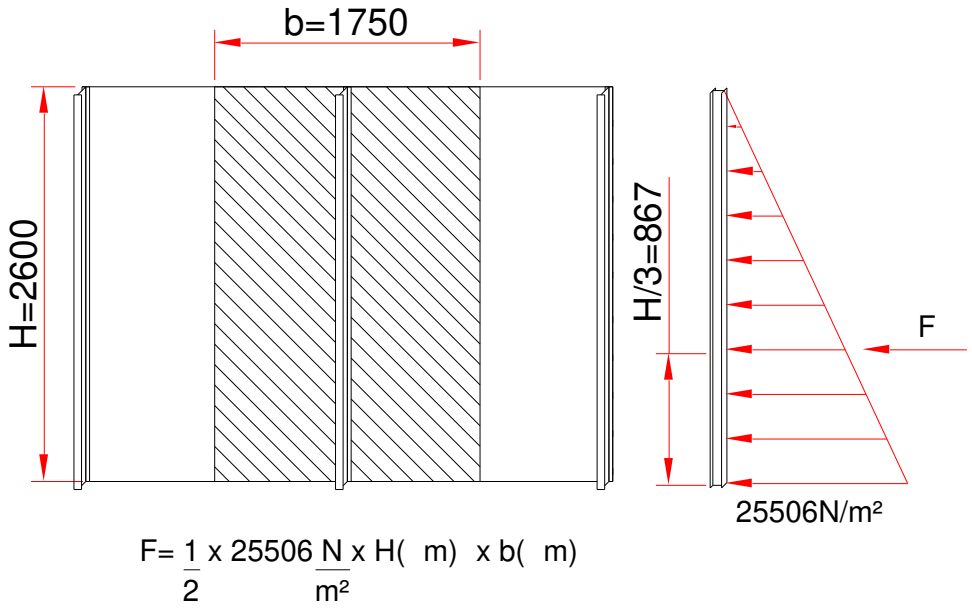


Figura 2.7.- CARGA APLICADA A 1 RIGIDIZADOR DE PARED

Hallando la carga puntual:

$$F(N) = \frac{1}{2} x25506\left(\frac{N}{m^2}\right) xH(m) xb(m) \qquad 2.8$$

$$F(N) = \frac{1}{2} x25506\left(\frac{N}{m^2}\right) x2.60(m) xb(m) = 33157.8 xb(m) \qquad 2.9$$

Donde:

b: Ancho de pared abarcado por el rigidizador que para este caso es igual a 1750mm

Desarrollando la ecuación expuesta, tenemos:

$$F(N) = 33157.8\left(\frac{N}{m}\right)x1.75(m) = 58026.15N$$

Aplicando la ecuación (2.6) de momento máximo de flexión:

$$M_{max}(N-m) = \frac{2}{9}x58026.15(N)x2.60(m) = 33526.22N-m$$

Resolviendo ahora la ecuación del esfuerzo de trabajo (2.7) en vigas sometidas a flexión, con los datos de entrada expuestos en tablas para el perfil tipo UPN-220, perfil cuyo esfuerzo de trabajo fue lo más próximo al esfuerzo de diseño, se tiene:

Datos de entrada:

C: 110 mm.

I: 2690 cm^4

$$\sigma = \frac{33526.22(N-m)x(0.110m)}{(2.69x10^{-5}m^4)} = 137.10MPa$$

Se señala nuevamente que el perfil seleccionado partió de un conjunto de iteraciones hasta que el factor de seguridad fuese el más próximo a 1 y nunca menor. Se indica por tanto que para este caso el perfil Tipo UPN-220 cumple la condición.

Caso: Pared con 2 rigidizadores medios (Placa 2.10 x 1.167 metros).- Encontrando nuevamente la carga puntual de acuerdo al modelo planteado en el dibujo 2.8.

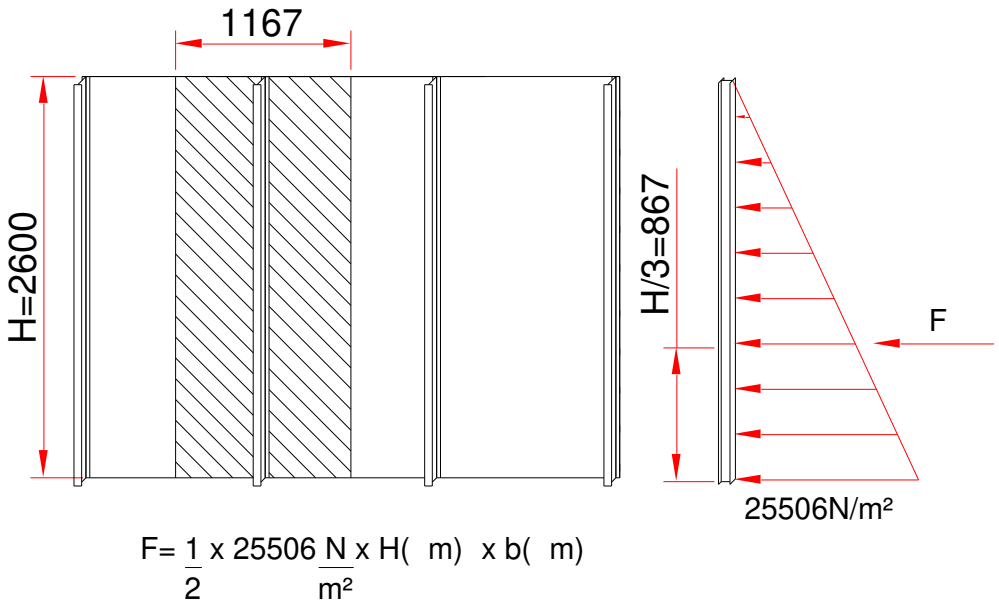


Figura 2.8.- CARGA APLICADA A 2 RIGIDIZADORES DE PARED.

Aplicando la ecuación 2.9 para la determinación de la carga puntual, con un valor de b igual a 1.167 metros (de acuerdo a gráfico):

$$F(N) = 33157.8 x b(m)$$

$$F(N) = 33157.8 x 1.167(m) = 38695.15 N$$

Por tanto el momento máximo (Ecuación 2.6):

$$M_{max}(N-m) = \frac{2}{9} x 38695.15(N) x 2.60(m) = 22357.20 N-m$$

Con un perfil tipo UPN-180, cuyo esfuerzo de trabajo fue lo más próximo al esfuerzo de diseño, se tiene:

Datos de entrada:

C: 90 mm.

I: 1350 cm^4

$$\sigma = \frac{22357.20(N-m) x (0.09 m)}{(1.35 x 10^{-5} m^4)} = 149.05 MPa$$

Se señala una vez más que el perfil seleccionado partió de un conjunto de iteraciones hasta que el factor de seguridad fuese los más próximo a 1 y nunca menor a este. Como resultado se indica que para este caso el perfil Tipo UPN-180 cumple la condición.

Caso: Varios rigidizadores.- Aplicando la metodología anterior, añadiendo rigidizador tras rigidizador, obteniendo así un conjunto de perfiles de acuerdo a la cantidad añadida, se presenta la tabla 2.2.

En la tabla 2.3, se presentan los datos de pesos determinados tanto para los perfiles así como los pesos de las placas de pared según sea su caso basado en el número de rigidizadores intermedios considerados.

TABLA 2

PERFILES TIPO UPN SELECCIONADOS DE ACUERDO A LA CANTIDAD DE RIGIDIZADORES INTERMEDIOS EN PARED.

			SELECCIÓN DE PERFIL IDÓNEO			
# Rigid.Interm	**b mm**	**F (N) .=33157,8xb**	**Tipo de Perfil**	**C mm**	**I cm^4**	**G<=160 Mpa**
0	3.500	--	--	--	--	--
1	1.750	58.026,15	UPN-220	110	2690	137,10
2	1.167	38.695,15	UPN-180	90	1350	149,05
3	875	29.013,08	UPN-160	80	925	144,98
4	700	23.210,46	UPN-140	70	605	155,16
5	583	19.341,94	UPN-140	70	605	129,30
6	500	16.578,90	UPN-120	60	364	157,89

TABLA 3

TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE RIGIDIZADORES UPN A ESCOGER Y DEL ESPESOR DE PLACA EN PARED.

CASO	TRAMOS DE VIGAS			DATOS PLACA		DATOS VIGAS			PESO TOTAL VIGA+PLACA Kg.
	# VIGAS INTERMEDIAS	# VIGAS EXTREMOS	# TOTAL DE VIGAS	ESPESOR PLACA mm	PESO PLACA Kg	TIPO DE VIGA UPN	PESO/M DE VIGA Kg/m	PESO TOTAL DE VIGA Kg.	
1	0	2	2	12,45	889,37	220	29,40	152,88	1042,25
2	1	2	3	8,56	611,48	220	29,40	229,32	840,80
3	2	2	4	6,34	452,90	180	22,00	228,80	681,70
4	3	2	5	4,95	353,60	160	18,80	244,40	598,00
5	4	2	6	4,01	286,45	140	16,00	249,60	536,05
6	5	2	7	3,41	243,59	140	16,00	291,20	534,79
7	6	2	8	2,93	209,30	120	13,40	278,72	488,02

En esta tabla se observa como a medida van aumentando el número de rigidizadores con perfil tipo UPN el espesor de placa va disminuyendo llegando a un total de seis rigidizadores intermedios, siendo este último el más óptimo ya que en suma total el peso de la placa mas rigidizadores presentan el menor peso. En la figura 2.9 se muestra un gráfico que señala el comportamiento del peso total de este conjunto, escogiendo el último caso de ellos UPN-120.

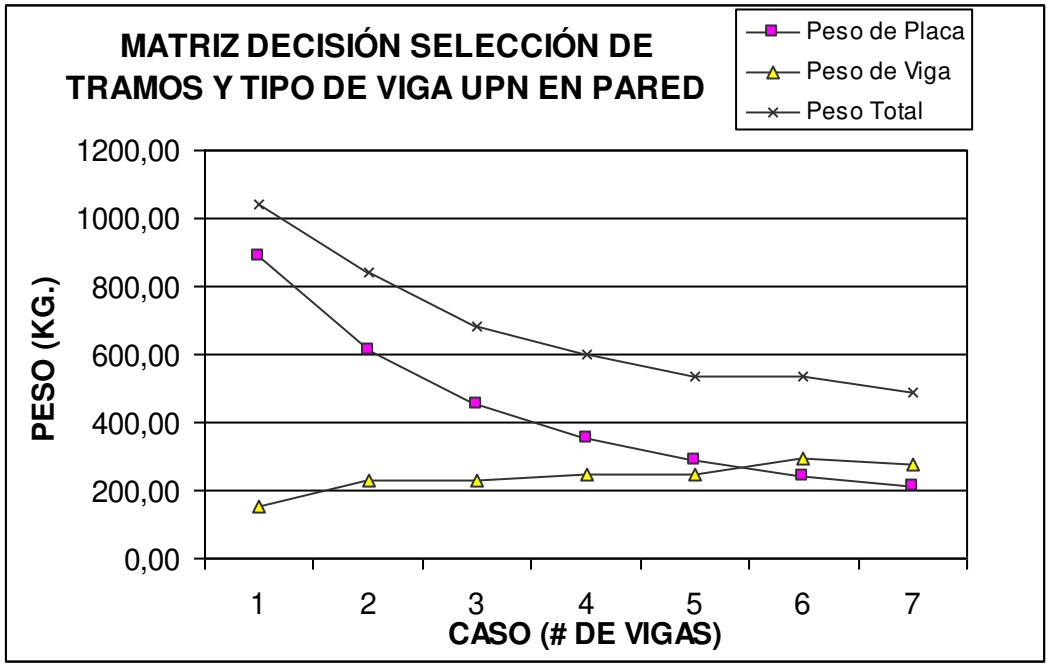


Figura 2.9.- COMPORTAMIENTO DE PESOS TOTALES CON EL TIPO DE PERFIL UPN EN PARED.

Diseño De Rigidizadores Con Selección De Perfil IPE.

Tratando de optimizar aún más la selección del tipo de rigidizador con el fin de aminorar el peso total de este conjunto analizado, se considera realizar los mismos cálculos hechos para el perfil UPN pero en otro perfil alternativo como lo es el perfil IPE. Este perfil es seleccionado puesto que por observaciones realizadas en este tipo de construcción mecánica se lo aplica considerablemente.

En la tabla 2.4, se presenta el resumen de los cálculos para la selección de rigidizadores tipo IPE en sus diferentes casos de acuerdo al número de rigidizadores intermedios colocados.

La selección más idónea dentro de los perfiles IPE de acuerdo a la tabla 2.5, se encuentra para el caso de seis rigidizadores intermedios con un peso del conjunto de 477.62Kg., puesto que esta selección representa un peso menor y por tanto mas óptimo que el hallado con los perfiles UPN (488.02 Kg.), se escoge a los perfiles tipo IPE en la construcción de la tolva o tanque rectangular, siendo este perfil del tipo IPE-140, espaciados 500 milímetros en promedio con un espesor de placa de 2.93mm.

TABLA 4

PERFILES TIPO IPE SELECCIONADOS DE ACUERDO A LA CANTIDAD DE RIGIDIZADORES INTERMEDIOS EN PARED.

			SELECCIÓN DE PERFIL IDÓNEO			
# Rigid.Interm	**b mm**	**F (N) .=33157,8xb**	**Tipo de Perfil**	**C mm**	**I cm^4**	**G<=160 Mpa**
0	3.500	--	--	--	--	--
1	1.750	58.026,15	IPE-220	110	2772	133,04
2	1.167	38.695,15	IPE-180	90	1317	158,78
3	875	29.013,08	IPE-160	80	869	154,32
4	700	23.210,46	IPE-160	80	869	123,46
5	583	19.341,94	IPE-140	70	541	144,60
6	500	16.578,90	IPE-140	70	541	123,94

TABLA 5

TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE RIGIDIZADORES IPE A ESCOGER Y DEL ESPESOR DE PLACA EN PARED.

CASO	TRAMOS DE VIGAS			DATOS PLACA		DATOS VIGAS			PESO TOTAL VIGA+PLACA Kg.
	# VIGAS INTERMEDIAS	# VIGAS EXTREMOS	# TOTAL DE VIGAS	ESPESOR PLACA mm	PESO PLACA Kg	TIPO DE VIGA IPE	PESO/M DE VIGA Kg/m	PESO TOTAL DE VIGA Kg.	
1	0	2	2	12,45	889,37	220	26,20	136,24	1025,61
2	1	2	3	8,56	611,48	220	26,20	204,36	815,84
3	2	2	4	6,34	452,90	180	18,80	195,52	648,42
4	3	2	5	4,95	353,60	160	15,80	205,40	559,00
5	4	2	6	4,01	286,45	160	15,80	246,48	532,93
6	5	2	7	3,41	243,59	140	12,90	234,78	478,37
7	6	2	8	2,93	209,30	140	12,90	268,32	477,62

Cabe señalar que por consideraciones de margen por corrosión se añadirán tres milímetros al espesor hallado.

Se presenta por último la figura 2.10, donde se muestra un gráfico para el comportamiento de la suma total de los pesos, aunque este comportamiento de las IPE no varía mucho con respecto a las UPN.

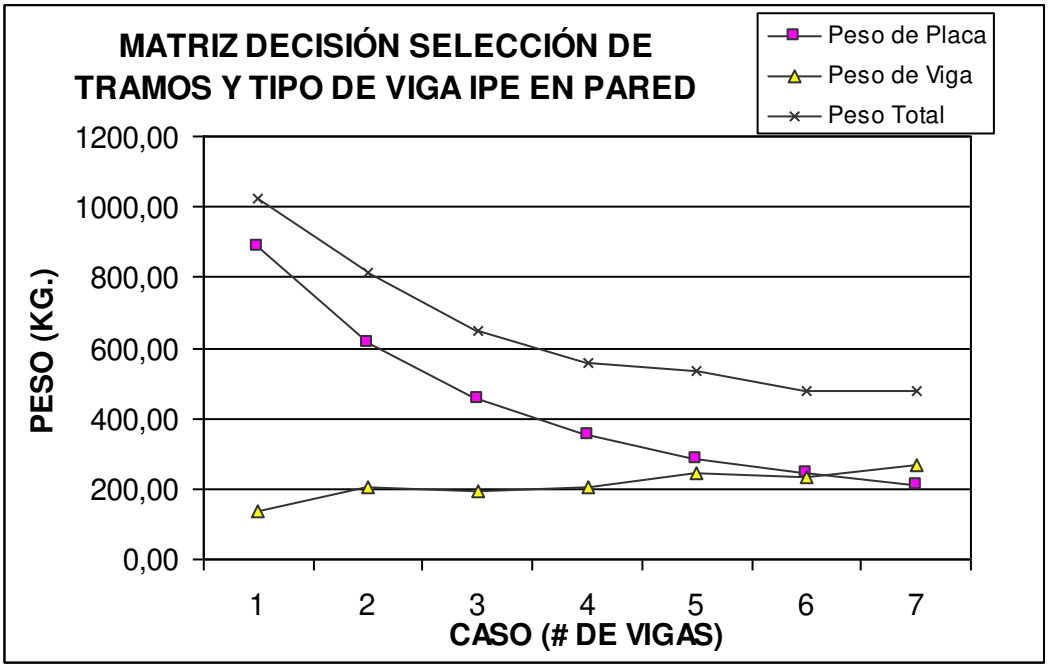


Figura 2.10.- COMPORTAMIENTO DE PESOS TOTALES CON EL TIPO DE PERFIL IPE EN PARED

Diseño De Primer Anillo Para Borde Superior.

Se determinará la carga a la cual se encuentra sometido el borde superior, el mismo que estará rigidizado por un perfil que permita absorber toda la carga aplicada a la cara del tanque. Se deberá conocer que las bocas de todo tanque son las áreas más delicadas dentro de todo el contexto del cuerpo.

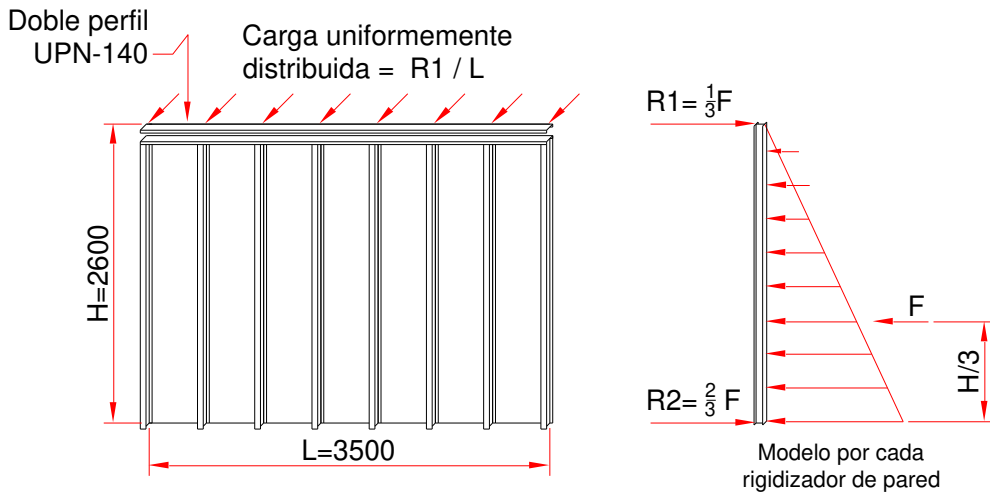


Figura 2.11.- Carga aplicada a borde superior de tanque

De acuerdo a la figura presentada, se muestra el borde superior, el cual absorbe las reacciones de cada uno de los rigidizadores verticales de pared y por cálculo estático estas reacciones son iguales a 1/3 de la fuerza total aplicada en toda la cara para el borde superior y de 2/3 para el borde inferior. Para mantener estandarizado la altura de los rigidizadores se escogerá un perfil de altura igual a

140, sin embargo para este borde superior se utilizará un perfil UPN con el fin de evitar acumulación de suciedades y basura.

Hallando la carga puntual F(N) como se lo ha realizado anteriormente (Ver ecuación 2.8):

$$F(N) = \frac{1}{2} x25506 \left(\frac{N}{m^2} \right) xH(m) xL(m)$$

$$F(N) = \frac{1}{2} x25506 \left(\frac{N}{m^2} \right) x2.60(m) x3.50(m) = 116052.30(N)$$

Por tanto la Reacción uno (R_1) con su respectiva carga uniformemente distribuida en todo el lado del borde superior será:

$R_1(N) = \frac{F}{3} = \frac{116052.30(N)}{3} = 38684.10(N)$, por tanto:

$$w = \frac{R_1(N)}{L} = \frac{38684.10(N)}{3.50(m)} = 11052.60(N/m)$$

Aplicando la ecuación de momento máximo de flexión para vigas simplemente apoyadas con carga uniformemente distribuida, se tiene (5):

$$M_{max}(N-m) = \frac{w.L^2}{8} \qquad 2.10$$

Donde:

w: Es la carga uniformemente distribuida a lo largo del borde superior de la cara del tanque, 11052.60(N/m).

L: Es la longitud total del rigidizador del borde y su valor es de 3.50 metros.

$$M_{max}(N-m)=\frac{11052.60(n/m).(3.50m)^2}{8}=16924.30N-m$$

Resolviendo ahora la ecuación del esfuerzo de trabajo en vigas sometidas a flexión, con los datos de entrada expuestos en tablas para el perfil tipo UPN-140, para el cual se requerirá de 2 perfiles y con estos satisfaga la condición que su esfuerzo de trabajo sea menor o igual que el esfuerzo de diseño:

Al momento de construir se analiza el caso de que estas 2 UPN puedan ser reemplazadas por una HEB-140 cuya inercia aún excede a la de los perfiles UPN (1520cm^4), sin embargo deberá considerarse la forma de evitar que se acumulen residuos por la geometría propia, por tanto estos perfiles UPN no serán cambiados.

Datos de entrada (Ver ecuación 2.7):

C: 70 mm.

I: 605 cm^4, por tanto para 2 perfiles será 1210 cm^4

$$\sigma = \frac{16924\ .30(\mathrm{N}-\mathrm{m})\,\mathrm{x}(0.070\,\mathrm{m})}{(1.21\,\mathrm{x}10^{-5}\,\mathrm{m}^4)} = 97.91\mathrm{MPa}$$

Con un esfuerzo de trabajo menor que el de diseño se concluye que para el borde se podrá usar sin problema el doble perfil UPN-140.

Diseño De Para Borde Inferior De Tanque.

A partir de la figura 2.11 se observa que la carga uniformemente distribuida para el borde inferior será igual a 2/3 de la carga total que absorberá la cara del tanque. A partir de la misma metodología del cálculo para el borde superior, se tiene:

$\mathrm{R}_2(\mathrm{N}) = \frac{2}{3}\mathrm{F} = \frac{2}{3}\,\mathrm{x}1\,16052.30(\mathrm{N}) = 77368.20(\mathrm{N})$, por tanto:

$$\mathrm{w} = \frac{\mathrm{R}_2(\mathrm{N})}{\mathrm{L}} = \frac{77368\ .2(\mathrm{N})}{3.50(\mathrm{m})} = 22105\ .20(\mathrm{N}/\mathrm{m})$$

Aplicando la ecuación de momento máximo ya definida anteriormente (Ecuación 2.10):

$$\mathrm{M}_{\max}(\mathrm{N}-\mathrm{m}) = \frac{22105\ .20(\mathrm{N}/\mathrm{m})\,\mathrm{x}(3.50\mathrm{m})^2}{8} = 33848\ .59\,\mathrm{N}-\mathrm{m}$$

Calculado el momento máximo de trabajo, se procede a determinar el esfuerzo, para ello se escoge una viga con un perfil HEB-140, puesto que la inercia de los dos perfiles UPN para este caso con respecto a la HEB-140 resultan insuficientes.

Datos de entrada (Ver ecuación 2.7):

C: 70 mm.

I: 1520 cm^4.

$$\sigma = \frac{33848\ .59(\mathrm{N-m})\,x(0.070\,\mathrm{m})}{(1.52\,x10^{-5}\,\mathrm{m}^4)} = 155\,.88\,\mathrm{MPa}$$

Por tanto se dice que el perfil HEB-140 cumple los requerimientos de diseño para el borde inferior del tanque.

7.4 Diseño de fondo de tanque tipo compuerta.

En este subcapítulo los cálculos realizados se dividirán en dos fases, el primero para el diseño de la placa del fondo con su respectiva selección de sus rigidizadores, y la segunda fase para el diseño del mecanismo de apertura del fondo para su funcionamiento como compuerta.

Diseño De Placa Y Rigidizadores Para El Piso

Diseño De Placa

Para el diseño del fondo del piso, se deberá contar nuevamente con la carga en el fondo. Por tanto el cálculo de carga en el fondo se desarrolla de la siguiente manera:

$$\text{Vol} = \text{AxBxH} = 3.50\text{x}2.10\text{x}2.60 = 19.11\text{m}^3 \qquad 2.11$$

Donde:

A: Es el largo del tanque, 3.50 metros

B: El ancho, 2.10 metros

H: La altura de tanque, 2.60 metros

La distribución de carga y peso total se encuentra entonces:

$$\text{m} = \rho.\text{Vol} \qquad 2.12$$

Donde:

m: Es la masa que debemos encontrar

ρ: Es la densidad del desecho vegetal, 1000Kg/m^3.

Vol.: Es el volumen ya determinado, 19.11m^3.

Por tanto:

$$\text{m} = 1000\,(\text{Kg}/\text{m}^3)\text{x}19.11(\text{m}^3) = 19110\ \text{Kg}$$

Y la carga por unidad de área (m^2) es:

$$w(Kg/m^3) = \frac{m}{Area} = \frac{m}{AxB} \qquad 2.13$$

Desarrollando esta última ecuación para obtener la distribución de carga en el fondo, se tiene:

$$w(Kg/m^3) = \frac{19110\ Kg}{(3.50\,x2.10)m^2} = 2600\ Kg/m^2 = 25506\ N/m^2$$

Cabe señalar que la presión o carga distribuida en el fondo pudo determinarse también a partir de la fórmula típica de presión:

$$w = Pr_{fondo} = \rho x g x H \qquad 2.14$$

$$w = Pr(N/m^2) = 1000\,(Kg/m^3)\,x9.81(m/s^2)\,x2.60\,m = 25506\ Pa$$

Una vez obtenido la presión o carga distribuida en el fondo, se diseñara el espesor de placa de fondo. Se incurrirá en teoría de las placas planas (3), el cual sugiere aplicar para estos casos un ***espesor promedio*** entre los dos casos explicados en la página 14, de los cuales simplemente se vuelve a presentar sus ecuación principales de esfuerzos máximos de trabajo.

(1) **Placas con bordes simplemente apoyados.**

$$s = \frac{1}{2} x \frac{a^2}{a^2 + b^2} x \frac{w.b^2}{t^2}$$

Donde:

s: Es el esfuerzo de trabajo realizado en la placa y será >o igual que 160 MPa.

t: Es el espesor de placa expresada en metros.

w: Es la carga distribuida por unidad de área determinada anteriormente, 25506Pa.

a: Es el lado mayor de la placa (metros).

b: Es el lado menor de la placa (metros).

(2) **Placas con bordes totalmente empotrados**.

$$s = \frac{6.n.w.b^2}{t^2}$$

Donde:

n: Es el coeficiente de momento hallado a partir del gráfico dado por la figura 2.2.

w: Es la carga distribuida por unidad de área ya determinada, 25506Pa.

b: Es el lado menor de la placa expresada en metros y.

t: Es el espesor de placa expresada en metros.

Se recalca que estos procedimientos de cálculo son los mismos que fueron ya planteados al momento de calcular los espesores de placa de pared. Aquí se presentarán los diferentes casos consistentes en ir añadiendo rigidizador tras rigidizador para de esta forma disminuir el espesor de chapa del piso, sin embrago posteriormente se analizará cual será el número óptimo de rigidizadores, cuyos pesos al ser sumados con los de placa de piso deberán ser lo óptimos o de menor peso.

Caso: Placa sin rigidizadores (Placa 3.50 x 2.10 metros).- Para este caso se tienen entonces los siguientes datos de entrada.

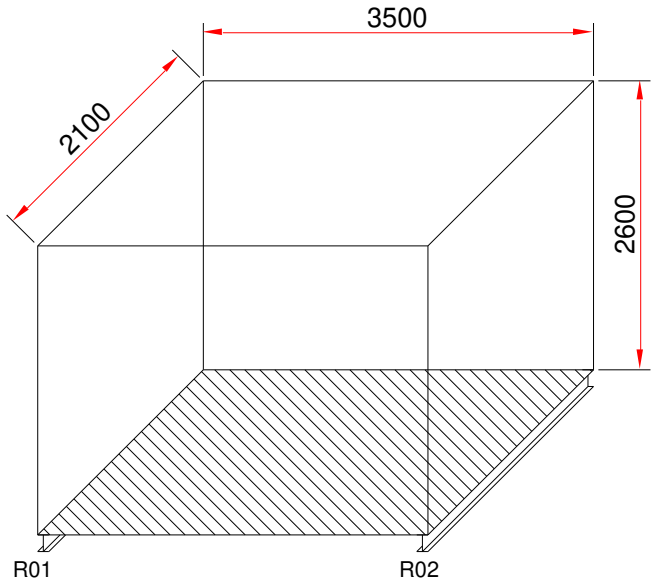


Figura 2.12.- ESQUEMA DE PISO SIN RIGIDIZADORES INTERMEDIOS

Datos de entrada

a: Lado mayor de placa, 3.50 metros

b: Lado menor de placa, 2.10 metros

w: Carga distribuida en fondo de tanque, 25506 Pa

t: Se asume un espesor de placa de tal manera que dentro del cálculo de esfuerzo máximo nos de cómo resultado un esfuerzo próximo o igual al esfuerzo de diseño (160MPa). Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes espesores, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se asume 16.08 milímetros o equivalente a 0.01608 metros.

Aplicando la fórmula 2.2 para el caso de placa simplemente apoyado en sus extremos, se obtiene:

$$s = \frac{1}{2} x \frac{(3.50\,\mathrm{m})^2}{(3.50\,\mathrm{m})^2 + (2.10\,\mathrm{m})^2} x \frac{25506\ (\mathrm{MPa})\,x2.10^2}{(0.01608\ \mathrm{m})^2} = 159.93\,\mathrm{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos simplemente apoyados el espesor de placa asumido de 16.08mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo menor que o casi igual al esfuerzo de diseño.

Aplicando ahora la ecuación 2.5 para el caso de tener sus extremos, totalmente empotrados con los siguientes datos de entrada, se desarrolla lo siguiente:

Datos de entrada

a: Lado mayor de placa, 3.50 metros

b: Lado menor de placa, 2.10 metros

w: Carga distribuida en fondo de tanque, 25506 Pa.

n: Valor encontrado de (0.048). Este dato es hallado como se dijo anteriormente a partir del gráfico 2.2, obteniendo previamente la relación b/a=0.60

t: Se asume un espesor de placa de tal manera que dentro del cálculo de esfuerzo máximo nos de cómo resultado un esfuerzo próximo o igual al esfuerzo de diseño (160MPa). Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes espesores, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se asume 14.23 milímetros o equivalente a 0.01423 metros

$$s = \frac{6 \text{x} 0.048 \text{ x} 25506 \text{ Pa} \text{x} (2.10 \text{m})^2}{(0.01423 \text{ m})^2} = 159.98 \text{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos totalmente empotrados el espesor de placa asumido de 14.23mm

satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo menor que o casi igual al esfuerzo de diseño.

Una vez hallado ambos espesores, se sugiere la aplicación de un espesor intermedio entre ambos datos, es así que el espesor hallado sería:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{16.08mm + 14.23mm}{2} = 15.16mm$$

Respuesta hallada 15.16 milímetros

Caso: Placa con 1 rigidizador medio (Placa 2.10x1.75 metros).- Para este caso se tienen entonces los siguientes datos de entrada.

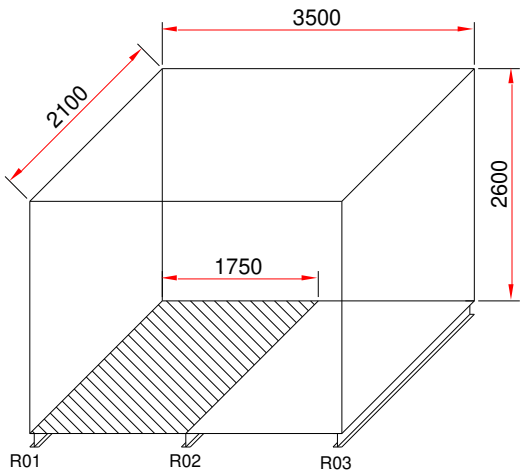


Figura 2.13.- ESQUEMA DE PISO CON UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO.

Datos de entrada

a: Lado mayor de placa, 2.10 metros

b: Lado menor de placa, 1.75 metros

w: Carga distribuida en fondo de tanque, 25506 Pa

t: Se asume un espesor de placa de tal manera que dentro del cálculo de esfuerzo máximo nos de cómo resultado un esfuerzo próximo o igual al esfuerzo de diseño (160MPa). Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes espesores, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se asume 12.01 milímetros o equivalente a 0.01201 metros.

Aplicando la fórmula 2.2 para el caso de placa simplemente apoyado en sus extremos, se obtiene:

$$s = \frac{1}{2} \text{x} \frac{(2.10\,\text{m})^2}{(2.10\,\text{m})^2 + (1.75\,\text{m})^2} \text{x} \frac{25506 \cdot (\text{MPa})\,\text{x}(1.75\,\text{m})^2}{(0.01201\,\text{m})^2} = 159.80\,\text{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos simplemente apoyados el espesor de placa asumido de 12.01mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo menor que o casi igual al esfuerzo de diseño.

Aplicando ahora la ecuación 2.5 para el caso de con sus extremos, totalmente empotrados con los siguientes datos de entrada, se desarrolla lo siguiente:

Datos de entrada

a: Lado mayor de placa, 2.10 metros

b: Lado menor de placa, 1.75 metros

w: Carga distribuida en fondo de tanque, 25506 Pa.

n: Valor encontrado de (0.036). Este dato es hallado como se dijo anteriormente a partir del gráfico 2.2, obteniendo previamente la relación b/a=0.83

t: Se asume un espesor de placa de tal manera que dentro del cálculo de esfuerzo máximo nos de cómo resultado un esfuerzo próximo o igual al esfuerzo de diseño (160MPa). Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes espesores, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft. Se asume 10.27 milímetros o equivalente a 0.01027 metros

$$s = \frac{6 x 0.036 \, x 25506 \text{ Pa} \, x (1.75 \text{m})^2}{(0.01027 \text{ m})^2} = 159.97 \text{MPa}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos totalmente empotrados el espesor de placa asumido de 10.27mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo menor que o casi igual al esfuerzo de diseño.

Una vez hallado ambos espesores, se sugiere la aplicación de un espesor intermedio entra ambos datos, es así que el espesor hallado sería:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{12.01\text{mm} + 10.27\text{mm}}{2} = 11.14\text{mm}$$

Respuesta hallada 11.14 milímetros

Caso: Varios rigidizadores.- A partir de la misma metodología aplicada en los casos anteriores, se irá añadiendo rigidizador tras rigidizador, obteniendo un conjunto de espesores de acuerdo al número de estos, es así que se presenta la siguiente tabla a partir de estos mismos cálculos. Mas adelante se decidirá que espesor tomar.

TABLA 6

ESPESORES PROMEDIOS DE PISO DETERMINADOS EN BASE A NÚMERO DE RIGIDIZADORES.

Datos de entrada			Caso: Extremos Apoyados		Caso: Extremos Empotrados				Resultado
# Rigidizad.Interm	a mm	b mm	t1 mm	s1 Mpa	Alfa=b/a (Adim.)	n (Adim.)	t2 mm	s2 Mpa	(t1+t2)/2 mm
0	3.500	2.100	16,08	159,93	0,60	0,048	14,23	159,98	15,16
1	2.100	1.750	12,01	159,80	0,83	0,036	10,27	159,97	11,14
2	2.100	1.167	9,11	159,90	0,56	0,050	8,08	159,62	8,60
3	2.100	875	7,22	159,60	0,42	0,054	6,29	159,92	6,76
4	2.100	700	5,93	159,93	0,33	0,058	5,22	159,62	5,58
5	2.100	583	5,02	159,70	0,28	0,060	4,42	159,75	4,72
6	2.100	500	4,35	159,45	0,24	0,061	3,82	159,93	4,09

Diseño De Rigidizadores Con Selección De Perfil IPE.

Una vez determinado los diferentes espesores, dados los varios casos en base al número de rigidizadores, se procederá a diseñar o seleccionarlos; posteriormente a ello se realizará una matriz de decisión en el que primaría la selección ideal del caso basado principalmente en el menor peso.

Para la selección del rigidizador o selección del perfil, se asumirá un tipo de viga simplemente apoyada, donde el momento máximo por flexión se encuentra determinado por la siguiente fórmula: (5)

$$M_{max}(N-m) = \frac{W(N/m)x[L(m)]^2}{8} \qquad 2.14$$

Donde:

W: Es la carga distribuida linealmente en la viga cuyas unidades son N/m. Esta carga se la determina multiplicando la presión en el fondo del tanque ($w = 25506 N/m^2$) por el ancho medio el cual soportaría cada viga en estudio dentro de su respectivo caso.

L: Es la longitud o luz del rigidizador dado en metros por la consistencia de unidades. Se señala que en condiciones prácticas esta luz no será igual al ancho del fondo (2.10metros), sino que será un poco mas largo por motivos apegados a la construcción. Este valor es estandarizado por 2.57metros.

Una vez determinado el momento máximo se aplica la fórmula de esfuerzo de trabajo en vigas sometidas a flexión, el cual no deberá ser mayor que el esfuerzo de diseño (160MPa). (6)

$$\sigma = \frac{M_{max}.C}{I} \qquad 2.15$$

Donde:

C: Es la distancia de fibra externa medida desde el centro del perfil hacia su punto más alejado. Esta distancia deberá ser dada en metros.

I: Es la Inercia del perfil seleccionado y estará dada en m^4. Para la selección de este perfil se seleccionará un perfil cuyo esfuerzo de trabajo hallado sea menor o igual al esfuerzo de diseño. Se señala a manera de sugerencia que este cálculo sale a partir de iterar diferentes perfiles tipo IPE, por lo que se recomienda desarrollarlos en una hoja electrónica como EXCEL de Microsoft.

Caso: Piso sin rigidizadores (Placa 3.50 x 2.10 metros).- Puesto que no existen rigidizadores para el primer caso hallado, lógicamente no se procederá a realizar ningún cálculo para este caso.

Caso: Piso con 1 rigidizador medio (Placa 2.10x1.75 metros).-Se determinará la carga linealmente distribuida a la cual se somete el rigidizador.

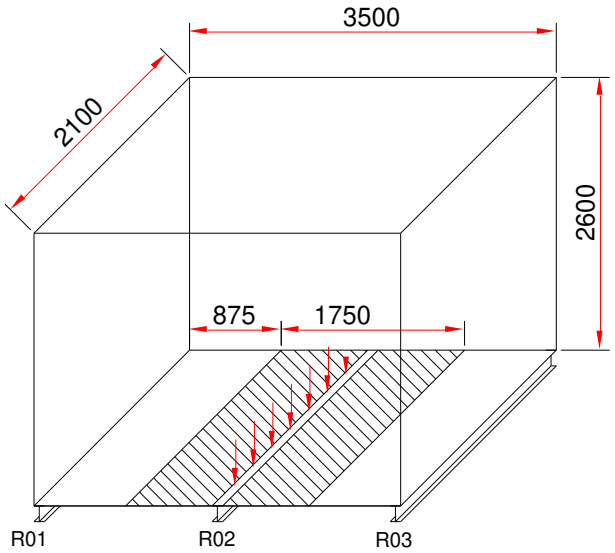


Figura 2.14.- CARGA LINEALMENTE DISTRIBUIDA EN 1 RIGIDIZADOR

A partir de la carga uniformemente distribuida en el piso, se tiene:

$$W(N/m) = w(N/m^2)\,xb(m) \qquad 2.16$$

Donde:

W: Es la carga linealmente distribuida la cual absorberá la viga y es el dato que se encontrará, sus unidades son los N/m.

b: Ancho de piso abarcado por viga, 1.75 metros (de acuerdo a gráfico).

w: Carga distribuida en fondo de tanque hallado anteriormente, 25506 N/m^2.

Desarrollando la ecuación expuesta, tenemos:

$$W(Kg/m) = 25506\ (N/m^2)\,x1.75(m) = 44635\ .5\,N/m$$

Aplicando la ecuación (2.14) de momento máximo por flexión:

$$M_{max}(N-m) = \frac{44635\ .5(N/m)\,x(2.57\,m)^2}{8} = 36851\ .63\,N-m$$

Resolviendo ahora la ecuación del esfuerzo de trabajo en vigas sometidas a flexión (2.15), con los datos de entrada expuestos en tablas para el perfil tipo IPE-220, perfil cuyo esfuerzo de trabajo fue lo más próximo al esfuerzo de diseño, se tiene: (6)

Datos de entrada:

C: 110 mm.

I: 2772 cm^4

$$\sigma = \frac{36851\ .63(N-m)\,x(0.110\,m)}{(2.772\,x10^{-5}\,m^4)} = 146\ .24\,MPa$$

Se señala nuevamente que el perfil seleccionado partió de un conjunto de iteraciones hasta que el factor de seguridad fuese los más próximo a 1 y nunca menor a este. Como resultado se indica que para este caso el perfil Tipo IPE-220 cumple la condición.

Caso: Piso con 2 rigidizadores medio (Placa 2.10x1.167 metros).- Nuevamente se determinará la carga linealmente distribuida a la cual se somete el rigidizador.

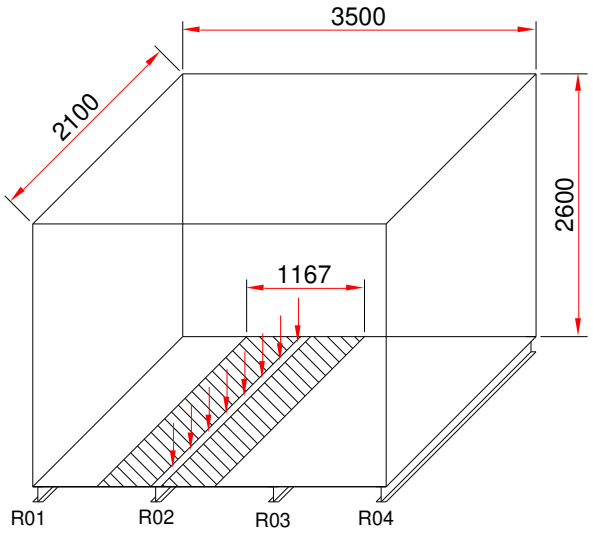


Figura 2.15.- CARGA LINEALMENTE DISTRIBUIDA EN 2 RIGIDIZADORES.

Hallando para este caso la carga uniformemente distribuida con los siguientes datos de entrada, se tiene:

Datos de entrada:

b: Ancho de piso abarcado por viga, 1.167 metros (de acuerdo a gráfico)

w: Carga distribuida en fondo de tanque hallado anteriormente, 25506 N/m^2.

$$W(N/m) = w(N/m^2)\,xb(m) = 25506\,(N/m^2)\,x1.167\,(m)$$

$$W(N/m) = 29765.5\,N/m$$

Determinando ahora el momento máximo:

$$M_{max}(N-m) = \frac{29765\,.5(N/m)\,x(2.57\,m)^2}{8} = 24574\,.8N-m$$

Una vez más hallando el esfuerzo de trabajo en la viga sometida a flexión, con los datos de entrada expuestos en tablas para el perfil tipo IPE-200, perfil cuyo esfuerzo de trabajo fue lo más próximo al esfuerzo de diseño, se tiene:

Datos de entrada:

C: 100 mm.

I: 1943 cm^4

$$\sigma = \frac{24574\,.8(N-m)\,x(0.100\,m)}{(1.943\,x10^{-5}\,m^4)} = 126\,.48\,MPa$$

Se señala nuevamente que el perfil seleccionado partió de un conjunto de iteraciones hasta que el factor de seguridad fuese los más próximo a 1 y nunca menor a este. Como resultado se indica que para este caso el perfil Tipo IPE-200 cumple la condición.

Caso: Varios rigidizadores.- A partir de la misma metodología aplicada en los casos anteriores, se irá añadiendo rigidizador tras rigidizador, obteniendo un conjunto de perfiles de acuerdo a la cantidad añadida, los mismos que a mayor número, menor será la cantidad de carga a absorber, de esta forma se presenta la tabla 2.7. En la tabla 2.8, se presentan los datos de pesos determinados

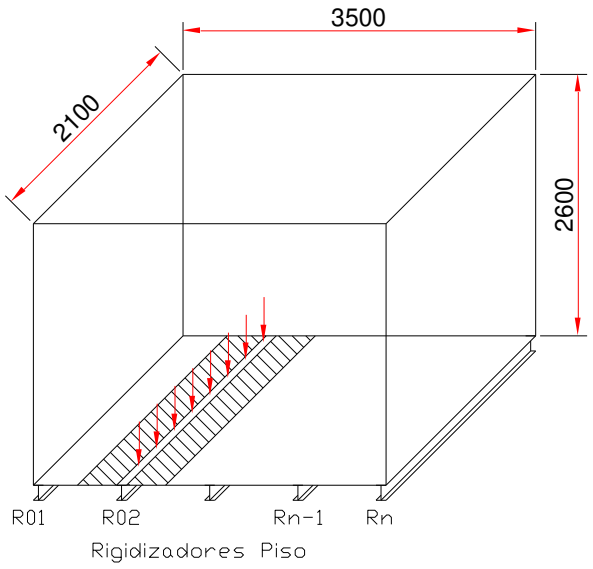


Figura 2.16.- CARGA LINEALMENTE DISTRIBUIDA EN N RIGIDIZADORES.

TABLA 7

PERFILES TIPO IPE SELECCIONADOS DE ACUERDO A LA CANTIDAD DE RIGIDIZADORES INTERMEDIOS.

			SELECCIÓN DE PERFIL IDÓNEO			
# Rigid.Interm	b mm	W (N/m) .= b.w	Tipo de Perfil	C mm	I cm^4	G<=160 Mpa
0	3.500	89.271,0	--	--	--	--
1	1.750	44.635,5	IPE-220	110	2772	146,24
2	1.167	29.765,5	IPE-200	100	1943	126,48
3	875	22.317,8	IPE-180	90	1317	125,92
4	700	17.854,2	IPE-160	80	869	135,70
5	583	14.870,0	IPE-140	70	541	158,85
6	500	12.753,0	IPE-140	70	541	136,24

TABLA 8

TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE RIGIDIZADORES A ESCOGER Y DEL ESPESOR DE PLACA EN PISO.

CANTIDAD DE RIGIDIZADORES O VIGAS			DATOS DE PLACA		DATOS DE VIGAS TIPO IPE			
# VIGAS INTERMEDIAS	# VIGAS EXTREMOS	# TOTAL DE RIGIDIZ.	ESPESOR PLACA mm	PESO PLACA Kg	TIPO DE VIGA IPE	PESO/M DE VIGA Kg/m	PESO TOTAL DE VIGA Kg.	PESO TOTAL VIGA+PLACA Kg.
0	2	2	15,86	1120,51	220	26,20	134,67	1255,18
1	2	3	11,14	787,04	220	26,20	202,00	989,04
2	2	4	8,60	607,59	200	22,40	230,27	837,86
3	2	5	6,76	477,59	180	18,80	241,58	719,17
4	2	6	5,58	394,23	160	15,80	243,64	637,86
5	2	7	4,72	333,47	140	12,90	232,07	565,54
6	2	8	4,09	288,96	140	12,90	265,22	554,18

para cada caso, exponiendo la relación entre el espesor de placas de piso y sus rigidizadores para cada caso.

En esta tabla última se observa como a medida van aumentando el número de rigidizadores con perfil tipo IPE el espesor de placa va disminuyendo llegando a un total de seis rigidizadores intermedios, siendo este último el más óptimo ya que en suma total el peso de la placa mas rigidizadores presentan el menor peso. En la figura 2.17 se muestra un gráfico que señala el comportamiento del peso total de este conjunto.

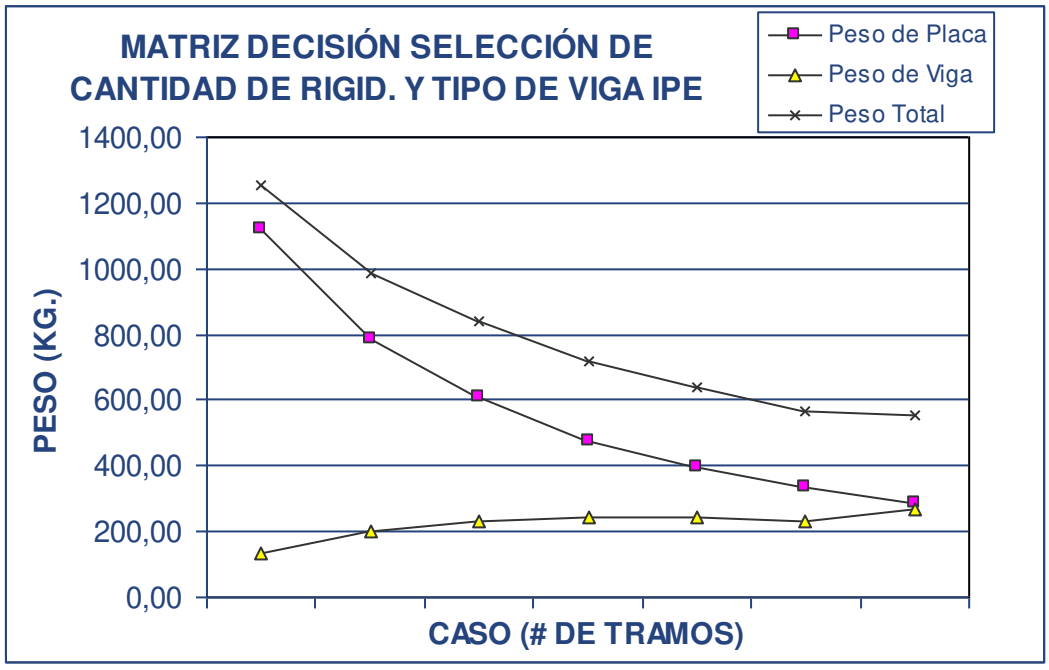


Figura 2.17.- COMPORTAMIENTO DE PESOS TOTALES CON EL TIPO DE PERFIL IPE.

Diseño De Rigidizadores Con Selección De Perfil UPN.

Tratando de optimizar aún más la selección del tipo de rigidizador con el fin de minorar el peso total de este conjunto analizado, se considera realizar los mismos cálculos hechos para el perfil IPE pero en otro perfil alternativo como lo es el perfil UPN. Este perfil es seleccionado puesto que por observaciones realizadas en este tipo de construcción mecánica se lo aplica considerablemente.

En la tabla 2.9, se presenta el resumen de los cálculos para la selección de rigidizadores tipo UPN en sus diferentes casos de acuerdo al número de rigidizadores intermedios colocados.

La selección más idónea dentro de los perfiles UPN de acuerdo a la tabla 2.10, se encuentra para el caso de seis rigidizadores intermedios, sin embargo el peso en conjunto representa 617.92Kg valor superior al escogido dentro de las IPE (554.18Kg). Como decisión final se considerará para la construcción de la tolva o tanque rectangular la aplicación de seis rigidizadores intermedios con un tipo de perfil IPE-140, espaciados 500 milímetros en promedio con un espesor de placa de 4.09mm. Cabe señalar que por consideraciones de margen por corrosión se añadirán tres milímetros.

TABLA 9

PERFILES TIPO UPN SELECCIONADOS DE ACUERDO A LA CANTIDAD DE RIGIDIZADORES INTERMEDIOS.

			SELECCIÓN DE PERFIL IDÓNEO			
# Rigid.Interm	b mm	W (N/m) .= b.w	Tipo de Perfil	C mm	I cm^4	G<=160 Mpa
0	3.500	89.271,0	--	--	--	--
1	1.750	44.635,5	UPN-220	110	2690	150,69
2	1.167	29.765,5	UPN-200	100	1910	128,66
3	875	22.317,8	UPN-160	80	925	159,36
4	700	17.854,2	UPN-160	80	925	127,49
5	583	14.870,0	UPN-140	70	605	142,05
6	500	12.753,0	UPN-140	70	605	121,82

TABLA 10

TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE RIGIDIZADORES UPN A ESCOGER Y DEL ESPESOR DE PLACA EN PISO.

TRAMOS DE VIGAS			DATOS PLACA		DATOS VIGAS			
# VIGAS INTERMEDIAS	# VIGAS EXTREMOS	# TOTAL DE TRAMOS	ESPESOR PLACA mm	PESO PLACA Kg	TIPO DE VIGA UPN	PESO/M DE VIGA Kg/m	PESO TOTAL DE VIGA Kg.	PESO TOTAL VIGA+PLACA Kg.
0	2	2	15,86	1120,51	UPN-220	29,40	151,12	1271,63
1	2	3	11,14	787,04	UPN-220	29,40	226,67	1013,72
2	2	4	8,59	606,88	UPN-200	25,30	260,08	866,97
3	2	5	6,75	476,89	UPN-160	18,80	241,58	718,47
4	2	6	5,58	394,23	UPN-160	18,80	289,90	684,12
5	2	7	4,72	333,47	UPN-140	16,00	287,84	621,31
6	2	8	4,09	288,96	UPN-140	16,00	328,96	617,92

Diseño Del Mecanismo De Apertura De Piso

Para el diseño del mecanismo que abrirá la compuerta, se procederá a calcular la fuerza mínima a vencer:

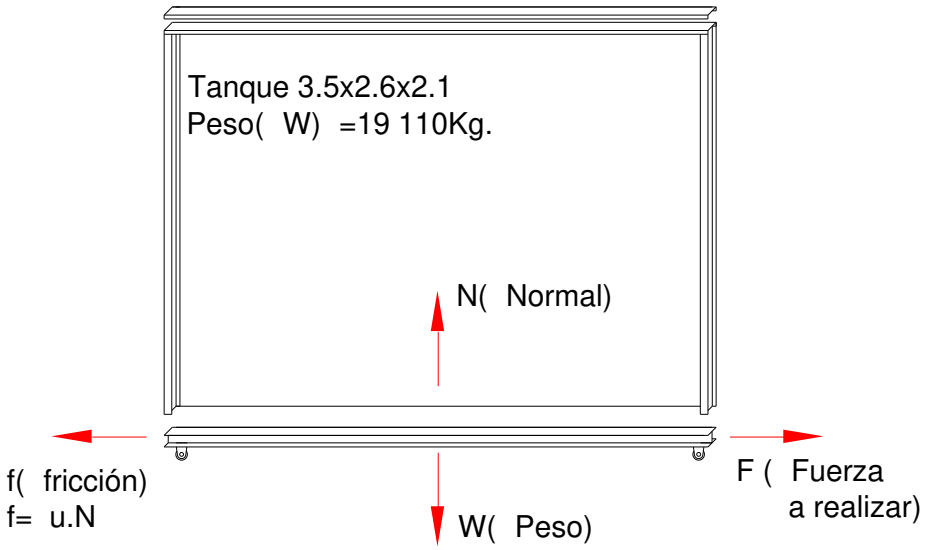


Figura 2.18.- Diagrama de cuerpo libre de carga a vencer para la apertura de fondo

A partir del diagrama de cuerpo libre se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje X y en el Y.

$$\Sigma F_y = N - W = 0 \quad \text{por tanto} \quad N = W = 19110\text{Kg}.$$

Donde:

N: Es la normal dentro del diagrama de cuerpo libre (Kg.).

W: Es la masa que soportará el sistema (Kg.).

Realizando la sumatoria de fuerzas en X, se tiene:

$$\Sigma F_x = F - f = 0 \qquad 2.16$$

$$f = \mu.N \qquad 2.17$$

Reemplazando estas dos fórmulas 2.16 y 2.17, se tiene:

$$\Sigma F_x = F - \mu.N = 0 \quad \text{por tanto} \quad F = \mu.N = \mu.19110Kg \qquad 2.18$$

De la tabla 8.1 dada en el Libro texto "Mecánica Vectorial para Ingenieros", V Edición-1990, por Ferdinand Beer y E. Johnston (4), se obtiene que el coeficiente de fricción estática entre metal y metal está en un rango de 0.15 a 0.60; para nuestro caso usaremos la mas baja de 0.15, puesto que no se realizará un deslizamiento puro, sino que el mecanismo de apertura contará con una rueda dentada adherida a la compuerta la misma que al rotar permitirá el desplazamiento del mismo sobre una cadena fijada a la estructura. (Ver planos)

Por tanto la fuerza a vencer será (Ecuación 2.18):

$$F = \mu.N = (0.15)x19110Kg = 2867Kg.(28125.3N - m)$$

Calculando la potencia del moto-reductor de acuerdo a las variables de entrada propias de mecanismos parecidos, se tiene el siguiente procedimiento (7):

a) Determinación del tipo de cadena a usar.- Puesto que son dos cadenas, la fuerza hallada será dividida para dos (1434Kg.). Consultando la tabla de cadenas el tipo corresponde a una #50-1, que corresponde a una con paso de 5/8" (5x1/8"), tipo estándar (0), de 1 sola hilera (cadena). La fuerza de trabajo a soportar será de 2209Kg, por lo que el factor de seguridad para el uso se encuentra en 1.54

b) Una vez conociendo el paso de la cadena y por tanto de la catalina se procede a dimensionar dicha rueda dentada (8), donde:

   m: Es el módulo y se la obtiene a partir de la multiplación del paso con el número π, por tanto m = 5.

   W: Es la velocidad angular del piñón y se lo define en 7rpm (0.733rad/seg).

   N: Es el número de dientes del piñón y corresponde a 30, de aquí que el diámetro primitivo (D_p) resultado de la multiplicación de módulo por el número de dientes será igual a 150mm. El diámetro exterior equivale a (D_p + 2m)=160mm.

El diámetro de raíz será igual a:

(D_p - 2x1.16xm)=138.4mm.

T: El torque por tanto es igual a la fuerza total (por ser solo un motor) multiplicado por el radio primitivo del piñón:

$$T(N-m) = Fx\frac{D_P}{2} = 28125.3N - mx\frac{0.15}{2}m = 2109.4N - m$$

Pot: Finalmente hallando la potencia del motor equivalente a multiplicar el torque por la velocidad angular se tiene:

$$Pot = T(N-m)xW(\frac{rad}{seg}) = 2109.40(N-m)x0.733\frac{rad}{seg} \quad (2.19)$$

$$Pot = 1546.27Watt = 2.07hp$$

Para la selección del moto-reductor se hará uso del catálogo de la marca Link-Belt (9), la misma que al consultarla nos muestra un modelo MW-S-145, es decir un moto-reductor con potencia de entrada 3.48hp, Eficiencia de 68%, velocidad angular de eje de 300rpm y salida de 7.5rpm. Al multiplicar esta potencia de entrada por su eficiencia se observa que está por encima de la potencia requerida.

$$Pot_{Instalada} = Pot_{nom.}xEficiencia = 3.48hpx68\% = 2.37hp \quad .(2.20)$$

7.5 Sistema para la protección de superficie en tanque.

Para la protección del tanque se preparará la superficie de acuerdo a la exigencia SSPC-SP-10, que contempla la eliminación hasta que por lo menos el 95% de la superficie este libre de óxido, escama de laminación (calamina), pintura y demás residuos visibles, para ambientes húmedos, marinos o corrosivos (10).

De acuerdo a la misma norma el tipo de pintura a usar será un esmalte epóxico, químicamente curado con amina, o poliamida y el epóxico puede ser modificado con alquitrán de carbón, fenólicos u otros modificadores. Los materiales usados en la primera capa y en la capa final serán productos de un solo proveedor.

El espesor de la capa de pintura estará de acuerdo a la norma AWWA C-210 sección 2.2 en donde se especifica que el espesor mínimo de película seca deberá ser de 406 micrómetros (16 mils) para proteger al tanque de ambientes corrosivos excepto si se recomienda otro espesor por el proveedor o comprador.

Selección de mecanismo transportador de desechos a tanque

Para la selección del mecanismo a utilizar en la transportación del material desde el personal que despoja a los plátanos de sus cortezas (peladoras), se contará con un transportador tipo elevador, el mismo que se lo deberá dimensionar.

Se conoce que la capacidad de la tolva es de 19110Kg, masa que será acumulada en tres días con trabajo de ocho horas diarias (24 horas; a partir de estos datos por tanto se tiene que el flujo másico es:

$$\dot{m}\left(\frac{Kg}{seg}\right) = \frac{masa(Kg)}{tiempo(seg)} \qquad 2.21$$

Resolviendo la ecuación se tiene que la masa por unidad de tiempo de los desechos a ser elevados será:

$$\dot{m}\left(\frac{Kg}{hora}\right) = \frac{19110\ Kg}{24 horas} = 796.25\ \frac{Kg}{hora} = 0.2212\ \frac{Kg}{seg.}$$

A partir de las tablas de los elevadores se observa que seleccionando a priori un cangilón de capacidad para transportación aproximado de 32Kg. tiene un peso aproximado individual de 31.49 kg, por lo que en una hora se tendrá un flujo de 25 unidades aproximadamente (796.25Kg/32Kg), lo que implica que al flujo de

material transportado se sumará un peso adicional por peso propio del equipo equivalente a 1200Kg/hora incluido un factor de 1.5 por peso de demás accesorios y fricción (25unid.x31.49x1.5).

$$\dot{m}_{Total}\left(\frac{Kg}{hora}\right) = \dot{m}_{Desechos} + \dot{m}_{PesoEquipo} \qquad 2.22$$

Resolviendo la ecuación 2.22:

$$\dot{m}_{Total}\left(\frac{Kg}{hora}\right) = 796.25\frac{Kg}{hora} + 1200\frac{Kg}{hora.}$$

$$\dot{m}_{Total}\left(\frac{Kg}{hora}\right) = 1996.25\frac{Kg}{hora.} = 0.5545\frac{Kg}{seg}$$

A partir de la fórmula para la determinación de la potencia del motor que requerirá el transportador, hacemos uso de la planteada en el "Manual del Ingeniero Mecánico", IX Edición, en su tomo 2, capítulo 10, página 10.52 y 10.53, la cual es planteada a continuación para un tipo de transportador continuo totalmente vertical (11).

$$Pot_{Elev.}(hp) = (0.003)x(C)x(\dot{m}_{Total})x(H) \qquad 2.23$$

Donde:

H: La altura total dado en pie del transportador medido entre los ejes de los tambores. (8 metros aprox. o 26.23pie).

$\dot{m}_{Total}$: Es el flujo másico que transportará el motor y estará dado en toneladas cortas por hora (Ton_{corta}/hora). Se señala que una tonelada corta equivale a 907.1848 Kilogramos (1Ton. Métrica = 1000Kg.) (1Ton.Larga = 1016Kg.). Nuestro flujo másico a considerar dentro de nuestros cálculos es de 2.2Ton_{corta}/hora.

$(1996.25(\text{Kg.}/\text{hora})/907.1848)$

C: Es una constante de acuerdo al tipo de material a transportar. Nuestro caso seleccionado será 1.2

C=1; Carbón limpio, semilla de lino, fríjol de soya, etc.

C=1.2; Trigo, virutas de madera, etc.

C=1.5; Sal, virutas de madera, almidón, etc.

C=2; Arcillas, ceniza, óxido de zinc, etc.

C=2.5; Alumbre, bórax, corcho, piedra caliza pulv., etc.

Reemplazando los datos en la ecuación, se tiene:

$$\text{Pot}_{\text{Elev.}}(\text{hp}) = (0.003)\text{x}(1.2)\text{x}(2.2\frac{\text{ton}_{\text{Corta}}}{\text{hora}})\text{x}(26.23\,\text{pie})$$

$$\text{Pot}_{\text{Elev.}}(\text{hp}) = 0.21\text{hp.} = 155.0\text{Watt}$$

Por tanto se obtiene un motor de potencia igual a 155Watt. A partir del catálogo de la marca REX se selecciona un canjilón de tipo ACS de 1.13 pie cúbicos de capacidad. (7)

CAPÍTULO 3

8. DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE.

8.1 Característica de materiales.

De acuerdo a la norma AWWA, de la cual se ha tomado para referencia los cálculos estructurales para sismo, en la sección 2.2.5.1 sugiere utilizar para perfiles cuya sección transversal no sea circular un material como el ASTM A-36.

Adicionalmente sugiere que para los perfiles que sean fabricados a partir de placas, este material deberá estar en base a lo establecido en la sección 2.2.3 de la misma norma.

En nuestro caso usaremos los perfiles típicos expendidos en nuestro mercado (ASTM A-36), del cual se utilizará para los cálculos los perfiles tipo HEB y UPN principalmente.

8.2 Cargas actuantes en estructura soporte.

En este capítulo se determinarán las diferentes cargas a las cuales se encuentra sometido la estructura, dada las transmisiones de cargas desde el tanque.

Carga Por Depósitos De Material Almacenado (D_1).- Esta carga es determinada en base al material a almacenar, conociendo de antemano que la densidad promedio de los desechos vegetales es de 1000Kg/m^3 y que las dimensiones de la tolva se encuentran en 3.50x2.60x2.10 metros, se ha estimado en 19110 Kg.

Carga Muerta (D_2).- Se considera como base una carga por unidad de área sugerido por textos estructuritas. Esta distribución se la asume por 450Kg/m^2. De acuerdo al diseño de forma se conoce que el área total de nuestro tanque es de 3.97 x 4.20 (16.674 m^2), realizando la multiplicación de la carga distribuida por el área total de el tanque, se tiene un valor redondeado como peso muerto de 7500 Kilogramos.

La carga total asumida como carga muerta es igual a la suma de D_1 más D_2 igual a 26610 Kilogramos como D.

CARGA DADA POR VIENTO.- Para la determinación de la carga por viento tomamos en consideración la fórmula expuesta en la norma dada por la Asociación Americana de Trabajos con Agua AWWA D100-96, en su sección 3.14 el cual define la fórmula siguiente en unidades métricas (12):

$$P_w = 1436 C_d \left(\frac{v}{45} \right)^2 \geq 1436 C_d \qquad 3.1$$

Donde:

P_w: Es la presión que realiza el viento según su velocidad. De acuerdo a esta norma, se deberá considerar como mínimo una velocidad de 45m/seg. Las unidades de P_w son N/m^2.

C_d: Es el Factor de arrastre y es hallada según la tabla 3.1, el cual depende de la geometría del cuerpo. Para nuestro caso tendrá un valor de 1, por la geometría rectangular o cara plana que se tiene.

TABLA 11
Coeficiente de arrastre de viento

TIPO DE SUPERFICIE	C_d
Plana	**1.00**
Cilíndrica o cónica con ángulo en vértice <15º	**0.60**
Doble curvatura o cónica con ángulo en vértice >= 15º	**0.50**

Ver AWWA D100-96 en su sección 2

v: Velocidad actual del viento en m/s. Las velocidades promedio en Guayaquil son de 7m/s, por lo que se deberá considerar para efectos del cálculo el mínimo valor sugerido por la norma de 45m/seg.

Por tanto la fórmula anterior queda expresada así:

$$P_w = 1436\, C_d \qquad 3.2$$

Resolviendo:

$$P_w = 1436\, C_d = 1436\ x(1) = 1436\ N/m^2$$

Una vez determinada la presión ejercida por el viento se procede a multiplicarla por el área del tanque y de esta forma obtener la carga lateral aplicada. La carga por viento se la define con el símbolo de W.

$$W = A_{tanque}\, x P_w \qquad 3.3$$

Considerando el área mayor del tanque se tiene:

$$W = A_{tanque}\, x P_w = (3.5m x 2.6m)\, x 1436 N/m^2 = 13067.6N(1332.07Kg)$$

Por tanto la carga a aplicar por efectos del viento es de 13067.60 Newton o 1332.07 Kg.

Carga Por Efecto Sísmico.

La determinación de esta carga se la hará por la forma sugerida en la norma AWWA D100-96 en su sección 13.3.1.1 y en su ejemplo dado en la página 89. La fórmula se la detalla a continuación para la determinación de la fuerza cortante en su base hallada en Newton:

$$V = 4.46 \frac{Z.I.C}{R_w} W \qquad \textbf{3.4}$$

Donde

Z: Coeficiente de zona sísmica. Para el sector de la costa aquí en el país se asume un factor de 2B. Ver anexo referente a la norma AWWA (Figura 4 y tabla 24). Este valor por tanto es de 0.20 de acuerdo a la norma mencionada.

I: Es el factor de uso. Ver Tabla de 26, página 74 de AWWA. Tomaremos el valor para un tanque básico sin sistema contra incendio. El valor es de 1.0

R_w: Que es un coeficiente para la reducción de fuerza. Para nuestro tanque rectangular el modelo se encuentra definido como uno elevado sostenido con armadura (Cross-braced elevated tank). El valor corresponde por tanto a $R_w = 4$.

W: Peso total de estructura y del contenido. Este valor fue ya hallado y corresponde a 26610 Kilogramos (261044.10N)

C: Coeficiente de período natural, determinado por la fórmula:

$$C = \frac{1.25S}{T^{2/3}} \quad , \quad 0.75 <= C <= 2.75 \qquad 3.5$$

En el que:

S.- Es hallado de la tabla 27 de la norma AWWA. Este dato corresponde al tipo de suelo en el que se asienta el tanque y repercute como un factor de ampliación del sismo. Nuestro terreno corresponde a uno entre suave y medio duro, por lo que se asume un estado C, por lo que S corresponde a 1.5

T.- Es el período natural de la estructura. Este tipo de estructuras se encuentran generalmente entre 0.9 y 1.1 segundos. Asumiremos un valor medio de 1 seg.

Reemplazando los respectivos valores se halla un valor de:

$$C = \frac{1.25\,S}{T^{2/3}} = \frac{1.25\,x1.5}{(1seg)^{2/3}} = 1.875$$

Reemplazando los valores en la ecuación del cortante máximo en su base, se tiene:

$$V = 4.46x\frac{(0.20)\,x(1.0)\,x(1.875)}{4.0}\,x(261044.10N) = 109149.1N$$

$$V = 109149.1N = 11126.31Kg$$

El cortante máximo por tanto es de 11 126.31Kg

Carga Viva.

Para la carga viva se asumirá la sugerida en la sección 3.1.3.2 de la norma AWWA el cual tiene un valor de 720N/m^2. Dada el área del tanque igual a 16.674m^2 se tiene una carga viva resultante de 12005Newton (1224Kg.)

8.3 Análisis estructural.

Se realizarán los cálculos correspondientes para uno de los ejes mayormente críticos del tanque; para este caso se calculó las reacciones internas a partir de un modelo de pórtico.

A partir de la figura 3.1, se plantea la aplicación de las diferentes cargas para este caso. Cabe decir que las reacciones internas fueron determinadas en base a un programa de elementos finitos presentándose por tanto las reacciones para cada caso aplicado en la tabla 3.2. La designación de elementos se dan en la figura 3.2.

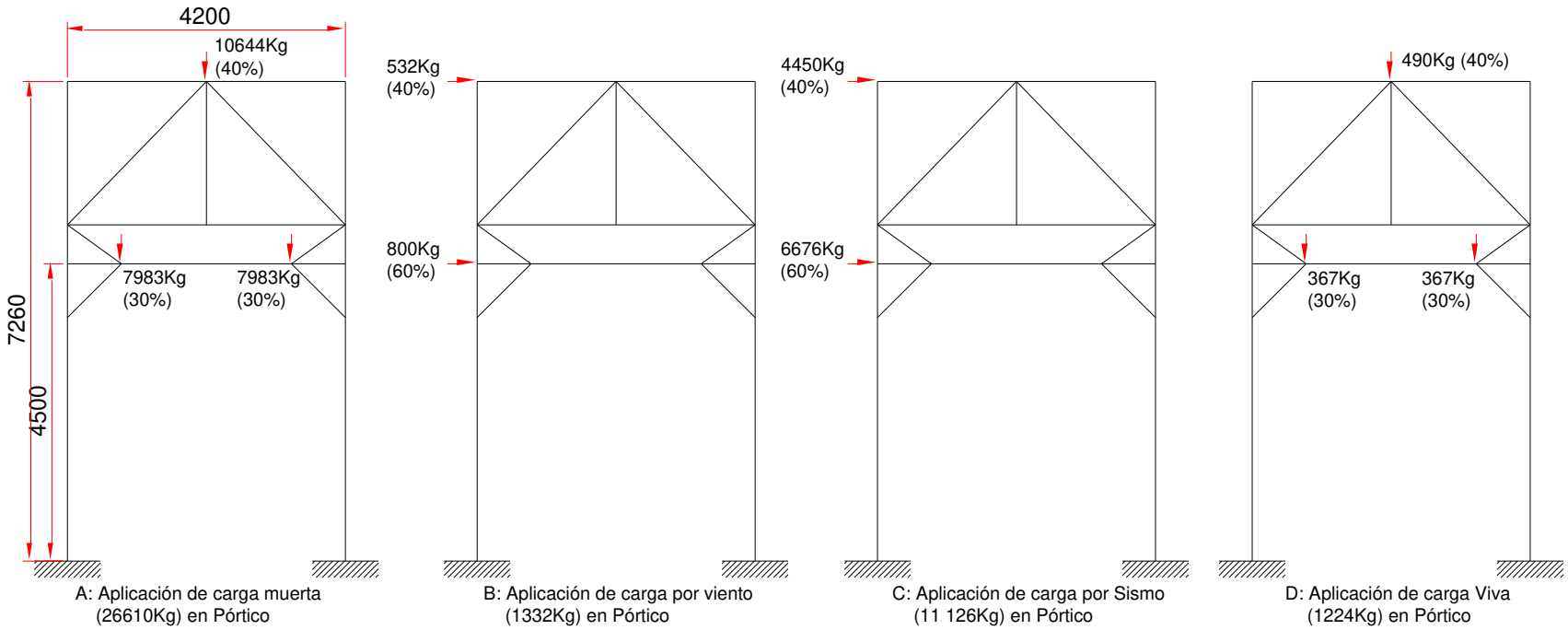


Figura 3.1.- APLICACIÓN DE CARGAS EN EL MODELO DE PÓRTICO

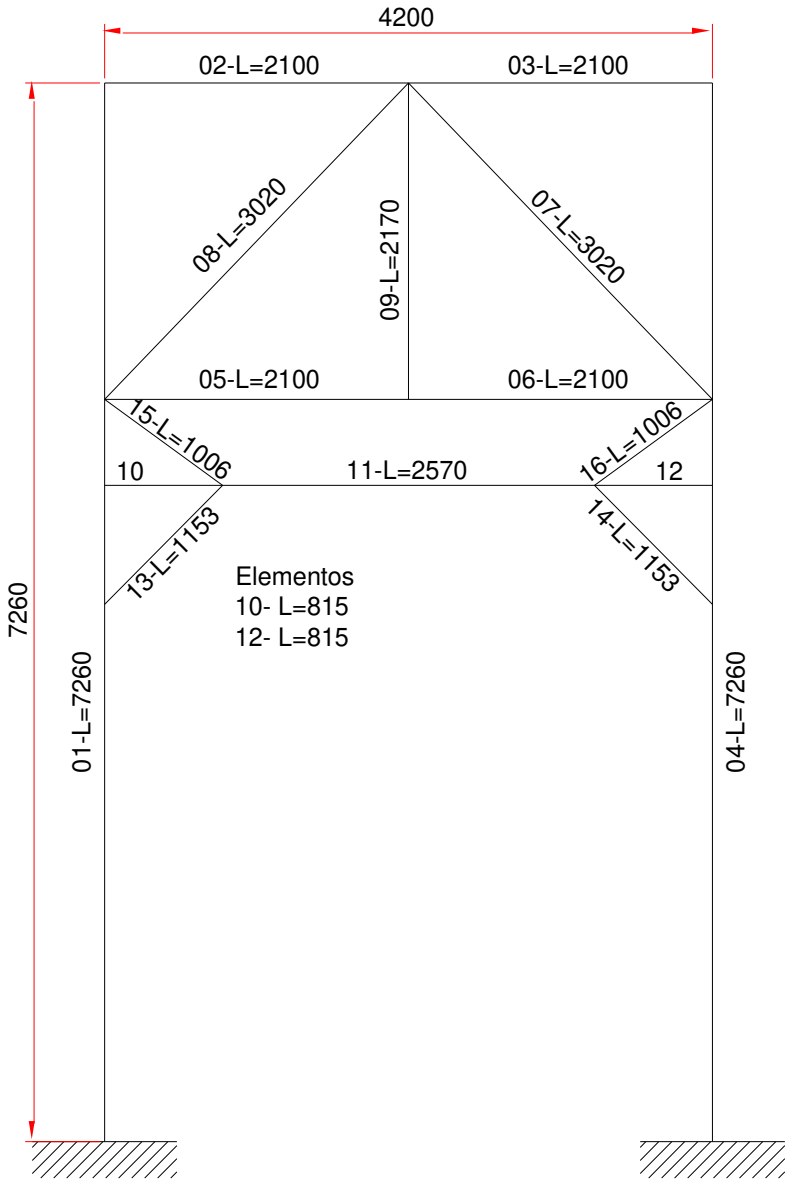


Figura 3.2.- DESIGNACIÓN DE ELEMENTOS CON RESPECTIVAS LONGITUDES.

TABLA 12

REACCIONES INTERNAS Y MOMENTOS EN LOS ELEMENTOS A PARTIR DE LA APLICACIÓN DE LAS DIFERENTES CARGAS

Elem. #	C. Muerta D (Kg)		26610,0	C. Viva L (Kg)		1224,0	C. Viento W (Kg)		1332,0	C. Sismo E (Kg)		11126,0
	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m
1	13.305,0	50,3	-74,0	612,0	2,3	-3,4	-992,9	-666,2	1.647,5	-8.293,8	-5.564,9	13.761,6
2	-20,8	0,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	-1.226,6	0,0	0,0	-10.245,6	0,0	0,0
3	-20,8	0,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	695,2	0,0	0,0	5.806,9	0,0	0,0
4	13.305,0	-50,3	74,0	612,0	-2,3	3,4	992,9	-665,8	1.646,7	8.293,8	-5.561,1	13.754,5
5	-8.646,7	0,0	0,0	-397,7	0,0	0,0	-4,4	0,0	0,0	-36,4	0,0	0,0
6	-8.646,7	0,0	0,0	-397,7	0,0	0,0	-4,4	0,0	0,0	-36,4	0,0	0,0
7	-5.554,6	0,0	0,0	-255,5	0,0	0,0	-1.381,8	0,0	0,0	-11.541,6	0,0	0,0
8	-5.554,6	0,0	0,0	-255,5	0,0	0,0	-1.381,8	0,0	0,0	-11.541,6	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	372,8	0,0	0,0	17,1	0,0	0,0	-5.677,6	0,0	0,0	-47.424,5	0,0	0,0
11	-12.479,8	0,0	0,0	-574,0	0,0	0,0	-395,7	0,0	0,0	-3.305,3	0,0	0,0
12	372,8	0,0	0,0	17,1	0,0	0,0	4.892,3	0,0	0,0	40.864,5	0,0	0,0
13	-450,2	0,0	0,0	-20,7	0,0	0,0	3.136,8	0,0	0,0	26.201,0	0,0	0,0
14	-450,2	0,0	0,0	-20,7	0,0	0,0	-3.140,4	0,0	0,0	-26.231,1	0,0	0,0
15	15.339,6	0,0	0,0	705,6	0,0	0,0	3.782,5	0,0	0,0	31.594,4	0,0	0,0
16	15.339,6	0,0	0,0	705,6	0,0	0,0	-3.786,8	0,0	0,0	-31.630,7	0,0	0,0

A partir de la tabla de reacciones como fuerzas cortantes, axiales y momento críticos en cada uno de los elementos de la estructura se definirá las diferentes combinaciones de carga, para ello aplicamos lo establecido en el Instituto Americano en construcciones de Acero AISC en su norma de construcciones de Acero “LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN”, 1ra primera edición (1986).

Se presenta las diferentes combinaciones existentes:

FA=	1.4 D	3.6
FB=	1.2 D + 1.6 L	3.7
FC (1er caso)=	1.2 D + 0.5 L	3.8
FC (2do caso)=	1.2 D + 0.8 W	3.9
FD=	1.2 D + 1.3 W + 0.5 L	3.10
FE=	1.2 D + 1.5 E + 0.5 L	3.11
FF(1er caso)=	0.9 D –1.3 W	3.12
FF(2do caso)=	0.9 D – 1.5 E	3.13

En la tabla 13, se dan las cargas internas en los diferentes elementos según su combinación:

TABLA 13
REACCIONES INTERNAS EN LOS ELEMENTOS SEGÚN COMBINACIONES.

Elem. #	FA=1,4*D			FB=1,2*D+1,6*L		
	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m
1	18627,0	70,4	-103,6	16945,2	64,1	-94,2
2	-29,1	0,0	0,0	-26,4	0,0	0,0
3	-29,1	0,0	0,0	-26,4	0,0	0,0
4	18627,0	-70,4	103,6	16945,2	-64,1	94,2
5	-12105,3	0,0	0,0	-11012,3	0,0	0,0
6	-12105,3	0,0	0,0	-11012,3	0,0	0,0
7	-7776,4	0,0	0,0	-7074,3	0,0	0,0
8	-7776,4	0,0	0,0	-7074,3	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	521,9	0,0	0,0	474,8	0,0	0,0
11	-17471,8	0,0	0,0	-15894,3	0,0	0,0
12	521,9	0,0	0,0	474,8	0,0	0,0
13	-630,3	0,0	0,0	-573,4	0,0	0,0
14	-630,3	0,0	0,0	-573,4	0,0	0,0
15	21475,4	0,0	0,0	19536,5	0,0	0,0
16	21475,4	0,0	0,0	19536,5	0,0	0,0

Elem. #	FC(1er caso)=1,2*D+0,5*L			FC(2do caso)=1,2*D+0,8*W		
	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m
1	16272,0	61,5	-90,5	15171,7	-472,6	1229,3
2	-25,4	0,0	0,0	-1006,2	0,0	0,0
3	-25,4	0,0	0,0	531,3	0,0	0,0
4	16272,0	-61,5	90,5	16760,3	-593,0	1406,1
5	-10574,8	0,0	0,0	-10379,5	0,0	0,0
6	-10574,8	0,0	0,0	-10379,5	0,0	0,0
7	-6793,2	0,0	0,0	-7770,9	0,0	0,0
8	-6793,2	0,0	0,0	-7770,9	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	455,9	0,0	0,0	-4094,7	0,0	0,0
11	-15262,8	0,0	0,0	-15292,4	0,0	0,0
12	455,9	0,0	0,0	4361,2	0,0	0,0
13	-550,6	0,0	0,0	1969,1	0,0	0,0
14	-550,6	0,0	0,0	-3052,6	0,0	0,0
15	18760,3	0,0	0,0	21433,5	0,0	0,0
16	18760,3	0,0	0,0	15378,1	0,0	0,0

…continuación

TABLA 13
REACCIONES INTERNAS EN LOS ELEMENTOS SEGÚN COMBINACIONES

Elem. #	FD=1,2*D+1,3*W+0,1*L			FE=1,2*D+1,5*E+0,5*L		
	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m
1	14736,4	-805,5	2052,7	3831,4	-8285,8	20552,0
2	-1619,6	0,0	0,0	-15393,8	0,0	0,0
3	878,8	0,0	0,0	8684,9	0,0	0,0
4	17318,0	-926,1	2229,8	28712,6	-8403,2	20722,2
5	-10421,4	0,0	0,0	-10629,4	0,0	0,0
6	-10421,4	0,0	0,0	-10629,4	0,0	0,0
7	-8487,3	0,0	0,0	-24105,6	0,0	0,0
8	-8487,3	0,0	0,0	-24105,6	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	-6931,8	0,0	0,0	-70680,8	0,0	0,0
11	-15547,6	0,0	0,0	-20220,8	0,0	0,0
12	6809,0	0,0	0,0	61752,6	0,0	0,0
13	3535,4	0,0	0,0	38750,8	0,0	0,0
14	-4624,8	0,0	0,0	-39897,3	0,0	0,0
15	23395,3	0,0	0,0	66151,9	0,0	0,0
16	13555,2	0,0	0,0	-28685,7	0,0	0,0

Elem. #	FF(1er caso)=0,9*D-1,3*W			FF(2do caso)=0,9*D-1,5*E		
	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m	Axial Kg.	Cortante Kg.	Momento Kg-m
1	13265,3	911,4	-2208,4	24415,1	8392,6	-20709,0
2	1575,9	0,0	0,0	15349,7	0,0	0,0
3	-922,4	0,0	0,0	-8729,0	0,0	0,0
4	10683,7	820,2	-2074,1	-466,1	8296,4	-20565,2
5	-7776,3	0,0	0,0	-7727,4	0,0	0,0
6	-7776,3	0,0	0,0	-7727,4	0,0	0,0
7	-3202,8	0,0	0,0	12313,2	0,0	0,0
8	-3202,8	0,0	0,0	12313,2	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	7716,5	0,0	0,0	71472,2	0,0	0,0
11	-10717,4	0,0	0,0	-6273,9	0,0	0,0
12	-6024,4	0,0	0,0	-60961,2	0,0	0,0
13	-4483,0	0,0	0,0	-39706,6	0,0	0,0
14	3677,3	0,0	0,0	38941,4	0,0	0,0
15	8888,4	0,0	0,0	-33585,9	0,0	0,0
16	18728,5	0,0	0,0	61251,6	0,0	0,0

Una vez realizadas las diferentes combinaciones se escogerá la mayor carga entre todas las combinaciones, para ello se presenta la tabla 3.4 en la que se indica lo expresado.

TABLA 14
REACCIONES INTERNAS MÁXIMAS ENTRE LAS COMBINACIONES PARA DOS PÓRTICOS

REACCIONES CRÍTICAS MAX.			
Elem. #	**Axial Kg.**	**Cortante Kg.**	**Momento Kg-m**
1	24415,1	8392,6	-20709,0
2	-15393,8	0,0	0,0
3	-8729,0	0,0	0,0
4	28712,6	-8403,2	20722,2
5	-12105,3	0,0	0,0
6	-12105,3	0,0	0,0
7	-24105,6	0,0	0,0
8	-24105,6	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0
10	71472,2	0,0	0,0
11	-20220,8	0,0	0,0
12	61752,6	0,0	0,0
13	-39706,6	0,0	0,0
14	-39897,3	0,0	0,0
15	66151,9	0,0	0,0
16	61251,6	0,0	0,0

Evaluando la tabla donde se presentan las cargas críticas a partir de las combinaciones dadas se observan los siguientes aspectos:

- ✓ Los elementos 1 y 4 son los únicos elementos que se encuentran sometidos a esfuerzos de flexo compresión puestos que son los elementos estructurales que se encuentran rígidamente empotrados y soportan toda la carga de volteo a partir de la

aplicación de las cargas. Entre estos dos elementos se escogerá para los cálculos de la selección del perfil el # 4 por ser mayormente crítico.

Para el procedimiento de cálculo se establecen las siguientes fórmulas (6):

$$\sigma_{\text{Trabajo}} = \sqrt{(\sigma_{\text{flexiòn}})^2 + 3(\tau_{\text{cor tante}})^2} \quad 3.14$$

$$\sigma_{\text{flexiòn}} = \frac{\text{M.C}}{\text{I}} \quad 3.15$$

$$\tau_{\text{cor tante}} = \frac{\text{F}_{\text{cor tante}}}{\text{A}} \quad 3.16$$

$$\eta_{\text{flexocomp.}} = \frac{\sigma_{\text{Diseño}}}{\sigma_{\text{Trabajo}}} \geq 1 \quad 3.17$$

Donde:

σ_{Trabajo} : Es el esfuerzo de trabajo del elemento obtenido a partir de la teoría de Vonn Misses, aplicada las diferentes cargas tanto de flexión como cortante.

$\sigma_{\text{flexión}}$: Es el esfuerzo de trabajo del elemento sometido a flexión.

$\tau_{\text{cor tante}}$: Es el esfuerzo cortante a la cual se encuentra sometido el elemento a analizar.

F_{axial}: Es la Fuerza axial a la cual se encuentra sometido el elemento. Este valor será dado en Kg.

M: Representa el momento que genera los esfuerzos por flexión.

C: Es la distancia entre el centroide del perfil a su fibra externa más lejana.

I: Es la inercia del elemento a evaluar y se la obtiene a partir de las tablas dadas por los fabricantes.

$F_{cortante}$: Representa la fuerza aplicada al elemento estructural y genera a su vez el esfuerzo cortante respectivo.

A: El área de le sección transversal del elemento evaluado.

$\eta_{flexoc.}$: Es el factor de seguridad del elemento estudiado y este deberá ser mayor o igual a 1.

$\sigma_{Diseño}$: Es el esfuerzo de diseño del acero ASTM A-36. 160MPa, aproximadamente 1600Kg/cm^2.

- ✓ Los elementos 10, 12, 15 y 16 serán sometidos únicamente a los cálculos básicos de esfuerzos por tensión dado que son cargas axiales únicas presentes. Entre los elementos 10 y 12 cuya posición son simétricos, se escogerá entre ellos para el cálculo y posterior selección del perfil al elemento 10 por ser mayormente

crítico. De igual forma entre los elemento 15 y 16 se escogerá el número 15.

Para el procedimiento de cálculos se establece las siguientes fórmulas (6):

$$\sigma_{\text{Trabajo}} = \frac{\text{F}_{\text{axial}}(\text{Kg.})}{\text{A}(\text{cm}^2)} \qquad 3.18$$

$$\eta_{\text{tensión}} = \frac{\sigma_{\text{Diseño}}}{\sigma_{\text{Trabajo}}} \geq 1 \qquad 3.19$$

Donde:

F_{axial}: Es la Fuerza axial a la cual se encuentra sometido el elemento. Este valor será dado en Kg.

A: El área del perfil que se seleccionará. Este valor será dado en cm^2.

$\sigma_{\text{Diseño}}$: Es el esfuerzo de diseño del acero ASTM A-36. 160MPa, aproximadamente 1600Kg/cm^2.

$\eta_{\text{tensión}}$: Es el factor de seguridad del elemento sometido a tensión, el mismo que deberá ser mayor o igual a uno.

- ✓ Los elementos 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 13 y 14 se encuentran sometidos a cargas por compresión, sin embargo deberán ser calculados adicionalmente por pandeo. Entre los elemento 1, 3, 5

y 6 cuyas cargas son similares se escogerá al elemento 2 por ser mayormente crítico. Los elementos 7 y 8 por ser sometidos a la misma carga es indiferente cual se tome. Entre los elementos 11, 13 y 14, se tomará al elemento 14.

Para este procedimiento se hará uso de las fórmulas que para la primera parte será el cálculo del esfuerzo de trabajo de los elementos sometidos a compresión pura (6).

$$\sigma_{\text{Trabajo}} = \frac{\text{F}_{\text{compresión}}(\text{Kg.})}{\text{A}(\text{cm}^2)} \qquad 3.20$$

$$\eta_{\text{compresión}} = \frac{\sigma_{\text{Diseño}}}{\sigma_{\text{Trabajo}}} \geq 1 \qquad 3.21$$

Donde:

$F_{comp.}$: Es la Fuerza de compresión a la cual se encuentra sometido el elemento. Este valor será dado en Kg.

A: El área del perfil que se seleccionará. Este valor será dado en cm^2.

$\sigma_{\text{Diseño}}$: Es el esfuerzo de diseño del acero ASTM A-36. 160MPa, aproximadamente 1600Kg/cm^2.

η_{comp}: Es el factor de seguridad del elemento sometido a compresión el mismo que deberá ser mayor o igual a uno.

Una vez realizada la primera parte que fue el cálculo del elemento por compresión, se redefinirá el perfil seleccionado a priori puesto que se lo deberá también diseñar por pandeo, normalmente este perfil aumenta. Se señala que dentro del proceso iterativo para la mejor selección de este perfil se ingresan los datos de la geometría del perfil hallado por los cálculos de compresión y a partir de ello se irá subiendo dentro de la tabla de selección hasta cumplir con el valor del factor de seguridad el mismo que será mayor o igual a uno. Para ello se dan las siguientes fórmulas:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \qquad 3.22$$

Siendo k el radio de giro. Posteriormente se procede a hallar la relación de esbeltez S_r valor que definirá si el elemento estudiado es columna larga o corta:

$$S_r = \frac{L}{K} \qquad 3.23$$

Se define ahora la relación de esbeltez crítica, la misma que define el límite entre considerar a un elemento como columna corta o columna larga de acuerdo a la curva de Euler definida en los textos de enseñanza en la teoría de pandeo. Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta Edición (Cuarta en Español), por SHIGLEY y MISCHKE, página 136 y 137.

$$S_{rd} = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_y}} \qquad 3.24$$

Finalmente para la definición entre columna larga o corta falta la comparación y en función de ellos aplicar el esfuerzo crítico de pandeo lo que equivale a decir que será el esfuerzo máximo de trabajo al cual una columna podrá ser sometida y este esfuerzo no será mayo que el esfuerzo de diseño sugerido anteriormente, entonces se tiene:

Para el caso en que $S_r > S_{rd}$, (columna larga) el esfuerzo máximo por pandeo es:

$$\sigma_{cr} = \frac{2.\pi^2.E}{(S_r)^2} \qquad 3.25$$

Para el caso en que $S_r < S_{rd}$, (columna corta) el esfuerzo máximo por pandeo se lo expresa de acuerdo al libro texto Resistencia de Materiales, tercera edición por Ferdinand L. Singer y Andrew

Pytel, en página 370, en el reemplazo de la fórmula de C_c en la ecuación 11-11: (5)

$$\sigma_{cr} = \sigma_{Diseño} - \left[\frac{1}{E}\right]\left[\frac{\sigma_{Diseño}.S_r}{2\pi}\right]^2 \qquad 3.26$$

Donde los parámetros corresponden a:

A: Área de perfil dada por los fabricantes de perfiles

I: Es la inercia de perfil (cm^4).

E: Es el módulo de elasticidad de acero ($2.11x10^6$ Kg./cm^2)

L: Longitud de elementos a compresión y se la obtiene a partir de la figura 3.2.

A continuación se realiza un resumen de las cargas que se deberán evaluar para los diferentes elementos analizados y de ello obtener las tablas 3.6 a 3.8, como resultados de la selección:

TABLA 15
FUERZAS INTERNAS A CONSIDERAR PARA CÁLCULOS.

REACCIONES CRÍTICAS MAX.						
Elem.	**Axial (Kg.)**		**Cortante (Kg.)**		**Momento (Kg-m)**	
#	**Total a**	**1 Pórtico a/2**	**Total b**	**1 Pórtico b/2**	**Total c**	**1 Pórtico c/2**
2	-15.393,8	-7.696,9	0,0	0,0	0,0	0,0
4	28.712,6	14.356,3	-8.403,2	-4.201,6	20.722,2	10.361,1
7	-24.105,6	-12.052,8	0,0	0,0	0,0	0,0
10	71.472,2	35.736,1	0,0	0,0	0,0	0,0
14	-39.897,3	-19.948,6	0,0	0,0	0,0	0,0
15	66.151,9	33.076,0	0,0	0,0	0,0	0,0

TABLA 16

TABLA PARA EL CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERFIL DE ELEMENTO SOMETIDO A FLEXO-COMPRESIÓN

ELEMENTO		REACCIONES INTERNAS			PERFIL/ELEMENTO				ESFUERZO MÁXIMO FLEXIÓN			Esfuerzo	Esf. Max.	Factor
Elem. #	Tipo Viga	Faxial(Kg) Kg.	Fcort.(Kg) Kg.	Momento Kg-cm	C cm	I cm^4	A cm^2	L cm	Esf.Axial (a)Kg/cm2	Esf.Flexión (b)Kg/cm2	Esf.Max. (c)=a+b	Cortante Kg/cm2	Trabajo Kg/cm2	Seguridad (Adimens.)
4	HEB-220	14.356,3	-4.201,6	1,04E+06	11	8050	91,10	726,0	157,59	1421,12	1578,71	-46,12	1580,73	1,01

Donde Sy = 1600 Kg/cm^2

TABLA 17

TABLA PARA EL CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERFIL DE ELEMENTO SOMETIDO A TENSIÓN.

Elem. #	Tipo Viga	F Kg.	I cm^4	A cm^2	L cm	G(trabajo) Kg/cm^2	FS
10	HEB-120	35736,1	864,0	34,3	81,5	1041,87	1,54
15	HEB-120	33076,0	864	34,30	100,6	964,31	1,66

Esf.Diseño = 1600 Kg/cm^2

TABLA 18

TABLA PARA EL CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERFILES DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN.

Elem. #	Tipo de Perfil	F Kg.	I cm^4	A cm^2	L cm	k cm	Sr Adim.	Srd Adim.	Criterio Decisión	Esf.Max Permitido	G(trabajo) Kg/cm^2	FS Adim.
2	UPN-100	7696,9	206	13,5	210	3,91	53,76	161,34	Sr<Srd	1511,182	570,141	2,651
7	UPN-100	12053	206	13,5	302	3,91	77,31	161,34	Sr<Srd	1416,313	892,800	1,586
14	UPN-100	19949	206	13,5	115,3	3,91	29,52	161,34	Sr<Srd	1573,225	1477,674	1,065

E = 2,11E+06 Kg/cm^2

Sy = 1600 Kg/cm^2

8.4 Sistema para la protección de superficie en estructura soporte.

De igual forma que para la preparación de superficies y aplicación de sistema de pintura en las placas o paredes de tanque rectangular, se aplicará las recomendaciones por la norma SSPC (Steel Structure Painting Council). En la preparación superficial de la estructura se recomienda un tipo SSPC-SP-10 el que permite eliminar de la superficie escamas de laminación, herrumbre, suciedad, grasa, aceite y materiales extraños.

Para la aplicación del sistema de pintura podrá usarse un sistema SSPC-PS 1.03, el que recomienda, tres capas de pintura:

La primera: De 1.7 mills con pintura alquídica

La segunda: Con un espesor de 1.3 mills, con tipo de pintura alquídica

La tercera: Con un espesor de 1 mills, de igual manera con un tipo de pintura alquídica.

Para la aplicación de pintura se la deberá realizar en una época seca, puesto que la lluvia evitará lógicamente una mala adherencia. La diferencia entre temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo deberá estar sobre los tres grados de acuerdo a las recomendaciones hechas por los fabricantes de pinturas.

CAPÍTULO 4

9. PROGRAMACIÓN DE PROYECTO Y COSTOS.

9.1 Diagrama de GANTT para programación de proyecto.

Para el detalle de actividades en la construcción del tanque se han especificado las siguientes:

- ✓ Desbroce de sector donde estará ubicado el tanque.- Corresponde a la limpieza de monte, desperdicios y la tala de cualquier vestigio de árbol que se encuentre.

- ✓ La obra civil.- Dentro de las actividades esta representa la ruta crítica del proyecto, puesto que el tiempo de fraguado del concreto se lo estima en 30 días de acuerdo a las sugerencias hecha por los ingenieros civiles.

- ✓ Construcción de tanque rectangular.- Actividad que consiste en crear totalmente el tanque, cubriendo siempre los procedimientos de corte y ensamble.

- ✓ Construcción del fondo.- Actividad que se desarrolla de manera paralela que la construcción del tanque. Sus actividades son similares.

- ✓ Ensamble de partes, arenado y pintado para tanque.- Finalmente la preparación superficial y pintura luego del ensamble. Cabe señalar que la aplicación de pintura estará de acuerdo a las recomendaciones hechas por los fabricantes de pintura, los mismos que sugieren un determinado tiempo entre capa y capa de pintura.

- ✓ Construcción de Estructura.- Es la continuación de la ruta crítica definida en el proyecto al ser construida e instalada sobre el cimiento civil totalmente fraguado.

- ✓ Instalación de motores y transportadores.- Es la última actividad y deberá ser ejecutada una vez terminado completamente las actividades de construcción y montaje.

Se observa finalmente que la fecha de inicio para la constricción del tanque se da a partir del 4 de diciembre del 2006 y finalizará para el día 9 de febrero del 2007, es decir la obra durará un promedio de 2 meses aproximadamente.

9.2 Costos para ejecución de proyecto.

Dentro de los costos totales del proyecto se ha considerado los costos de material, mano de obra, montaje y un rubro por costos indirectos de 20%, porcentaje que parecería alto sin embargo por las experiencias transmitidas de constructores y administradores de proyectos este valor es razonable considerando una posible subida en los precios del kilogramo de acero, accesorios, etc.

A la fecha se ha pro-formado un precio de 0.95 dólares el kilogramo de acero.

En la tabla 4.1 se presenta los costos totales con su respectivo detalle; estos valores se incurrirán en la culminación final del proyecto.

TABLA 19
Costos del proyecto.

Item	Descripción	Cantidad		USD/Cant USD	Monto USD
A	**Tanque y estructura**				
	Eje sistema motriz, diam.170, L=0,240m	42,8	Kg	3,50	149,80
	Eje Transmisión diam.57mm, L=2,97m	59,5	Kg	0,95	56,53
	Placa 240x200x10	37,7	Kg	0,95	35,82
	Placa 228x190x6	40,8	Kg	0,95	38,76
	Placa 200x190x12	35,8	Kg	0,95	34,01
	Placa 2100x2600x6	514,4	Kg	0,95	488,68
	Placa 2600x3500x6	857,2	Kg	0,95	814,34
	Placa 800x287x6	21,62	Kg	0,95	20,54
	Placa 213x332x6	13,32	Kg	0,95	12,65
	Placa 542x216x6	11,02	Kg	0,95	10,47
	Placa 602x187x6	10,6	Kg	0,95	10,07
	Placa 212x319x6	12,76	Kg	0,95	12,12
	Varilla 12x12 (1,13Kg/m).Long=17,44m	19,71	Kg	0,95	18,72
	Varilla diam.12mm (0,99Kg/m).Long=10m	9,9	Kg	0,95	9,41
	Ang.Lam. AI-50x3 (2,33Kg/m). Long=22m	51,26	Kg	0,95	48,70
	HEB-220 (71,5Kg/m). Long=44,64m	3196,22	Kg	0,95	3.036,41
	HEB-180 (51,6Kg/m). Long=17,44m	899,9	Kg	0,95	854,91
	HEB-140 (34,6Kg/m). Long=11,76m	406,9	Kg	0,95	386,56
	HEB-120 (26,9Kg/m). Long=27,83m	748,57	Kg	0,95	711,14
	IPE-140 (12,9Kg/m). Long=67,6m	872,04	Kg	0,95	828,44
	UPN-140 (16,0Kg/m). Long=42,0m	672,0	Kg	0,95	638,40
	UPN-120 (13,4Kg/m). Long=6,34m	84,96	Kg	0,95	80,71
	UPN-100 (10,6Kg/m). Long=50,9m	539,9	Kg	0,95	512,91
	Sub total tanque y estructura				**8.810,08**
B	**Preparación superficial y pintura**				
	Arenado	9056,6	Kg.	0,08	724,53
	Pintura	9056,6	Kg.	0,08	724,53
	Soldadura 2,5% de peso total	226,4	Kg.	2,50	566,04
	Sub total Prepar. Superficie y Pintura				**2.015,09**
C	**Mano de obra construcción**				**4.405,04**
D	**Maquinaria,motores y equipos**				**5.000,00**
	Subtotal (A+B+C)				**15.230,20**
	Imprevistos (+20%)				**3.046,04**
	TOTAL DE OBRA				**18.276,24**

CAPÍTULO 5

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El tanque rectangular fue diseñado bajo la teoría de placas planas realizando las consideraciones de aumentar su espesor para cubrir los márgenes por corrosión de acuerdo a lo establecido en las normas internacionales como ASME y API.
2. El diseño y selección de los rigidizadores para la respectiva rigidización de las paredes del tanque se la realizó con un material ASTM A-36, que es el acero común de la perfilaría.

3. La distancia entre los rigidizadores fue el óptimo buscando la disminución del espesor de las paredes y del fondo que en suma total de los pesos fue la menor dentro del universo analizado.
4. La preparación superficial y la aplicación del sistema de pintura fue establecida de acuerdo a las recomendaciones realizadas por la norma SSPC.
5. La estructura fue diseñada por las diferentes combinaciones dadas por la norma AISC, de las cuales para cada uno de los elementos se escogió la carga mayormente crítica.
6. Las fórmulas aplicadas en toda la tesis trataron de acomodarse de mejor manera al sistema métrico, en alguna excepción no pudo ser posible puesto que el planteamiento de la fórmula en sí, no se la podía realizar de otra manera.
7. Los motores eléctricos en general fue seleccionado a partir del catálogo de la marca Link-Belt.

RECOMENDACIONES:

1. En la construcción del tanque, se recomienda contar con soldadores calificados de acuerdo a lo establecido en la norma API-650, para lo cual también se contará con un procedimiento de soldadura.

2. Para la colocación del tanque dentro de la estructura al momento del montaje se deberá contar con una grúa de capacidad mínima de 25 Tn. sin tratar de incurrir en estructuras improvisadas que involucran riesgos al personal.

3. En la construcción de la estructura del tanque, se deberá usar cinturones de seguridad pasado los dos metros de altura.

BIBLIOGRAFÍA

1 http://www. gov.ec.

2 Manual of Steel Construction. (AISC) LRFD. Primera edición. 1986

3 Resistencia de Materiales po FRED B. SEELY, M.S. Traducido al castellano por Rafael García Díaz. 1954.

4 Ferdinand P. Beer y E. Russel Jhonston, Jr. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Editorial Mc Graw Hill 1990 Quinta edición.

5 Ferdinand L. Singer y Andrew Pytel, Resistencia de Materiales, Editorial HARLA. México 1982. Tercera Edición.

6 Joseph Edward Shigley y Charles R. Mischke. Diseño en Ingeniería Mecánica. Editorial McGRAW-HILL. Mexico 1986. Quinta Edición.

7 CASA COMERCIAL REXNORD. “Power Transmission and Conveying Components”. USA-1992.

8 Luis Pareto. Elementos de máquinas. Formulario CEAC de Mecánica.Ediciones CEAC. Barcelona-España.

9 CASA COMERCIAL REXNORD-LINK BELT. PIV and Speed Reducers, Catálogo 9500. USA 2000.

10 Eugene F. Megyesy. Handbook of Pressure Vessel. Editorial LIMUSA México 1998.

11 “Manual del Ingeniero Mecánico”, IX Edición. Tomo 2, capítulo 10

12 American Water Works Association. ANSI/AWWA D100-96

13 American Petroleum Institute. Normas API 650 sexta edición.

14 Catálogos de perfiles DIPAC.

15 Steel Structure Painting Council. Normas SSPC-SP

16 Norma ASME, Sección VIII, División I. Reglas para Construcción de Tanques a Presión. Edición 1995.

17 American Welding Society-AWS D1.1.