

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**"DISEÑO DE UNA BATERIA DE TANQUES  
PARA AGITACION DE PINTURA"**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**LUIS ENRIQUE MARTINEZ DELGADO**

**PROMOCION : 88-I**

**LIMA - PERU**

**1991**

## TABLA DE CONTENIDO

1.- Introducción:	5
2.- Proceso productivo en la elaboración de pinturas del tipo esmalte	
2.1 Definiciones básicas.	7
2.2 Tipos de Pintura	17
2.3 Características generales de los esmaltes	20
2.3.1 Características de los aglomerantes y vehículos	21
2.4 Proceso productivo de los esmaltes	23
2.4.1 Pre-molienda	23
2.4.2 Molienda	24
2.4.3 Post molienda	24
3.- Planta de mezclado y envasado	
3.1 Características y determinación del área de trabajo requerida.	25
3.2 Disposición de los elementos de la planta dentro del área disponible.	29
3.3 Iluminación general de la zona de mezclado y envasado	30
3.3.1 Nivel de iluminación media recomendado	30
3.3.2 Tipo de luminarias a emplear	38
3.3.3 Tipo de lámparas a emplear	39
3.3.4 Parámetros a usar en el cálculo de iluminación	40
3.3.4.1 Grado de rendimiento del artefacto	40

3.3.4.2	Grado de reflexión de la Construcción	40
3.3.4.3	Cálculo del índice del local	40
3.3.4.4	Grado de rendimiento del ambiente	41
3.3.4.5	Grado de rendimiento de iluminación	41
3.3.4.6	Cálculo del número de luminarias	42
3.3.4.7	Disposición de las luminarias	42
4.-	Características de la batería de tanques para agitación	
4.1	Características de las estructuras metálicas	44
4.2	Características de los tanques para agitación	45
4.3	Características del sistema de fuerza y control	46
4.4	Parámetros básicos para el diseño	47
4.5	Materiales a usar en el proyecto	48
4.6	Diseño de los equipos	50
4.6.1	Diseño de los tanques agitadores	50
4.6.2	Diseño del agitador	58
4.6.3	Diseño del sistema de transmisión del agitador	82
4.6.3.1	Cálculo del eje de transmisión del agitador	83
4.6.3.2	Diseño del eje por rigidez	86

4.7 Diseño de los estructuras metálicas.	88
4.7.1 Diseño de la estructura soporte del motor eléctrico.	88
4.7.1.1 Cálculo del pórtico soporte del panel	96
4.7.1.2 Cálculo del panel soporte del motor	112
4.7.1.3 Cálculo de la Columna soporte del panel	134
4.7.2 Diseño de la estructura de la plataforma	140
4.7.3 Diseño de las Vigas de la plataforma	141
4.7.4 Diseño de la columna	153
4.7.5 Diseño de la escalera de acceso	155
4.8 Diseño eléctrico	156
4.8.1 Selección del motor eléctrico	156
4.8.2 Diseño del sistema de fuerza	157
5. Análisis Económico	
5.1 Metrado y presupuesto	160
5.2 Financiamiento	165
Conclusiones	
Bibliografía	
Planos	
Apéndice.	

## PROLOGO

En la presente tesis desarrollaremos la Ingeniería de Detalle de una Plataforma Metálica, conteniendo tanques agitadores para la obtención de pinturas del tipo esmalte, o sea aquellas que se aplican con la finalidad de proteger y dar una buena presentación de acabado según la coloración deseada.

El alcance de nuestro proyecto comprenderá el diseño de una plataforma para albergar una batería de tanques agitadores para la fabricación de pinturas esmalte. Estas son ampliamente usadas para proteger estructuras metálicas de las edificaciones de vivienda, comerciales, industriales, etc.

En el Capítulo 2, se describirá en forma general, los procesos para la obtención de las pinturas de tipo esmalte.

En el Capítulo 3, se diseñará la planta de mezclado y envasado y se hará la iluminación general respectiva de la zona de trabajo.

En el Capítulo 4, detallaremos las características de las Estructuras metálicas de los tanques de agitación y del sistema de fuerza y control. En este capítulo también se desarrollaran los cálculos de las vigas de la estructura de la plataforma, así como también de las columnas que soportan al mismo y finalmente el diseño de la escalera para el acceso de los operarios del agitador.

Asimismo, se realizan los cálculos para el diseño de los tanques, del agitador del eje de transmisión y del castillo soporte con sus guías corredizas del motor eléctrico.

Finalmente, se desarrollaran los cálculos del sistema de fuerza eléctrica y la selección de los elementos de control.

En el análisis económico del Capítulo 5 se realizará el metrado de todas las estructuras de acero, de los tanques agitadores, ejes de transmisión, motores eléctricos, tablero de control eléctrico con sus circuitos respectivos.

Asimismo, el presupuesto para la fabricación e instalación de la plataforma de agitación.

Por último desarrollaremos alternativas de financiamiento para la ejecución de la batería de los tanques agitadores.

Finalmente se describen las conclusiones del proyecto y la presentación de los planos para la fabricación de todo el sistema de agitación.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

El presente trabajo consiste en un desarrollo práctico del diseño para una necesidad de tipo industrial y viene a ser la aplicación de conocimientos teóricos de la mecánica, resistencia de materiales, diseño mecánico, así como la experiencia pre-profesional obtenida en mi época de practicante.

El objetivo de la tesis en desarrollo es el de realizar un diseño que permita la solución de una aplicación industrial con la puesta en práctica de conocimientos teóricos, así pues en el presente trabajo desarrollamos un diseño que permita la ejecución de una parte del proceso productivo de la obtención de la pintura del tipo esmalte, comprendiendo el diseño de los tanques agitadores y demás equipos mecánicos, así como el sistema eléctrico de fuerza y control y la estructura metálica de soporte.



## CAPITULO 2

### PROCESO PRODUCTIVO EN LA ELABORACION DE PINTURAS DEL TIPO ESMALTE.

Antes de describir los procesos requeridos para la obtención de las pinturas de esmalte, es importante definir los siguiente términos:

#### 2.1 Definiciones básicas

##### Resinas

En la industria de fabricación de pinturas se usan las resinas naturales y los sintéticos.

Las resinas naturales comprenden los tipos fósiles procedentes de árboles extintos en la actualidad, como también la de goma laca, de los asfaltos o gilsonita.

Las resinas sintéticas comprenden los ferrólicas, las alquídicas, las epoxi, las vinílicas, de goma estírica, de urea, melamínicas, de amida, de caucho o hule, de petróleo, de nitrato de celulosa. acetato de celulosa, etc.

Las resinas pueden ser termoplásticas, en cuyo caso

la película obtenida conserva las características originales de solubilidad y fusibilidad o termorrígidas, que solubles y fusibles en el momento de utilizarlas, se hacen insolubles e infusibles en el proceso de secado mediante una reacción química.

La utilización de alguno de estos dos tipos da lugar a dos importantes clases de pinturas: lacas y esmaltes; cuyas diferencias analizaremos más adelante.

En el cuadro siguiente se detallan las principales resinas de cada grupo:

#### **RESINAS TERMOPLASTICAS**

(No sufren cambios al secar)

Nitrocelulosa

Acetobutirato de celulosa

Etil Celulosa

Vinílicas

Acrílicas

Poliamidicas

Catónicas

- Caucho y derivados

#### **RESINAS CONVERTIBLES**

(Sufren cambios químicos pasando termorrígidos)

Oleoresinosas

Glicerofálicas

Ureicas

Melanínicas

Foliuretánicas

### **Barniz**

Es una solución de resina, o de resina y aceite secante en un disolvente volátil llamado oleorresina, comercialmente denominado barniz para intemperie.

### **Pigmento**

Es el constituyente que le da color a la pintura. Pueden ser naturales o sintéticos, orgánicos e inorgánicos, blancos o coloreados, químicamente activos o inertes. Los factores que intervienen en la selección de un pigmento son el color, el tamaño de las partículas, la compatibilidad con otros ingredientes, la resistencia al calor, a los álcalis y a los ácidos.

Los pigmentos más importantes son:

Entre los Rojos tenemos óxidos de hierro, plomo rojo o minio para proteger las estructuras metálicas de hierro y acero, anaranjado de cromo, rojo de toluidina, pararrojo.

Entre los Amarillos tenemos amarillo cromo, amarillo de zinc, Hansa.

Entre los Blancos tenemos albayalde, sulfato básico de plomo, óxido de zinc, bióxido de titanio.

Entre los Verdes se cuenta con verde de cromo, óxido de cromo, entornadores.

Entre los Azules tenemos el azul de Prusia, hierro, ultramarino y las entonadores. Otra definición que podríamos dar a los pigmentos es la siguiente:

Son sólidos que se encuentran en estado de polvo muy fino y como tales son incapaces de mantenerse adheridos a la superficie que se quiere pintar. Para ello es necesario el empleo de un aglutinante que mantenga unidas entre sí a las partículas del pigmento y a su vez adheridas a la superficie pintada. Este aglutinante está constituido por las resinas que forman parte del vehículo.

#### Clasificación de los pigmentos

Podemos clasificar a los Pigmentos en dos tipos:

- a) Pigmentos cuya función principal es impartir color y opacidad; influyen también las características geológicas ("cuerpo", consistencia, fluidez). En su mayoría son producidos artificialmente mediante

reacciones químicas, pueden ser orgánicos o inorgánicos.

- b) Pigmentos que no dan color y opacidad; inicialmente denominados "cargas" por su relativo bajo costo, se los conoce por el nombre de extendedores.

Su papel es el de impartir ciertas características geológicas, condiciones de brillo o modificar las propiedades de la película en otros aspectos.

Algunos son de origen natural; convenientemente purificados o modificados; otros son productos artificiales.

### **Aceites Secantes**

Estos aceites son importantes porque ayudan al secado de pintura formándose una película delgada cuando son expuestos al aire. El secado comienza con una reacción química del aceite con oxígeno. polimerización subsiguiente o simultánea completa el cambio. El aceite secante más importante es el de linaza.

El aceite cocido de fábrica con un cocimiento mínimo para evitar su descoloración y agregando secadores concentrados al aceite cocido. El aceite soplado o insuflado se fabrica haciendo burbujear aire a través del aceite. El aceite de frijol de soya se puede catalogar como un aceite semisecante.

aceite de pescado extraído de la sardina y del menhadin (especie de sábaló) tiene mucha aplicación en pinturas y barnices. En algunos esmaltes cocidos se emplean aceites no secantes como el de coco.

Un aceite hidrocarburado oxidante fabricado a partir del petróleo no contiene ésteres ni ácidos grasos.

### **Diluyentes o solventes**

Llamados también adelgazadores, se usan para disminuir la consistencia de la película y facilitar la operación del pintado. Entre ellas tenemos a las bencinas o espíritus de petróleo. Los ésteres, los alcoholes, las cetonas son empleadas normalmente para las lacas celulósicas. Las disolventes cloradas se emplean para algunas de las resinas sintéticas. Los solventes cumplen dos funciones en la pintura:

1. Solubilizar las resinas componentes del vehículo

2. Diluir la pintura para facilitar su uso

Los solventes se seleccionan de acuerdo a:

1. Poder solvente para las resinas utilizadas en la formulación.

Velocidad de evaporación, atendiendo a las condiciones de uso, y

3. Su acción sobre el plástico

Normalmente en una formulación participan varios solventes, para facilitar la solubilidad de las resinas, para obtener una velocidad de evaporación conveniente o simplemente por razones económicas.

Una propiedad importante de los solventes relacionada con la técnica de aplicación de la pintura es su velocidad de evaporación. Esta propiedad está vinculada con la tensión de vapor del líquido por lo que guarda alguna relación el punto de ebullición, sin embargo esta correlación no es constante pues está influenciada por otros factores; así dos líquidos con el mismo punto de ebullición pueden tener distinta velocidad de evaporación.

Clasificación de solventes de uso común según su naturaleza química y velocidad de evaporación.

	RAFÍDOS	MEDIOS	LENTOS	MUY LENTOS
HIDROCAR- BUROS	Benceno Tolueno Nafta sol vente	Xileno	Aguarrás	Querosene  Tetralina
ALCOHOLES	Alc.Meté lico Alc.Etíli co	Alc.Butí- lico Alc.Isobu- tílico		
ESTERES	Acetato de Etilo	Acetato de Butilo	Acetato de Etilglicol	Lactato de butilo
CETONAS	Acetona Metil Cetona	Metiliso- butil Cetona	Ciclohezo- na	Isoforo- na
ETER/ ALCOHOL TERPENOS		Metilglisol Trementina	Butilgli- col Dipenteno	Aceite de pino



## **Vehículo**

Es la porción líquida completa de una pintura, que incluye el contenido de sólido de barniz; que corresponde al aglomerante del pigmento y producto formador de película, el solvente volátil y cualquier otro producto disuelto que se encuentre en la fase líquida.

También podemos decir que está constituido por la resina más el aceite y el solvente.

## **Laca**

Se refiere primordialmente a los recubrimientos de Nitrato de celulosa o un Acetato de Celulosa u otras compuestas que se secan rápidamente por evaporación.

Lacas y esmaltes se diferencian y definen en términos de la manera en que se produce el endurecimiento de la película aplicada. En el caso de una laca la película seca rápidamente por evaporación del solvente y poseerá las mismas propiedades que la resina termoplástica utilizada en la elaboración de la laca.

En los esmaltes se utilizan generalmente resinas que endurecen por un proceso químico. El secado se produce en dos etapas; en la primera se evapora el

solvente, dejando una película blanda y pegajosa, en una segunda etapa que puede prolongarse desde minutos a horas, se produce la reacción que conduce a un progresivo endurecimiento de la película.

## **Pintura**

La designación D 16-47 de las normas ASTM define a la pintura como una composición líquida pigmentada que se convierte en una película sólida y relativamente opaca después de su aplicación como una capa fina.

### **2.2 Tipos de pintura**

Las pinturas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Pinturas destinadas a la decoración en la construcción y pinturas industriales en general.

Las pinturas de decoración incluyendo barnices y esmaltes son los productos comerciales de carácter general; mientras que las especializadas a la Industria son destinadas al mantenimiento y conservación tan importante en las construcciones e instalaciones industriales, en puentes metálicas, barcos, tanques de almacenamiento de agua,

combustible, sistemas de tuberías, estructuras, equipos metálicas y maquinaria diversa.

Estos últimos abarcan desde los recubrimientos protectores y decorativos usados en las industrias, hasta las pinturas anticorrosivas y las resistentes a los productos químicos usados no solo en la industria química sino también en la metalurgica y minera.

Las pinturas industriales son aplicados sobre los metales, madera, plásticos, vidrio, productos textiles, papel, cartones, cuero, etc.

Comercialmente en forma práctica las pinturas las podemos clasificar en : Esmaltes, Anticorrosivas, Lavables, Resistentes a los Acidos, Alcolis, Productos Químicos y resistentes a la Temperatura.

### **Esmaltes**

Es una pintura cuyo acabado se presenta brillante, lisa y uniforme.

Desde luego existen Esmaltes para interiores y exteriores que se aplican mayormente sobre los metales y en menor escala sobre las maderas y el cemento. Da protección a estructuras metálicas, puertas, ventanas.

### **Anticorrosivos**

Son aquellas pinturas formuladas para resistir al agua dulce, salada, diversos fluidos y para trabajar en instalaciones con ambientes industriales y marinos; protegiendo superficies metálicas como estructuras, tanques, tuberías, embarcaciones, cervecerías, lecherías, puentes, plataformas marinas.

### **Lavables**

Entre ellas tenemos las pinturas emulsionadas que se aplican tanto para obra interior como exterior. Son emulsiones en agua a base de aceite o de barniz mezclado con pigmento, tales como las pinturas al látex. Las pinturas de calcimina y caseína se emplean sobre revocas interiores y superficies de obra de fábrica.

### **Pinturas resistentes a los ácidos, alcalis**

Son aquellas que al secarse presentan una película tenaz y resistente a los ácidos y alcalis, Están constituidas por resinas epoxi o por caucho clorado. Se usa para proteger superficies expuestas a los ácidos, alcalis y a la humedad, con tendencia a la formación de hongos, tales como las cervecerías, lecherías, piscinas.

### **Pinturas resistentes a la temperatura**

Son aquellas formuladas a base de aluminio y pueden trabajar a temperaturas altas. Algunas llegan hasta 250 C

### **Pinturas resistentes a los productos químicos**

Son pinturas constituidas por resinas epoxicas y con una gran resistencia a una gama amplia de productos químicos, solventes, combustibles como petróleo , gasolina, agua salada.

## **2.3 Características generales de las pinturas**

Las propiedades y características generales vienen determinadas por cuatro factores:

La composición, el proceso de fabricación, el sistema y forma de aplicación, el sistema y forma de secado y envejecimiento.

Los materiales constituyentes son:

aglomerante, pigmentos, componentes volátiles, secantes, catalizadores y aditivos. Los aditivos son agentes modificantes de las propiedades tales como los agentes tenso activos, antipieles, productos antisedimentantes, inhibidores de corrosión, etc. El factor más importante que influye en las propiedades de las pinturas es el aglomerante y el tipo de vehículo que contiene.

### 2.3.1 Características de los aglomerantes y vehículos

Los aglomerantes son responsables del tipo de secado, extensibilidad de la película, adherencia de ésta, resistencia al agua, a los productos químicos, durabilidad al exterior combustibilidad, ejerciendo una gran influencia para retener el calor del recubrimiento.

Para seleccionar un vehículo conveniente para un determinado tipo de pintura, la consideración primordial a tomar en cuenta es el comportamiento del recubrimiento en relación con el secado. Desde éste punto de vista, podemos clasificar los vehículos en: aquellos que secan normalmente al **aire**, aquellas que pueden secar al aire o al horno indistintamente y aquellas usados solo mediante secado al horno.

También podemos clasificar los vehículos según el tipo de producto volátil que contenga. La mayor parte de ellos contienen disolventes orgánicos como componentes volátiles, pero también hay algunas clases de vehículos que usan agua como material volátil.

Por ello la mayoría de las pinturas al agua se utilizan en forma de emulsión y se destinan a fines arquitectónicos. A continuación se hace una relación de los tipos de vehículos utilizados en la fabricación de pinturas.

Aceites secantes

Capolímeros grasos

Aceites poliuretano

Resinas Alquídicas

Barnices oleorresinosos

Resinas gliceroftálicas

Esteres epoxi

Resinas epoxi catalizadas

Sistemas epoxi poliamida

Resinas ferrolicas de secado al horno

Poliuretanos

Resinas de caucho clorado

Resinas de polivinilo

Resinas poliacrílicos

Polímero celulósicos

Resinas de silicona

Resinas solubles en agua

## 2.4 Procesos productivo de los esmaltes

En términos generales el proceso productivo podemos dividirlo en pre-molienda, molienda y post-molienda.

Las operaciones para obtener los esmaltes son los siguientes:

### 2.4.1 Pre Molienda

Empieza con la mezcla de los pigmentos con el vehículo en una proporción adecuada hasta obtener una pasta que tenga la viscosidad necesaria y correcta para ser dispersada. La gran mayoría de los fabricantes usa resinas alquídicas media en aceite de pescado o vegetal para obtener esmaltes económicos.

Para obtener esmaltes de alta calidad, los vehículos están constituidos por resinas gliceroftálicas modificadas con aceites.



#### 2.4.2 Molienda

Consiste en la dispersión de la pasta en un molino hasta que los agregados del pigmento son dispersados y triturados de acuerdo con la indicación que se obtiene mediante el ensayo de fineza de la molienda.

La Pasta previamente dispersada, se completa con los restantes componentes, tales como la tiza, caolines, carbonatos de calcio, Antipieles.

#### 2.4.3 Post-Molienda

Consiste en el matizado o puesta a color por medio de agitación de acuerdo con un patrón de referencia.

Se requiere de experiencia para obtener, a partir de los colores básicos como son el blanco, azul, amarillo y rojo; los diversos colores derivados requeridos.

El envasado normalmente en recipientes de 1 galón y de 5 galones.

El control de calidad es muy importante para la determinación de las propiedades físicas y características especificadas.

En la mayoría de los casos, el mismo tamaño de partícula viene ya obtenido por el fabricante de pigmentos. Solo en algunos casos la reducción del tamaño por la Molienda de las partículas del pigmento, se realiza en algunas fábricas de pinturas. Por lo tanto el proceso de dispersión consiste en dispersar los aglomerados y no en reducir el tamaño de la partícula fundamental.

## CAPITULO 3

### PLANTA DE MEZCLADO Y ENVASADO

#### 3.1 Características y determinación del Area de Trabajo

Nuestra zona de trabajo será un área convenientemente ventilada ya que se trabajará con elementos como resinas, pigmentos y esmaltes en general que pudieran resultar nocivos y perjudiciales para la salud del personal de producción que labore en dicha área, por lo tanto necesitamos tener un flujo continuo de aire.

Las paredes serán de concreto y ladrillo, el piso corresponde a una losa también de concreto. El techo de la nave industrial estará formada por un arreglo de vigas de acero en forma de----- y el conjunto en sí corresponde a la forma bombeada tal como se detalla en los gráficos siguientes: nuestra área de trabajo básicamente tendrá cuatro zonas específicas.

##### a) Zona de Materias Primas

Esta área estará destinada al almacenaje de las materias primas a emplearse. Es decir tendremos en

ésta zona sacos, cilindros y todo tipo de envases que contengan los pigmentos, resinas que constituyen nuestra materia prima.

El largo de la zona será de 8m. aproximadamente por 4.5m. de ancho.

b) Zona de los Tanques Agitadores

En ésa área se encontrará la plataforma con los dos tanques agitadores y la escalera de acceso que conforman en conjunto la batería.

La plataforma y la escalera de acceso ocuparán un área aproximada de 8.6m., estando a 2.5m. sobre el piso.

c) Zona de Envasado

Se encontrará exactamente de bajo de la plataforma que sostiene a los tanques agitadores. Se acondicionará esta zona en ésta área porque se aprovechará la caída por gravedad del producto (esmalte) de los tanques agitadores a los cilindros de envasado a través de tuberías y válvulas como se indica más adelante.

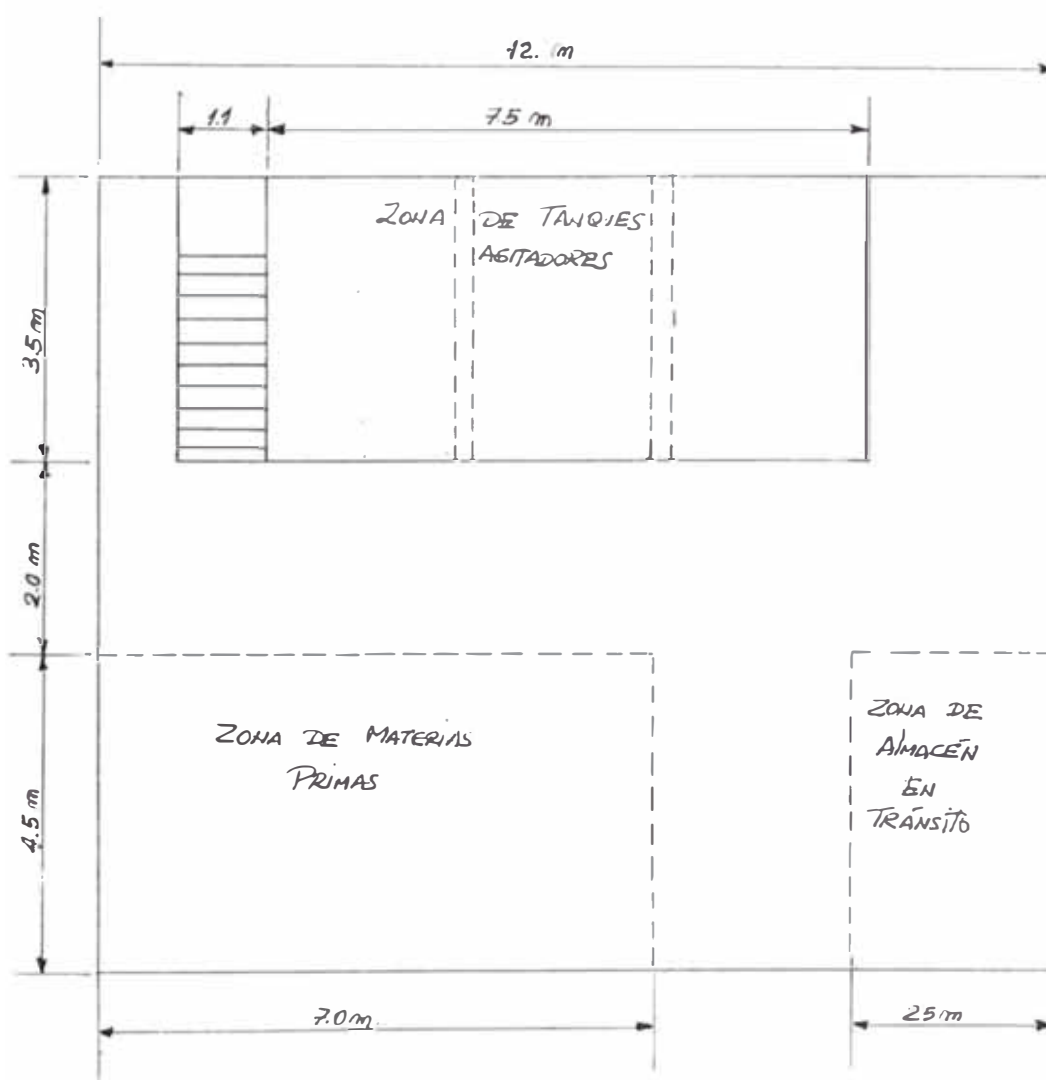
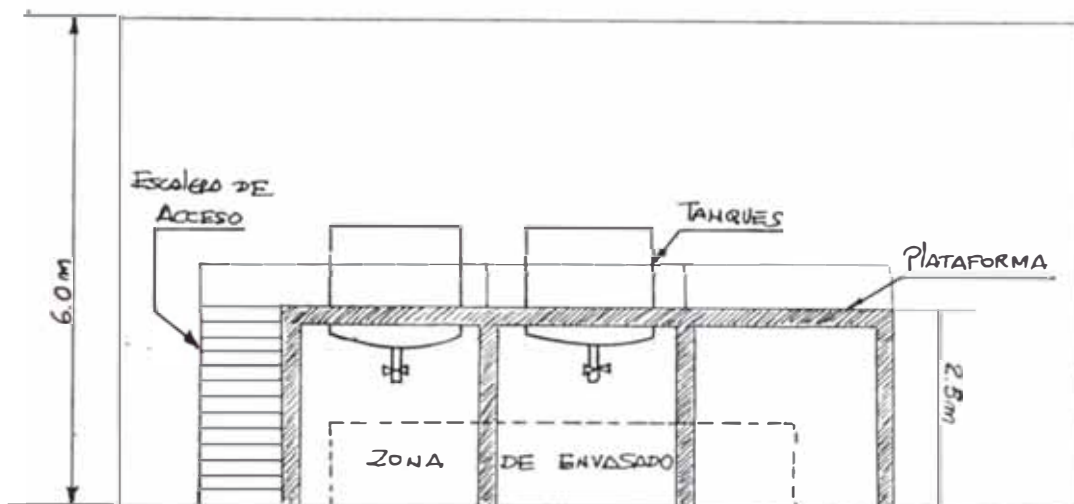
d) Zona de Almacén en tránsito

Esta área servirá como almacenaje provisional del producto envasado en cilindros que serán colocados

en ésta zona traídos desde el área de envasado mediante montacargas.

Esta zona solo constituirá un almacenaje provisional, ya que todos los cilindros necesariamente tendrán que ser llevadas a otra área que será el almacén general y que se ubicará en otro ambiente.

### 3.2 Disposición de los elementos de la planta dentro del área disponible.



### 3.3 Iluminación general de la zona de mezclado y envasado

#### 3.3.1 Nivel de iluminación recomendado

El nivel de iluminación de un área en general depende de varios factores que pueden ser la duración del trabajo, el tipo de labor a realizarse en dicha área, riesgo de cometer errores, cantidad de luz presente, etc.

Cuando la tarea visual no es tan exigente, la cual consiste en ver objetos grandes, bien contrastados y donde el límite del tiempo no es importante, entonces el nivel de iluminación puede considerarse en 300lx como un valor promedio. Este dato práctico nos permite tener una idea de los niveles que debemos usar en caso de faltar tablas de recomendaciones de niveles de iluminación.

En nuestro caso el cálculo de iluminación lo haremos según el método de grado de rendimiento y en base a curvas fotométricas graficadas en los laboratorios de la compañía técnica de iluminación CITECIL S.A.

De acuerdo a la Tabla 3.3 podemos considerar un nivel de iluminación medio

$$E_m = 300 \text{ lx}$$

además tenemos:

$$n = \frac{1.25 \times E_m \times A}{\phi_L \times \eta_B} \quad (1)$$

$n$  = número de luminarias

125 = factor de cálculo por el cual se considera que la intensidad luminosa inicial es mayor que los valores promedios del nivel de iluminación dados en la tabla 3.3

$E_m$  = intensidad media de iluminación en luz.  
(Tabla 3.3)

$A$  = área útil en  $m^2$

$\phi_L$  = flujo luminoso de una lámpara en lúmenes

$\eta_B$  = Grado de rendimiento de iluminación

$$\eta_B = \eta_{LB} \times \eta_R \quad (2)$$

$\eta_{LB}$  = Grado de rendimiento del artefacto  
(Tabla No.3.1)

$\eta_R$  = Grado de rendimiento del ambiente  
(Tabla No. 3.2)



El grado de rendimiento del ambiente  $\eta_{ra}$  depende de la distribución luminosa de la lámpara y de su ubicación en el ambiente, las dimensiones del ambiente y de los grados de reflexión del techo, pared y piso.

Las dimensiones del ambiente, igual que la ubicación de las lámparas, es considerado por el índice de local  $K$ , cuyo valor se calcula de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Para las áreas fotométricas  $A1, A2, B3, C4$  :

$$K = \frac{a \times b}{h' \cdot (a+b)}$$

Para la curva fotométrica  $E2$

$$K = \frac{3 a \times b}{2h' (a+b)}$$

donde:

$a$  = largo del local

$b$  = ancho del local

$h$  = altura de la mesa de trabajo

$h'$  =  $(H-h)$

TABLA 3.1

## TIPO DE ARTEFACTO CARACTERISTICO

 $\eta_{LD}$ 

-Artefacto con lámpara fluorescente sin difusor	0.9 aprox
-Artefacto para empotrar sin difusor	0.7 aprox
-Artefacto para empotrar con difusor tipo rejilla	0.6 aprox
-Artefacto para adosar con difusor de plástico	0.6 aprox
-Artefacto para empotrar con difusor de plástico	0.5 aprox

TABLA No. 3.3

LUGARES	VALOR PROMEDIO DE ILUMINACION EN LUX
<b>CENTROS DE TRABAJO</b>	
Dépositos y ambientes secundarios	30 á 60
Ambientes de lavado, almacenamiento garajes, zonas de empaquetados, fundición laminado, arenado, herrería, fábrica de cemento, ladrillera, baños químicos, molinos, cervecería, fábricas de conservas y azúcar, aserraderos	60 á 120
Zonas de selección o sorteo moldeado, torneado, fresadora, soldadura, pintura horneada, soplado de vidrio, fabricación de cables, galvanizados, electrólisis vulcanizado, laboratorios, prensado de plástico, panaderías, tables, canales, cocinas. Fabricación de cigarrillos, vidrería,	

trabajos de pintura.

Tratamiento de madera, teñido,  
planchado, encuadernación, fábrica  
de papel.

Trabajos comunes de oficina 120 a 250

Lectura de instrumentos, control  
torneado fino, limado fino, solda-  
dura para circuitos electróni-  
cos, trabajos finos de moldeado,  
decoración y vidrio, embobinados  
análisis, preparación de recetas  
peluquerías, pintura al duco, car-  
pintería, máquinas de tratamien-  
to de moler, confecciones de cue-  
ro, zapaterías, teñido de cuero,  
fábrica textil, trabajos de corte  
de tela, imprentas, tipografías,  
mecnografías, taquigrafía, ofi-  
cinas de contabilidad 250 a 500

Referencia Catálogo CITECIL

TABLA 3.4

GRADOS DE REFLEXION DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCION Y  
PINTURA

MATERIAL O PINTURA	GRADO DE REFLEXION
- Material aislante de ruido (empleado en falsos techos) blanco	0.5 - 0.65
Madera de color claro	0.45 - 0.50
- Planchas de triplay	0.35 - 0.40
- Blanco plomo, esmalte	0.80 - 0.85
- Blanco	0.70 - 0.85
- Plomo (gris)	0.30 - 0.50
Negro	0.03 - 0.07
Beige, amarillo claro	0.5 - 0.75
Marrón claro	0.5 - 0.4
Marrón oscuro	0.1 - 0.2

Referencia Catálogo CITECIL

### 3.3.2 Tipos de luminarias a emplear

Emplearemos un tipo de luminaria que se adapte a las necesidades de iluminación y que permita un fácil y rápido intercambio de las lámparas correspondientes. Tomando siempre como referencia el catálogo de iluminación e la compañía CITECIL, escogemos el modelo 138 que tiene las siguientes características:

Modelo 138 : Reflector Industrial

Pantalla y cono, repujado en aluminio anodizado de 1.5 mm de espesor, abrillantado y laqueado natural. Socket de bronce con base de loza. El equipo eléctrico esta dentro del cono. Para lámparas de vapor de mercurio de 125w, 250w, 400w.

### 3.3.3 Tipos de lámparas a emplear

De acuerdo a la información técnica ofrecida en el catálogo de alumbrado de PHILIPS usaremos lámparas de mercurio a la alta presión del tipo HFL-N 125w, las cuales tienen una elevada eficacia luminosa, son de larga vida y representan una fuente de luz económica.

#### DATOS TECNICOS

Tipo de lámpara	: HFL-N 125 w
Casquillo	: E-40
Flujo luminoso (lm)	: 5,900
Tiempo de encendido(minutos)	: 4
Forma	: Ovoide

### 3.3.4 Parámetros a usar en el cálculo de iluminación

#### 3.3.4.1 Grado de rendimiento del artefacto ( $\eta_{LB}$ )

Según la Tabla 3.1, observamos que nuestra luminaria corresponde a un artefacto con lámpara sin difusor, entonces tenemos:

$$\eta_{LB} = 0.9$$

#### 3.3.4.2 Grado de reflexión de la construcción ( $\rho$ )

Consideramos que el techo y pared están pintados de color blanco y el piso es de color gris para lo cual tendremos los siguientes índices según la Tabla 3.4:

$$\rho_{\text{techo}} = 0.8$$

$$\rho_{\text{pared}} = 0.8$$

$$\rho_{\text{piso}} = 0.3$$

#### 3.3.4.3 Cálculo del índice del local (K)

Observando la curva fotométrica de nuestra luminaria y comparándola con las curvas fotométricas de la Tabla 3.2 vemos que la curva de nuestro artefacto corresponde la



A2, profundo y abierto. Las dimensiones del área a iluminar son:

$$a = \text{largo del local} = 12 \text{ m}$$

$$b = \text{ancho del local} = 10 \text{ m}$$

$$H = \text{altura del piso}$$

$$\text{a techo} = 6 \text{ m}$$

$$h = \text{altura de trabajo} = 2.5 \text{ m}$$

$$h_p = H - h = 3.5 \text{ m}$$

Luego:

$$k = \frac{12 \times 10}{3.5 \times (12+10)}$$

$$K = 1.56$$

#### 3.3.4.4. Grado de rendimiento del ambiente ( $\eta_R$ )

Teniendo como datos los índices de reflexión del techo, pared, piso, y el índice local K

Consultamos la Tabla 3.2 y tenemos:

$$\eta_R = 1.03$$

#### 3.3.4.5 Grado de rendimiento de iluminación ( $\eta_{RI}$ )

Habiendo calculado el grado de rendimiento del artefacto

$\eta_B = 0.9$  y el grado de rendimiento del ambiente

$\eta_R = 1.03$  tenemos

$$\eta_B = 0.9 \times 1.03$$

$$\eta_B = 0.927$$

#### 3.3.4.6 Cálculo del número de luminarias (n)

$$n = \frac{1.25 \times 300 \times 12 \times 10}{5,900 \times 0.927}$$

$$n = 8.2$$

Escogeremos 8 luminarias con lámparas de 125w cada una.

#### 3.3.4.7 Disposición de las luminarias

Considerando que el espaciamiento entre artefactos está dado de acuerdo a la norma por:

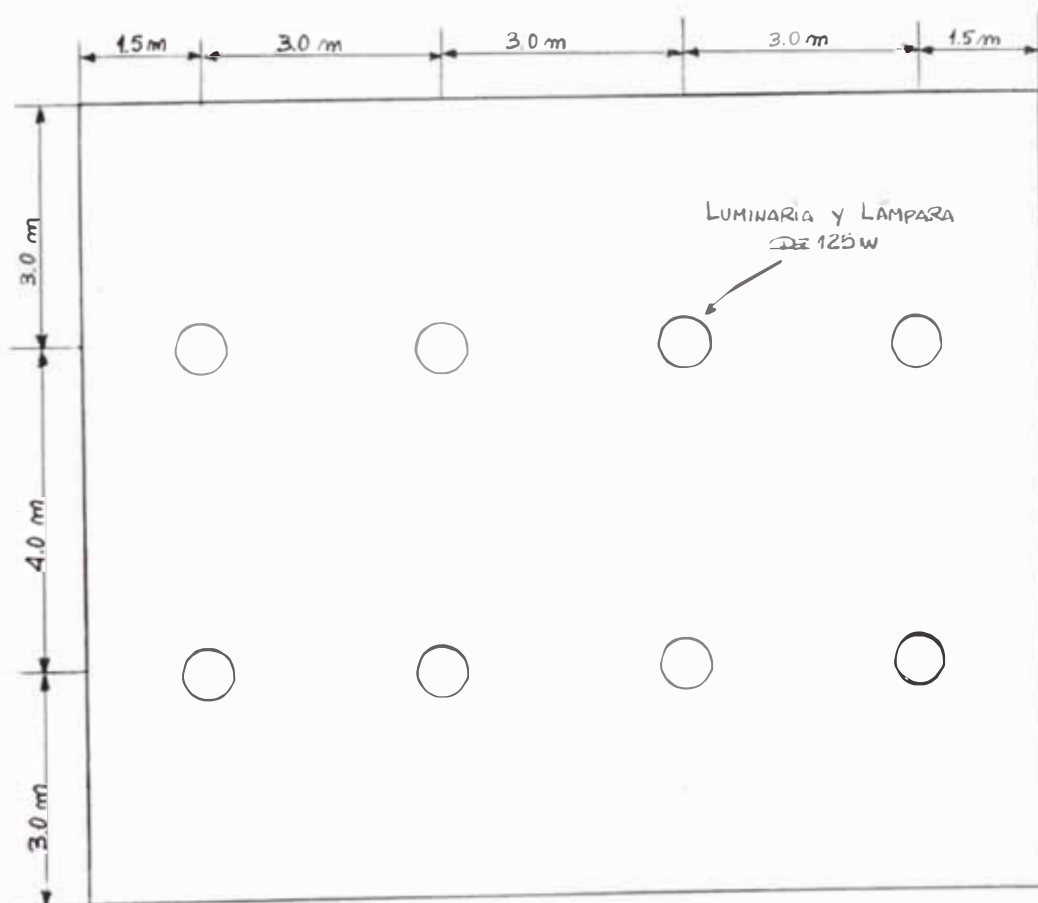
$$d = 1.5 \times h$$

donde:

$h =$  altura de trabajo  $= 3.5 \text{ m}$

$d = 5.25 \text{ m}$ .

Luego tenemos la siguiente disposición.



## CAPITULO 4

### CARACTERISTICAS DE LA BATERIA DE LOS TANQUES PARA AGITACION

#### 4.1 Características de las Estructuras metálicas

La batería de tanques agitadores para la elaboración de pinturas del tipo esmalte, según requerimientos del fabricante; estará instalado en una plataforma metálica para albergar dos tanques de agitación. Esta se encuentra a una altura de 2.50 m., para facilitar la evacuación de la pintura fabricada, por la parte inferior de dichos tanques debido a la acción de la gravedad; saliendo por una tubería hasta la línea de envasado.

Los materiales constituyentes de las pinturas se suben a la plataforma en cilindros por intermedio de un cargador frontal, Por ello las barandas de seguridad al frente de los tanques, tienen dos hojas rebatibles manera de puertas de acceso. Esto facilita el manipuleo por el personal que opera a los tanques agitadores. Además de ellos, el ingeniero de producción el personal de mantenimiento u otros

técnicos tienen acceso a los agitadores por medio de una escalera metálica, que forma parte de la estructura metálica de la plataforma.

Finalmente ésta se encuentra dentro de la nave industrial de la fábrica de pinturas.

Desde el punto de vista constructivo, la plataforma está conformado por vigas y columnas adecuadamente dispuestas, para resistir las cargas estáticas y dinámicas ejercidas por el peso de los tanques, de los equipos electromecánicos del sistema de transmisión, del personal que operará los agitadores; así como del contenido de la pintura.

Se usará perfiles estructurales con acero de calidad ASTM A-36 o equivalentes, según las normas del Instituto Americano "American Institute Steel Construction" AISC.

#### **4.2 Características de los Tanques de Agitación**

Los agitadores son tanques verticales abiertos siendo bombeados y rebordeados por la parte inferior o sea pertenecen al tipo standard . Por la parte inferior descarga a través de una línea de tubería al sistema de envasado por acción de la gravedad, ahorrándose de ésta manera el tener que instalar

bombas. Estos tanques generalmente son construidos de planchas de acero laminados en caliente por consideraciones económicas. Alternativamente se pueden forrar con fibra de vidrio o con nitrilo, elevándose su costo considerablemente.

El sistema de transmisión está constituido por un eje; terminando en su parte inferior en una turbina agitadora, accionado por un motor eléctrico. Dicho motor está instalado en una base móvil que corre en un eje guía. Durante el trabajo normal, o sea cuando se requiere que la turbina agite a la pintura, aquella se encuentra en la parte inferior, Cuando se requiere hacer el mantenimiento al tanque agitador o se quiere cambiar la turbina agitadora, todo el sistema de transmisión se levanta verticalmente hacia arriba, desplazándose por el eje guía con la ayuda de un tecla de 1 tonelada. Todo el sistema de transmisión está instalado en un castillo soporte, constituido de perfiles estructurales de acero.

#### **4.3 Características del sistema de fuerza y control**

Desde el punto de vista funcional se requiere que, la batería de agitadores sea controlado de la forma más simple y con un solo operador. Además como por razones de producción los dos tanques agitadores

tienen un espaciamiento prudencial de 1 mt.; el control lo centralizaremos por medio de un tablero eléctrico ubicado en la parte posterior de los tanques y el centro del tramo.

El tablero estará constituido por un interruptor termomagnético general, por los contactores de arranque para cada motor eléctrico y por pulsadores de ARRANQUE / PARADA.

Todas las tuberías serán del tipo conduit galvanizado standard pesado para la protección de los cables de fuerza.

Los conductores serán de cobre electrolítico de gran conductibilidad y flexibilidad.

#### **4.4 Parámetros básicos para el Diseño**

El diseño de la batería de agitadores para pinturas esmalte, se hará según los requerimientos del fabricante de pinturas.

La plataforma albergando los agitadores estará dentro de la nave industrial de la fábrica. Además por consideraciones de manipuleo, envasado,

producción y mantenimiento se requiere de dos tanques agitadores para producir 1200 galones de pintura

Diseñaremos la batería con los siguiente parámetros:

Capacidad nominal de cada Agitador	:	600 galones
Número de tanques	:	2 unidades
Tipo de pintura	:	esmalte
Densidad de la pintura	:	5.5 Kg./Gal
Viscosidad de pintura	:	2000 à 2500 centipoises
- Energía eléctrica disponible	:	trifásico, 60 Hertz.
- Voltaje disponible	:	220 V

#### 4.5 Materiales a usar en el Proyecto

Los materiales a emplear dependerá de la función a desempeñar por las estructuras y los equipos, para resistir las diversas cargas estáticas y dinámicas; así como dar la debida protección contra la corrosión y el medio ambiente industrial.

Los materiales a emplear son los siguientes:

Planchas de Acero Estructural:

ASTM A - 36 ó FG - E 24 de SIDER FERU



American Iron and Steel Institute : AISI  
Reglamento Nacional de Construcciones  
Código Nacional de Electricidad  
National Electric Manufacturers Association : NEMA  
Steel Structures Painting Council  
Specifications:SSPCS

#### **4.6 Diseño de los Equipos Mecánicos**

##### **4.6.1 Diseño de los Tanques Agitadores**

Cada tanque agitador tendrá una capacidad nominal de 600 galones. Además diseñaremos sin una arista viva entre el cilindro y el fondo del tanque, por ello el fondo será bombeado y rebordeado tipo standard.

El tanque obviamente será abierto, o sea no tendrá una tapa, ello por consideraciones de fabricación; además no se formará ni gases ni vapores en el proceso productivo.

En coordinación en el fabricante de pinturas para el cual se desarrollará el diseño, se estableció que el diámetro interior del tanque agitador será de 1.60 m.

Para el diseño aplicaremos las Normas API 620 para "Grandes Tanques soldados para almacenaje a baja presión" válida para una presión interna hasta de 15 lb/pulg<sup>2</sup> que excede con creces las especificaciones para nuestro tanque.

Determinación del Volumen almacenado por el fondo bombeado y rebordeado

En el Apendice demostramos la fórmula indicado por Ec.(1) para hallar el volumen almacenado por el fondo bombeado y rebordeado, mostrado en la fig.4.1

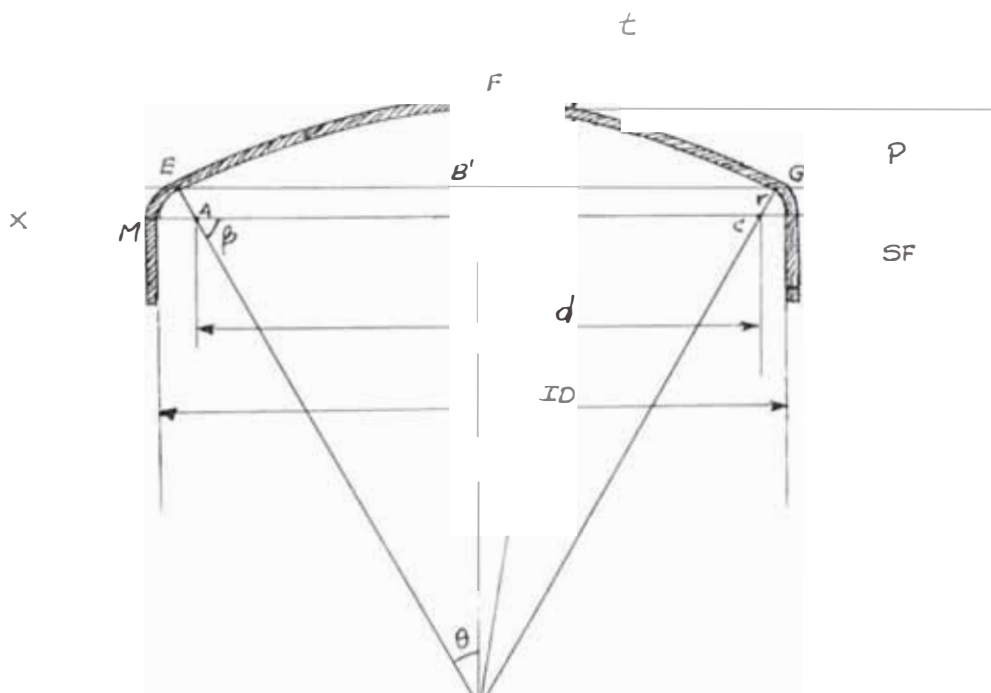


FIG. 4.1

V : Volumen entre eje x-x y la tapa bombeada y rebordeada

R : Radio de bombeo

ID: Diámetro interior

r : Radio de rebordeo

SF: Máxima pestaña recta

F : Profundidad interior del bombeo

t : Espesor de la plancha

El volumen almacenado por el fondo bombeado y rebordeado se halla con :

$$V = \frac{\pi}{3} \left[ 2R^3(1 - \cos\theta) - (R-r)^3 \text{Sen}^2\theta \cos\theta + 4r^3(1 - \cos\theta) \right] \quad (1)$$

de la Fig. 4.1:

$$\text{Sen } \theta = \frac{d}{2(R-r)} \quad (2)$$

Asumiendo:

$$R = ID$$

$$ID = d + 2r \quad d = R - 2r \quad (3)$$

Reemplazando en (2)

$$\text{Sen } \theta = \frac{R-2r}{2(R-r)} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \beta = \frac{1}{2} (90 - \theta)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} (90 - \theta) \quad (5)$$

Para nuestro tanque asumiendo:

Diámetro interior:  $ID = R = 1.60 \text{ m} = 63 \text{ pulg.}$

Radio de rebordeo:  $r = 1/2 \text{ pulg.}$

de Ec (4)

$$\text{Sen } \theta = \frac{R-2r}{2(R-r)} = \frac{63-2 \times 0.5}{2(63-0.5)} = 0.496$$

$$\theta = 29.74^{\circ}$$

de Ec (5)  $\alpha = \frac{1}{2} (90 - \theta) = \frac{1}{2} (90 - 29.74)$

$$\alpha = 30.13^{\circ}$$

reemplazando valores en la Ec. (1)

$$V = 14,351.52 \text{ pulg}^3 = 62.13 \text{ galones}$$

$$P = R - (R - r) \cos \theta = 1.60 - (1.60 - 0.0127) \times \cos 29.74^\circ$$

$$P = 0.2218 \text{ m} = 22.18 \text{ cm.}$$

#### Dimensiones del Tanque Agitador

Con el volumen almacenado por el fondo bombeado de 62.13 galones y la capacidad nominal del tanque de 600 galones, el volumen almacenado por la parte cilíndrica será:

$$V = 600 - 62.13 = 537.87 \text{ galones} = 2.036 \text{ m}^3$$

La altura de la parte cilíndrica tendrá el siguiente valor:

$$h = \frac{4 V}{\pi D^2} = \frac{4 \times 2.036 \text{ m}^3}{\pi (1.6 \text{ m})^2} = 1.012 \text{ m}$$

Dando una tolerancia por efecto de la agitación de la pintura, la altura cilíndrica

asumida valdrá 1.30 m. Las dimensiones se muestran en la fig. 4.2

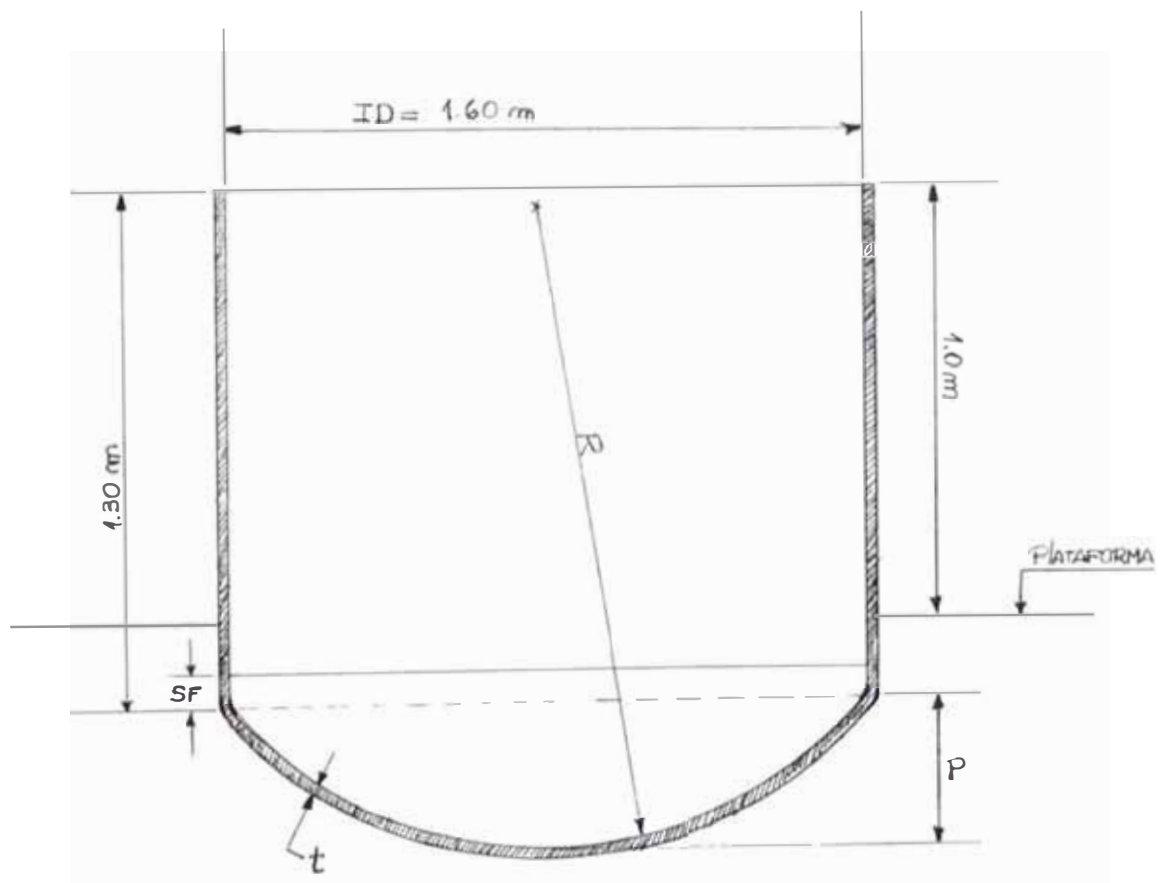


FIG. 4.2

En definitiva tendremos:

R = 1.60 m	Radio de bombeo
r = 0.5 pulg = 1.27 cm.	Radio de rebordeo
SF = 7.5 cm	Festafía recta (asumido)
ID = 1.60 m.	Diámetro interior
P = 0.2218 m.	Profundidad del bombeo

#### Espesor del cilindro del tanque

Hallaremos el mínimo espesor requerido tal que la máxima resistencia permisible por la plancha de acero sea mayor que el esfuerzo circunferencial sobre el cilindro. Aplicando la ecuación de la membrana modificada especificada por la ASME en la Sección VIII.

$$t = \frac{P \times D}{2S \times E - 1.2P}$$

P = Presión de diseño en PSI

D = Diámetro interior del tanque en pulgada

S = Máxima resistencia permisible del acero,  
PSI

t = Mínimo espesor requerido, pulgada

E = Eficiencia de unión soldada.

Según normas API 620 la presión de diseño será  $P = 15 \text{ PSI}$

Usaremos planchas de acero estructural de SIDER FERU de calidad FG - E24 en un límite de fluencia :

$$S_y = 2400 \text{ kg/cm} = 34000 \text{ lb/pulg}$$

$$F.S. = \text{factor de seguridad} = 2$$

La máxima resistencia permisible del acero SIDER FERU

$$S = \frac{S_y}{F.S.} = \frac{34000}{2} = 17,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$E = 0.70 \text{ asumido}$$

$$t = \frac{15 \text{ lb/pulg} \times 63 \text{ pulg}}{2 \times 17,000 \text{ lb/pulg} \times 0.7 - 1.2 \times 15 \text{ lb/pulg}^2}$$

$$t = 0.0394 \text{ pulg} = 1 \text{ m.m}$$

Tomando en cuenta las normas, consideramos un espesor del tanque de:



$$t = 4.5 \text{ m.m} \simeq 3/16''$$

#### Detalles del Diseño del Tanque Agitador

Por consideraciones de fabricación y para que la boca del tanque no se deforme y permanezca redondo, soldaremos por la parte exterior un angulo rolado de 2" x 2" x 3/16.

Para las uniones soldadas se usará Electrodo con especificación AWS-E6011.

Por la parte inferior del Tanque se soldará un niple de tubo standard de 4" de diámetro para la evacuación de la pintura.

Las demás especificaciones se dan en el plano respectivo.

#### 4.6.2. Diseño del Agitador

Es ampliamente conocido en la industria de fabricación de pinturas el empleo de los impulsores Cowles que obviamente nosotros instalaremos en el tanque Agitador.

Los Agitadores Cowles permiten obtener velocidades elevadas de producción en pinturas del tipo esmaltes, así como también en la

producción de pinturas en emulsión acuosa y de sistemas solubles en agua.

El agitador consiste de un disco como el representado en la Fig. 4.3 que gira velocidades elevadas instalando en el extremo de un eje vertical introducido en el tanque.

Durante el proceso productivo se adiciona una cantidad suficiente de vehículo para cubrir el disco agitador, luego se pone el sistema girar; entonces se adiciona el pigmento y se continua la mezcla de manera ininterrumpida hasta alcanzar el grado de dispersión adecuado de la pintura.

El diseño del agitador es tal, que permite producir una zona de elevada turbulencia a una distancia relativamente corta del extremo del impulsor, mediante un flujo radial; para luego transformarse en láminas. Se producen en la pintura esfuerzos de cizalla o corte debido al flujo turbulento de la mezcla vehículo-pigmento y se continua la mezcla de manera ininterrumpida hasta alcanzar el grado de dispersión adecuado de la pintura.

El diseño del agitador es tal, que permite producir una zona de elevada turbulencia a una distancia relativamente corta del extremo del impulsor, mediante un flujo radial; para luego transformarse en láminas. Se producen en la pintura Esfuerzos de cizalla o corte debido al flujo turbulento de la mezcla vehículo-pigmento; además fuerzas de fricción por el impacto de unas partículas de pigmento con otras debido a velocidades relativamente grandes

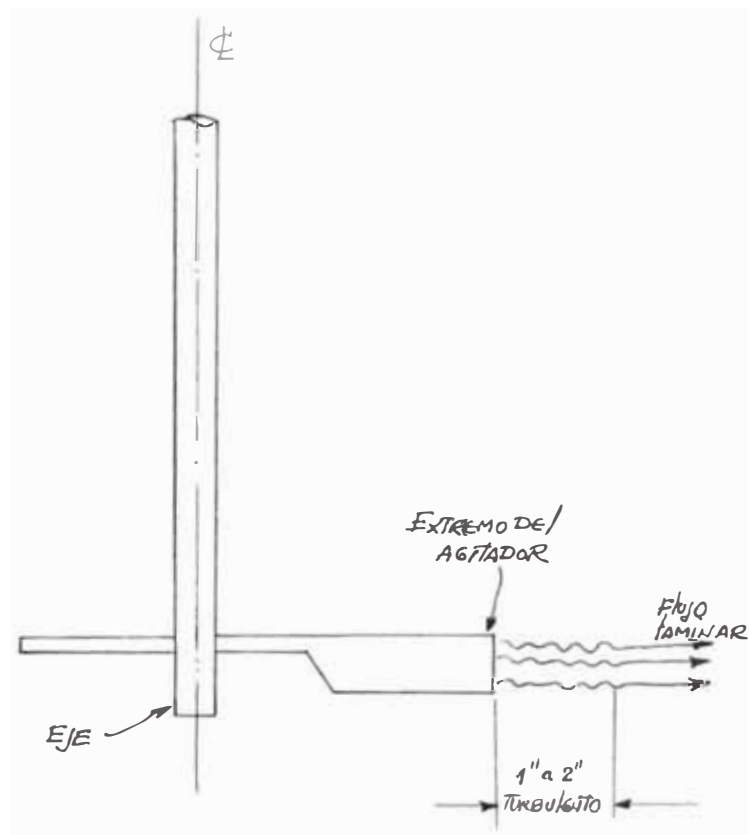


FIG. 4.3

Secuencia del proceso de diseño de Agitadores

Referencia: Chemical Engineering, Abril 26,  
1976

Jerry Norton & Richard Hicks

Para el diseño del agitador se recomienda seguir un orden que puede ser modificado de acuerdo a las necesidades particulares. El proceso es el que se muestra en la figura "Secuencia del proceso de Diseño".

El inicio del diseño depende de la información que pasemos, y ésta básicamente es la siguiente:

- A) Aplicación del Agitador
- B) Descripción del proceso
- C) Clasificación del diseño
- D) Variables primarias para el diseño  
(dimensiones y dificultad de agitación).
- E) Escala de agitación (Velocidad de agitación).
- F) Información adicional al diseño.

Detallemos cada una de ellas en sus múltiples posibilidades:

## A) Aplicación del Agitador

Tanques de lodos minerales

Fulpas de papel

Reactores

Mezcladores de pinturas

## B) Descripción del proceso

Mezclado de sólidos, líquidos, gases

Creación de movimiento

Creación de suspensión de sólidos

etc.

## C) Clasificación del diseño:

Mezclado de sólido-líquido

Mezclado de líquido-líquido

Mezclado y movimientos

Suspensión de sólidos

etc.

## D) Variables primarias

Dimensiones

- Viscosidad de la mezcla

Gravedad específica

etc.

#### E) Escala de Agitación

La Escala de agitación está ligada a la velocidad de la mezcla ( $V_m$ ) y puede ser obtenida a partir de la Tabla 4.1

La velocidad de la mezcla referida en la Tabla es la que tendría el fluido a 2/3 de la base del tanque.

#### F) Información Adicional

Estos datos adicionales podrían ser necesarios de acuerdo al caso que se esté tratando:

Velocidad de sedimentación

Granulometría

etc.

#### Velocidad y Potencia de Agitación

Referencia: Chemical Engeneering Abril 26,  
1976

velocidad y la potencia están relacionadas de diversas maneras según cada

referencia bibliográfica y la que presentamos es una de las más manipulables:

$$\text{HFR} = (D_t/394)^3 \times n \times S_m \times N^3$$

donde:

n : número de rotores

S<sub>m</sub>: Gravedad específica

N : Velocidad (RPM)

D<sub>t</sub>: Diámetro turbulento

El número de rotores n depende de la viscosidad del fluido y las dimensiones del tanque, éste valor puede obtenerse de la Tabla 4.2

La velocidad del rotor se obtiene de la siguiente fórmula:

$$N_q = \frac{Q}{N \times D}$$

Q = Caudal (pié<sup>3</sup>/ min)

N = RPM

D = Diámetro del rotor (pie)

N<sub>q</sub> = Número de bombeo del rotor

El número de Reynolds del rotor se define por:

$$Re = \frac{10.7 S_m N D^2}{\mu}$$

N = RPM

D = pulg

$\mu$  = Cp

El  $D_t$  es el diámetro turbulento, que es el diámetro del rotor corregido dependiendo del número de Reynolds:

$$D_t = D/c_r$$



TABLA 4.1

## REQUERIMIENTOS DEL PROCESO PARA DETERMINAR EL GRADO DE AGITACION

Ref. Chemical Engineering Abril, 26, 1976

ESCALA DE AGITACION	VELOCIDAD DE MEZCLADO (pie/Min)	DESCRIPCION
		Los niveles de agitación 1 y 2 son característicos de las aplicaciones que requieren velocidades de flujo MINIMAS para alcanzar el resultado del proceso.
		Los agitadores del nivel 2 serán capaces de:
1	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si las diferencias de sus <math>\gamma_g</math> (gravidades específicas) son menores que 0.1</li> <li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 100 veces la del otro</li> </ul>
2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Establecer un control completo del lodo</li> <li>* Producir una superficie llana pero en MOVIMIENTO, del espesado</li> </ul>
		Los niveles de agitación 3 al 6 son característicos de las velocidades de fluido usados en muchos procesos de industrias químicas.
3	18	<p>Los agitadores del nivel 6 serán capaces de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Mezclar fluidos Miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus <math>\gamma_g</math> son menores que 0.6</li> </ul>
4	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la viscosidad del más viscoso es menor que 10000 veces la del otro</li> </ul>
5	30	

		* Suspender sólidos (2%) con rangos de sedimentación entre 2 á 4 pie/ Min.
6	36	* Producir ondas superficiales a bajas viscosidades
		Los niveles de agitación del 7 al 10 con característicos de las aplicaciones que requieren altas velocidades de flujo para obtener el resultado del proceso, tal como en los reactores.
7	42	
		Los agitadores del nivel 10 son capaces de:
8	48	* Mezclar fluidos miscibles hasta uniformizarlos si la diferencia de sus gravedades específicas son menores que 1.0
		*Mezclar fluidos hasta uniformizar los si la viscosidad del más viscoso es menor que 100000 veces la del otro.
9	54	
		* Suspender los sólidos (2%) con velocidades de sedimentación entre 4 y 6 pie/Min
10	60	
		* Proveer un oleaje sobre la superficie a bajas viscosidades.

---

TABLA 4.2

## NUMBER OF IMPELLERS FOR BLENDING AND MOTION

VISCOSIDAD PROPORCION (Cp)	IMPULSORES (No.)	LUZ DEL ROTOR BASE	ARRIBA	MAXIMA (Z/T)
UpTo 25,000	1	Z/3		1.4
UpTo 25,000	2	T/3	(2/3)Z	2.1
25,000	1	Z/3		0.8
25,000	2	T/3	(2/3)Z	1.6

Z : profundidad del líquido

T : Diámetro del tanque

TABLA 4.3

FACTOR DE CORRECCION DE VISCOSIDAD PARA EL DIAMETRO DEL  
 ROTOR

REYNOLDS (Re)	FACTOR C	REYNOLDS (Re)	FACTOR C
700	1	150	0.93
500	0.99	100	0.91
400	0.98	80	0.90
300	0.97	70	0.89
200	0.95	60	0.88
		50	0.87

TABLA 4.4

## NUMERO DE DEFLECTORES RECOMENDADOS

VOLUMEN (G/)	VISCOSIDAD (Cp)	DEFLECTORES
1000	2500	4 90 , T/12 ancho T/72 espesor
1000	2500	ninguno
1000	5000	4 a 90 , T/12 ancho T/72 espesor
1000	5000	Ninguno

### Determinación de parámetros de agitación

La magnitud de agitación para la fabricación de pinturas consiste fundamentalmente en la mezcla movimiento de los constituyentes líquidos para obtener un producto uniforme. Nosotros aplicaremos el método publicado en la revista técnica Chemical Engineering de Abril de 1976, "Liquid Agitation".

Según tenemos:

- A) Aplicación del agitador : Tanque mezclador de pinturas
- B) Descripción del proceso : Creación de movimiento
- C) Clasificación del diseño: Mezclado y movimiento
- D) Variables primarias : Gravedad específica  
Viscosidad
- E) Información Adicional : No requerida

Obtención de los datos requeridos

- a) Gravedad específica de la mezcla ( $S_{m2}$ )

Por datos de los fabricantes de pinturas del tipo esmalte tenemos que la densidad

es:

$$f_{\text{pintura}} = 5.5 \text{ Kg./galón}$$

Entonces:

$$S_m = \frac{f_{\text{pintura}}}{f_{\text{agua}}} = \frac{5.5 \text{ Kg/galón} (264.18 \text{ galón/m}^3)}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$S_m = 1.453$$

b) Viscosidad de la mezcla ( $\mu$ )

Es también dato de los fabricantes de pinturas y se encuentra entre 2,000 á 2,500 centi - poises. Asumimos el siguiente valor:

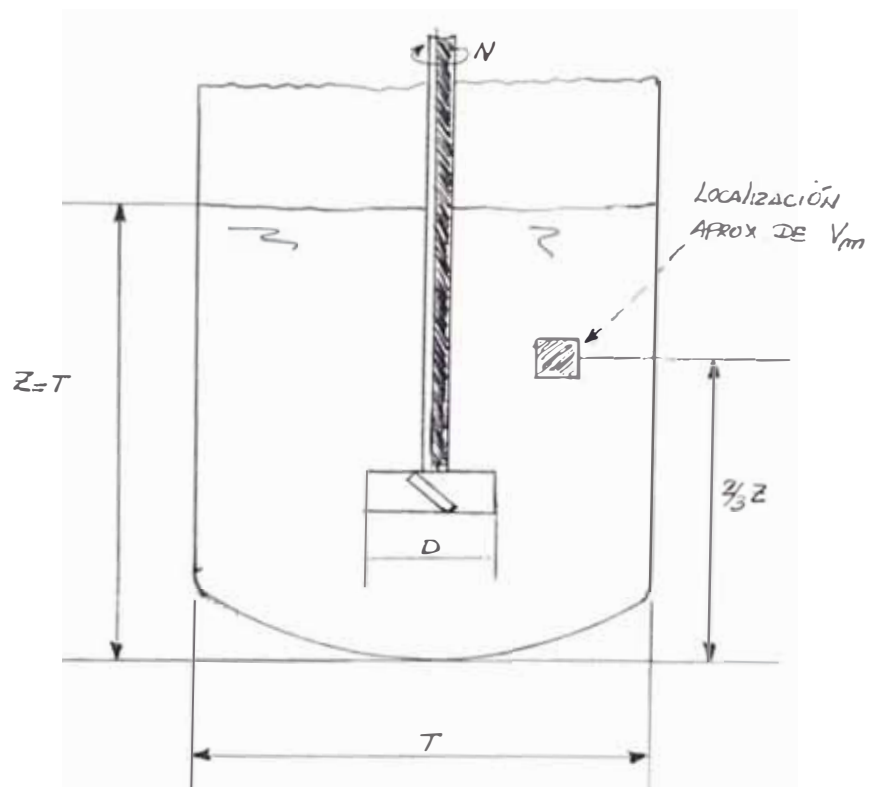
$$\mu = 2500 \text{ Cp}$$

c) Velocidad de la Mezcla ( $V_m$ )

Una manera indirecta de medir la cantidad de movimiento del líquido en un tanque agitador es por medio de la velocidad. Como la velocidad real es difícil de medir y depende de su punto de aplicación dentro del tanque, se ha definido una velocidad arti

ficial llamada "velocidad en volúmen". Esta se define como la capacidad de bombeo del agitador dividida entre el área de la sección transversal del tanque.

A partir de la Tabla 4.1 "Requerimientos del proceso para determinar el grado de agitación de la metodología publicada por "Chemical Engineering" consideramos una escala de agitación de 8 que corresponde a una velocidad de la mezcla de :  $V_m = 48 \text{ pie}/\text{min.}$





Esta velocidad es adecuada para nuestros requerimientos de elevados rates de producción de pinturas ya que trabajamos con una velocidad alta del agitador.

d) Capacidad requerida de bombeo del agitador (Q).

La metodología considera un diámetro equivalente para un tanque de "lote cuadrado", que es aquel cuya altura del líquido es igual al diámetro del tanque. Por lo tanto hallaremos el diámetro equivalente  $T_{eq}$ .

$$\frac{\pi}{4} T_{eq}^3 = V \quad T_{eq} = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

$$T_{eq} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 600 \text{ galones} (231 \text{ pulg}^3 / \text{galón})}{\pi}}$$

$$T_{eq} = 56.1 \text{ pulg.} = 4.68 \text{ pie}$$

La capacidad de bombeo del agitador será:

$$Q = A V_m = \frac{\pi}{4} T_{eq}^2 \times V_m$$

$$Q = \frac{\pi}{4} (4.68)^2 \times 48$$

$$Q = 825.6 \text{ pie}^3/\text{min.}$$

e) Diámetro del rotor (D).

Escogemos un valor de  $\frac{D}{T}$  entre 0.2 y 0.6

Tenemos : 0.2

$$D = 0.2 T_{eq} = 0.2 \times 56.1/\text{pulg}$$

$$D = 11.22 \text{ pulg.}$$

Considerando:

$$D = 30 \text{ cm.} = 11.79 \text{ pulg} = 0.983 \text{ pie}$$

- f) Cálculo del Número de revoluciones del impulsor (N).

Los fabricantes de equipos recomiendan que la velocidad tangencial del agitador estará entre 1000 y 2000 m/min. considerando en forma conservadora :

$$V = 1,100 \text{ m/min} = 1,100 (39.37 \text{ pulg/min})$$

$$V = 43,307 \text{ pulg/min.}$$

La velocidad angular será:

$$N = \frac{V}{\pi \times D} = \frac{43307 \text{ pulg/min}}{\pi \times 11.79 \text{ pulg}} = 1169 \text{ RPM}$$

Estamos en el rango de velocidad de un motor eléctrico de 6 polos, 60HZ, luego a sumimos:

$$N = 1165 \text{ RPM}$$

de ésta manera ahorramos el instalar un reductor de velocidad.

g) Número de Reynolds del agitador (Re).

Los efectos de la viscosidad sobre la potencia dependerá del número de Reynolds del impulsor que se define:

$$Re = 10.7 \frac{\rho_m N D^2}{\mu}$$

Reemplazando datos tenemos:

$$Re = \frac{10.7 \times 1.453 \times 1165 \times (11.79)^2}{2500}$$

$$Re = 1007$$

h) Cálculo del número de Bombeo ( $N_q$ )

Con el número de Reynolds calculado, leemos en el Gráfico No. 4.4 y  $D/T = 0.2$

$$N_q = 0.75$$

Ahora verificamos la velocidad angular:

$$N = \frac{Q}{N_q D^3} = \frac{825.6 \text{ pie}^3/\text{min}}{0.75(0.983 \text{ pie})^3} = 1159 \text{ RPM OK!}$$

siendo muy cercana a la velocidad asumida

i) Potencia requerida para accionar el agitador

$$HRP = (D_t/394)^5 n S_m N^3$$

recurrimos a la Tabla 4.2 para encontrar el número de rotores ( $n$ ) que depende de la viscosidad de la mezcla.

Para viscosidades hasta 25,000 cp y relación  $H/T < 1.4$  corresponde un solo

rotor.

$$n = 1 \quad (H: \text{altura del nivel de pintura})$$

$$\text{Como } D_e = \frac{D}{C_r}$$

$C_r$  se obtiene de la Tabla 4.3 y depende del número de Reynolds, para el caso  $C_r = 1$

Entonces:

$$D_e = D = 11.79 \text{ pulg}$$

$$\text{HRP} = \frac{(11.79)^5}{394} \times 1 \times 1.453 \times (1165)^3$$

$$\text{HRP} = 55.1 \text{ HP}$$

Por lo tanto seleccionamos un motor comercial standar de:

$$P = 60 \text{ HP}$$

$$N = 1165 \text{ RPM}$$

#### Placas deflectoras

Como la viscosidad de la pintura es 2500 Cpoise siendo menor a 5000 Cpoise, se requiere evitar un remolino excesivo.

Consultando la Tabla 4.4 observamos que ésto lo podemos lograr instalando 4 placas deflectoras a lo largo de la altura del tanque agitador, colocado a 90° entre sí o igualmente espaciadas en su circunferencia.

El ancho de cada placa estará en el rango de 1/12 de 1/10 del diámetro del tanque.

$$1/12 T = \frac{160 \text{ cm}}{12} = 13.3 \text{ cm.}$$

$$1/10 T = \frac{160 \text{ cm}}{10} = 16 \text{ cm}$$

Consideramos un ancho de 13 cm. para las 4 placas deflectoras.

Todo el detalle de instalación se muestra en el plano de fabricación del tanque agitador.

#### 4.6.3 Diseño del Sistema de Transmisión del Agitador

En éste párrafo desarrollaremos los cálculos, para la determinación del eje de transmisión de potencia del agitador; así como también haremos el diseño del castillo soporte del motor eléctrico, eje y agitador. En fig. 4.4 se muestra el esquema del castillo soporte.



FIG. 4.4



#### 4.6.3.1 Cálculo del eje de transmisión de potencia del agitador.

Se tienen los siguientes datos:

$$N = 1165 \text{ RPM}$$

$$\text{HPR} = 55.1 \text{ Potencia para girar el impulsor}$$

$$L = 1.15\text{m} = 45.2 \text{ pulg. Longitud del impulsor al acoplamiento.}$$

$$D = 30 \text{ cm.} = 11.79 \text{ pulg.}$$

Hallaremos el torque y la fuerza hidráulica sobre el agitador que ejercerá un momento de flexión sobre el eje.

La fuerza hidráulica  $F_h$  está definida así:

$$F_h = \frac{19000 \text{ HPR} \times f_s}{N \times D}$$

$f_s = 1$  factor de servicio de la fuerza hidráulica.

$$F_h = \frac{19000 \times 55.1 \times 1}{1165 \times 11.79} = 76.3 \text{ Lb}$$

Momento máximo:

$$M_{\max} = F_h \times L = 76.3 \text{ Lb} \times 45.2 \text{ pulg.}$$

$$= 3449 \text{ lb} \times \text{pulg}$$

Torque máximo:

$$T = \frac{63025}{N} \times \text{HPR} = \frac{63025 \times 55.1}{1165}$$

Resumiendo:

$$T = 2981 \text{ lb} \times \text{pulg} = 3442 \text{ kg} \times \text{cm}$$

Fuerza hidráulica

$$F_h = 76.3 \text{ Lb} = 34.7 \text{ Kg.}$$

Aplicando la ecuación de la ASME para ejes sólidos con pequeña carga axial de tracción:

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times \tau_{\max}} \sqrt{(C_m \cdot M)^2 + (C_t T)^2}$$

$\tau_{\max}$  = esfuerzo de corte máximo

d = diámetro del eje sólido

M = momento máximo

T = torque máximo

$C_m = 1.5$  Factor de carga por fatiga

$C_t = 1.5$  Factor de carga por choque

Se debe cumplir que  $\tau_{max} \leq S_{sd}$

$S_{sd}$  = Resistencia al corte de diseño

Para ejes de acero AISI 1045

$$S_{sd} = 0.30S_y = 0.30 \times 65800 \text{ PSI}$$

$$= 19740 \text{ lb/pulg}^2$$

$$S_{sd} = 0.18S_u = 0.18 \times 107700 \text{ PSI}$$

$$= 19386 \text{ lb/pulg}^2$$

Tomando el 75% por tener canal chavetero al menor:

$$S_{sd} = 0.75 \times 19386 = 14539 \text{ } S_{sd} = 14500 \text{ lb/pulg}^2$$

Consideramos  $\tau_{max} = S_{sd} = 14500 \text{ lb/pulg}^2$

Luego:

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_{max}} \sqrt{(C_m M)^2 + (C_t T)^2}$$

$$= \frac{16}{\pi \times 14500} \sqrt{(1.5 \times 3449)^2 + (1.5 \times 2981)^2}$$

$$d^3 = 2.4018$$

$$d = 1.34 \text{ pulg.}$$

Alternativamente, también se puede usar un acero AISI 1035.

#### 4.6.3.2 Diseño del eje por rigidez

Debido al voladizo consideramos una deformación máxima de 0.83 m.m./m de eje ("Manual de Cálculos de Ingeniería" de HICKS).

La deformación real valdrá:

$$\delta = \frac{F_h L^3}{3 E I}$$

$F_h = 76.3 \text{ lb}$  Fuerza hidráulica

$L = 45.2 \text{ pulg}$  Longitud del eje

$E = 30 \times 10^6 \text{ lb/pulg}^2$  Módulo de elasticidad del acero

$\delta =$  Deformación del eje

$I =$  Momento de inercia del eje

Asumiendo un eje de 2"

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi (2 \text{ pulg})^4}{64} = 0.7854 \text{ pulg}^4$$

$$\delta = \frac{76.3 \text{ lb} \times 45.2^3 \text{ pulg}^3}{3 \times 30 \times 10^6 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 0.7854 \text{ pulg}^4}$$

$$\delta = 0.0996 \text{ pulg.} = 2.5 \text{ m.m.}$$

$$= \frac{2.5 \text{ m.m.}}{1.25 \text{ m}} = 2 \text{ m.m./m} \quad \text{Mucho!}$$

Usando un eje de 2 1/2 pulg. de diámetro

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi (2.5 \text{ pulg})^4}{64} = 1.917 \text{ pulg}^4$$

$$\delta = \frac{76.3 \times 45.2^3}{3 \times 30 \times 10^6 \times 1.917} = 0.0408 \text{ pulg} = 1.03 \text{ m.m}$$

$$\frac{1.03 \text{ m.m}}{1.25 \text{ m}} = 0.829 \text{ m.m/m} < 0.83 \text{ m.m/m OK!}$$

$$1.25 \text{ m}$$

Comercialmente seleccionamos un eje de 2 1/2"  $\phi$

## 4.7 Diseño de las estructuras metálicas

### 4.7.1. Diseño de la estructura soporte del motor eléctrico

El tripode soporte mostrado en la Fig. 4.4 consiste en una estructura con ejes guías para regular la posición del motor/agitador según los requerimientos del agitador.

El tripode está soportado por una columna constituido por un tubo y por un pequeño portico, todo ello fijado a las vigas expofesamente puestas de la plataforma.

### Cálculo del peso del motor y eje de transmisión

En el párrafo 4.6.2 determinamos que usaríamos un motor eléctrico de 60 HP/6 polos

Del catálogo DELCROSA obtenemos:

Peso del Motor = 523 Kg.

Para un eje de  $2 \frac{1}{2} \overset{''}{\phi}$  obtenemos :

Peso eje =  $16.7 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} (45.2 \text{pulg}) = 63 \text{ lb} = 29 \text{ Kg}$   
 pie 12pulg/pie

Luego el peso del motor y eje será

$w = 523 + 29 = 552 \text{ Kg}$

Digamos

$$W = 570 \text{ Kg.} = 1254 \text{ lb}$$

Para el diseño y cálculo del tripode soporte para efectos del cálculo por resistencia de materiales, lo dividiremos en:

- Cálculo del panel o cuadro rectangular soporte del motor y ejes guías.
- Cálculo del pórtico soporte del panel
- Cálculo de la columna soporte del tripode

En la Fig. 4.5 tenemos un esquema de la proyección del tripode soporte.

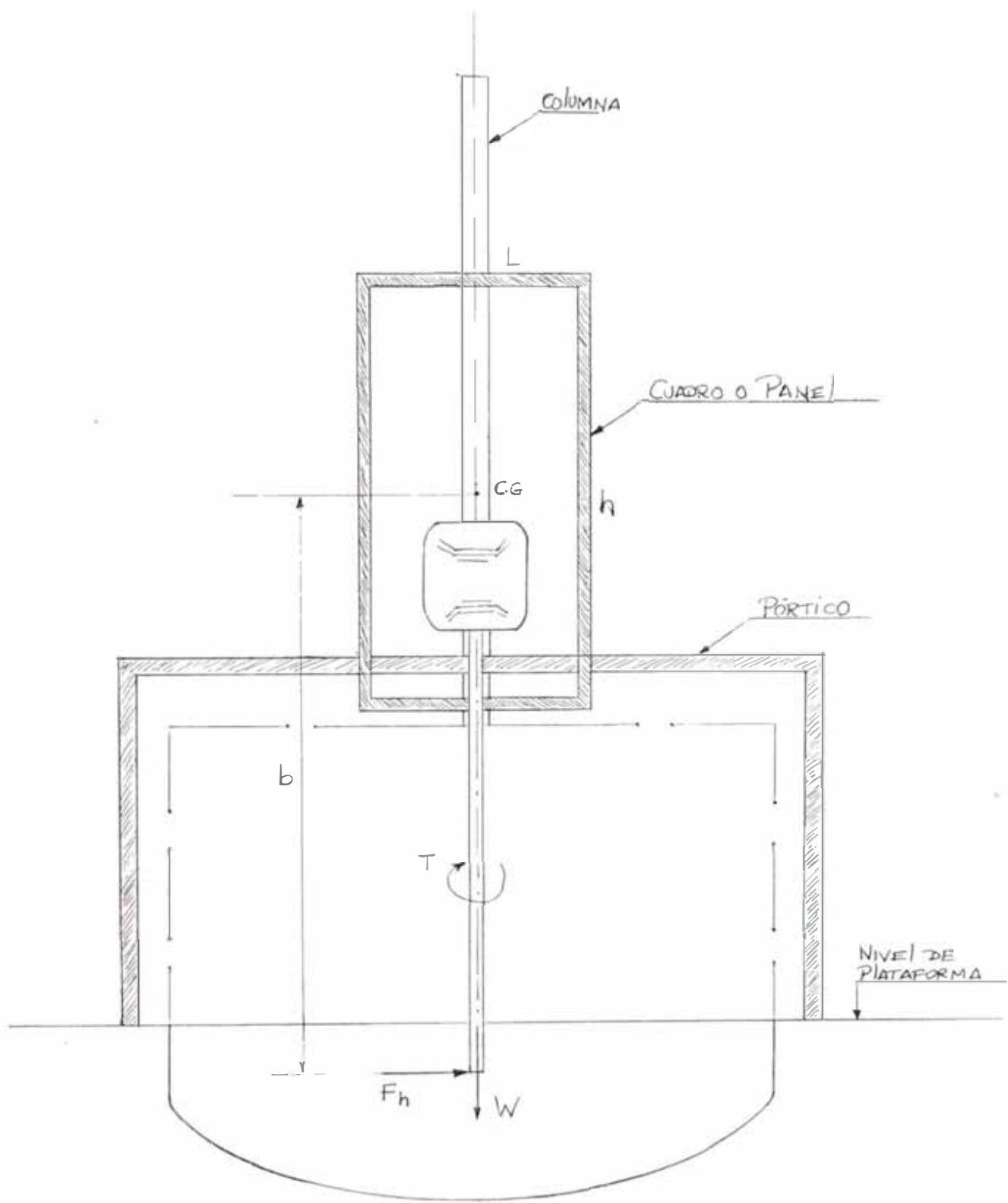


FIG 45



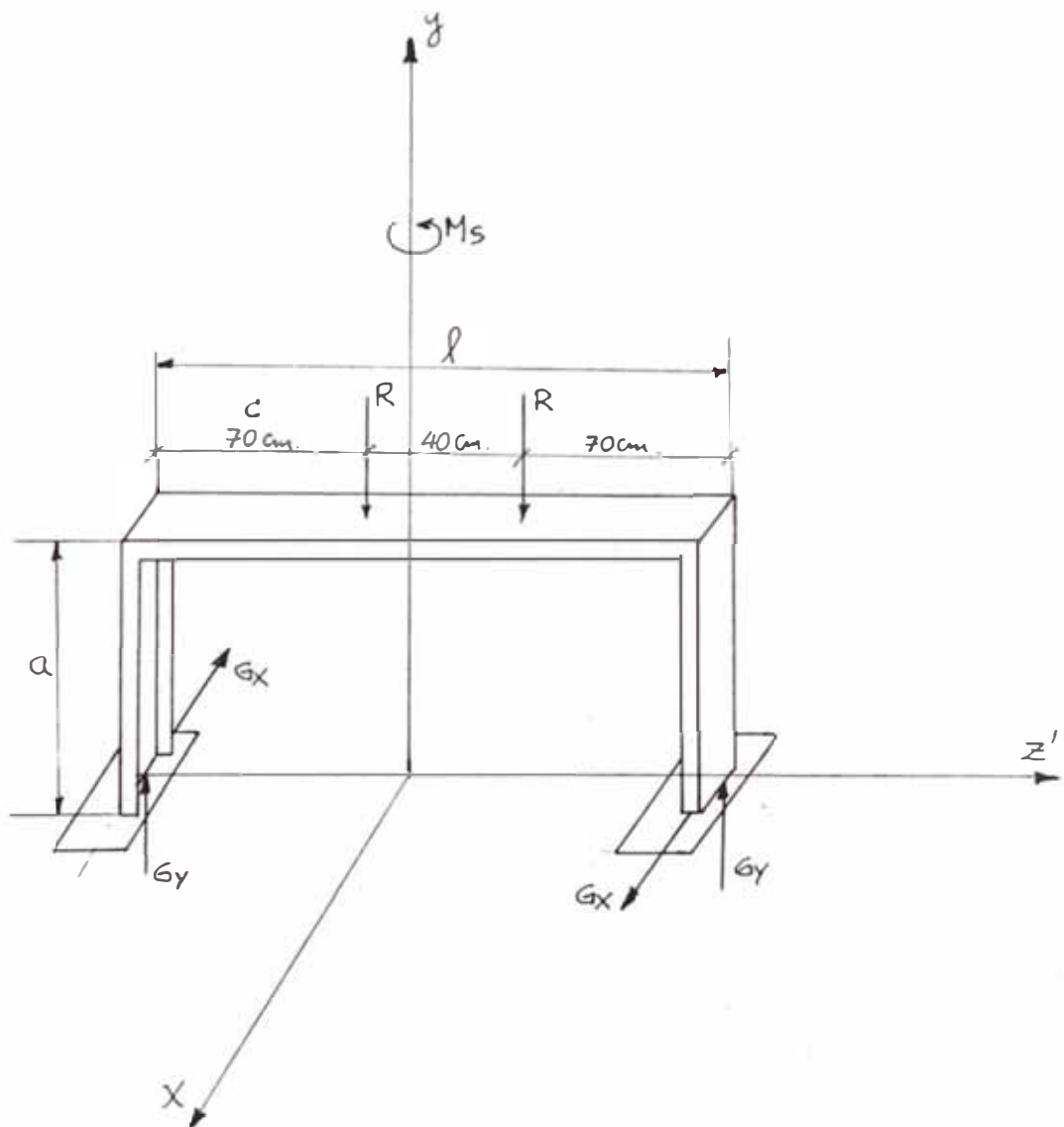
Diagrama de cuerpo libre del pórtico

FIG. 4.8

Los parámetros básicos son:

$$W = 570 \text{ Kg.} = 1254 \text{ LB}$$

$$F_H = 34.7 \text{ Kg.} = 76.3 \text{ lb} \text{ Fuerza hidráulica}$$

$$T = 3442 \text{ Kg.} \times \text{cm.} = 2981 \text{ lb} \times \text{pulg.}$$

Torque máximo en eje agitador

$$b = 2.18 \text{ m. Distancia de } F_H \text{ al centro de gravedad del panel}$$

$$M_o = bF_H = 218 \text{ cm.} \times 34.7 \text{ Kg.} = 7565 \text{ Kg.} \times \text{cm.}$$

Mom. respecto al C.G. de panel

$$h = 200 \text{ cm.} = 78.7 \text{ pulg. Longitud efectiva del panel}$$

$$L = 52 \text{ cm.} = 20.5 \text{ pulg. Ancho efectivo del panel}$$

$$d^2 = h^2 + L^2 = 200^2 + 52^2 = 42704 \text{ cm}^2 = 6614 \text{ pulg}^2$$

$$d = \text{diagonal del cuadro o panel}$$

Según fig. 4.6

$$\sum F_x = 0 \quad F_H - D_x = 0$$

$$D_x = F_H$$

$$D_x = 76.3 \text{ lb.}$$

$$\sum F_y = 0 \quad G_y + E_y - D_y - W = 0$$

$$G_y + E_y - D_y = 570 \quad (1)$$

$$\sum M_z = 0 \quad (17+45)W - 43 D_y = 0 \quad D_y = \frac{62 \times W}{43}$$

$$D_y = \frac{62W}{43} = \frac{62 \times 570 \text{ Kg.}}{43} = 821.9$$

$$D_y = 821.9 \text{ Kg.} = 1808.2 \text{ Lb}$$

$$\Sigma M_x = 0 \quad 90 G_y - 90 E_y = 0 \quad E_y = G_y$$

Reemplazando en (1)

$$G_y + G_y - 821.9 = 570 \quad G_y = \frac{821.9 + 570}{2}$$

$$G_y = 695.95 \quad G_y = E_y = 696 \text{ Kg.} = 1531.2 \text{ Lb}$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad G_x - E_x = 0 \quad G_x = E_x$$

$$\Sigma M_y = 0 \quad T + 180 G_x - \mu F_n - 60 D_x = 0$$

$$180 G_x = -T + \mu F_n + 60 D_x$$

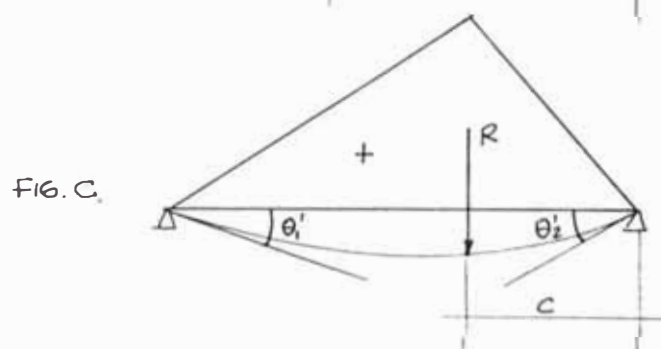
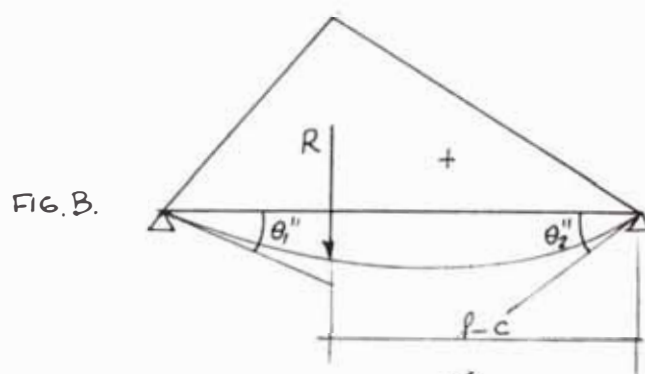
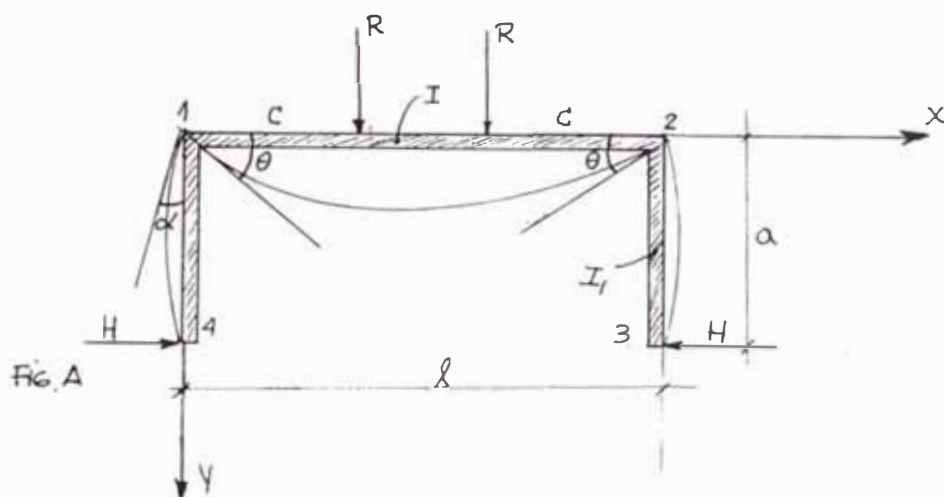
$$G_x = \frac{T + F_n + 60 D_x}{180} = \frac{3442 \text{ Kg. cm.} + 45 \text{ cm.} \times 34.7 \text{ Kg}}{180 \text{ cm.}}$$

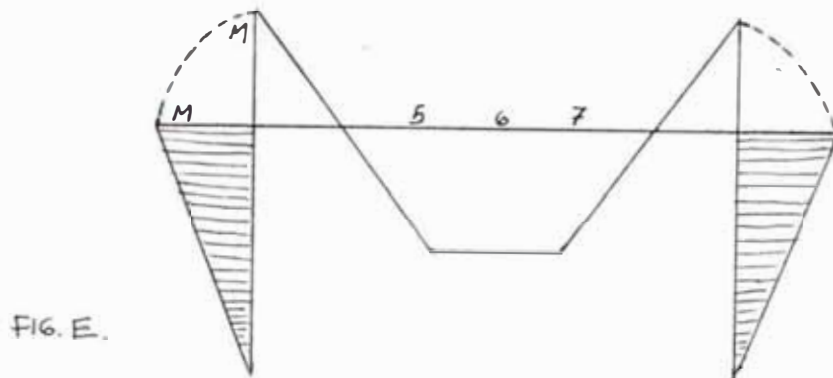
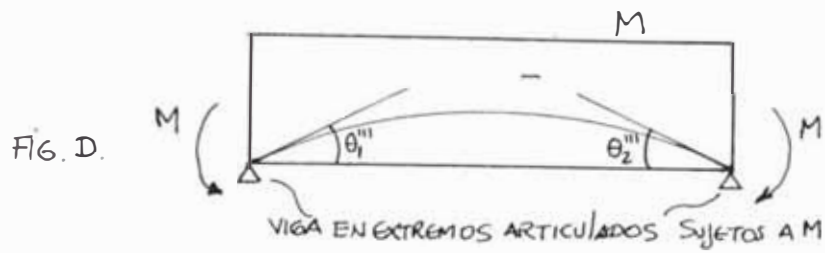
$$+ \frac{60 \times 76.3}{180}$$

$$G_x = E_x = 15 \text{ Kg.} = 33 \text{ lb}$$

#### 4.7.1.1 Cálculo del pórtico soporte del panel

Del diagrama de cuerpo libre del pórtico mostrado en la Fig. 4.8 y despreciando el momento  $M_u$  por ser pequeño, resolveremos la estructura Hiperestática





Trabajando con perfiles de acero siendo la unión rígida entre la viga y la columna cuando se deformen se cumplirá:

$$\theta = \alpha \quad (1)$$

#### Análisis para la viga 1-2

De los textos de resistencia de M. se sabe que la rotación del extremo 1 de la viga es:

$$\theta_{i.}' = \frac{Rc (1^2 - C^2)}{6 I E I} \quad (2)$$

Análogamente para la otra carga Fig.C

$$\theta_1'' = \frac{R(1-c)}{6EI} [1^3 - (1-c)^3] = \frac{RC(1-c)(21-c)}{6EI} \quad (3)$$

Se sabe que la rotación del extremo 1 de la viga sujeto a los momentos en sus extremos

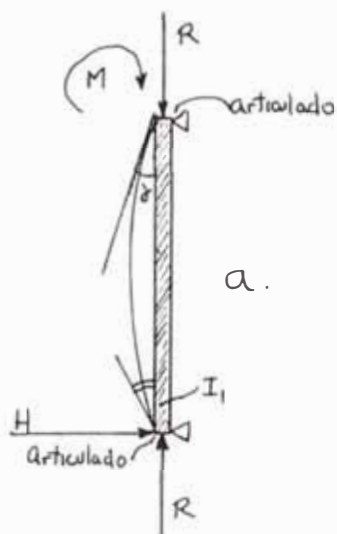
$$\theta_1''' = \frac{M1}{3EI} + \frac{M1}{6EI} = \frac{M1}{2EI} \quad (4)$$

Aplicando el principio de superposición

$$\theta = \theta_1' + \theta_1'' - \theta_1''' \quad (5)$$

$$\theta = \frac{RC(1^3 - c^3)}{6EI} + \frac{RC(1-c)(21-c)}{6EI} - \frac{M1}{2EI} \quad (6)$$

Análisis para la columna 1-4



Se asimila a una viga con extremos articulados con un momento exterior a un extremo.

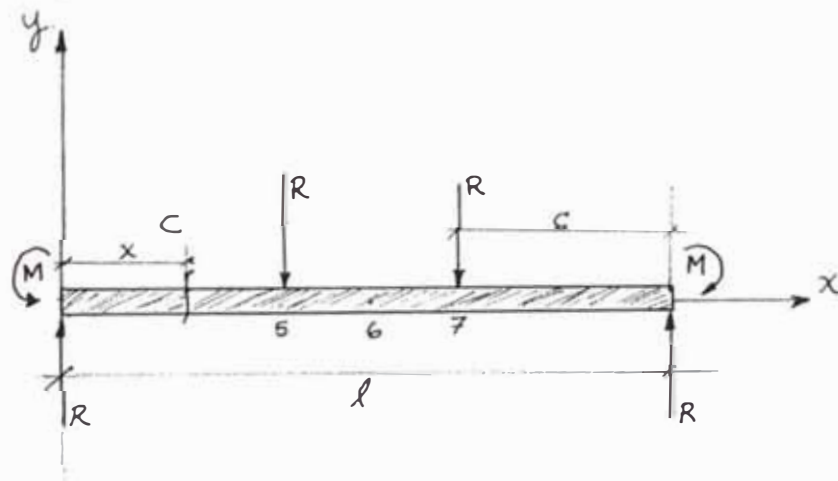
$$\alpha = \frac{M_a a}{3EI_1} \quad (7)$$

Debido a la Ec 1 igualando las expresiones 6 y 7:

$$\frac{RC(l^2 - c^2)}{6EI} + \frac{RC(1-c)(2l-c)}{6EI} - \frac{Ml}{2E} = \frac{Ma}{3EI_1}$$

$$M = \frac{3RC(l-c)}{3l + 2a \frac{I}{I_1}} \quad (8)$$

Momento sobre la viga del Pórtico



Para el tramo  $x \leq c$

$$M_x = R_x - M$$

para  $x = c$

$$M_5 = RC - \frac{3RC(1-c)}{3l + 2a} \frac{I_1}{I_2} \quad (9)$$

Para el tramo  $C < x \leq L - C$

$$M_x = R_x - R(x-c) - M = R_x - R_x + RC - M$$

resulta independiente de  $x$  o sea es constante del punto 5 al 7

$$M_6 = M_7 = RC - \frac{3RC(1-c)}{3l + 2a} \frac{I_1}{I_2} \quad (10)$$

Ec (10) igual a Ec (9)

Cálculo del momento en el pórtico

Aplicaremos la Ec. (8) a nuestros datos con las reacciones halladas anteriormente y del diagrama del pórtico mostrado en Fig.4.8 obtenemos:

$$R = G_y$$

$$R = 696 \text{ Kg.} = 1531.2 \text{ lb}$$

$$l = 180 \text{ cm.} = 70.9 \text{ pulg.}$$



$$c = 70\text{cm.} = 27.6 \text{ pulg.}$$

$$a = 102\text{cm.} = 40.2 \text{ pulg.}$$

### Primer tanteo

Inicialmente tomaremos un perfil "I" de acero A-36 para todo el pórtico; luego el momento de inercia de la viga "I" será el mismo que el de la columna "I", o sea  $I = I_1$

Reemplazando valores en Ec (8) del momento:

$$M = \frac{3Rc(1-c)}{3l + 2aI} = \frac{1531.2 \times 27.6 (70.9 - 27.6)}{3 \times 7.09 + 2 \times 40.2} =$$

$$M = 6243.3 \text{ lb x pulg.}$$

### Cálculo de los momentos en el resto de la viga

Anteriormente obtuvimos de las expresiones 9 y 10 :

$$M_B = M_C = M_D = RC = M = 1531.2 \text{ lb.} \times 27.6 \text{ pulg.} \\ = 6243.3 \text{ lb pulg.}$$

$$M_{max} = M_B = M_D = 36018 \text{ lb x pulg.}$$

### Cálculo de la reacción horizontal

En el diagrama de la columna tomando momentos respecto al punto 1 :

$$\sum M_1 = 0 \quad a \times H - M = 0 \quad a \times H = M$$

$$H = \frac{M}{a} = \frac{6243.3 \text{ lb x pulg.}}{40.2 \text{ pulg.}}$$

$$H = 155.3 \text{ lb} = 70.6 \text{ Kg.} \quad \text{Es pequeño}$$

### Cálculo estructural de la viga

Obtenemos los parámetros del manual "Steel Construction".

Considerando un perfil I 5 x 10

$$A = 2.94 \text{ pulg}^2$$

$$S_x = 4.92 \text{ pulg}^3$$

$$b_x = 3 \text{ pulg.}$$

$$r_x = 2.05 \text{ pulg.}$$

$$S_y = 0.809 \text{ pulg}^3$$

$$r_y = 0.643 \text{ pulg.}$$

### Cálculo de las relaciones de esbeltez

#### Extremo izquierdo

Rotación / - con desplazamiento en x é y :

- rotación libre articulado

$$\frac{K_x \cdot l}{r_x} = \frac{2 \times 70.9}{2.05} = 69.2$$

#### Extremo derecho

- con desplazamiento  $K_x = 2$

- rotación libre articulado  $K_y = 2$

$$\frac{K_y \cdot l}{r_y} = \frac{2 \times 70.9}{0.643} = 220.5 > 200 \quad \text{Mal!}$$

2º Tanteo

$$A = 3.67 \text{ pulg}^2$$

$$S_x = 7.37 \text{ pulg}^3$$

$$b_r = 3.332 \text{ pulg}$$

$$r_x = 2.45 \text{ pulg.}$$

$$d = 6 \text{ pulg.}$$

$$t_r = 0.359 \text{ pulg.}$$

$$S_y = 1.09 \text{ pulg}^3$$

$$r_y = 0.705 \text{ pulg.}$$

$$t_w = 0.232 \text{ pulg.}$$

$$\frac{K_x \cdot l}{r_x} = \frac{2 \times 70.9}{2.45} = 57.9$$

$$\frac{K_y \cdot l}{r_y} = \frac{2 \times 70.9}{0.705} = 201 \quad \text{OK !}$$

Con este último valor, leemos el esfuerzo permisible de compresión

$$F_c = 3730 \text{ lb/pulg.}$$

El esfuerzo axial calculado  $f_a$  valdrá:

$$f_a = \frac{H}{A} = \frac{155.3 \text{ lb}}{3.67 \text{ pulg}^2} = 42.3 \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_a = \frac{42.3}{3730} = 0.011 < 0.15$$

El perfil seleccionado será adecuado si se cumple la relación de flexo-compresión:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} < 1$$

#### Cálculo de esfuerzo de flexión permisible

##### $F_b$

Para que la sección sea compacta se debe cumplir:

$$b_r \geq \frac{l}{13} \quad l = \text{longitud no arriostrada} \\ = 70 \text{ cm.} = 27.6 \text{ pulg.}$$

$$b_r \geq \frac{27.6 \text{ pulg.}}{13} \quad b_r \geq 2.12 \text{ pulg.}$$

como:

$b_r = 3.332 \text{ pulg.} > 2.12 \text{ pulg.}$ , es compacta  
Pero como no está arriostrado continuamente,  
aplicaremos:

$$F_b = \left[ 1 - \frac{(l/r)^2}{20c^2 \cdot C_b} \right] \cdot 0.60 F_y$$

$$F_y = 36000 \text{ lb/pulg}^2 \quad \text{Límite fluencia}$$

$r$  = Radio de giro de la sección en compresión por flexión con respecto al eje "y"

$C_c$  = 126 Factor de columna para acero A-36

$l$  = 70 cm. = 27.6 pulg. Longitud no arriostada

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

$M_1$  = -6243.3 lb x pulg. Momento pequeño con su signo.

$M_2$  = 36018 Lb x pulg Momento grande con su signo.

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left( \frac{-6243.3}{36018} \right) + 0.3 \left( \frac{-6243.3}{36018} \right)^2$$

$$= 1.94$$

$$C_b = 1.94$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{I_r}{A_r + \frac{A_w}{6}}}$$

$I_r$  = Inercia del ala de compresión respecto al eje "y"

$A_r$  = Área del ala de la sección

$\frac{A_w}{6}$  = Sexta parte del área del alma

Para vigas I:  $I_r = \frac{1}{2} I_y = \frac{1}{2} (1.82 \text{ pulg}^4)$

$$= 0.91 \text{ pulg}^4$$

$$A_r = b_r \cdot t_r = 3.332 \text{ pulg.} \times 0.359 \text{ pulg.} \\ = 1.20 \text{ pulg}^2$$

$$A_w = t_w (d - 2t_r) = 0.232(6 - 2 \times 0.359) = 1.23 \text{ pulg}^2$$

El radio de giro valdrá:

$$r = \sqrt{\frac{I_r}{A_r + \frac{A_w}{6}}} = \sqrt{\frac{0.91}{1.20 + \frac{1(1.23)}{6}}} = 0.805 \text{ pulg.}$$

El esfuerzo de flexión permisible valdrá:

$$F_b = \left[ 1 - \frac{(1/r)^2}{2C_c^2 \cdot C_b} \right] 0.60 F_y$$

$$= 1 - \frac{(27.6/0.805)^2}{2 \times 126^2 \times 1.94}$$

$$\times 0.60 \times 36000$$

$$F_b = 21,187.3 \text{ lb/pulg}^2$$

$$F_b = \frac{12'000,000}{1 (d/A_r)} = \frac{12'000,000}{27.6 (5.02)} = 86,610 \text{ No usar}$$

El esfuerzo de flexión actuante valdrá:

$$f_b = \frac{M_{max}}{S_x} = \frac{36018 \text{ lb} \times \text{pulg.}}{7.37 \text{ pulg}^3}$$

$$f_b = 4887 \text{ lb/pulg}^2$$

Con la relación de flexo-compresión

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{42.3}{3730} + \frac{4887}{21187.8} = 0.242 < 1 \quad \text{OK !}$$



Cálculo estructural de la columna

Como asimilamos a una viga con extremos articulados con un momento en el extremo superior,  $C_b = 1$  ya que no hay gradiente de momentos

Considerando el mismo perfil I 6 X 12.5

Relaciones de esbeltezExtremo superior

Rotación - Sin desplazamiento

en x e y - Rotación libre articulado

$$l = 102 \text{ cm} = 40.2 \text{ pulg.}$$

$$\frac{K_x l}{r_x} = \frac{1 \times 40.2}{2.45} = 16.4$$

Extremo inferior

- Sin desplazamiento

- Rotación libre

articulado

$$K_x = K_y = 1$$

Long. no arriostrada

$$\frac{K_y \cdot l}{r_y} = \frac{1 \times 40.2}{0.705} = 57 \quad \text{Manda}$$

Sin tener en cuenta la flexión, la columna se flexa más por el menor radio de giro.

Con la mayor relación de esbeltez, leemos

$$F_c = 17710 \text{ lb/pulg}^2$$

El esfuerzo axial calculado

$$f_c = \frac{R}{A} = \frac{1531.2 \text{ lb}}{3.67 \text{ pulg}^2} = 417.2 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\frac{f_c}{F_c} = \frac{417.2}{17710} = 0.024 < 0.15$$

Sección compacta y cálculo de  $F_b$

$$b_f \geq \frac{l}{13} = \frac{40.2 \text{ pulg}}{13} \quad b_f \geq 3.09 \text{ pulg.}$$

como

$$b_f = 3.332 \text{ pulg.} > 3.09 \text{ Sección es compacta}$$

Pero como la sección no esta arriostrada continuamente aplicaremos :

$$F_b = \left[ 1 - \frac{(l/r)^2}{2C_c^2 C_b} \right] \cdot 0.60 F_y$$

$$C_b = 1$$

Como la sección de la columna es la misma que de la viga, se tendrá el mismo radio de giro:

$$r = 0.805 \text{ pulg.}$$

El esfuerzo de flexión permisible valdrá:

$$F_b = \left[ \frac{1 - (1/r)^2}{2 C_c^2 C_b} \right] 0.60 F_y$$

$$\left[ \frac{1 - (40.2/0.805)^2}{2 \times 126^2 \times 1} \right] 0.60 \times 36000$$

$$F_b = 19903.5 \text{ lb/pulg}^2$$

$$F_b = \frac{12'000,000}{1 (d/A_r)} = \frac{12'000,000}{40.2(5.02)} = 59463.6 \quad \text{No usar}$$

El esfuerzo de flexión actuante valdrá:

$$f_b = \frac{M_{max}}{S_x} = \frac{6243.3 \text{ lb} \times \text{pulg.}}{7.37 \text{ pulg}^3}$$

$$f_b = 847.1 \text{ lb/pulg}^2$$

Aplicando la relación de flexo-compresión

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{417.2}{17710} + \frac{847.1}{19903.5} = 0.07 < 1 \quad \text{OK !}$$

Luego todo el pórtico lo fabricaremos con un perfil ligero con denominación viga "S", llamado comercialmente I 6 x 12.5

#### 4.7.1.2 Cálculo del panel soporte del motor

Del diagrama de tripode soporte del motor eléctrico, mostrado en fig. 4.6 hallaremos:  
 $M_w = uW$ , Momento producido por la carga  $W$ .

La cupla equivalente sobre el panel según fig. 4.7 es :

$$M_w = hF_w \qquad hF_w = \mu W$$

$$F_w = \frac{\mu W}{h} = \frac{45 \text{ cm.} \times 570 \text{ Kg.}}{200 \text{ cm.}}$$

$$F_w = 128.3 \text{ Kg.} = 282.3 \text{ lb.}$$

$$M_w = hF_w = 200 \text{ cm.} \times 128.3 \text{ Kg.}$$

$$M_w = 25650 \text{ Kg.} \times \text{cm.}$$

Analogamente:

$$M_F = \mu F_h$$

$$\text{Cupla equivalente : } M_F = LF \qquad LF = \mu F_h$$

$$F = \frac{\mu F_h}{L} = \frac{45 \text{ cm.} \times 34.7 \text{ Kg.}}{52 \text{ cm.}}$$

$$F = 30 \text{ Kg.} = 66 \text{ lb.}$$

$$M_F = LF = 52 \text{ cm.} \times 30 \text{ Kg.}$$

$$M_F = 1560 \text{ Kg.} \times \text{cm.}$$

Analogamente  $T = LQ$  cupla equivalente al torque

$$Q = \frac{T}{L} = \frac{3442 \text{ Kg. cm.}}{52 \text{ cm.}}$$

$$Q = 66.2 \text{ Kg.} = 145.6 \text{ lb.}$$

Las cuplas halladas actuarán sobre la columna con panel soporte, según se muestra en el diagrama de cuerpo libre mostrado en fig. 4.7

#### Descomposición del momento $M_o$

Para facilitar el cálculo del panel, por resistencia de materiales, hallaremos la descomposición de  $M_o$ : momento ejercido por respecto al centro de gravedad del panel en sus componentes:  $M_v$  y  $M_H$ .

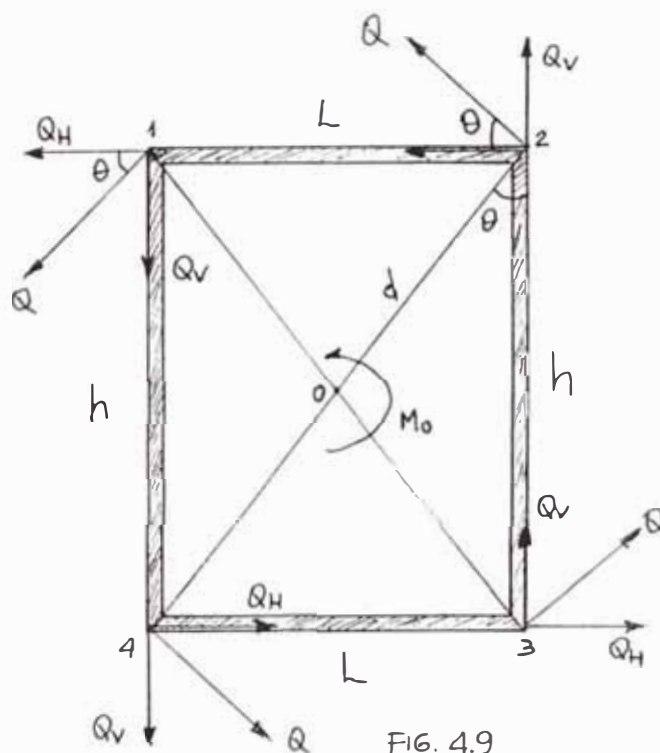


FIG. 4.9

Descomponiendo  $M_o$  en dos cuplas

$$M_o = Q_d + Q_d = 2 Q_d \quad (1)$$

Descomponiendo  $Q$  en  $Q_v$  y  $Q_H$  observamos que tenemos 2 cuplas  $hQ_H$  y otros dos  $LQ_v$ :

$$M_o = 2(LQ_v) + 2(hQ_H) \quad (2)$$

llamando:

$$M_v = LQ_v \quad (3) \quad M_H = hQ_H \quad (4)$$

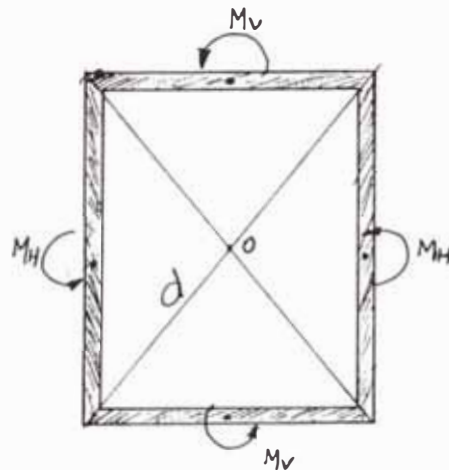
reemplazando (3) y (4) en (2)

$$M_o = 2 M_v + 2 M_H \quad (5)$$

Hallaremos  $M_v$ ,  $M_H$  en función de  $M_o$  y dimensiones del panel tenemos:

$$\text{Sen } \theta = \frac{Q_v}{Q} \quad (6)$$

$$\text{Cos } \theta = \frac{Q_H}{Q} \quad (7)$$



$$(6) \div (7) \quad \frac{\text{Sen } \theta}{\text{Cos } \theta} = \tan \theta = \frac{Q_V}{Q_H} \quad (8)$$

$$\text{tambi3n } \tan \theta = \frac{L}{h} \quad (9)$$

$$(8) = (9) \quad \frac{L}{h} = \frac{Q_V}{Q_H} \quad (10) \quad Q_H = \frac{h Q_V}{L} \quad (11)$$

$$(11) \text{ en } (2) \quad M_a = 2 L Q_V + 2h \times \frac{h}{L} Q_V = \\ = \frac{2(L^2 + h^2)}{L} Q_V$$

$$Q_V = \frac{L M_a}{2(L^2 + h^2)} = \frac{L M_a}{2d^2} \quad (12)$$

$$(12) \text{ en } (3) \quad M_V = \frac{L^2 M_a}{2(L^2 + h^2)} = \frac{L^2 M_a}{2d^2}$$

Reemplazando (12) en (11):

$$Q_H = \frac{h}{L} \times \frac{L M_a}{2(L^2 + h^2)}$$

$$Q_H = \frac{h M_a}{2(L^2 + h^2)} = \frac{h M_a}{2d^2} \quad (13)$$

$$(13) \text{ en } (4) \quad M_H = \frac{h^2 M_a}{2(L^2 + h^2)} = \frac{h^2 M_a}{2d^2}$$

Cálculo de  $M_V$  y  $M_H$

$$M_V = \frac{L^2 M_0}{2(L^2 + h^2)} = \frac{1}{2} \times \frac{M_0}{1 + \left(\frac{h}{L}\right)^2}$$

$$= \frac{L^2 M_0}{2d^2}$$

$$M_V = \frac{L^2 M_0}{2d^2} = \frac{(52 \text{ cm})^2 \cdot 7565 \text{ Kg. cm.}}{2 \times 42704 \text{ cm}^2}$$

$$= 239.5 \text{ Kg. x cm. despreciable}$$

$$M_H = \frac{h^2 M_0}{2d^2} = \frac{(200 \text{ cm.})^2 \cdot 7565 \text{ Kg. cm.}}{2 \times 42704 \text{ cm}^2}$$

$$= 3543 \text{ kg. x cm.}$$

$$M_H = 3543 \text{ Kg. x cm.}$$

$$M_V = 239.5 \text{ Kg. x cm.} \quad (\text{pequeño})$$

Cálculo de los momentos en el panel o cuadro

En forma simplificada, las cargas sobre el panel se muestran en la fig. 4.10 adjunta.



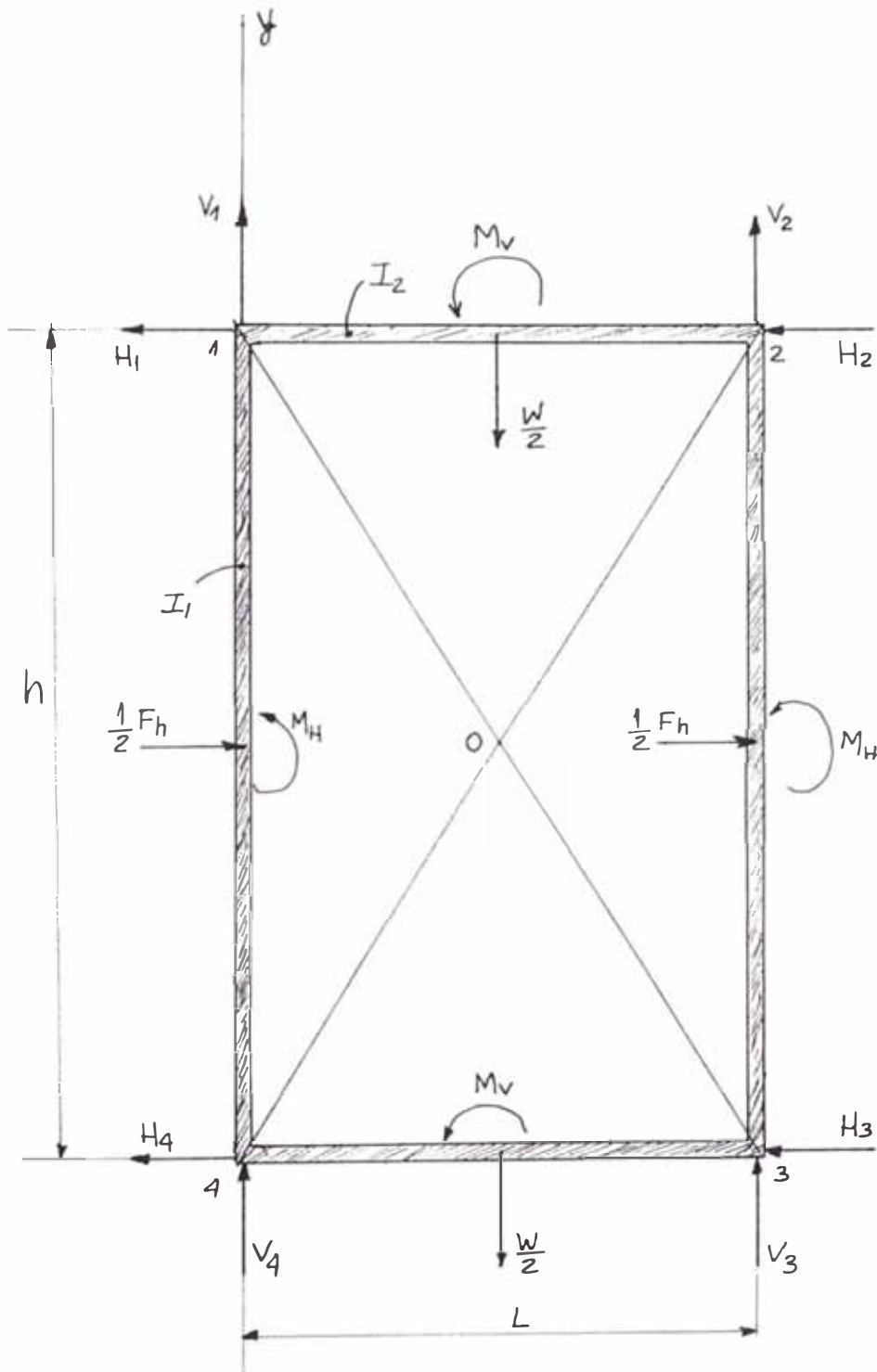


FIG. 4.10

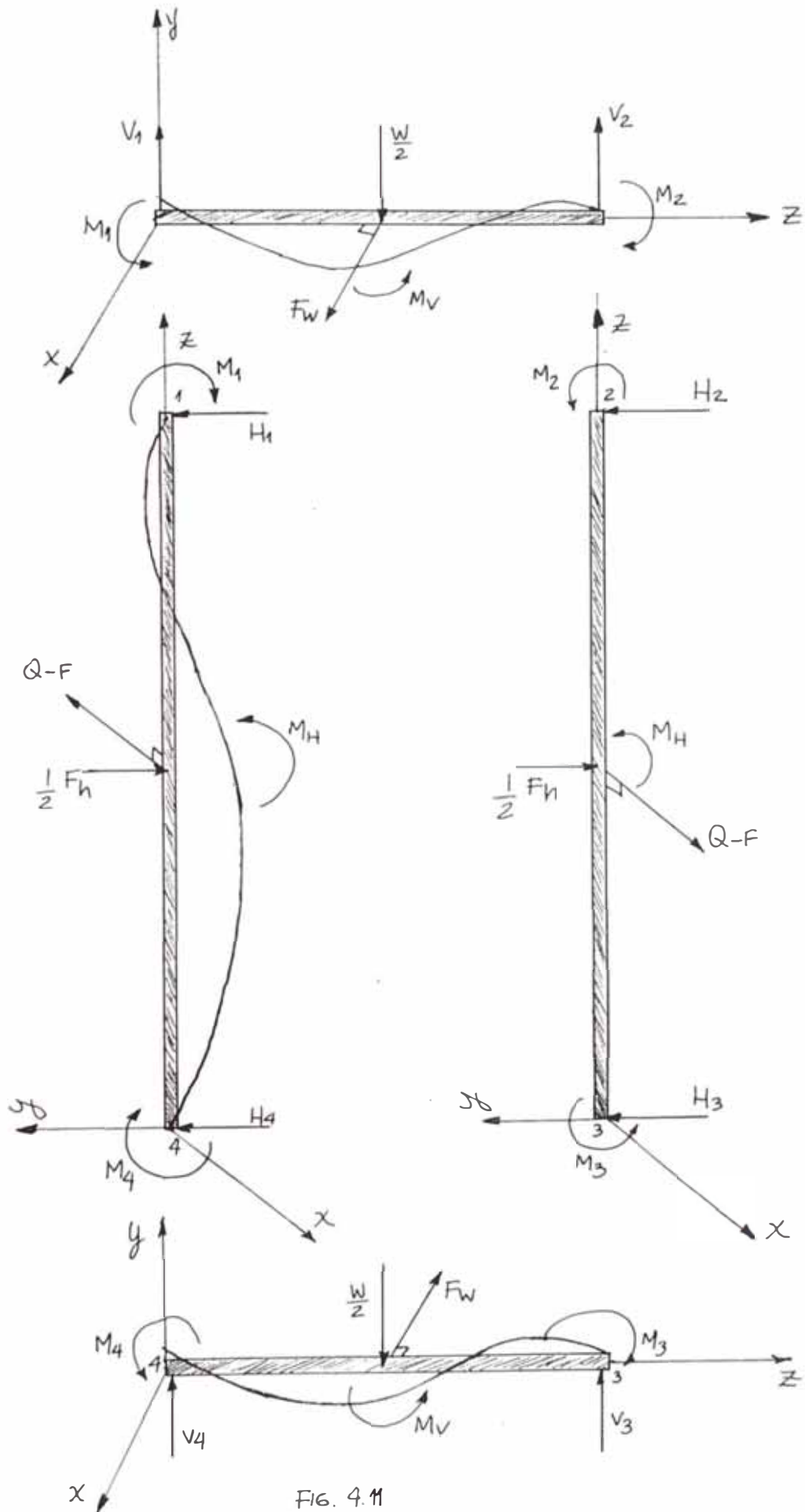


FIG. 4.11

Según las cargas halladas sobre el panel, vemos que las cargas y momentos sobre el plano vertical  $yz$ , son las más grandes y también mayor deformación se producirá sobre dicho plano.

El panel o cuadro es una estructura hiperestática, con momentos en sus cuatro vértices, según se muestra en la fig. 4.10 y fig. 4.11.

Estos momentos son:

$M_1, M_2, M_3, M_4$  y su deducción se muestra en el anexo.

Los parámetros para el cálculo del panel son:

$$L = 52 \text{ cm.} = 20.5 \text{ pulg.}$$

$$h = 200 \text{ cm.} = 78.7 \text{ pulg.}$$

$I_1$  = Momento de inercia de viga vertical de long.  $h$

$I_2$  = Momento de inercia de viga horizontal de long.  $L$

$$\phi = \frac{L I_1}{h I_2} \text{ Cambio de variable para simplificar}$$

Por consideraciones constructivas usaremos la misma viga para todo el panel; por lo tanto:

$$I_1 = I_2$$

$$\phi = \frac{L}{h} = \frac{52 \text{ cm.}}{200 \text{ cm.}} \quad \phi = 0.26$$

$$W = 570 \text{ Kg.} = 1254 \text{ lb.}$$

$$F_H = 34.7 \text{ Kg.} = 76.3 \text{ lb.}$$

$$M_H = 3543 \text{ Kg.} \cdot \text{cm.} = 3069 \text{ lb.} \cdot \text{pulg.}$$

$$M_V = 239.5 \text{ Kg.} \cdot \text{cm.} = 207 \text{ lb.} \cdot \text{pulg.}$$

### Cálculo de momentos en vertices del panel

$$M_1 = \frac{(1 - \phi^2)(-9F_H h + 9\phi WL + 12M_H + 4\phi M_V)}{16(5\phi^2 - 3)}$$

$$M_1 = \frac{(1 - 0.26^2)(-9 \times 76.3 \times 78.7 + 9 \times 0.26 \times 1254}{16(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$\times \frac{20.5 + 12 \times 3069 + 4 \times 0.26 \times 207}{16(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$M_1 = -944.7 \text{ lb.} \cdot \text{pulg.}$$

$$M_2 = \frac{3(1 + \phi)(3 - \phi)F_H h - 3\phi(1 + \phi)(3 - \phi)WL}{16(1 + \phi)(5\phi^2 - 3)}$$

$$\frac{-4(1 - \phi)(3 + 2\phi)M_H + 8\phi(1 - \phi^2)M_V}{16(1 + \phi)(5\phi^2 - 3)}$$

$$M_2 = \frac{3(1.26)(3 - 0.26)76.3 \times 78.7 - 3}{16(1.26)(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$\times \frac{0.26(1.26)(3 - 0.26)1254}{16(1.26)(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$\frac{\times 20.5 - 4(1 - 0.26)(3 + 2 \times 0.26)3069}{16(1.26)(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$\frac{+8 \times 0.26 (1 - 0.26^2) 207}{16(1.26) (5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$M_2 = 719.4 \text{ lb. x pulg.}$$

$$M_3 = \frac{-3(2-\phi)F_D h + 3\phi(3-\phi-\phi^2)WL + 4(\phi^2+2\phi-2)MH}{12(1-\phi)(5\phi^2-3)}$$

$$\frac{+4\phi(\phi^2+2\phi-2)}{12(1-\phi)(5\phi^2-3)}$$

$$M_3 = \frac{-3(2-0.26)76.3 \times 78.7 + 3 \times 0.26(3-0.26-0.26^2)}{12(1-0.26)(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$\frac{1254 \times 20.5 + 4(0.26^2 + 2 \times 0.26 - 2)3069 + 4}{12(1-0.26)(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$\frac{\times 0.26(0.26^2 + 2 \times 0.26 - 2)207}{12(1-0.26)(5 \times 0.26^2 - 3)}$$

$$M_3 = -194.5 \text{ lb. x pulg.}$$

$$M_4 = \frac{3(9-9\phi-4\phi^2)F_D h - 3\phi(9+9\phi-4\phi^2)WL - 4(5+3\phi}{48(1+\phi)(5\phi^2-3)}$$

$$\frac{-8\phi^2)M_H + 4\phi(9+13\phi-4\phi^2)M_V}{48(1+\phi)(5\phi^2-3)}$$

$$M_4 = \frac{3(9-9 \times 0.26-4 \times 0.26^2)76.3 \times 78.7 - 3 \times 0.26}{48(1.26)(5 \times 0.26+2-3)}$$

$$\frac{(9+9 \times 0.26-4 \times 0.26^2)12.54 \times 20.5}{48(1.26)(5 \times 0.26+2-3)}$$

$$\frac{-4(5+3 \times 0.26-8 \times 0.26^2)3069 + 4}{48(1.26)(5 \times 0.26^2-3)}$$

$$\frac{\times 0.26(9+13 \times 0.26-4 \times 0.26^2)207}{48(1.26)(5 \times 0.26^2-3)}$$

$$M_4 = 1047 \text{ lb. x pulg.}$$

Cálculos de reacciones verticales

Considerando la viga 1-2 en la fig. 4.11:

$$\sum M_1 = 0 \quad \frac{w}{2} \times \frac{L}{2} - M_1 - M_V - V_2L + M_2 = 0$$

$$V_2L = \frac{wL}{4} + M_2 - M_1 - M_V$$

$$V_2 = \frac{1}{L} \left( \frac{wL}{4} + M_2 - M_1 - M_V \right)$$

$$\sum M_2 = 0 \quad V_1L - M_1 - M_V - \frac{w}{2} \times \frac{L}{2} + M_2 = 0$$

$$V_1 = \frac{1}{L} \left( \frac{wL}{4} + M_1 - M_2 + M_V \right)$$

Considerando la viga 3-4

$$\sum M_4 = 0 \quad V_3 = \frac{1}{L} \left( \frac{wL}{4} + M_3 - M_4 - M_V \right)$$

$$\sum M_3 = 0 \quad V_4 = \frac{1}{L} \left( \frac{wL}{4} + M_4 - M_3 + M_V \right)$$

Reemplazando valores:

$$V_1 = \frac{1}{20.5} \left( \frac{1254 \times 20.5}{4} - 719.4 - 944.7 + 207 \right)$$

$$V_1 = 242.4 \text{ lb.}$$

$$V_2 = \frac{1}{20.5} \left( \frac{1254 \times 20.5}{4} + 944.7 + 719.4 - 207 \right)$$

$$V_2 = 384.6 \text{ lb.}$$

$$V_3 = \frac{1}{20.5} \left( \frac{1254 \times 20.5}{4} - 194.5 - 1047 - 207 \right)$$

$$V_3 = 242.8 \text{ lb.}$$

$$V_4 = \frac{1}{20.5} (1254 \times 20.5 + 1047 + 194.5 + 207)$$

$$V_4 = 384.2 \text{ lb.}$$

### Cálculo de reacciones horizontales

Considerando la viga 1-4

$$\Sigma M_4 = 0$$

$$\frac{1}{2} F_h \left(\frac{h}{2}\right) + M_4 - M_H - H_1 h + M_1 = 0$$

$$h H_1 = \frac{1}{4} F_h h + M_4 + M_1 - M_H$$

$$H_1 = \frac{1}{h} \left( \frac{1}{4} F_h h + M_4 + M_1 - M_H \right)$$

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$M_1 - \frac{F_h \left(\frac{h}{2}\right)}{2} - M_H + H_4 h + M_4 = 0$$

$$H_4 h = \frac{F_h h}{4} - M_4 - M_1 + M_H$$

$$H_4 = \frac{1}{h} \left( \frac{1}{4} F_h h - M_4 - M_1 + M_H \right)$$

Considerando la viga 2-3

$$\Sigma M_3 = 0$$

$$\frac{1}{2} \frac{F_h h}{2} - M_3 - H_2 h - M_H - M_2 = 0$$

$$H_2 h = \frac{1}{4} F_h h - M_3 - M_2 - M_H$$

$$H_2 = \frac{1}{h} \left( \frac{1}{4} F_h h - M_3 - M_2 - M_H \right)$$

$$\sum M_2 = 0 \quad H_3 h - M_2 - \frac{F_h}{2} \times \frac{h}{2} - M_H - M_3 = 0$$

$$H_3 = \frac{1}{h} \left( \frac{F_h h}{4} + M_3 + M_2 + M_H \right)$$

Reemplazando valores

$$H_1 = \frac{1}{78.7} \left( \frac{76.3 \times 78.7}{4} + 1047 - 944.7 - 3069 \right) =$$

$$H_1 = -18.6 \text{ lb.}$$

$$H_2 = \frac{1}{78.7} \left( \frac{76.3 \times 78.7}{4} + 194.5 - 719.4 - 3069 \right)$$

$$H_2 = -26.6 \text{ lb.}$$

$$H_3 = \frac{1}{78.7} \left( \frac{76.3 \times 78.7}{4} - 194.5 + 719.4 + 3069 \right)$$

$$H_3 = 64.74 \text{ lb.}$$

$$H_4 = \frac{1}{78.7} \left( \frac{76.3 \times 78.7}{4} - 1047 + 944.7 + 3069 \right)$$

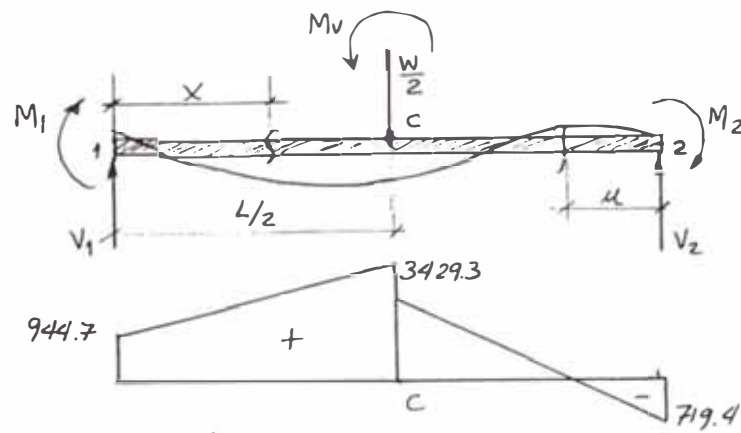
$$H_4 = 56.8 \text{ lb.}$$

### Cálculos de los momentos flectores del panel

Graficando con los sentidos correctos de las reacciones y los momentos.



Momentos en la viga 1-2 por Cargas verticales



Para  $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$

$$M = V_1 x + M_1$$

en  $x = \frac{L}{2}$   $M_c = \frac{V_1 L}{2} + M_1$

$$M_c = \frac{242.4 \times 20.5}{2} + 944.7 = 3429 \text{ lb.pulg.} = M_{\text{max}}$$

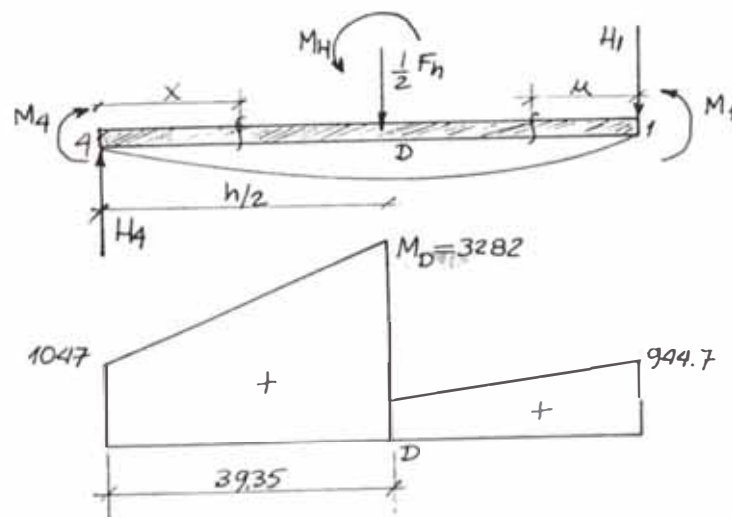
Para  $0 \leq u \leq L/2$

$$M = V_2 u - M_2$$

en  $u = \frac{L}{2}$   $M_c = \frac{V_2 L}{2} - M_2$

$$M_c = \frac{384.6 \times 20.5}{2} - 719.4 = 3222.75 \text{ lb.pulg.}$$

Momentos en la viga 1-4 por cargas verticales



Para  $0 \leq x \leq h/2$

$$M = H_4 x + M_4$$

$$\text{en } x = \frac{h}{2} \quad M_D = \frac{H_4 \cdot h}{2} + M_4$$

$$M_D = \frac{56.8 \times 78.7}{2} + 1047 = 3282 \text{ lb. x pulg. } M_{\max.}$$

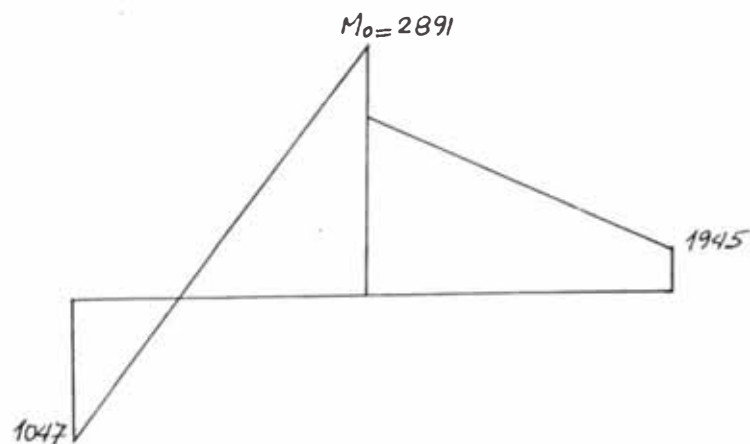
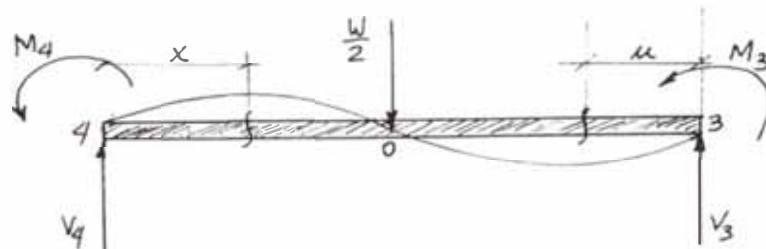
Para  $0 \leq u \leq h/2$

$$M = M_1 - H_1 u$$

$$\text{en } u = \frac{h}{2} \quad M_D = M_1 - \frac{H_1 \cdot h}{2}$$

$$M_D = 944.7 - \frac{18.6 \times 78.7}{2} \quad M_D = 212.79 \text{ lb x pulg}$$

Momento de la viga 3-4



Para  $0 \leq X \leq \frac{L}{2}$

$$M = V_4 X - M_4$$

$$x = \frac{L}{2} \quad M_0 = \frac{V_4 L}{2} - M_4$$

$$M_0 = \frac{384.2 \times 20.5}{2} - 1047 = 2991.1 \text{ lb.pulg.}$$

Para  $0 \leq u \leq \frac{L}{2}$

$$M = V_3 u + M_3$$

$$\text{en } u = \frac{L}{2} \quad M_0 = \frac{V_3 L}{2} + M_3$$

$$M_0 = \frac{242.8 \times 20.5}{2} + 194.5 = 2683.2 \text{ lb.pulg.}$$

#### Cálculo estructural del panel

El cálculo lo haremos para los perfiles más cargados, tal como la viga 1-2 y la columna 1-4.

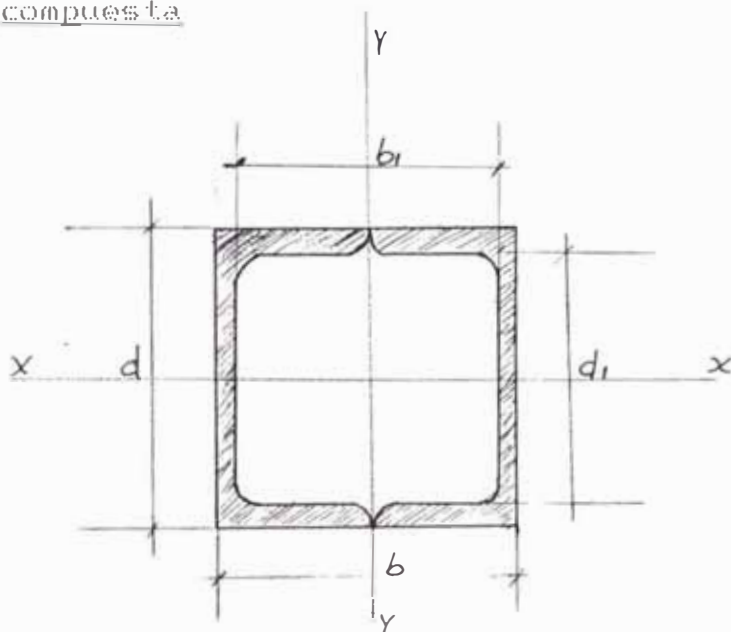
Para la viga 1-2 tendremos:

Considerando la estructura constituido por dos canales de  $[4 \times 5.4$  formando una sección rectangular. Las propiedades de un canal son:

$$d = 4 \text{ pulg.} \quad t_f = 0.296 \text{ pulg.} \quad t_w = 0.184 \text{ pulg.}$$

$$A = 1.59 \text{ plg}^2 \quad b_f = 1.584 \text{ plg.}$$

Cálculo de las inercias de la sección compuesta



$$b = 2 \times 1.584 = 3.168 \text{ pulg.}$$

$$b_1 = 2 (1.584 - 0.184) = 2.8 \text{ pulg.}$$

$$d_1 = 4 - 2 \times 0.296 = 3.41 \text{ pulg.}$$

$$I_x = \frac{bd^3 - b_1d_1^3}{12}$$

$$I_x = \frac{3.168 \times 4^3 - 2.8 \times 3.41^3}{12} \quad I_x = 764. \text{ pulg}^4$$

$$I_y = \frac{db^3 - d_1b_1^3}{12} = \frac{4 \times 3.168^3 - 3.41 \times 2.8^3}{12}$$

$$I_y = 4.36 \text{ pulg}^4$$

$$A_{\text{total}} = 2 \times 1.59 \quad A_T = 3.18 \text{ pulg}^2$$

$$r_x^2 = \frac{I_x}{A_T} = \frac{7.64}{3.18} = 2.4 \text{ pulg}^2$$

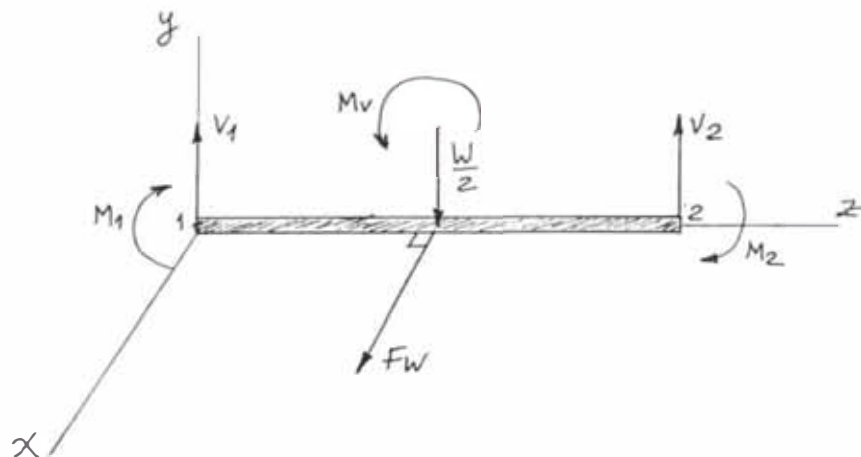
$$r_x = 1.55 \text{ pulg.}$$

$$r_y^2 = \frac{I_y}{A_T} = \frac{4.36}{3.18} = 1.37 \text{ pulg}^2$$

$$r_y = 1.17 \text{ pulg.}$$

Cálculo de los momentos en la viga 1-2 por cargas horizontales

En la figura siguiente vemos que el momento máximo debido a la carga horizontal  $F_w$  vale:



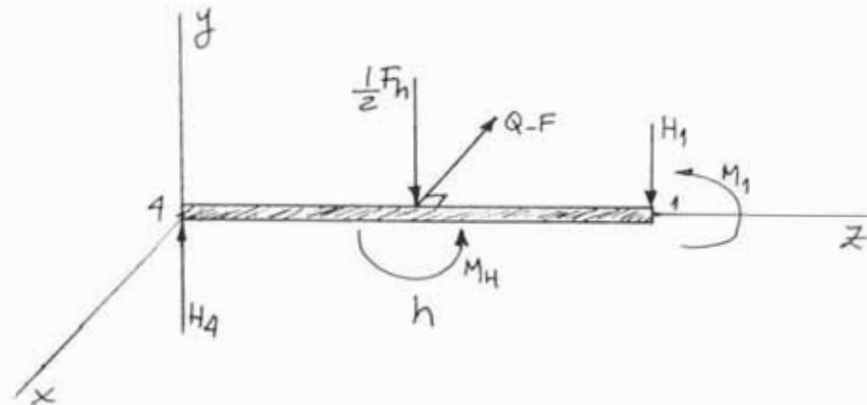
$$M_{max} = M_y = \frac{F_w L}{4} = \frac{282.3 \text{ lb.} \times 20.5 \text{ pulg.}}{4}$$

$$= 1446.8 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

$$M_y = 1446.8 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

$$c_x = b_T = 1.584 \text{ pulg.}$$

Momento en la viga 1-4 por cargas horizontales



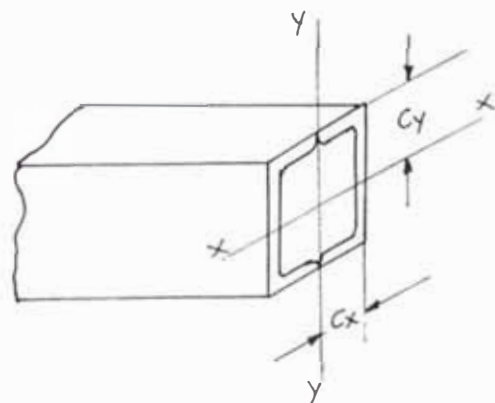
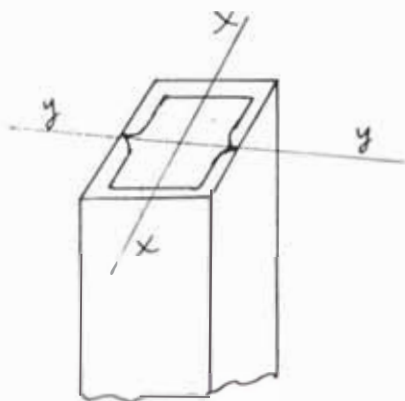
La carga horizontal es  $Q - F = 145.6 - 66 = 79.6 \text{ lb.}$

El momento máximo valdrá:

$$M_{\max} = M_y \frac{(Q-F) h}{4} = \frac{79.6 \text{ lb.} \times 78.7 \text{ pulg.}}{4} = 1566.1 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

$$C_x = b_r = 1.584 \text{ pulg}$$

$$M_y = 1566.1 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$



Cálculo estructural de la viga 1-2

Cuando hay flexión biaxial el esfuerzo máximo se calcula por :

$$f_{b\max} = \frac{M_x C_y}{I_x} + \frac{M_y C_x}{I_y} \quad (1)$$

$$F_b \geq f_{b\max} \quad (2)$$

Reemplazando (1) en (2)

$$F_b = \frac{M_x C_y}{I_x} + \frac{M_y C_x}{I_y} \quad (3)$$

También

$$I_x = A r_x^2$$

$$I_y = A r_y^2 \quad \text{reemplazando en} \quad (3)$$

$$F_b = \frac{M_x C_y}{A r_x^2} + \frac{M_y C_x}{A r_y^2}$$

$$A = \frac{M_x C_y}{F_b r_x^2} + \frac{M_y C_x}{F_b r_y^2} \quad (4)$$

$M_x$  = Momento máximo por cargas verticales (alrededor Eje x)

$M_y$  = Momento máximo por cargas horizontales (alrededor Eje y)

$r_x, r_y$  = radios de giro alrededor de ejes x y

$I_x, I_y$  = Momentos de inercia alrededor de ejes  $x$  y  $y$

$C_x$  = Distancia del eje  $x$  al esfuerzo máximo.

$C_y$  = Distancia del eje  $y$  al esfuerzo máximo.

Reemplazando en Ec. (4) los valores hallados para la viga 1-2 tenemos:

$$M_x = 3429.3 \text{ lb.} \times \text{pulg.} \quad C_y = \frac{d}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ pulg}$$

$$F_b = \frac{F_y}{F.S} = \frac{36000 \text{ lb.} \cdot \text{pulg.}^2}{2.5} = 14400 \text{ lb/pulg}^2$$

Resistencia de flexión permisible

$$\begin{aligned} A \text{ requerida} &= \frac{3429.3 \times 2}{14400 \times 2.4} + \frac{1446.8 \times 1.584}{14400 \times 1.37} \\ &= 0.315 \text{ pulg}^2 \end{aligned}$$

Como área total sección

$$A_T = 3.18 \text{ pulg}^2 > 0.315 \text{ pulg}^2 \quad \text{OK!}$$

la sección compuesta por canales resiste holgadamente.

#### Cálculo estructural de la viga 1-4

Anteriormente hallamos el momento máximo producido por cargas verticales



### 4.7.1.3 Cálculo de la columna soporte del panel

A partir de la fig. 4.7 hacemos el diagrama de cuerpo de la columna.

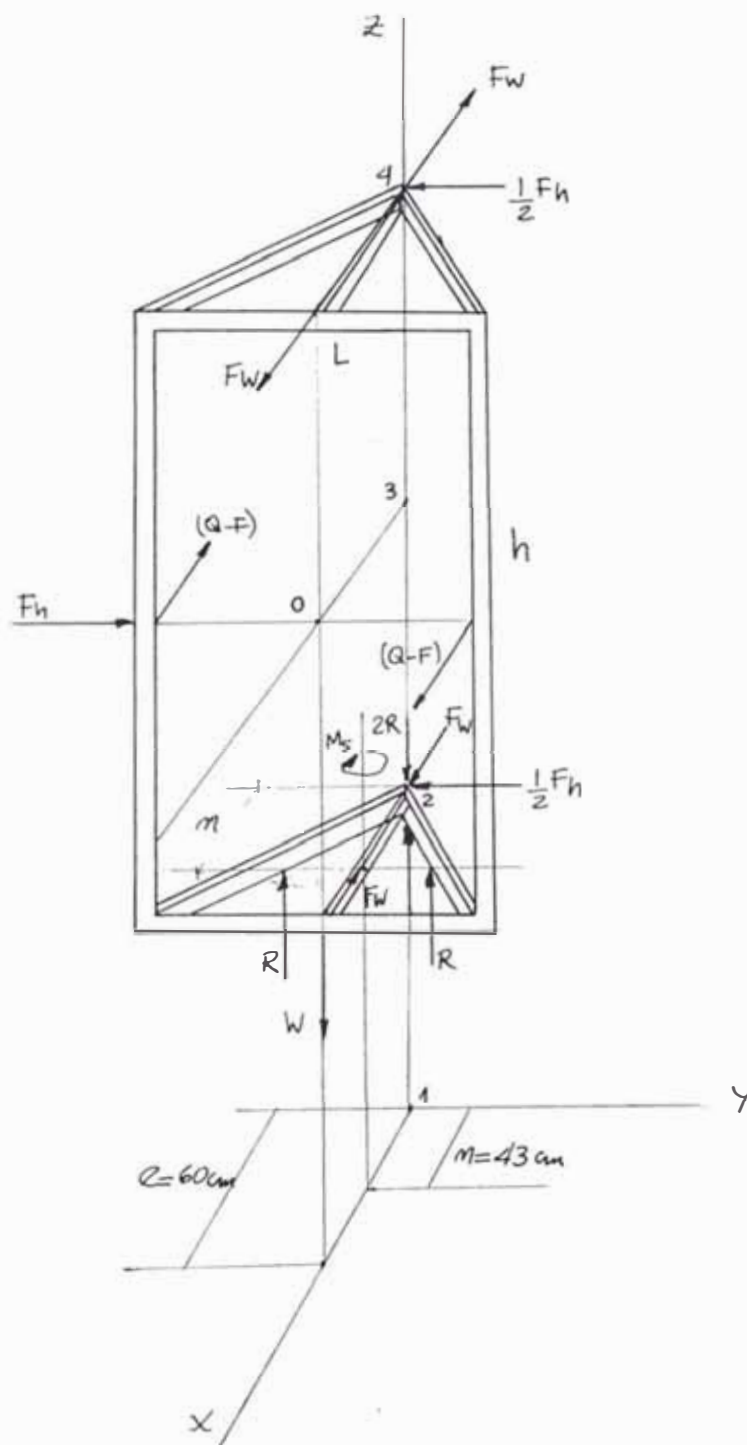


FIG. 4.12

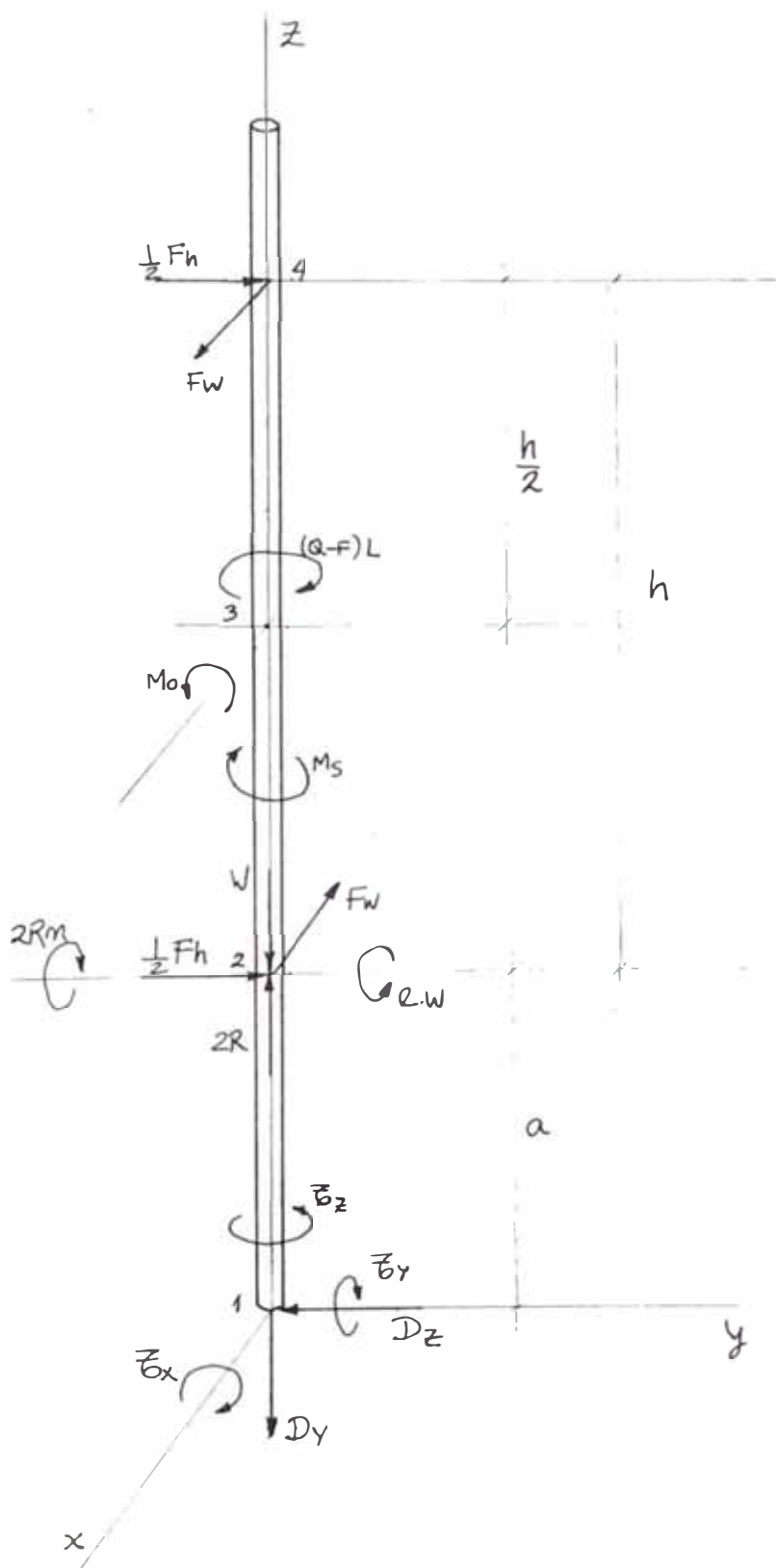


FIG. 4.13

$$R = G_y = 696 \text{ Kg.} = 1531.2 \text{ lb.}$$

$$W = 570 \text{ Kg.} = 1254 \text{ lb.}$$

$$M_m = 1890 \text{ Kg.} \times \text{cm.} = 1637 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

$$Q - F = 145.6 - 66 = 79.6 \text{ lb.}$$

$$(Q-F)L = 79.6 \text{ lb.} \times 20.5 \text{ pulg.} = 1631.8 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_z = 0 \quad \bar{c}_z &= (Q-F)L + M_m = 1631.8 \\ &+ 1637 \bar{c}_z = 3268.8 \text{ lb/pulg} \end{aligned}$$

$$\Sigma F_z = 0 \quad W + D_y = 2R$$

$$570 \text{ Kg.} + 821.9 \text{ Kg.} = 1391.9 \text{ Kg.} \quad \text{OK !}$$

$$M_o = 7565 \text{ Kg.} \cdot \text{cm.} = 6552.4 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

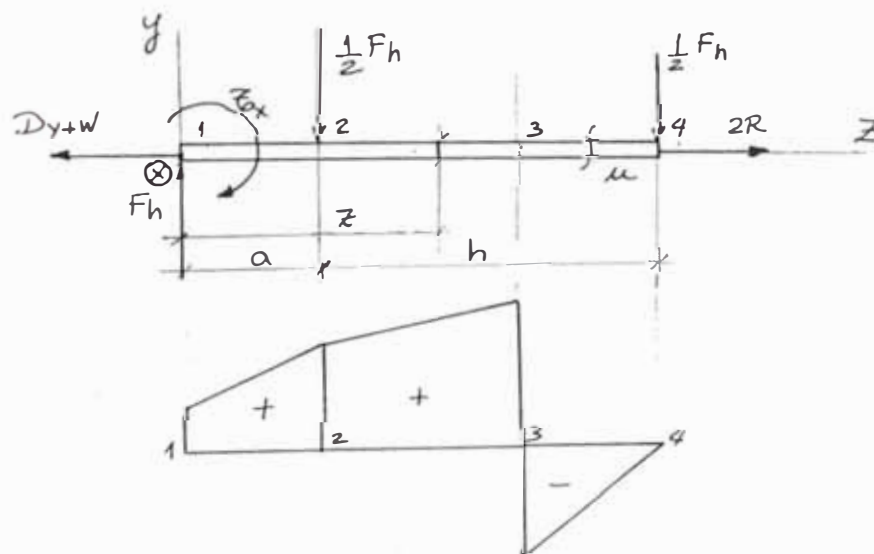
$$e = 60 \text{ cm.} = 23.6 \text{ pulg.}$$

$$a = 102 \text{ cm.} = 40.2 \text{ pulg.}$$

$$n = 43 \text{ cm.} = 16.9 \text{ pulg.}$$

#### Momentos debidos a las cargas verticales

A partir de la fig. 4.13 hacemos el diagrama de cargas en el plano yz (cargas verticales) y en el plano xz (cargas horizontales).



$$\Sigma M_x = 0$$

$$\bar{C}_x + \frac{1}{2} F_n a - M_o \frac{1}{2} F_n (a + h) = 0$$

$$\bar{C}_x = M_o - \frac{1}{2} F_n (2a + h)$$

$$\bar{C}_x = 6552.4 - \frac{1}{2} (76.3)(2 \times 40.2 + 78.7)$$

$$\bar{C}_x = 482.7 \text{ lb. x pulg.} \quad \text{despreciable}$$

Momentos flectores:

$$0 \leq z \leq a \quad M = F_n z + \bar{C}_x$$

$$z = a \quad M_z = aF_n + \bar{C}_x$$

$$M_z = 40.2 \times 76.3 + 482.7 = 3550 \text{ lb. x pulg.}$$

$$a < z < \frac{h}{2} + a \quad M = zF_n + \bar{C}_x - \frac{1}{2} F_n (z-a)$$

$$M_z = \frac{F_n}{2} (z+a) + \bar{C}_x \quad z = \frac{h}{2} + a$$

$$M_z = \frac{F_n}{2} \left( \frac{h}{2} + 2a \right) + \bar{C}_x$$

$$M_z = \frac{76.3}{2} \left( \frac{78.7}{2} + 2 \times 40.2 \right) + 482.7$$

$$M_z = 5051.2 \text{ lb. x pulg.} = M_x$$

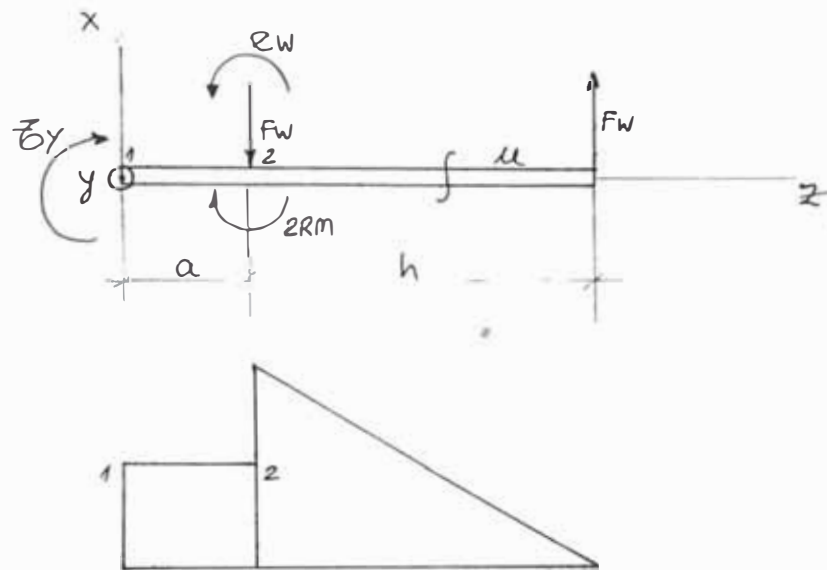
$$0 \leq u \leq h/2 \quad M = -\frac{1}{2} F_n u$$

$$\text{en } u = \frac{h}{2} \quad M_z = -\frac{1}{4} F_n h$$

$$M_z = -\frac{1}{4} \times 76.3 \text{ lb. x } 78.7 \text{ pulg.}$$

$$M_z = -1501.2 \text{ lb. x pulg.}$$

Momentos debidos a las cargas horizontales



$$\sum M_1 = 0$$

$$\bar{C}_y + aF_w + 2Rm - eW - (a+h)F_w = 0$$

$$\bar{C}_y = eW + hF_w - 2Rm$$

$$\bar{C}_y = 23.6 \times 1254 + 78.7 \times 282.3 - 2 \times 1531 \times 16.9$$

$$\bar{C}_y = 56.85 \text{ lb.} \times \text{pulg.} \text{ (despreciable)}$$

Momentos flectores

$$0 \leq z \leq a \quad M_1 = M_2 = \bar{C}_y = 56.85 \text{ lb/pulg.}$$

$$0 \leq u \leq h \quad M = uF_w$$

$$u = h \quad M_2 = hF_w = 78.7'' \times 282.3 \text{ lb.}$$

$$M_2 = 22217 \text{ lb.} \times \text{pulg.} = M_y$$

Cálculo estructural de la columna

Considerando un tubo de acero SCHEDULE 40  
de 4"  $\phi$

$$I_x = I_y = 7.23 \text{ pulg.}^4 \quad r_x = r_y = 1.51 \text{ plg.}$$

$$A = 3.17 \text{ pulg.}^2 \quad C_x = C_y = \frac{4.5 \text{ plg.}}{2} = 2.25 \text{ plg.}$$

Aplicando la ecuación con flexión biaxial; para los momentos máximos hallados anteriormente:

$$M_x = 5051.2 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

$$M_y = 22217 \text{ lb.} \times \text{pulg.}$$

Considerando la carga de tracción:

$$P = 2R = 2 \times 1531.2 \text{ lb.} \quad P = 3062.4 \text{ lb.}$$

$$A = \frac{M_x C_y}{F_b r_x^2} + \frac{M_y C_x}{F_b r_y^2} + \frac{P}{F_b}$$

$$A = \frac{5051.2 \times 2.25}{14400 \times 1.51^2} + \frac{22217 \times 2.25}{14400 \times 1.51^2} + \frac{3062.4}{14400}$$

$$A \text{ req.} = 2.08 \text{ pulg.}^2 < 3.17 \text{ pulg.}^2 \quad \text{OK !}$$

#### 4.7.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA PLATAFORMA

La estructura de la Plataforma se muestra en el plano respectivo. El tanque agitador soportado adecuadamente por 4 vigas con la suficiente rigidez y dispuestas expresamente para repartir su carga. Igualmente, se colocarán vigas para resistir las cargas del Tripode, materias primas y Persona.

Para que la estructura sea segura se debe cumplir el siguiente criterio del Reglamento Nacional de Construcciones RNC: Carga Viva Real < Carga Viva Mínima de Diseño.

El Reglamento da especificaciones en la "Norma de Cargas" según la aplicación o uso de las Edificaciones. Como ejemplo indica, que la Carga Viva Mínima de Diseño para almacenaje ligero es  $500\text{Kg/m}^2$ ; en el caso pesado es de  $750\text{Kg/m}^2$ .

Para Industria que es nuestro caso estipule en el párrafo 2.2 (d) lo siguiente:

"Para determinar si la magnitud de la carga Viva real es conforme si la carga viva mínima de diseño establecido en esta selección, se hará una aproximación de la carga viva repartida real, promediando la carga Total que en efecto se aplica sobre su retangular de  $15\text{m}^2$  que no tenga ningún lado menor a 2.50 m".

Según ello y teniendo muy en cuenta las Especificaciones de la "Norma de Cargas" tenemos para nuestra Plataforma Estructural: El sus indicado por

BCKL contiene 2 Areas iguales al que llamaremos "Modulo" Albergando a un Tanque Agitado, Tripole y un pasadizo. Como BCKL tiene  $5.4 \times 2.80 = 15.12\text{m}^2$  ésta area se adecua para aproximar la carga Viva repartida real. Luego:

Carga Total :

$$W_T = 660\text{Kg (Pinturas)} + 650\text{ Kg (Agitadores)} + \\ + 570\text{ Kg (Motor Ejes)} + 320\text{ (Tripode)} + \\ + 560\text{ Kg (Personas)} = 8650$$

$$\text{digamos } W_T = 9000\text{ Kg.}$$

$$\text{Carga Viva Real} = \frac{9000\text{ Kg.}}{15\text{ m}^2} = 600\text{ Kg/m}^2$$

Adoptamos como carga Viva de Diseño =  $612\text{ Kg/m}^2$  siendo la Carga Viva repartida mínima para fabricación, según la Norma ANSI.

$$\text{Tomando el área del Modulo} = 2.70 \times 3.40 = 9.18\text{m}^2$$

$$\text{Carga de Modulo} = 612\text{ Kg/m}^2 \times 9.18\text{m}^2 = 5618\text{ Kg}$$

Asumiendo que la Carga será soportado por las Viga BC y la Viga ED (V-2) de 2.8m de longitud.

$$\text{Carga de Viga} = \frac{5618\text{ Kg}}{2} = 2809\text{Kg}$$

$$\text{Carga Viva uniforme } W = \frac{2809\text{ Kg}}{2.80\text{m}} = 1003\text{ Kg/m}$$

Con ésta carga diseñaremos las vigas de la Plataforma.

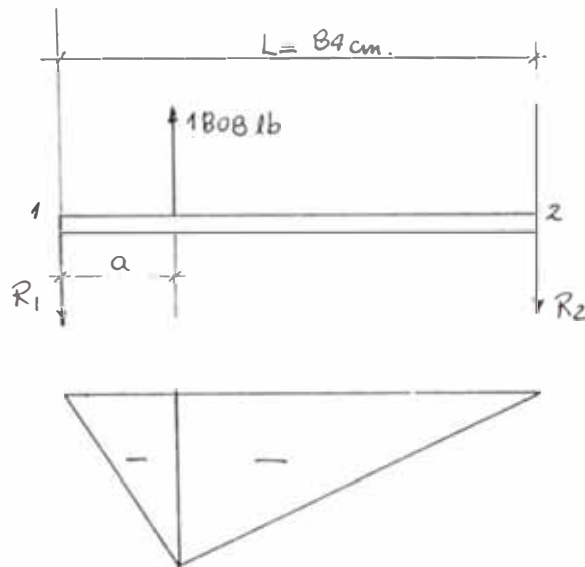
#### **4.7.3. DISEÑO DE LAS VIGAS DE LA PLATAFORMA**

En la FIG 4.17 se muestra las cargas sobre las vigas principales según las cargas concentradas mayo-



res de 500 Kg. y la Carga Viva uniforme de 1003 Kg/m.

CARGA SOBRE LA VIGA V - 3



$$\Sigma M_2 = 1808(L-a) - R_1 L = 0$$

$$R_1 = \frac{1808(L-a)}{L}$$

$$a = 15 \text{ cm} = 5.9 \text{ plg.}$$

$$L = 84 \text{ cm} = 33 \text{ plg.}$$

$$R_1 = \frac{1808(33-5.9)}{33} = 1484.8 \text{ lb.}$$

$$R_2 = 1808 - 1484.8$$

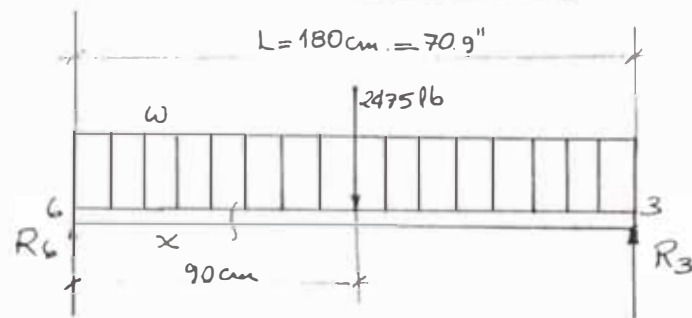
$$R_1 = 1485 \text{ lb}$$

$$R_2 = 323. \text{ lb}$$

$$M_0 = 1485 \text{ lb} \times 5.9 \text{ plg.} = 8761.5 \text{ lb/plg.}$$

Considerando Viga W 6x 20 por razones constructivas para soportar adecuadamente a la columna del Tripode.

### Cargas sobre la Viga V-4



Con Carga Viva  $W = \frac{1003 \text{ Kg}}{m} = 56 \text{ lb/plg.}$

$$\Sigma M_6 = 0$$

$$2475 \times 35.45 - 70.9 R_3 + 35.45 \frac{(56 \times 70.9)}{2} = 0$$

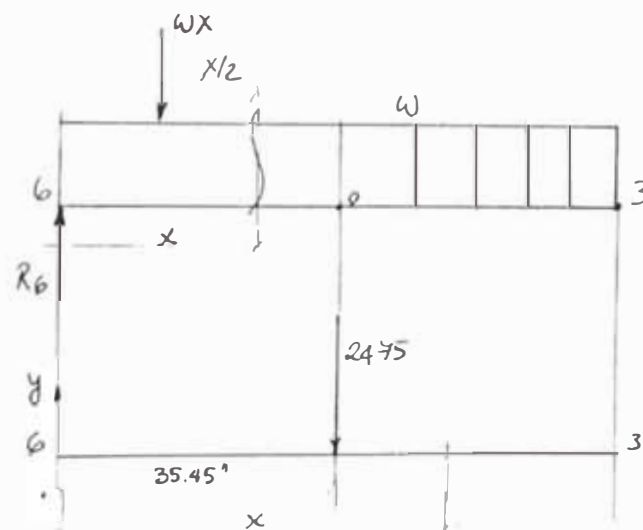
$$R_3 = 3223.1 \text{ lb} = R_6$$

Los momentos flectores se calcularan por partes.

$l = 45 \text{ cm} = 17.72 \text{ "Long. No Arriost}$

Por construcción usaremos  $1 \text{ 6x12.5}$

Momento debido a  $R_6$



$$M = XR\sigma$$

$$M_a = LR\sigma = 70.9 \times 3223 = 228510.7 \text{ lb/plq}$$

$$M_o = 35.45 \times 3223 = 114,255.35$$

### Momento por Carga Uniforme

$$M = -WX \left( \frac{X}{2} \right) = \frac{-WX^2}{2}$$

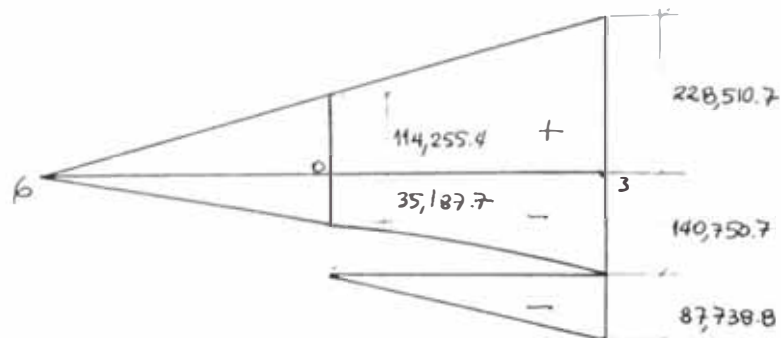
$$X = 70.9'' \quad M_a = \frac{-56 \times 70.9^2}{2} = -140,750.7 \text{ lb/plq}$$

$$X = 35.45' \quad M_o = \frac{-56 \times 35.45^2}{2} = -35187.7 \text{ lb/plq}$$

### Momento por Carga Centrada

$$M = -P(X-35.45) \quad 35.45 \leq X \leq 70.9$$

$$X = 70.9'' \quad M_a = -2475(70.9 - 35.45) = -87,738.8$$



### Momentos Resultantes

$$M_o = 114,255.4 - 35187.7 = 79,067.7 \text{ lb/plq.}$$

$$M_a = 228,510.7 - 140,750.7 - 87,738.8$$

$$M_a = 21.2 \text{ lb/plq.}$$

Calculo Estructural de Viga V-4

$$1) l = 17.72 \text{ plq} \quad \text{Long. no arriestrada}$$

$$16 \times 12.5 \quad \begin{cases} bf = 3.332'' \\ S = 7.37 \text{ plq}^3 \end{cases}$$

Con Viga 16x12.5

$$13bf = 13 \times 3.332 \text{ plq} = 43.3 \text{ plq}$$

Como  $l < 13bf$

$$17.72 \text{ plq} < 43.3 \text{ plq} \quad \text{sección es compacta.}$$

$$2) S_{req} = \frac{M_{max}}{F_b} = \frac{79,067.71 \text{ lb/plq}}{24 \text{ oro } 1 \text{ b/plq}^2} = 3.29 \text{ plq}^3$$

$$\text{De Steel Const. } S = 7.37 \text{ plq}^3 > 3.29 \text{ plq}^3 \quad \text{ok!}$$

Calculo estructural de la Viga V -2A

$$1) l = 45.3 \text{ cm} = 17.8 \text{ plq} \quad \text{Long. No ARRIOSTRADA}$$

$$\text{Con Viga W6x20} \quad 13bf = 13 \times 6.018 = 78.2 \text{ plq}$$

Como  $l < 13bf$

$$17.8 \text{ plq} < 78.2 \text{ plq} \quad \text{Sección es COMPACTA}$$

$$2) S_{req} = \frac{M_{max}}{F_b} = \frac{M_{max}}{0.66F_y} = \frac{247,821 \text{ lbplq}}{24000 \text{ lb/plq}^2} = 10.3 \text{ plq}^3$$

$$10.3 \text{ plq}^3 < 13.4 \text{ plq}^3 \quad \text{UK!}$$

Chequeando por CORTE

$$F_v = 0.40 F_y = 0.40 \times 36000 = 14,4 \text{ lb/plq}^2 \quad \text{Esf.}$$

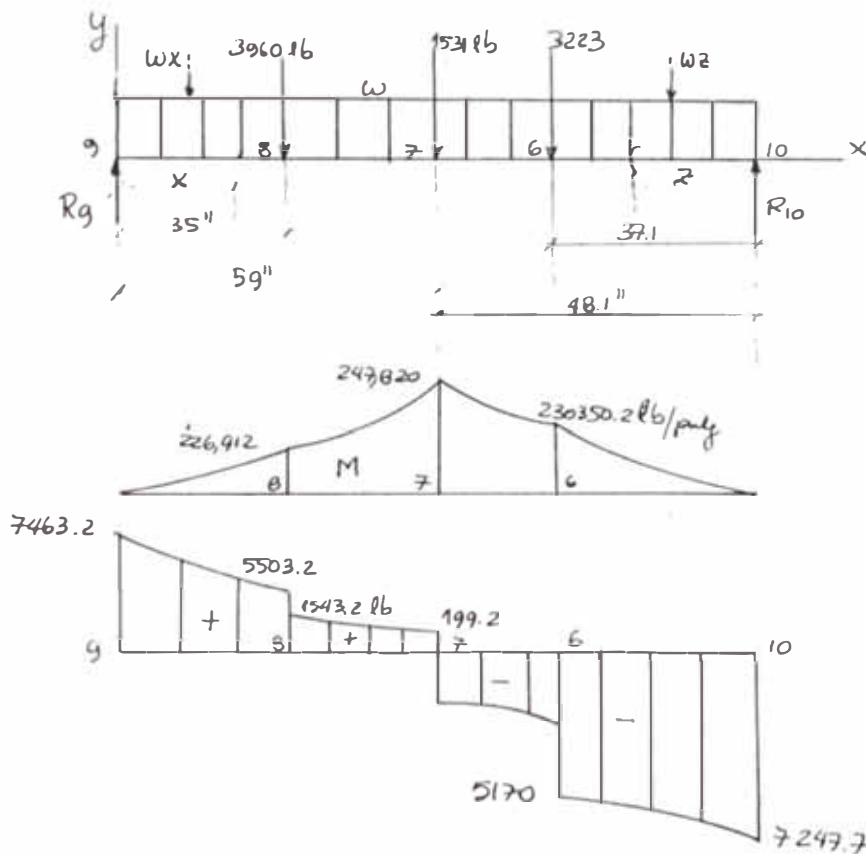
Corte permisible El esfuerzo de Corte actuante:

$$f_v = \frac{V}{d t w} = \frac{7463.2 \text{ lb}}{6.2 \times 0.258 \text{ plg}^2} \quad f_v = \frac{4665.7 \text{ lb}}{\text{plg}^2}$$

$$< \frac{14,400 \text{ lb}}{\text{plg}^2} \quad \text{OK!}$$

Usar Viga W 6 x 20

Cargas sobre la Viga V-2A



$$W = 56 \text{ lb/plg} \cdot \sum M_{10} = 107.1 R_9 - 3960(72.1) - 153(48.1) - 3223(37.1) - 56x \cdot \frac{107.1(107.1)}{2} = 0$$

$R_9 = 7463.2 \text{ lb}$

$$R_{10} = 56 \times 107.1 + 3960 + 1531 + 3223 - 7463.2$$

$$R_{10} = 7247.7 \text{ lb}$$

### MOMENTOS

$$1) \quad 0 \leq X \leq 35 \quad M = R_q X - WX \left( \frac{X}{2} \right) = X \left( R_q - \frac{WX}{2} \right)$$

$$X = 35 \quad M_6 = 35 \left( 7247.7 - \frac{56 \times 35}{2} \right) = 226,912 \text{ lb} \times \text{plg}^2$$

$$V_6 = 7247.7 - 56(35) = 5503.2$$

$$2) \quad 35 < X \leq 59$$

$$M = R_q X - 3960(X-35) - WX \left( \frac{X}{2} \right)$$

$$V = R_q - 3960 - WX$$

$$X = 35 \quad V_6 = 7247.7 - 3960 - 56 \times 35 = 1543.2 \text{ lb}$$

$$M_6 = 7247.7(35) - \frac{56(35^2)}{2} = 226,912$$

$$X = 59 \quad M_7 = 7247.7(59) - 3960(59-35) - \frac{56(59^2)}{2}$$

$$M_7 = 247,820.81 \text{ lb} \times \text{plg}$$

$$3) \quad 0 \leq Z \leq 37.1$$

$$M = ZR_{10} - WZ \left( \frac{Z}{2} \right) = Z \left( R_{10} - \frac{WZ}{2} \right)$$

$$Z = 37.1 \quad M_6 = 37.1(7247.7 - \frac{56 \times 37.1}{2}) = 230350.2$$

$$V = -R_{10} + WZ$$

$$Z = 37.1 \quad V_6 = -7247.7 + 56(37.1) = -5170.1 \text{ lb}$$

$$4) \quad 37.1 \leq Z < 48.1$$

$$M = ZR_{10} - WZ \left( \frac{Z}{2} \right) - 3223(Z - 37.1)$$

$$Z = 48.1$$

$$M_7 = 48.1(7247.7) - \frac{56(48.1^2)}{2} - 3223(48.1 - 37.1)$$

$$M_7 = 248380.3 \text{ lb}\cdot\text{plg}$$

$$V = -R_{10} + WZ + 3223$$

$$Z = 48.1 \quad V_7 = -7247.7 + 56(48.1) + 3223$$

$$V_7 = -1331.1 \text{ lb}$$

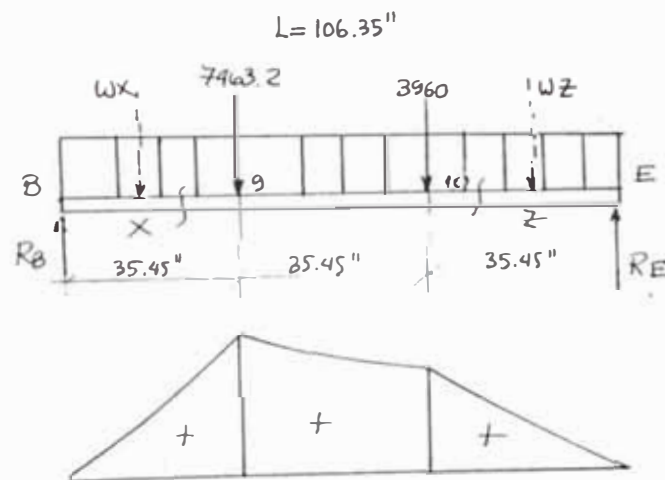
$$Z = 37.1 \quad V_6 = -7247.7 + 56(37.1) + 3223$$

$$V_6 = -1947.1 \text{ lb}$$

$$V_{\max} = 7463.2 \text{ lb}$$

$$M_{\max} = 247,827 \text{ lb}\cdot\text{plg}$$

### Cargas sobre la Viga V-1



$$w = \frac{56 \text{ lb}}{\text{plg}}$$

$$\sum M_E = 0 - 106.35 R_B - 7463.2(70.9) -$$

$$3960(35.45) - 56M(106.35) \left( \frac{106.35}{2} \right) = 0$$

$$R_B = 9273.3 \text{ lb}$$

$$R_E = 7463.2 + 3960 + 56(106.35) - 9273.3$$

$$R_E = 8105.5 \text{ lb}$$

### Momentos flectores

$$1) 0 \leq x \leq 35.45''$$

$$M = x R_B - WxK \left( \frac{x}{2} \right) = x \left( R_B - \frac{Wx}{2} \right)$$

$$x = 35.45 \left( 9273.3 - \frac{56 \times 35.45}{2} \right)$$

$$M_q = 293,550.8 \text{ lb}$$

$$2) 35.45 < x \leq 70.9$$

$$M = x R_B - 7463.2(x - 35.45) - Wx \left( \frac{x}{2} \right)$$

$$x = 70.9$$

$$M_{10} = 70.9(9273.3) - 7463.2(35.45) - \frac{56 \times 70.9^2}{2}$$

$$M_{10} = 252,155.9 \text{ lb}\cdot\text{plg}$$

### Fuerzas Cortantes:

$$V = R_B - 7463.2 - Wx$$

$$x = 35.45 \longrightarrow V_p = 9273.3 - 7463.2 - 56(35.45)$$

$$V_p = -175.1 \text{ lb}$$

$$x = 70.9 \longrightarrow V_{10} = 9273.3 - 7463.2 - 56(70.9)$$

$$V_{10} = -2160.3 \text{ lb}$$

$$3) 0 \leq z \leq 35.45$$

$$M = z R_E - WZ \left( \frac{Z}{2} \right) = Z R_E - \frac{WZ^2}{2}$$

$$Z = 35.45 \quad M_{10} = 35.45 \times 8105.5 - \frac{5.6 \times 35.45^2}{2}$$



$$M_{10} = 252,152.3 \text{ lb plq}$$

$$M_{max} = 293,550.8 \text{ lb plq}$$

**Calculo Estructural**

1) Con Long. no arriostrada  $l = 35.45 \text{ pulg}$

la sección es compacta para

$$\text{viga W 6 x 20} \begin{cases} b_f = 6.018'' \\ S = 13.4 \text{ pulg}^3 \end{cases}$$

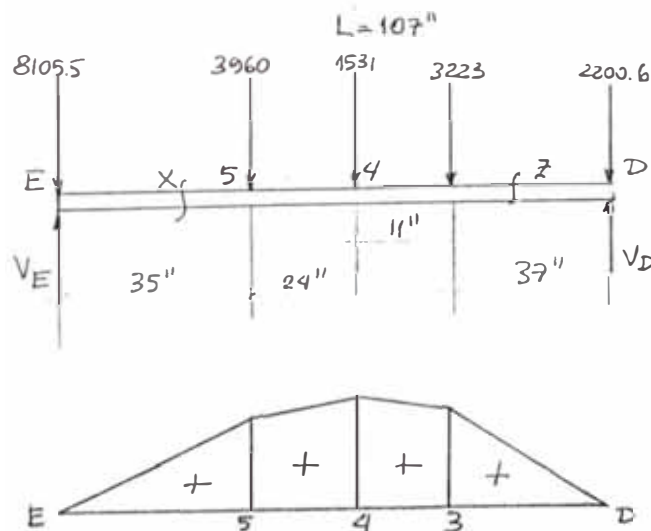
ya que :  $l = 35.45 \text{ plq} < 13 b_f = 13 \times 6.018 = 78.2 \text{ plq}$

$$2) S_{req} = \frac{M_{max}}{F_b} = \frac{293,550.8}{24} = 12.2 \text{ pulg}^3$$

$$12.2 \text{ pulg}^3 < 13.4 \text{ pulg}^3 \quad \text{ok!}$$

Usar para viga V-1 : W6 x 20

**Cargas sobre la viga V-2**



$$\Sigma M_D = 0 \quad 107 V_E - 81055 \times 107$$

$$-3960 \times 72 + 1531 \times 48 - 3223 \times 37 = 0$$

$$V_E = 12571.5 \text{ lb}$$

$$V_D = 6448.6 \text{ lb}$$

### Momentos Flectores

$$1) \quad 0 \leq x \leq 35" \quad M = x V_E - 8105.5 x$$

$$x = 35$$

$$M_5 = 35(12571.5 - 8105.5)$$

$$M_5 = 156,310 \text{ lb plg}$$

$$2) \quad 35 < x \leq 59"$$

$$M = x V_E - 8105.5x - 3960(x - 35)$$

$$x = 59$$

$$M_4 = 59(12571.5 - 8105.5) - 3960(59 - 35)$$

$$M_4 = 168,454 \text{ lb plg}$$

$$3) \quad 0 \leq Z \leq 37"$$

$$M = Z V_D - 2200.6 Z$$

$$Z = 37$$

$$M_3 = (6448.6 - 2200.6)$$

$$M_3 = 157,176 \text{ lb plg}$$

$$4) \quad 37 < Z \leq 48$$

$$M = Z V_D - 2200.6 Z - 3223(Z - 37)$$

$$Z = 48$$

$$M_4 = 48(6448.6 - 2200.6) - 3223(48 - 37) \\ = 168,451 \text{ lb plg}$$

### Calculo Estructural

1) Con Long. no

$$l = 45.3 \text{ cm} = 17.8 \text{ plg}$$

La viga es compacta para

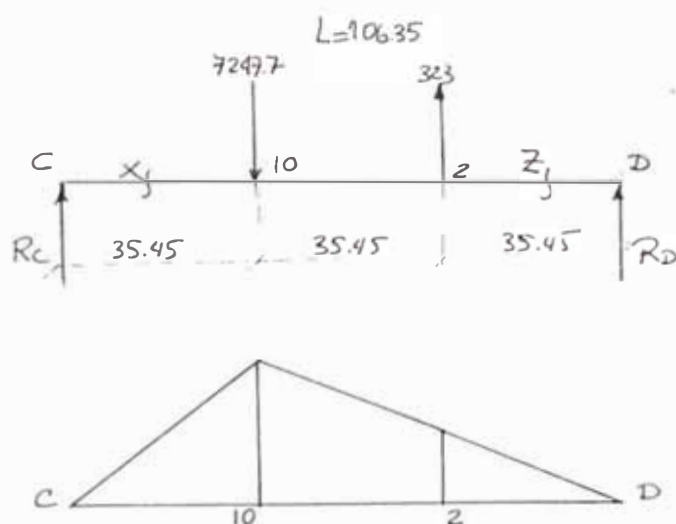
$$W 6 \times 20 \quad \left\{ \begin{array}{l} b_f = 6.018 \text{ plg} \\ S_x = 13.4 \text{ plg}^3 \end{array} \right.$$

porque  $I = 17.8 \text{ plg} < 13 \text{ bf} = 13 \times 6.018" = 78.2 \text{ plg}$  OK!

$$2) S_{req} = \frac{M_{max}}{F_b} = \frac{168,454 \text{ lb plg}}{24000 \text{ lb/plg}^2} = 7.02 \text{ plg}^3 < 13.4 \text{ plg}^3 \text{ OK!}$$

Usaremos viga W 6x20

### Cargas sobre la viga V-1A



$$\Sigma M_D = 0$$

$$106.35 R_C - 7247.7(70.9) + 323(35.45) = 0$$

$$R_C = 4724.1 \text{ lb}$$

$$R_D + 4724.1 - 7247.7 + 323 = 0$$

$$R_D = 2200.6 \text{ lb}$$

### Momentos Flectores

$$1) 0 \leq x \leq 35.45$$

$$M = x R_C$$

$$x = 35.45$$

$$M_{10} = 35.45(4724.1) = 167,469.3 \text{ lb plg}$$

$$2) \quad 35.45 < x \leq 70.9 \quad M = x R_c - 7247.7(x - 35.45)$$

$$x = 70.9$$

$$M_2 = 70.9 \times 4724.1 - 7247.7(70.9 - 35.45)$$

$$= 78,0007.7 \text{ lb plq}$$

$$3) \quad 0 \leq z < 35.45$$

$$M = z R_D$$

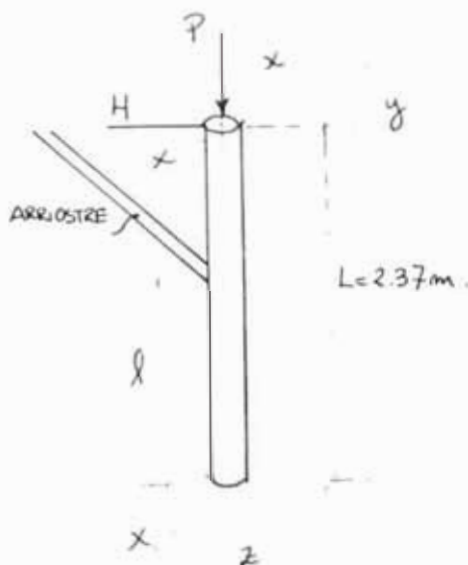
$$z = 35.45$$

$$M_2 = 35.45(2200.6) = 78,011$$

$$M_{\max} = 167,469.3 \text{ lb plq}$$

Usaremos por Construcción viga W 6x 20

#### 4.7.4 Diseño de la Columna



Las columnas soportarán una carga proporcional al área de la plataforma. las columnas mas cargadas son las centrales. Una columna central tal como la marcada con E (Fig 4.16) soporta una carga proporcional a  $2.70 \text{ m} (1.40 + 0.6 \text{ m}) \times 612 \text{ Kg/m}^2 = 3305 \text{ Kg}$ . Carga Viva sobre columnas =  $3305 \text{ Kg} = 7271 \text{ lb}$ .

Longitud no arriestrada =  $1.7 = 66.9$  pulg.

Considerando :

Extremo inferior : articulado

Extremo superior : fijo con desplazamiento.

$K = 2$

Asumiendo un tubo de  $4\phi$  SCH -40  $\gamma = 1.51$  plq

$A = 3.17$  plq<sup>2</sup>

Relación de esbeltez  $\frac{Kl}{\gamma} = \frac{2 \times 66.9 \text{ pulg}}{1.51} = 88.6 < 200 \text{ OK!}$

La plataforma estará soportada por 9 columnas y por esto nuestro país ubicado en una zona sísmica, adicionaremos una carga horizontal en la parte superior de dichas columnas; de tal suerte que haremos un diseño resistente a los sismos.

Sea  $H = X C (W_D + KWL)$        $C = 0.0333$  (Cte. para  
Plataforma)

$H$  = Carga horizontal asegurada por el Sismo

$WL$  = Carga viva sobre la columna

$W_D$  = Carga muerta sobre la columna

$K = 0.5$  para la plataforma

$X = 2$  para zonas Moderadas de Sismos

Siendo  $WL = 7271$  lb (hallada anteriormente)

$$W_D = \frac{W_{\text{muerto Plataforma}}}{9 \text{ columnas}} = \frac{53 \text{ lb}}{9} = 589 \text{ lb.}$$

Luego :

$$H = X C (W_D + KWL) = 2 \times 0.0333 (589 + 0.5 \times 7271)$$

$$H = 281 \text{ lb.}$$

La carga de Compresión sobre la columna valdrá:

$$P = W_L + W_D = 7271 + 589 = 7860 \text{ lb} \quad \underline{P = 7860 \text{ lb.}}$$

La carga H produce un Momento flector sobre las columnas de  $M = H \times L = 281 \text{ lb} \times 93.3 \text{ pulg} = 26217 \text{ lb} \times \text{pulg.}$

Siendo la columna sometido a Flexo-Compresión:

$$A = \frac{M \times C_y}{S \gamma_x^2} + \frac{P}{S}$$

A = Area de sección de Columna

$\gamma_x = 1.51''$  Radio de giro respecto al eje x

$$C_y = \frac{D_o}{2} = \frac{4.5''}{2} = 2.25 \text{ plg}$$

$$S = \frac{F_y}{F_s} = \frac{36000}{3} = 12,000 \text{ lb/plg}^2$$

Resistencia permisible del Acero A-36

Considerando un Tubo de Acero 4 $\phi$  de SCH-40:

$$A = \frac{26217 \times 2.25}{12000 \times 1.51^2} + \frac{7934}{12000} = 2.156 + 0.661 = 2.82$$

$$\text{Como } A_{\text{req}} = 2.82 \text{ plg}^2 < 3.14 \text{ plg}^2 \quad \text{Ok!}$$

Usar tubo de 4 $\phi$  para las columnas

#### 4.7.5 DISEÑO DE LA ESCALERA DE ACCESO

La escalera de acceso es diseñarla para un tráfico continuo del personal de operaciones: Por ello se le dió un ancho de 1.10m constituido por vigas canal de 5 pulg de peralte con una resistencia mas que suficiente. los pasos estan formados por plancha estriada de 1/8 conformada con un dobléz para darle

rigidez debidamente soldada a la viga. Se le dió una huella de 28 cm.

#### 4.8 DISEÑO ELECTRICO

##### 4.8.1 Selección del Motor Electrico

En el parágrafo 4.3.2 obtuvimos que requeríamos un Motor electrico Trifásico de 60HP con 6 polos, sea que rote a 1165 RPM para evitar instalar un Reductor de velocidad.

Del Catalogo del Fabricante "DELCRUSA" seleccionamos un:

Motor Asíncrono trifásico con  
Serie : NV (Squinnell - Cage Motor)

Potencia a 60 HZ : 60 HP

Tipo : NV 250 M 6

Nº de polos : 6

Factor de potencia: 0.82

Maxima Tensión : 600 V.

Torque arranque/ torque nominal 2.2

Este tipo de Motor es adecuado, suficiente, para nuestros requerimientos de agitación de pinturas de tipo Esmalte, ya que exige un Torque de arranque moderadamente bajo.

Calculo de la Corriente a plena carga del Motor

Siendo 60 HP la Potencia de cada motor

$$I = \frac{746 \text{ Hp}}{1.73 \text{ V} \cos \phi} = \frac{746 \times 60}{1.73 \times 220 \times 0.82} = 143.4 \text{ Amp.}$$

Los circuitos derivados de cada motor requiere alambres de un calibre 2/0 AWG.

Caida de tensión del Circuito derivado

Para circuitos trifásicos:

$$\Delta V = 1.73 I.L.R. \cos\phi$$

$$R = 0.2557 \text{ Ohm/Km.}$$

L = 6.50 m. (Long. desde el tablero hasta la bornera del motor).

$$\Delta V = 1.73 \times 143.4 \times 6.50 \times \frac{0.2557}{1000} \times 0.82 = 0.34 \text{ V.}$$

Max. Caída de tensión permitida =  $0.02 \times 220V = 4.4V$

como  $0.34V < 4.4 V$  OK!

Usar para Circuito derivado Alambre 2/0 AWG ó  $70\text{mm}^2$  del tipo THW, resistente a la humedad, calor y propagación .

Selección del Interruptor Termomagnético

La corriente de corte en la cual se debe abrir el interruptor será :

$$I_{\text{corte}} = 1.25 I_{\text{plena carga Motor}} = 1.25 \times 143.4A$$

179A mp.

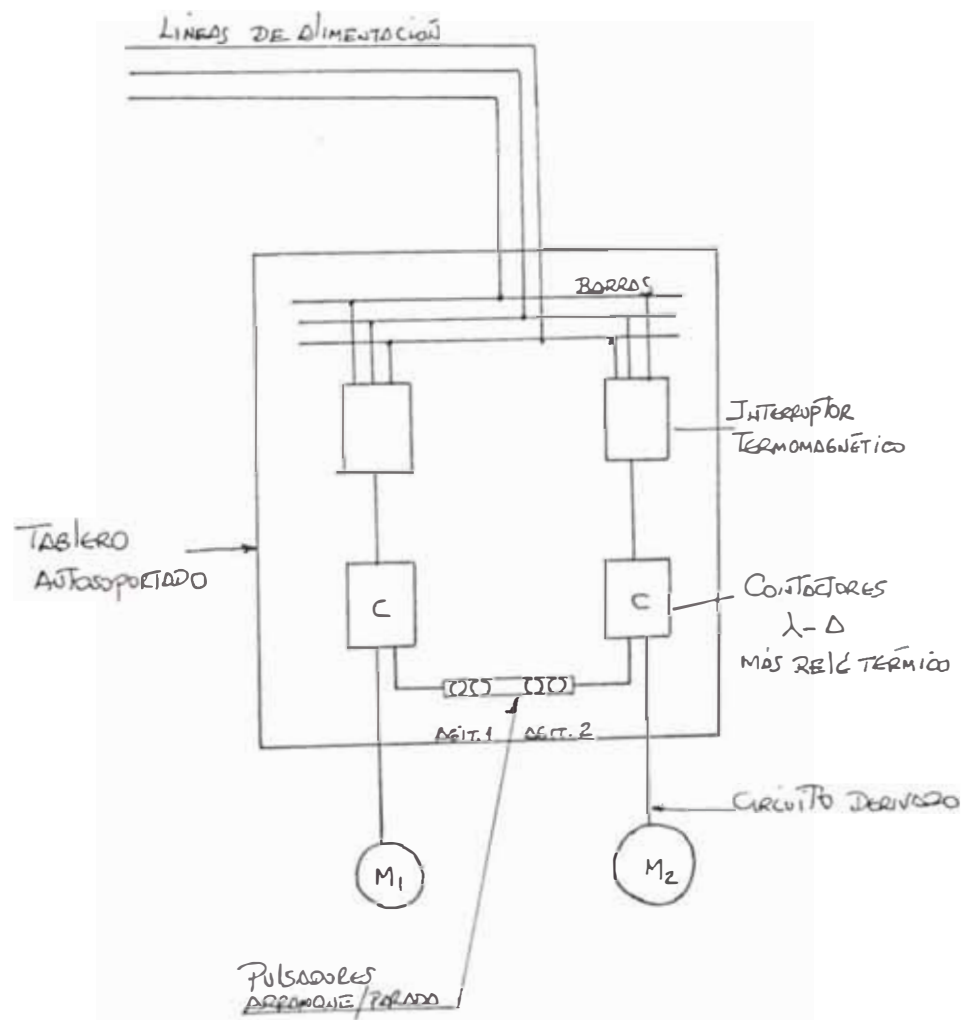
Usar Interruptor Termomagnético 3 x 200 Amp.

#### 4.8.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE FUERZA

Cada uno de los Motores de los Agitadores será controlado por circuitos derivados independientes; estando la Botonera ubicado en un tablero localizado equidistante de los tanques de Agitación. en el Panel



de distribución se tienen para cada motor, pulsadores de Arranque y parada para un accionamiento manual. El Tablero estará localizado a 1.35m de cada agitador:  
Se tiene el siguiente esquema :



## TABLERO DE DISTRIBUCION

El tablero será metálico con plancha de acero de 1.2 mm de espesor del tipo auto-soportado con llave. Según la norma DIN 40050 referido a Protección Internacional, de clase de protección será : IP 54. U sea, da protección contra depositos de polvo, así mismo contra salpicaduras de agua, líquidos.

### Tubos Conduit

Debido al calibre de los alambres 2/0 ANG, se debe usar Tubos conduit de 2"φ, rígidos del tipo pesado, galvanizadas y roscadas en sus extremos.

### Tubos Conduit Flexibles

Se usará tubos flexibles de 2"φ en tramo de 1.5 m., desde la caja de bornes del motor.

Este servirá para dar flexibilidad a los conductores, cuando se desplace por la corredera al motor, debido al mantenimiento.

### Accesorios:

Los Codos uniones serán del tipo Condulet, tal como las "LB" y "L"; de Acero o aluminio de 2"φ.

**CAPITULO 5**  
**ANALISIS ECONOMICO**

**5.1 Metrado y Presupuesto**

En este capítulo haremos el Presupuesto, para la Fabricación e instalación de la Plataforma, con la Bateria de tanques Agitadores; obteniendo el Monto de la Inversión requerida, para la Plataforma metálica, así como para la Maquinaria y Equipo.

METRADO

ITEM	DESCRIPCION	METRADO		PESO
		UNID	CANTIDAD	KG
1.0	<u>PLATAFORMA</u>			
1.1	W 6 x 12	m	40	1200
1.2	L 6 x 12.5	m	9.13	171
1.3	L 5 x 9	m	33	445
1.4	L 4 x 5.4	m	44.7	362
1.5	L 2x2x 1/4	m	30.8	147
1.6	ESTRIADA 1/8"	m <sup>2</sup>	22.8	537
1.7	Tubo de Acero 4"φSCH-40	m	30	482
1.8	Acero Estructural de 3/8"x0.16m	m	1.76	21
1.9	Pernos de Acero 1/2"φ x 3" SAE 1020 Gr.2	FZA	44	

ITEM	DESCRIPCION	METRADO		PESO
		UNID	CANTIDAD	KG
	<u>TRIPODE</u>			
1.10	1 6x12.5	m	8.4	158
1.11	[ 4 x 5.4	m	36.7	297
1.12	Tubo de Acero 4"φSCH-40	m	7.24	116
1.13	Acero Estructural de 3/8"	m <sup>2</sup>	6.18	461
1.15	Eje de Acero 2"φ SAE 1020	m	8.40	135
1.16	Bocinas Soporte Acero 3"φ	KG	29	29
1.17	Perno Acero 1/2 φ x 2" SAE 1020 Gr.2	PZA	4	
1.18	Perno Acero 5/16φ x 1 1/2" SAE 1020 gr.2	PZA	16	
2.0	ESCALERA METALICA Y BARANDAS			
2.1	[ 5x9	m	7.15	97
2.2	Estriada 1/8	m <sup>2</sup>	6	141
2.3	Tubo Fierro Negro 1 1/2φ Standard	m	160	541
2.4	L 2x2x 1/4	m	2.4	12
3.0	EQUIFO MECANICO			
3.1	TANQUES DE AGITACION			
3.1.1	Acero estructural 3/16	m <sup>2</sup>	18	424
3.1.2	Angulo 2x2x 1/4	m	10	48
				472
3.2	AGITADORES			
3.2.1	Acero estructural 3/16	KG	6	6
3.2.2	Bocina Acero 3" φ	KG	3.6	3.6
3.2.3	Eje transmisión 2 $\frac{1}{2}$ φ SAE -1045	m	2.40	60

ITEM	DESCRIPCION	METRADO		PESO
		UNID	CANTIDAD	KG
4.0	ACABADO			
4.1	Pintura Anticorrosiva	m <sup>2</sup>	112	
4.2	Pintura Esmalte	m <sup>2</sup>	112	
5.0	EQUIPO ELECTRICO			
5.1	Motores 60HP-220V-6 polos/3 $\phi$	PZA	2	
5.2	Tablero de Distribuci3n	PZA	1	
5.3	Acometida de Motores			
5.3.1	Alambre 2/0 AWG tipo TW	m	35	
5.3.2	Tubo C r3gido 2 $\phi$	m	11	
5.3.3	Condulet de 2" $\phi$ tipo "LB"	PZA	6	
5.3.4	Condulet de 2" $\phi$ tipo "C"	PZA	2	
5.3.5	Tubo Conduit flexible de 2" $\phi$	m	2	

## PRESUPUESTO

EN MILLONES DE INTIS

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANTID.	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
1.0	!PLATAFORMA Y TRIPODE !Material+Fabricacion+ Montaje				
1.1	!Perfil W 6x20	KG	1200	9.28	11,136
1.2	!Perfil I, C	KG	1433	6.00	8,598
1.3	!lisa, L	KG	629	2.00	1,258
1.4	!estriada 1/8	KG	537	3.50	1,880
1.5	!Tubo Acero, Barra redondo	KG	598	3.65	2,183
1.6	!Eje de Acero, Barra redondo	KG	164	9.70	1,591
				1/	26,646
2.0	!ESCALERA METALICA Y BARANDAS !Material+ Fabricacion+ Montaje!				
2.1	!Perfil C	KG	97	6.00	582
2.2	!estriada 1/8	KG	141	3.50	494
2.3	!Tubo F.N. Standard 1 1/4	KG	541	3.00	1623
2.4	!Perfil L	KG	12	2.00	24
				1/	2,723
3.0	!EQUIPO MECANICO				
3.1	!TANQUES DE AGITACION !Mat.+ Fabricacion + Montaje				
3.1.1	!Por 2 tanques	KG	472	2.00	!1/ 944
3.2	!AGITADORES !Mat. + Fabricacion + Montaje				
3.2.1	!lisa 3/16	KG	6	2.00	12
3.2.2	!Eje de Acero, Barra redonda	KG	63.6	9.70	617
				1/	629

## EN MILLONES DE INTIS

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANTID.	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
4.0	¡ACBADO				
	¡Base + Esmalte	m	224	0.80	179
5.0	¡EQUIPO ELECTRICO				
5.1	¡Motor 60HP-220V.-6 polos/3	PZA	2	3,065	6,130
5.2	¡Tablero de Distribucion	PZA	1	3,000	3,000
5.3	¡Acometida				
5.3.1	¡Alambre 2/0 ANG Tipo TW	m	35	4.75	167
5.3.2	¡Tubo Conduit Rigido 2	m	11	18.53	204
5.3.3	¡Condulets de 2"	PZA	8	21.70	174
5.3.4	¡Tubo Conduit flexible 2	m	2	15.70	31
	¡Instalacion		¡Global		28
				17	9,734

## RESUMEN

¡Plataforma y Tripode	26,646
¡Escalera Metalica	2,723
¡Tanques de Agitacion	944
¡Aqitadores	629
¡Acabado	179
¡Equipo Electrico	9,734

I/M 40,855

Considerando a la fecha, una tasa de Cambio de 1/.0.84/Dolar el Monto por la bateria de tanques Agitadores sera de \$ 48,637.

## 5.2 Financiamiento

Anteriormente hallamos el Monto de Inversión de la Plataforma metálica, Maquinaria, Equipo alcanzó la cifra de I/m 40,855, digamos I/m 41,000 considerando que el Inversionista o Industrial aporte I/m 25,000; requerimos un financiamiento por:

$$\text{I/m } 41,000 - 25,000 = \text{I/m } 16,000.$$

Tomando un préstamo de una institución bancaria con un interés de 15% mensual al rebatir, se tendrá el siguiente cuadro:

### EN MILLONES DE INTIS

MES	SALDO DEUDOR AL INICIO DEL MES	INTERESES/PERIODO SALDO x TASA	AMORTIZACION
1	16,000	$16,000 \times 0.15 = 2400$	4000
2	12,000	$12,000 \times 0.15 = 1800$	4000
3	8,000	$8,000 \times 0.15 = 1200$	4000
4	4,000	$4,000 \times 0.15 = 600$	4000

Al cabo de 4 meses habremos cubierto la deuda principal de I/m 16,000 mas los intereses.



## CONCLUSIONES

1. Comercialmente las pinturas se clasifican en: Esmaltes, Antocorrosivos, Resistentes a los Acidos, Alcalis, resistentes a los productos químicos y a la Temperatura, y finalmente las Lavables.
2. las pinturas del tipo Esmalte son aquellas para dar un buen acabado o presentación y se presentan brillantes, lisa y uniforme, siendo las de mas amplia aplicación en los edificios de cemento y en las instalaciones Industriales.
3. El diseño de la Bateria de agitadores para producir pinturas del tipo Esmalte, se hizo a pedido de un fabricante de pinturas. Se producirá 1200 galones por lote.
4. Se instalará dos Tanques Agitadores de 600 galones de capacidad en una Plataforma metálica a 2.50 m.de altura para facilitar la evacuación de la pintura fabricada a la línea de embasado.
5. En cada tanque de Agitación se instalará un Eje, terminando en un Agitador del tipo Coroles, de aplicación específica para la industria de pinturas.

6. La Característica del Tanque Agitador es un cilindro vertical de 1.30 m. de altura, con fondo bombeado y rebordado abierto por la parte superior; de 1.60 m. de diámetro. Construido en plancha de Acero estructural de 3/16" ó 4.5 mm. de espesor.
7. El Agitador Cowles es un disco con paletas inclinadas según se muestra en el plano respectivo girando por intermedio de un motor eléctrico de 60HP a 1165RPM. El diseño del Agitador es tal, que permite producir una zona de elevada turbulencia a una distancia relativamente corta del extremo del Impulsor mediante un flujo radial, para convertirse en laminar.
8. Para evitar un Remolino excesivo durante la agitación de la pintura; se instalará en la pared interior del Tanque Agitador, 4 placas deflectoras de 13 cm de ancho, igualmente espaciadas en su circunferencia.
9. El Motor eléctrico de 60HP-220V., estará instalado en un Panel o frame constituido por perfiles Canal de 4"x 5.4. Este motor se deslizará en dos Ejes guías 2"φ que para efectos de mantenimiento reparación están adheridas al Panel, según se muestra en el Plano respectivo.
10. El Motor eléctrico y Agitador estará soportado en un tripode, constituido por un Panel con Pórtico más la columna, fabricada con tubo de acero de 4"φ Schedule 40.
11. La estructura del piso está constituido por vigas, adecuadamente ubicadas para resistir las cargas

estáticas y dinámicas a que estará sometido debido a trabajo de los Agitadores.

12. Para evitar instalar un reductor de velocidad, se usará un Motor eléctrico de 6 polos o sea con una velocidad de 1165RPM.

13. El Control de los Motores está centralizado en un Tablero eléctrico muy cerca de los Agitadores, siendo dotado por pulsadores para su arranque y parada.

14. El Tablero está dotado para cada Motor de un Interruptor termomagnético que protege los sobrecorrientes, de los Contactores de Arranque Estrella-Triángulo con su Relé para proteger las sobrecargas y de los pulsadores ARRANQUE/PARADA.

15. La inversión requerida para fabricar 1200 Galones de pintura Esmalte por lote, es de 1/m 41,000 en números redondos.

BIBLIOGRAFIA

1. "Tecnología de Pinturas"  
PAYNE, Henry Fleming  
Editorial Blume
2. "Manual del Ingeniero Mecánico"  
MARKS, Bauneister  
Editorial UTEHA
3. "Manual de Steel Construction"  
American Institute of Steel Construction
4. "Diseño Estructural en Acero"  
ZAPATA, Baglietto Luis
5. "Diseño de Máquinas"  
Hall, Holowenko  
Colección SCHAUM  
Editorial Mc Graw-Hill
6. "Resistencia de Materiales"  
TIMOSHENKO, S.  
Editorial Espasa-Calpé
7. "Resistencia de Materiales"  
NASH, William  
Colección SCHAUM  
Editorial Mc Graw-Hill

8. Electrical Systems Design  
Mc PARTLAND, J. F.
9. Instalaciones Electricas II  
Inq. RODRIGUEZ, Jose Aguirre  
Publicación interna.
10. Reglamento Nacional de Construcciones  
"Norma de Cargas"  
Ministerio de Vivienda y Construcción.
11. Articulo "Liquid Aqitation"  
CHEMICAL, ENGINEERING, Abril de 1976.