

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA SEPARACIÓN DE MINERALES PESADOS**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. González Z., Arístides J.  
Navarro C., Wuill Y.  
Para optar al Título  
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2002

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA SEPARACIÓN DE MINERALES PESADOS**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Pedro Lecue

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. González Z., Arístides J.  
Navarro C., Wuill Y.  
Para optar al Título  
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2002

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo primeramente a dios y a mi madre que me dieron la vida, especialmente mi mama quien ha estado conmigo siempre, aconsejándome y apoyándome en los momentos más difíciles de mi vida y carrera.

También se lo dedico a mi padre quien me hizo el hombre que soy y me enseñó a enfrentar todos los problemas con orgullo y dignidad.

Se lo dedico a mis dos hermanas Glenda y Yirky, mi Hermano Windy, , mis sobrinos Nicole y Windy y a mi cuñado David quienes han estado ahí siempre para apoyarme.

Hago una dedicatoria especial a mi novia Marlyn por estar conmigo y soportarme en mis momentos de stress y amargura, apoyándome y animándome para que siguiera adelante y no me frustrase por la gran cantidad de inconvenientes que se me presentaron a lo largo del desarrollo de este trabajo especial de grado.

Will Y. Navarro C.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a nuestras familias por su apoyo, amigos, a los Ingenieros y amigos Rafael Balderrama y Rafael Guerra, profesores, técnicos y todos aquellos que contribuyeron en algo a la culminación de nuestro trabajo especial de grado. **Especialmente a Dios por el sendo intelecto que nos dio.**

## Tabla de contenido

Dedicatorias.....	II
Agradecimientos.....	III
Tablas de contenido.....	IV
Resumen.....	X
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO I.....	4
1.1 Identificación de la empresa.....	4
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivos General .....	5
1.3.2 Objetivo específicos.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 MESA DE SEPARACIÓN HIDRODINÁMICA (MESA DE WILFLEY) .....	6
2.1.1 Principios generales de mesas hidrodinámicas.....	6
2.1.2 Funcionamiento .....	9
2.1.3 Características de las partículas a procesar.....	10
2.1.4 Funcionamiento y lubricación .....	10
2.1.5 Tipo de lubricante.....	10
2.1.6 Consejos de mantenimiento .....	11
2.2 TOLVA ALIMENTADORA .....	11
2.2.1 Manejo de la Tolva Alimentadora. ....	11
2.3 TAMIZADORA.....	12
2.3.1 Operación de la Tamizadora.....	13
2.4 MONTACARGAS.....	14
2.4.1 Ascensores Eléctricos:.....	14
2.4.2 Algunos modelos de ascensores, según las necesidades del usuario.....	14
2.5 ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN PERFILES ESTRUCTURALES.....	16
2.6 SOLDADURA .....	16
2.6.1 Clasificación de las soldaduras.....	16
2.6.2 Tipo de soldadura .....	16

2.6.3 Soldadura de filete .....	16
2.7 TRANSPORTE NEUMÁTICO .....	16
2.7.1 Definición .....	16
2.7.2 Usos .....	16
2.7.3 Ventajas del transporte Neumático .....	16
2.7.4 Desventajas del Transporte Neumático .....	16
2.7.5 Consideraciones del diseño.....	16
2.7.6 Definiciones básicas .....	16
2.7.7 Generalidades sobre el cálculo de sistemas neumáticos .....	16
2.7.8 Métodos para el cálculo de pérdidas de presión .....	16
2.7.8.1 Método de Max-Leva .....	16
2.7.8.2 Método de Hinkle .....	16
2.7.8.3 Método de Ingeniería de Ventilación .....	16
2.7.8.4 Método de John Fisher .....	16
2.8 AUTOMATIZACIÓN .....	16
2.8.1 Principio de un sistema automático .....	16
2.8.1.1 Fases de estudio en la elaboración de un automatismo .....	16
2.8.1.2 Opciones tecnológicas .....	16
2.8.2 Autómatas Programables .....	16
2.8.2.1 Definición .....	16
2.8.2.2 Antecedentes e historia.....	16
2.8.2.3 Campos de aplicación.....	16
2.8.2.4 Ventajas y desventajas del PLC .....	16
2.8.2.4.1 Ventajas del PLC .....	16
2.8.2.4.2 Desventajas del PLC .....	16
2.8.3 Control de motores .....	16
2.8.4 Relés de protección.....	16
2.8.5 Elección de los elementos de control para motores .....	16
2.8.5.1 Corriente Nominal .....	16
2.8.5.2 Elemento de desconexión manual .....	16
2.8.5.3 Alimentadores.....	16
2.8.5.4 Arrancador .....	16

2.8.5.5 Relé de protección tipo térmico.....	16
2.8.5.6 Motor eléctrico .....	16
2.9 METODOLOGÍA DE DISEÑO .....	16
2.9.1 Tormenta de ideas.....	16
2.9.2 Análisis Morfológico .....	16
2.9.2.1 Parámetros de Selección para las Opciones .....	16
2.9.3 Matriz Morfológica.....	16
2.9.4 Estudio de Factibilidad .....	16
CAPÍTULO III: MODELADO AUTOCAD 3D.....	16
CAPÍTULO IV: CÁLCULOS .....	16
4.1 Diseño del montacargas .....	16
4.1.1 Selección de los equipos de impulsión del montacargas .....	16
4.1.1.1 Cálculo del cable de acero.....	16
4.1.1.2 Cálculo de las poleas .....	16
4.1.1.3 Cálculo del tambor de arrollamiento .....	16
4.1.1.4 Cálculo de la potencia del motor .....	16
4.1.1.5 Cálculo del reductor .....	16
4.1.1.6 Cálculo del acople .....	16
4.1.2 Diseño de carro del montacargas.....	16
4.1.3 Selección de las guías del montacargas:.....	16
4.1.4 Cálculo de las vigas soporte de las poleas .....	16
4.2 Cálculo de las vigas de refuerzo de la estructura:.....	16
4.3 Cálculo de la soldadura de los miembros del carro del montacargas .....	16
4.4 Cálculo de la soldadura de las guías del montacargas .....	16
4.5 Cálculo de la soldadura de las vigas soporte de las poleas .....	16
4.6 Cálculo de la soldadura de las vigas de refuerzo a la estructura.....	16
4.7 Cálculo de las pérdidas de presión en el Sistema de transporte neumático .....	16
4.8 Selección del Autómata programable .....	16
4.8.1 Narrativa del sistema de control .....	16
4.8.2 Mantenimiento del Sistema .....	16
CAPÍTULO V: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS .....	16
5.1 Datos de placa .....	16

5.1.1 Tolva de Alimentación.....	16
5.1.2 Bascula Electrónica .....	16
5.1.3 Tamizadora .....	16
5.1.4 Trituradora de Mandíbula y trituradora de disco .....	16
5.1.5 Mesa de Separación Hidrodinámica ( Mesa de Wilfley).....	16
5.2 Selección de los accesorios de conexión de los equipos.....	16
5.2.1 Tolva de Alimentación.....	16
5.2.2 Bascula Electrónica .....	16
5.2.3 Tamizadora .....	16
5.2.4 Trituradora de Mandíbula y trituradora de disco .....	16
5.2.5 Mesa de Separación Hidrodinámica ( Mesa de Wilfley).....	16
5.2.6 Montacargas.....	16
5.3 Diagramas eléctricos .....	16
5.3.1 Diagrama de control de los equipos de separación.....	16
5.3.2 Diagrama de potencia de los equipos de separación.....	16
5.3.2.1 Sistema de Trituración.....	16
5.3.2.2 Tolva de alimentación .....	16
5.3.2.3 Tamizadora.....	16
5.3.2.4 Mesa de Wilfley .....	16
5.3.3 Diagrama de control del montacargas .....	16
5.3.4 Diagrama de potencia del montacargas .....	16
5.3.5 Diagrama de control del sistema de transporte neumático .....	16
CONCLUSIONES .....	16
RECOMENDACIONES.....	16
BIBLIOGRAFÍA .....	16
ANEXOS .....	16
A-1 Mesa de Wilfley	
A-2 Esfuerzos permitidos por AISC para metal soldante	
A-3 Propiedades físicas de materiales	
A-4 Tabla de efectos sobre vigas	
A-5 Esquema de instalación del sistema de transporte neumático	
A-6 Planos de taller de los equipos diseñados y construidos	



## Índice de ilustraciones

Figura 1: Tipos de soldadura.....	16
Figura 2: Juntas soldadas, símbolos estándar.....	16
Figura 3: Flexión en junta traslapada.....	16
Figura 4: Coeficiente Cd.....	16
Figura 5: Bucle de un sistema automático .....	16
Figura 6: Organigrama general para el estudio y elaboración de automatismos .....	16
Figura 7: Sistema de trituración.....	16
Figura 8: Tamizadora.....	16
Figura 9: Montacargas .....	16
Figura 10: Mesa de Wilfley .....	16
Figura 11: Conjunto .....	16
Figura 12: Esquematización de la idea 1.....	16
Figura 13: Esquematización de la idea 2.....	16
Figura 14: Esquematización de la idea 3.....	16
Figura 15: Polea de cable en fundición.....	16
Figura 16: Polea de cable soldada.....	16
Figura 17: Dimensión de las ranuras de los tambores .....	16
Figura 18: Tambor de cable (Soldado).....	16
Figura 19: Deformación del Tambor.....	16
Figura 20: Carro del montacargas .....	16
Figura 21: Guías del montacargas.....	16
Figura 22: Viga doblemente empotrada con carga axial.....	16
Figura 23: Esquematización de las vigas soporte de las poleas .....	16
Figura 24: Disposición de las vigas de refuerzo de la estructura.....	16
Figura 25: Disposición de los ángulos de fijación .....	16
Figura 26: disposición de los cordones de soldadura.....	16

## Índice de tablas

Tabla 1: Ajuste de la tolva de alimentación.....	12
Tabla 2: Tamaños mínimos para las soldaduras de filete .....	16
Tabla 3: Constantes a, b, c para resolver la ecuación 2.6.....	16
Tabla 4: Constante k para el cálculo de la velocidad mínima requerida.....	16
Tabla 5: Opciones tecnológicas generales .....	16
Tabla 6: Matriz morfológica .....	16
Tabla 7: Clasificación de los cables para máquinas de elevación (DIN 4130).....	16
Tabla 8: Factores de seguridad y coeficientes k y c (DIN 4130).....	16
Tabla 9: Selección de poleas .....	16
Tabla 10: Dimensiones de las ranuras de los tambores.....	16
Tabla 11: Espesor h de los tambores soldados en acero y de fundición .....	16
Tabla 12 Resultados de los métodos de cálculo de pérdidas .....	16
Tabla 13: Mantenimiento del Sistema de Control. ....	16

**González Z., Arístides G. Y Navarro C., Wuill Y.**

## **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA SEPARACIÓN DE MINERALES PESADOS**

**Tutor Académico: Prof. Pedro Lecue. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Mecánica. 2002, 123 pag.**

Equipos de procesamiento de minerales, Automatización

**Resumen:** En el país muchas empresas cuenta con maquinarias similares para la separación de objetos; sin embargo, se sentarán las bases para realizar un diseño automatizado donde estos equipos funcionarán de manera secuencial y automatizada, cuyo sistema se ha denominado Sistema de Separación de Minerales Pesados. La puesta en marcha del Sistema de Separación de Minerales Pesados del Laboratorio de Termocronología de la U.C.V., colocará a esta dependencia en una posición ventajosa con respecto al resto de las compañías o instituciones que realicen procedimientos similares, ya que el proceso no solo será secuencial sino automatizado lo cual redundará en la optimización de la separación de los minerales y la seguridad de los operadores y equipos. Para tal fin podemos contar con un sin número de máquinas para la reducción de tamaño de grano. Dentro de las máquinas de separación gravimétrica se encuentran las *tamizadoras*, las cuales por medio de vibraciones y el empleo de diversos tamices, separa en variados tamaños de granos una muestra determinada. Aun se puede optimizar el proceso de separación de muestras por medio de otras máquinas, como la separadora hidrodinámica (*Mesa de Wilfley*), la cual se alimenta con una mezcla de agua y sedimento sobre una plataforma inclinada provista de rifles horizontales escalonados, cuya sacudidas permiten separar el sedimento en diferentes tamaños de granos, los cuales serán separados en siete (7) recipientes. Estos procesos son previos a la concentración de minerales pesados por medios de separación magnética, el separador centrífugo-magnético y los líquidos pesados.

## **INTRODUCCIÓN**

### **Motivación**

En nuestro país los principales ingresos económicos los aporta la Industria Petrolera, la cual fomenta y desarrolla la creación de laboratorios en nuestras universidades con el objetivo de optimizar las investigaciones relacionadas con las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos. Es este escenario que tiene lugar la creación del Laboratorio de Termocronología de la Escuela Geología, Minas y Geofísica, cuyo principal objetivo es el de fechar los eventos tectotérmicos relacionados con la evolución de las cuencas petrolíferas Venezolanas.

En la actualidad se cuenta con los siguientes equipos:

- Trituradora de mandíbula (en desuso y averiada).
- Trituradora de disco (en desuso y averiada).
- Mesa de Wilfley (desarmada).

De los equipos anteriormente mencionados se propone reparar la Trituradora de Mandíbula y la trituradora de Disco; instalar, calibrar y poner en funcionamiento la Mesa de Wilfley. Adicionalmente se propone el diseño tridimensional de estos aparatos y su ubicación en el Sistema de Separación de Minerales Pesados.

### **Antecedente**

Muchas empresas cuentan con maquinarias similares para la separación de objetos (minerales, medicinas, materiales de reciclado,..., etc.); sin embargo, se sentarán las bases para realizar un diseño automatizado donde estos equipos funcionarán de manera secuencial y automatizada, cuyo sistema se ha denominado Sistema de Separación de Minerales Pesados. La puesta en marcha del Sistema de Separación de Minerales Pesados del Laboratorio de Termocronología de la UCV, colocará a esta

dependencia en una posición ventajosa con respecto al resto de las compañías o instituciones que realicen procedimientos similares, ya que el proceso no solo será secuencial sino automatizado lo cual redundará en la optimización de la separación de los minerales y la seguridad de los operados y equipos. Para tal fin podemos contar con un sin número de máquinas para la reducción de tamaño de grano.

Dentro de las máquinas de separación gravimétrica se encuentran las *tamizadoras*, las cuales por medio de vibraciones y el empleo de diversos tamices, separa en variados tamaños de granos una muestra determinada. Aun se puede optimizar el proceso de separación de muestras por medio de otras máquinas, como la separadora hidrodinámica (*Mesa de Wilfley*), que a través de sacudidas permite separar el sedimento en diferentes tamaños de granos, los cuales serán separados en siete (7) recipientes. Estos procesos son previos a la concentración de minerales pesados por medios de separación magnética (Separador Magnético), el separador centrífugo-magnético (Magstream) y los líquidos pesados (Tetrabromuro y Diiodometano).

# CAPÍTULO I

## 1.1 Identificación de la empresa

El Laboratorio de Termocronología de la Escuela Geología, Minas y Geofísica, tiene como principal objetivo, fechar los eventos tectotérmicos relacionados con la evolución de las cuencas petrolíferas venezolanas.

Este Laboratorio se encuentra dirigido por el profesor Jorge Luis Mora Matos; actualmente encargado de todo el proyecto en lo que respecta a la supervisión, control y recursos, para cumplir con los objetivos de nuestra tesis.

El personal que integra este laboratorio esta comprendido por Profesores especializados en Geología, Minas, Matemáticos, Técnicos en Computación y Minas, estudiantes de las Escuelas de Geología, Minas y Geofísica y Mecánica.

Este laboratorio esta ubicado en la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería Escuela de Geología, Minas y Geofísica, 2do. Piso. Caracas, Venezuela.

## 1.2 Planteamiento del problema

Se presentan los siguientes problemas: 1. En el caso de las muestras de roca, la primera fase consiste en su fragmentación mediante una Trituradora de Mandíbula Mediana. Para llevar este material a un tamaño de gránulos a arena gruesa es necesario recuperar y poner operativas la Trituradora de Mandíbula y la Trituradora de Disco. 2. Instalación y puesta en marcha de la Mesa de Wilfley. 3. Se propone el diseño tridimensional de las máquinas, mediante el uso del programa Autocad 2000. 4. Diseño e instalación de un montacargas para la Tamizadora de modo que sea más fácil su mantenimiento y elevación.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivos General

Diseño, instalación y puesta en funcionamiento de los aparatos que serán utilizados en la construcción del *Sistema de Separación de Minerales Pesados*.

### 1.3.2 Objetivo específicos

- Ensamblar y poner en funcionamiento el Sistema de Trituración y Pulverización.
- Diseñar un sistema de tuberías para alimentar con agua la Mesa de Wilfley.
- Controlar manualmente el flujo de agua que alimenta a la mesa de Wilfley.
- Diseñar un sistema de desagüe, para la descarga de agua y residuos hacia y desde los contenedores de sedimentos de la mesa de Wilfley.
- Diseño en Autocad 3D 2000 del sistema de máquinas utilizadas en la separación de minerales pesados y el área empleada para el trabajo.
- Interconectar las máquinas utilizadas en la separación de minerales pesados.
- Diseño e instalación de un montacargas.
- Automatización de todo el proceso.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 MESA DE SEPARACIÓN HIDRODINÁMICA (MESA DE WILFLEY)

#### 2.1.1 Principios generales de mesas hidrodinámicas

Una mezcla de sólidos y agua alimenta al borde superior de la mesa (**anexo 1**). Como los minerales en suspensión se trasladan por la mesa, son atrapados formando piscinas detrás de los rizos longitudinales. La acción temblorosa diferencial causa clasificación de tamaño inversa y la estratificación por gravedad específica. El resultado es que las piscinas de mezcla se acomodan para que las partículas de gravedad específicas similares se arreglen verticalmente según el tamaño.

Una vez que se han estratificado, la adición de más mezcla y la acción del flujo de agua permiten que se corten las capas superiores de la mezcla estratificada, obligando a las partículas de gravedad específica más baja y a las partículas más toscas rodar encima de los rizos hacia el lado más bajo de la mesa. La altura y profundidad de los rizos y los estratos disminuyen del extremo del mecanismo de acción al extremo de descarga de los granos pesados. Este rasgo permite esquileo selectivo continuo de las partículas más finas clasificándolas según tamaño y las partículas de densidad más altas siguen la mesa longitudinalmente. La fase final de concentración se logra en la sección plana de la mesa en el extremo de la descarga de concentrado. Aquí, la mezcla, consistiendo ahora en sólo los estratos más bajos de las camas formadas atrás en la parte rizada, es lavado cuidadosamente por una película lisa de agua cruzada que mueve las partículas más grandes de una gravedad específica dada, más rápidamente que las partículas más finas de la misma gravedad específica.

La clasificación de la alimentación de la mesa generalmente se practica cuando están procesándose minerales de características de lavabilidad difíciles. Es práctica común en la industria de minerales poner ciclones clasificadores o bandas tamizadoras en el circuito de alimentación de la mesa para la remoción del material del tamaño fino, haciendo una pequeña limpieza de este material. Estos fangos serán procesados para otros propósitos.



Las mesas hidrodinámicas separarán partículas minerales de otras que tengan una marcada diferencia en la gravedad específica. La efectividad y velocidad de separación son dependientes del rango de tamaño y de la forma de las partículas en la alimentación de la mesa y en el grado de diferencia en la gravedad específica de partículas individuales. Con tal de que el tamaño y factores de la forma no gobiernen, una diferencia de 2,5 unidades de gravedad específica entre el concentrado y las partículas de desecho se prefiere para una rápida y eficaz separación. Las excepciones notables a esta generalización ocurren cuando la forma de las partículas es relativamente diferente como el carbón en separación de la pizarra, o cuando las partículas sólo difieren en tamaño, como fangos de los materiales granulares de arenisca en la separación con arcilla u otros materiales finamente dividido de minerales.

El mecanismo de la carrera se diseña para que al final, el golpe dirigido hacia atrás de la mesa y las partículas en la superficie de la cubierta estén momentáneamente en reposo. La cubierta se acelera hacia adelante hasta, al final del golpe, la dirección de la carrera se invierte. Las partículas en la cubierta, que se movieron hacia delante con el golpe delantero, resbalarán ahora hacia adelante debido a su velocidad adquirida mientras la cubierta invierte su dirección y comienza el golpe dirigido hacia atrás. En consecuencia, la partícula siempre se dirige hacia el extremo de la descarga de la mesa. La altura y colocación de los rizos, irregularidades en el flujo de la alimentación, en la superficie de la cubierta, movimiento de la mesa, suministro de agua, y distribución, ejercen influencias que modificarán la conducta idealizada de la pulpa de alimentación. La presencia de partículas medianas, fangos, y las diferencias en tamaño, forma, y la porosidad de partículas de los mismos minerales afecta la acción de la mesa también.

Es un aparato de marcha continua que separa eficazmente minerales densos, finos de ligeros a gruesos. Consiste en un tablero rectangular o romboidal, inclinado transversalmente, y que se mueve en dirección longitudinal, alternativamente, en un sentido y en el opuesto gracias a un mecanismo de accionamiento que invierte el movimiento con mayor rapidez al final del avance que del retroceso. El tablero está provisto de una serie de listones o resaltos de plástico, paralelos entre sí y a la dirección de las sacudidas, que dejan entre cada dos consecutivos un canal, o cajetín, cuya altura,

pequeña, va disminuyendo desde el extremo por donde se acciona el aparato hacia el opuesto, en un solo plano.

A lo largo del borde superior del tablero existe un distribuidor de agua de lavado, con dos salidas de agua, la de la izquierda para el canal de distribución de agua y los listones y la de la derecha para la dilución de los sedimentos que provienen de la tolva, garantizando un reparto de los sedimentos con el agua, la intensidad de la corriente transversal del agua esta previamente calibrada.

Los sedimentos se recogen en canales paralelos a los bordes de la mesa distribuidos en siete salidas los tres primeros a la Izquierda son los concentrados, los dos del medio, los mixtos y los dos de la derecha, los estériles.

La inclinación del tablero puede variarse, desde los 0° (horizontal), hasta los 20°, y con ello modificar las condiciones en que se efectúa la separación. La alimentación entra en el aparato por la esquina superior derecha, en forma de pulpa, que en volumen tiene aproximadamente un 90 % de agua, pasa sobre los listones con máxima velocidad y espesor mínimo y deposita en los canales entre aquellos la arena que transporta, debido al cambio de sección y velocidad.

Al quedar las partículas del género retenidas en los canales o cajetines se inicia su estratificación, por densidad de tamaño, estratificación que se perfecciona mientras caminan longitudinalmente. Bajo la acción de las sacudidas las partículas más pequeñas del mineral más denso van descendiendo entre las demás, hasta llegar al tablero, mientras que las partículas más grandes, del mineral menos denso, no pueden penetrar al lecho mineral y quedan encima de él. Debido a su situación, en la parte superior, están expuestas a ser arrastradas por el agua de lavado, cuya fuerza se puede controlar variando la pendiente y el gasto, los mixtos, por su densidad, se reúnen en la parte media del lecho mineral.

La estratificación facilita la separación, mientras avanza el género por el canal. Las partículas densas que han llegado al tablero están oprimidas contra él por el peso de las situadas encima, es decir, con fuerza superior al peso propio. Debido a ello son las que más avanzan en la dirección de las sacudidas, ya que acompañan al tablero cuando éste se desplaza longitudinalmente accionado por el mecanismo, quedan libres al retroceder aquél, y son las primeras en resbalar. Las partículas situadas sobre dicha capa

inferior serán más sueltas, se mueven también hacia adelante pero avanzan más despacio porque se desplazan menos. Como los listones decrecen en altura, longitudinalmente, llega un momento en que las partículas que forman la capa superior se encuentran en su avance con que no están protegidas por el listón inferior del canal donde se desplazan, y son barridas por el agua de lavado, pasando al canal o cajetín inmediato inferior. Esto se repite, de un cajetín a otro, hasta que las partículas abandonan el tablero por el borde inferior.

La distancia longitudinal, desde el lado de la alimentación, hace que el abandono de una partícula determinada del tablero varíe con el tiempo que tarde en descender, es decir, en recorrer transversalmente la mesa, y por ello se produce en estos aparatos una distribución del género en abanico, según las densidades, pues las partículas más ligeras llegarán antes al borde inferior. Las bandas que se forman de concentrados, mixtos y estériles serán tanto más anchas cuanto menos inclinado esté el tablero, menor sea la cantidad de agua de lavado y más larga la carrera.

### 2.1.2 Funcionamiento

A la cubierta debe darse una inclinación ligera de aproximadamente  $\frac{1}{4}$ " por pie (la inclinación de la cubierta se logra por medio de una manecilla). La inclinación longitudinal puede requerirse al procesar granos finos. Esto es logrado levantando el extremo concentrado de la cubierta. El agua de acompañamiento desde la tubería al depósito de alimentación debe ser ajustada regulando las válvulas en forma de diamante en la caja de agua para dar un flujo suave por la superficie de la cubierta. La alimentación debe ser pre-tamizada para quitar los más gruesos.

La duración del golpe es ajustada soltando el tornillo fijo y girando el tornillo de ajuste (#149, **anexo 1**) ubicado al final del marco para levantar o bajar el bloque ajustado. La mejor duración de golpe y la inclinación transversal correcta de la cubierta, junto con la apropiada velocidad de operación, pueden ser determinados por experimentación. La velocidad del funcionamiento debe ser mayor que en mesas del tamaño normales. Nosotros recomendamos un mínimo de 270 y un máximo de 325 r.p.m.

### 2.1.3 Características de las partículas a procesar

La clasificación involucra separación según tamaño y separaciones de gravedad específicas, que son influenciadas a su vez por la forma, porosidad, y rango del tamaño de las partículas minerales. La clasificación de la alimentación de la mesa se debe conocer para mejorar la actuación de la mesa y aumentar la capacidad de la mesa. Sin embargo, si el rango de tamaño de alimento se pone demasiado estrecho, la separación de la mesa es adversamente afectada.

#### 2.1.4 Funcionamiento y lubricación

Máxima Velocidad - por medio de una perilla, el motor se desplaza en una base ajustable. Cuando el motor se acerca al marco de ajuste, la correa tipo V corre sobre los diámetros más grandes de discos de caras cónicas asegurándose la máxima velocidad en la máquina.

Mínima Velocidad - invirtiendo el giro de la perilla, el motor se aleja del marco de ajuste y La correa corre encima de un diámetro más pequeño ya que, el disco corredizo se desliza hacia afuera para acomodar la correa, se reduce la velocidad, la Tensión del resorte actúa contra el disco corredizo, proporcionando la presión apropiada en la correa para transmitir carga en todas las velocidades.

#### 2.1.5 Tipo de lubricante

Una grasa de mineral neutra propiamente refinada, libre del ácido, álcali y azufre con una consistencia que corresponde a N° 1 consistencia de NLGI. El tipo y calidad de lubricante conveniente y sugerido por la lista siguiente:

- ✓ SOCONY-MOBIL TEMP N°. 1
- ✓ TEXACO NOVATEX N°. 1
- ✓ SINCLAIR GREASE N°. 1
- ✓ SHELL ALVANIA N°. 1
- ✓ GRASA de CIA. HUMBLE OIL N° 5139

### **2.1.6 Consejos de mantenimiento**

1. Mantener las caras de los discos limpias y libres de la grasa, ácidos y agua.
2. Chequear la condición de operación del vareador de velocidad de la polea del motor frecuentemente.
3. Chequear la correa con regularidad para ver si corre en forma nivelada en la ranura del variador de velocidad de la Polea Menor. Si un lado de la correa monta más alto que el otro, el disco corredizo puede rozar al cubo. Si el disco está Pegando, hay que desmantelar, limpiar las superficies corredizas y relubricar.
4. Lubricar con grasa el ensamble del disco antes de poner en servicio, y cada 30 días, o como las condiciones de garantía lo indiquen. No sobre lubricar. Ver lista de lubricantes sugeridos anteriormente.
5. Lubricar el tornillo de cambio con aceite ligero cada 30 días.
6. No permitir la contaminación de la correa con grasa o aceite.
7. Ajustar la velocidad sólo cuando las unidades están funcionando.

## **2.2 TOLVA ALIMENTADORA**

### **2.2.1 Manejo de la Tolva Alimentadora.**

- Limpiar antes de procesar cualquier muestra.
- Luego de haberla limpiado, se coloca la malla para las grabas.
- Se coloca una cantidad aproximada entre 7 y 8 kilos de sedimento y luego cubrir.

- Encender y ajustar las perillas del vibrador y del alimentador de manera que la velocidad de entrada de las partículas no sea mayor que la velocidad de salida de las mismas hacia los contenedores.
- Las perillas de la tolva se ajustan normalmente de la siguiente manera:

• Alimentador (Feeder)	• 10-100
• Vibrador ( <i>Vibrator</i> )	• 10-100

**Tabla 1: Ajuste de la tolva de alimentación**

- Si se trabaja con arenas medias o gruesas, el alimentador debe estar de 40 a 50 y el vibrador de 70 a 80.
- Si el tamaño de las partículas es grueso se debe abrir más la boca inferior de salida del embudo. Esto se logra empujando el embudo hacia adelante a través de un tornillo, ubicado en la parte trasera del embudo.

### 2.3 TAMIZADORA

La Tamizadora está diseñada para separar sedimentos con tamaños de granos mayores a 0.25 mm (tamiz # 60) y entre los 0.25 y 0.074 mm (Tamiz # 200). Consta de tres salidas de sedimentos; La superior concentra los granos mayores a 0.25 mm. Estos granos pueden ser pasados por la trituradora de disco y luego ser pasado nuevamente por la tolva. Salida intermedia, concentra los tamaños de granos entre 0.25 mm y 0.074 mm. (entre tamices malla mayores a 200 y menores a 60), el cual es el intervalo para ser pasado a la mesa de sacudidas Wilfley. La salida Inferior, concentra los sedimentos finos menores a los 0.074 mm, los cuales son desechados. Esta Tamizadora se mueve continuamente a gran velocidad, sacudiendo el sedimento y dejándolos pasar libremente a través de la malla o reteniéndolo según el tamiz utilizado, este procedimiento garantiza una repartición del sedimento según su tamaño de grano.

### 2.3.1 Operación de la Tamizadora

- Se coloca la malla de 60 o 200 (según sea la etapa del tamizado o ambas) sobre la base metálica, se atornilla el brazo guía de sedimentos y luego se ajusta el aro metálico periférico apretando sin excederse los tres tornillos de igual forma.
- Una goma delgada en la base del recipiente con tubo de drenaje se utiliza para colocar el tamiz.
- Se encaja el aro del tamiz en dicho recipiente girándolo de manera que los tornillos del aro periférico queden dispuestos de tal manera que ejerzan presión bajo los bordes salientes del recipiente.
- Se fijan cuatro (04) arandelas de goma (dos gruesas y dos delgadas) en el tope de la Tamizadora.
- Sobre ese tope se coloca el recipiente metálico ya con el tamiz instalado.
- Se colocan los cuatro (04) ganchos en el borde del tamiz. Luego a cada uno se le ejerce presión hacia abajo ajustándolos hasta su posición final, de manera que queden firmes y rectos. Cuando este paso no es realizado correctamente la máquina vibra y suena demasiado, se pueden abrir los ganchos y se pierde material entre las arandelas de goma.
- Se enciende la Tamizadora sin sedimento para supervisar todo el funcionamiento.
- Se activa la tolva y comienza a suministrarse el sedimento.

## 2.4 MONTACARGAS

### 2.4.1 Ascensores Eléctricos:

Sus partes principales son las siguientes: motor de tracción y torno de elevación; cabina, contrapeso; cables de tracción, que por uno de sus extremos tiran de la cabina y en el otro llevan el contrapeso; guías de la cabina y del contrapeso y circuitos eléctricos de maniobra.

El motor de tracción funciona normalmente por corriente alterna, pero ya está muy extendida la corriente continua, sobre todo para los ascensores más veloces. El torno de elevación consta por lo general de un reductor de velocidad de engranajes y de la polea de tracción. Esta lleva unos canales de una forma adecuada y con la debida profundidad para que se enrollen parcialmente los cables de tracción que se mueven por deslizamiento.

Todos los ascensores están provistos de dispositivos de seguridad que impiden su puesta en marcha en caso de maniobras equivocadas (apertura de puertas, carga excesiva, etc.), o bien accionan frenos de emergencia en el caso de rotura de los cables de sostén o cuando la velocidad supera un límite prefijado. Los Ascensores destinados únicamente al transporte de objetos se llaman montacargas.

### 2.4.2 Algunos modelos de ascensores, según las necesidades del usuario

- **Ascensor sin cuarto de máquinas:** Este ascensor no necesita cuarto de máquinas. La maquina se instala en la zona superior del hueco del ascensor sobre una plataforma fijada a las guías de cabina y contrapeso. Las reacciones de la máquina se transmiten a las guías y de éstas al foso del ascensor. El armario de maniobra y los elementos para el rescate de emergencia se ubican junto a la puerta de pasillo de la última planta. Se necesita un pasillo con unas dimensiones mínimos de 700 mm desde la puerta de pasillo.
- **Ascensor Hidráulico:** Existen dos tipos: de impulsión directa y de impulsión diferida. La central óleo dinámica se puede situar próxima al hueco en cualquier zona, con lo que se optimiza el uso del espacio. Su sistema de frenado por medio



del equipo de válvulas permite el frenado perfecto. En caso de avería o falta de energía, la cabina desciende al nivel inferior, evitando la necesidad de ayuda exterior para abandonarla. Su funcionamiento es insonoro al encontrarse la bomba y el motor sumergidos en aceite.

- **Ascensores Eléctricos de alta velocidad** (1,6 m/s; 2,5 m/s; 4 m/s y 6 m/s), regulados por Variación de Frecuencia (VVVF), ISOSTOP 60, etc.
- **Ascensores para Hospitales:** Tanto los Monta camillas (1000 Kg.) como los Monta camas (1500 a 1800 kg.) se caracterizan por la perfecta nivelación en la parada y por una excelente suavidad de viaje, sin arranques ni paradas bruscos, necesarios en este tipo de edificios. La velocidad puede ser de 1,00 a 1,60 m/s. Aconsejamos utilizar tracción regulada por Variación de Frecuencia. Tanto los Monta camillas como los monta camas admiten uno o doble embarque a 180°.
- **Ascensores Montacargas:** Se utilizan preferentemente para transportar cargas, aunque también están permitido para personas. Están diseñados para soportar cargas uniformemente repartidas.
- **Ascensores Minicargas:** Son ascensores que transportan hasta 100 Kg. de carga, y no son utilizables por personas. Se utilizan en restaurantes, bibliotecas, hospitales y, en general, todos los edificios que necesiten transportar verticalmente pequeño material de manera con cierta frecuencia. Se pueden instalar hasta 3 accesos por planta, con lo que se consigue una gran versatilidad para adaptarse a las necesidades del edificio. Se recomienda utilizar puertas de guillotina por su fácil funcionamiento y por no estorbar la entrada y salida de mercancías.

## 2.5 ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN PERFILES ESTRUCTURALES

El método que se utiliza para resolver problemas sigue lineamientos notablemente uniformes. A veces al procedimiento lo oscurecen algunos pasos intermedios, pero en el análisis final siempre se aplica. Para dar una vista global de la materia, se describirá a continuación un procedimiento típico. Una apreciación mas completa de muchas de las indicaciones enlistadas se irá captando a medida que se desarrolle la materia.

- 1) Se aísla un solo elemento o miembro de una disposición particular de elementos estructurales o de máquinas. Esto será el diagrama de cuerpo libre del elemento.
- 2) Las reacciones se determinan por aplicación de las ecuaciones de la estática o de condiciones de frontera con las ecuaciones diferenciales apropiadas. En problemas indeterminados, la estática se complementa con consideraciones cinemáticas.
- 3) En el punto en que se desee la magnitud -del esfuerzo se hace pasar un plano de corte perpendicular al eje del cuerpo, y parte de éste, a uno a otro lado de la sección, se separa completamente.
- 4) En la sección que se investiga se determina el sistema de fuerzas internas necesario para mantener en equilibrio la parte aislada del elemento. En general, tal sistema de fuerzas consta de una fuerza axial, una fuerza cortante, un momento flexionante y un momento de torsión. Estas cantidades se hallan considerando parte del elemento como cuerpo libre.
- 5) Una vez resuelto en forma apropiada el sistema de fuerzas que actúa en la sección, las fórmulas establecidas permitirán determinar los esfuerzos en la sección considerada.
- 6) Si se sabe la magnitud del esfuerzo máximo en una sección, se podrá especificar el material apropiado para ella; o, recíprocamente, si se conocen las propiedades físicas de un material, es posible seleccionar un elemento del tamaño adecuado.
- 7) En algunos otros problemas, el conocimiento de la deformación en una sección arbitraria de un elemento, originada por las fuerzas internas. Permitirá predecir la

deformación de la estructura en conjunto y, por tanto, si fuera necesario, diseñar elementos que no se flexionen o comben excesivamente.

## 2.6 SOLDADURA

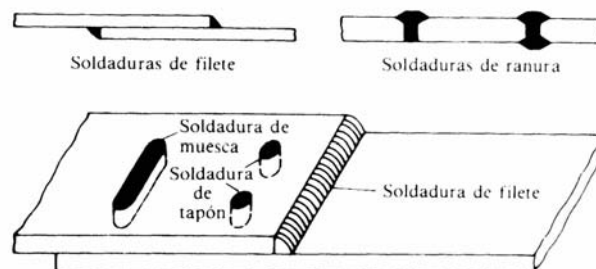
La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico, permitiendo que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de otro metal fundido. Se admite que las reglas que gobiernan la calificación de los soldadores, las mejores técnicas utilizadas y los requerimientos para la mano de obra de las especificaciones de la AWS (American Welding Society), hacen de la inspección de la soldadura un problema menos difícil. Como consecuencia, la soldadura se permite ahora en casi todos los trabajos estructurales, excepto en algunos puentes.

### 2.6.1 Clasificación de las soldaduras

Existen tres clasificaciones para las soldaduras, mismas que se describen en los siguientes párrafos; se basan en el tipo de soldadura realizada, posición de las soldaduras y tipo de junta.

### 2.6.2 Tipo de soldadura

Los dos tipos principales de soldaduras son las soldaduras de filete y de ranura. Existen además las soldaduras de tapón y de muesca que no son comunes en el trabajo estructural. Estos cuatro tipos de soldadura se muestran en la **Figura 1**.



**Figura 1: Tipos de soldadura**

Las soldaduras de filete han demostrado ser más débiles que las soldaduras de ranura; sin embargo, la mayoría de las conexiones estructurales se realizan con soldaduras de filete (aproximadamente el 80%). Cualquier persona que haya tenido experiencia en estructuras de acero entenderá el porqué las soldaduras de filete son más comunes que las soldaduras de ranura. Las soldaduras de ranura se usan cuando los miembros que se conectan están alineados en el mismo plano. Usarlas en cualquier situación implicaría un ensamble perfecto de los miembros por conectar, cosa que lamentablemente no sucede en la estructura común y corriente. Muchos lectores han visto a los operarios tirando de y golpeando miembros de acero para ponerlos en posición. Cuando se pueden traslapar los miembros de acero, se permiten tolerancias mayores en el montaje, siendo las soldaduras de filete las que se utilizan. Sin embargo, las soldaduras de ranura son bastante comunes en muchas conexiones tales como los empalmes en columnas y las conexiones de patines de vigas a columnas, etc... Las soldaduras de ranura comprenden alrededor del 15 % de las soldaduras estructurales.

Una soldadura de tapón es una soldadura circular que une dos piezas, en una de las cuales se hacen la o las perforaciones necesarias para soldar. Una soldadura de muesca es una soldadura formada en una muesca o agujero alargado que une un miembro con otro a través de la muesca. La soldadura puede llenar parcial o totalmente la muesca. Estos tipos de soldaduras pueden utilizarse cuando los miembros se traslapan y no se tiene la longitud del filete de soldadura. También pueden utilizarse para unir partes de un miembro como en el caso de tener que fijar las cubre placas en un miembro compuesto.

Las soldaduras de tapón y las de muescas no se consideran en general adecuadas para transmitir fuerzas de tensión perpendiculares a la superficie de contacto. La razón es que usualmente no se tiene mucha penetración de la soldadura en el miembro situado abajo del tapón o muesca; la resistencia a la tensión la proporciona principalmente la penetración.

Algunos proyectistas estructurales consideran satisfactorias las soldaduras de tapón y de muesca para conectar las diferentes partes de un miembro, pero otros no las consideran adecuadas para transmitir fuerzas cortantes. La penetración en estas

soldaduras es siempre dudosa y además pueden contener poros que no se detectan con los procedimientos comunes de inspección.

### **2.6.3 Soldadura de filete**

Las pruebas han mostrado que las soldaduras de filete son más resistentes a la tensión y a la compresión que al corte, de manera que los esfuerzos determinantes en soldaduras de filete que se establecen en las especificaciones para soldadura, son esfuerzos de corte. Cuando sea práctico usar soldadura de filete es conveniente arreglar las conexiones de modo que estén sujetas únicamente a esfuerzos de corte, y no a la combinación de corte y tensión, o corte y compresión.

Cuando las soldaduras de filete se prueban a la ruptura, parecen fallar por corte en ángulos de aproximadamente  $45^\circ$  a través de la garganta. Por consiguiente, su resistencia se supone igual al esfuerzo de corte permisible por el área teórica de la garganta de la soldadura. El área de la garganta es igual al grueso teórico de ésta por la longitud de la soldadura. En esta figura, la raíz de la soldadura es el punto donde las superficies de las caras de las piezas de metal original se intersecan, y la garganta teórica de la soldadura es la distancia más corta de la raíz de la soldadura a la superficie externa de ésta.

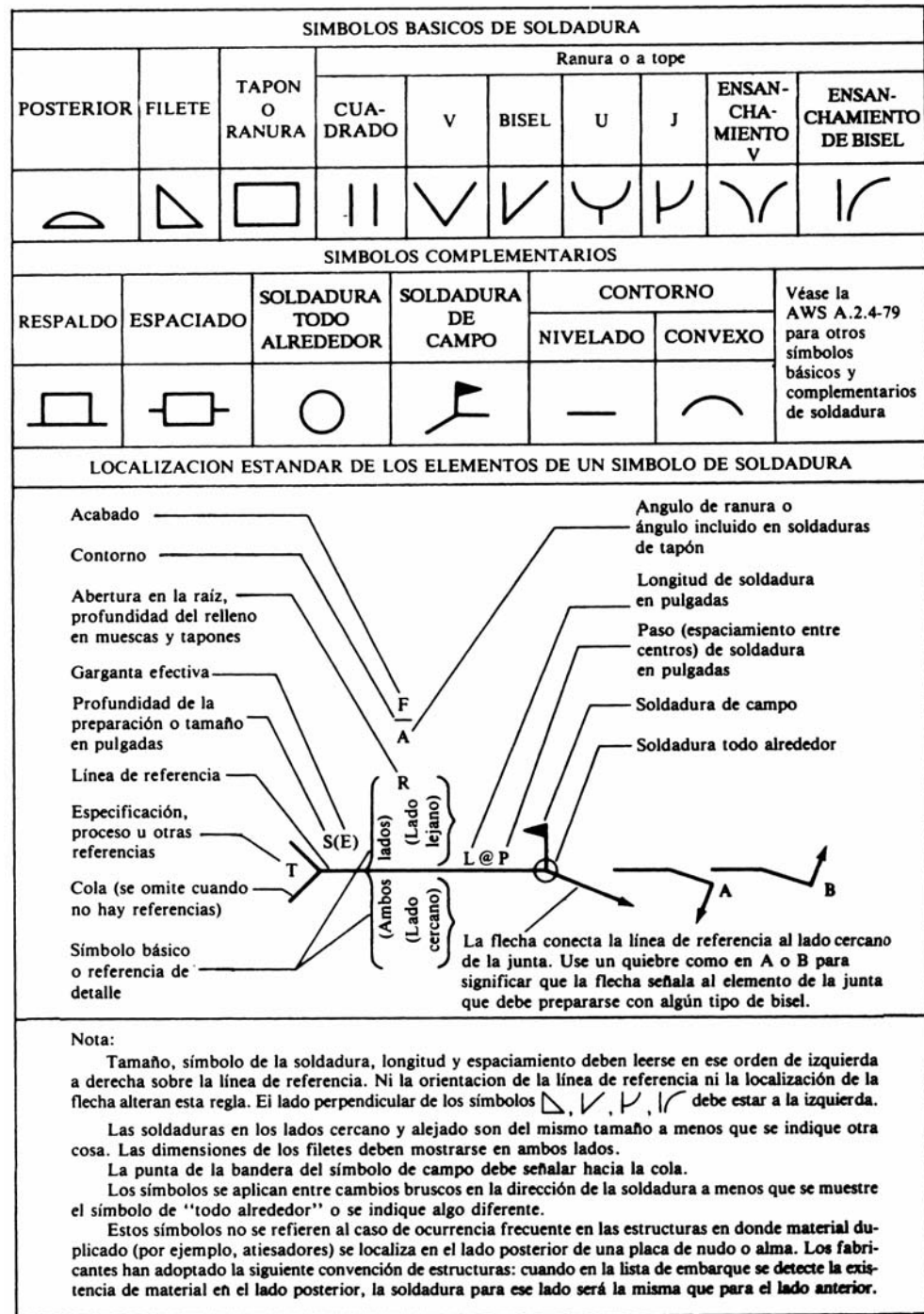


Figura 2: Juntas soldadas, símbolos estándar

Existen recomendaciones de las normas AISC aplicables a la soldadura; algunas de las más importantes son las siguientes:

1. La longitud mínima de una soldadura de filete no debe ser menor de 4 veces la dimensión nominal del lado de la soldadura. Si su longitud real es menor de este valor, el grueso de la soldadura considerada efectiva debe reducirse a  $1/4$  de la longitud de la soldadura.
2. El tamaño máximo de una soldadura de filete a lo largo de material menor de  $1/4$  pulg. de grueso debe ser igual al grueso del material. Para material más grueso, no debe ser mayor que el espesor del material menos  $1/16$  pulg., a menos que la soldadura se arregle especialmente para dar un espesor completo de la garganta. Para una placa con un espesor de  $1/4$  pulg., o mayor, es conveniente terminar la soldadura por lo menos a  $1/16$  pulg. del borde para que el inspector pueda ver claramente el borde de la placa y determinar con exactitud las dimensiones de la garganta.
3. Los filetes permisibles mínimos según las normas AISC se dan en la **Tabla 2**. Estos valores varían entre  $1/8$  pulg. para material de  $1/4$  pulg. de espesor o menor y  $5/16$  pulg. para material con espesor mayor de  $3/4$  pulg. El tamaño mínimo práctico para la soldadura es de aproximadamente  $1/8$  pulg. y el tamaño que probablemente resulta más económico es de alrededor de  $1/4$  pulg. o  $5/16$ . La soldadura de  $5/16$  pulg es aproximadamente la máxima que puede hacerse en una sola pasada con el proceso de arco protegido (SAP) y la de  $1/2$  plg cuando se usa el proceso de arco sumergido (SAS).
4. Estos tamaños mínimos no se desarrollaron con base en consideraciones de resistencia sino debido al hecho de que los materiales gruesos tienen un efecto de enfriamiento rápido en las soldaduras pequeñas; cuando esto sucede, en las soldaduras se manifiesta una pérdida de ductilidad. Además, el material grueso tiende a restringir el acortamiento propio de la soldadura al enfriarse ésta y pueden, en consecuencia, aparecer grietas en los cordones.

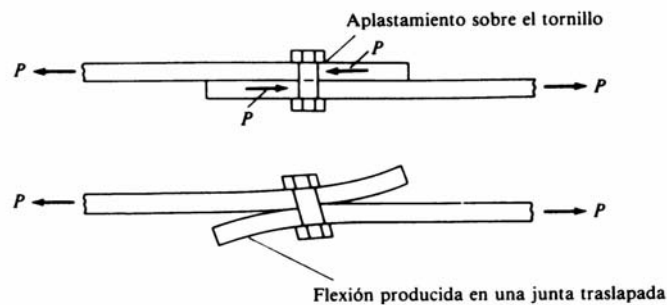
Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (pulg.)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete* (pulg.)
Hasta 1/4 inclusive	1/8
Mayor de hasta 1/4, hasta 1/2 inclusive	3/16
Mayor de 1/2 hasta 3/4 inclusive	1/4
Mayor de 3/4	5/16

\*Dimensión del lado de los filetes.

**Tabla 2: Tamaños mínimos para las soldaduras de filete**

**Fuente: Manual de estructuras de acero**

5. Cuando se usan soldaduras de filete longitudinales para la conexión de placas o barras, sus longitudes no deben ser menores que la distancia perpendicular entre ellas, debido al rezago del cortante. Además, la distancia entre soldaduras de filete no debe ser mayor de 8 pulg en las conexiones de extremo, a menos que el miembro se diseñe con base en el área efectiva de acuerdo con la especificación AISC.
6. En juntas traslapadas, el traslape mínimo es igual a 5 veces el espesor de la parte más delgada conectada, pero no debe ser menor de 1 pulg. El propósito de este traslape mínimo es impedir que la junta rote excesivamente al aplicarse las cargas **Figura 3**.



**Figura 3: Flexión en junta traslapada**



## **2.7 TRANSPORTE NEUMÁTICO**

### **2.7.1 Definición**

Estos sistemas consisten básicamente en una corriente de aire (u otro gas) a alta velocidad que se hace pasar a través de una tubería, de modo que cuando un material es alimentado a la misma, este es transportado por la fuerza impulsora del aire.

La velocidad del aire debe ser lo suficientemente alta para garantizar que el material se mantenga en suspensión y sea efectivamente arrastrado a lo largo del sistema. Si la velocidad es baja una parte del material se depositará en el fondo de la tubería produciéndose el efecto “duna”.

La potencia requerida y la capacidad de estos transportadores no siempre pueden ser determinadas en forma precisa, pero la experiencia ha suministrado suficiente información a los especialistas para hacer buenas aproximaciones, siempre que sea de datos confiables sobre las condiciones de trabajo del sistema.

Transporte neumático es el termino general dado al movimiento de sólidos mezclados con aire, por influencia ya sea de la fuerza de gravedad o por la producida por un diferencial de presión del aire que rodea dichos sólidos y la del aire en el lugar de la descarga. Durante largos años ha sido realizado usando grandes volúmenes de aire a presiones relativamente bajas, siendo pequeña la relación de sólidos a aire. En desarrollos tecnológicos recientes de la manipulación de polvos, ha incrementado la relación de sólidos transportados y el aire.

### **2.7.2 Usos**

Se emplean comúnmente para el manejo de materiales granulares o en polvo, tanto en trayectoria horizontales como verticales, pudiendo acceder a, sitios remotos que serían difíciles de alcanzar económicamente con otros transportadores mecánicos.

Actualmente se pueden manejar materiales que van desde polvos finos hasta gránulos de hasta 6.35 mm (1/4 pulg.) y densidades de masa desde 16 hasta 3200 Kg./m<sup>3</sup>.

Las técnicas de transporte neumático han progresado rápidamente en los últimos diez años, especialmente en la industria química. El desarrollo continúa a pasos agigantados, pero creemos que es importante destacar que muchos de los procesos y el estudio de los procesos de acarreo de material así como el flujo bifásico en tuberías están todavía en fase de estudio, siendo mucha de su formulación empírica y en su aplicación se toma mucho en cuenta la experiencia acumulada en desarrollos anteriores.

### **2.7.3 Ventajas del transporte Neumático**

- Ahorra el costo debido a la eliminación del trabajo de empaquetamiento y el material para dicho empaquetamiento.
- Conveniente manejo de los materiales secos a granel dentro de la planta.
- Ofrece operaciones libres de polvos.
- La infestación de insectos es controlada debido a las mejoras en la saneación.
- La condensación o asentamiento de la carga de molienda es eliminada.
- El riesgo de fuego es reducido y con eso se reduce el costo de seguridad.
- Es un sistema autolimpiante, lo que reduce el costo de mantenimiento.
- Refresca el material a transportar con lo que se aumenta la eficiencia de la molienda y de la cernidura.
- Tiene fácil instalación.
- Gran flexibilidad en la elección del arreglo o disposición.
- Mejor espacio de utilización en la molienda debido a lo conveniente colocación de las Tuberías.
- Mejor ventilación.
- Ocupa un menor espacio en la edificación.
- Permite llevar grandes cargas de material a distancias considerables.

### **2.7.4 Desventajas del Transporte Neumático**

- La mayor desventaja en contra del sistema neumático de transporte para la industria de la molienda es el excesivo consumo de potencia de estos sistemas en comparación con otros sistemas mecánicos.
- Las tuberías sufren desgastes debido a la abrasión generadas por el transporte neumáticos de las partículas (teniendo que reforzarse la tubería generalmente en los cambios de dirección).
- Un mal diseño del sistema de transporte neumático puede resultar en Daños al material a transportar.
- Distancia limitada del transporte para partículas con un tamaño superior o igual 20 mm.

Usualmente las limitaciones del sistema son más económicas que técnicas, sin embargo, el factor económico en la actualidad se está cambiando con los desarrollos recientes y esto ha asegurado el transporte de materiales con bajo nivel de energía.

Con el crecimiento progresivo de sistemas sofisticados y de vanguardia, las aplicaciones se están incrementando todo el tiempo. De esta forma el transporte de materiales sólidos a través de sistemas de transporte neumático debe ser estudiados como primera opción y ser evaluado al mismo tiempo que otros sistemas de transporte.

### **2.7.5 Consideraciones del diseño**

En estos transportadores las propiedades del material a manejarse tienen mayor incidencia en el diseño, que en cualquier otro tipo de aparato. Así, por ejemplo, el material determina la construcción de los equipos auxiliares, las velocidades de transporte y los caudales requeridos.

Para ser manejados, efectiva y eficientemente, los materiales deben pasar a través de las tuberías y equipos auxiliares sin atorarse, segregarse o degradarse. Algunos materiales tienen tendencia a acumularse en los codos, pudiendo llegar a obstruir

totalmente la línea. Otros se separan debido a que alguno de sus ingredientes absorbe humedad y se adhiere a las paredes de la tubería, mientras que el resto es transportado.

Si por cualquier circunstancia la fuente de material cambia o se modifica el método de pulverizado, un material que en principio produce poca erosión, puede de repente, generar desgastes excesivos en el sistema.

A continuación se presenta un listado de las propiedades de los materiales y su efecto en los parámetros de diseño de los transportadores neumáticos.

### **PROPIEDAD**

### **PARÁMETROS AFECTADOS**

**Peso específico**

Requeridos de potencia y caudal de aire, límites de velocidad. Capacidad de las tolvas y alimentadores.

**Granulometría**

Requerimientos del colector de polvos, tipos de selladores y potencia.

**Abrasividad**

Tipo de sistema, materiales de construcción, tipos de selladores y alimentadores, requerimientos de potencia.

**Contenido de Humedad**

Tipo de sistema, requerimientos de secado, tipos de alimentadores y colectores.

**Corrosividad**

Materiales de construcción, requerimientos de secado y de ventilación.

**Pegajosidad**

Tipos de sistema, requerimientos de ventilación y secado del aire, tipo de colector.

<b>Angulo de reposo</b>	Diseño de tolvas y ciclones.
<b>Toxicidad</b>	Tipos de colectores y filtros.
<b>Temperatura</b>	Requerimientos para el enfriamiento del aire, necesidad de aislantes para tolvas, colectores y ductos.
<b>Forma de partículas</b>	Tipos de sistemas, tipo de alimentador, forma del trazado de la tubería.

### 2.7.6 Definiciones básicas

**Flujo volumétrico:** Se define como el volumen o cantidad de aire que atraviesa una sección determinada por unidad de tiempo, y habitualmente es denominado caudal. Esta relacionado con la velocidad media y el área de la sección atravesada, por la expresión.

$$Q = V \times A \quad 2.1$$

El aire o cualquier otro fluido circulan siempre de las regiones de mayor presión total a la de menor, en ausencia de aporte de energía (ventilador). Una masa de aire en movimiento tiene asociada tres presiones distintas, pero matemáticamente relacionadas.

**Presión Estática(PE):** Se define como la presión que tiende a colapsar o hinchar el conducto, y se expresa en milímetros de columna de agua (mmcda). Normalmente se mide con un manómetro de columna de agua, de ahí las unidades empleadas. La presión estática puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica local, pero debe medirse perpendicularmente a la dirección del flujo de aire.

**Presión Dinámica (PD):** Se definen como la presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad (V), y es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire.

$$PD = d \left( \frac{V}{4.43} \right)^2 \quad 2.2$$

La presión dinámica se ejerce únicamente en la dirección del flujo y es siempre positiva.

**Presión Total (PT):** Se define como la suma algebraica de la presión estática y dinámica

$$PT = PE + PD \quad 2.3$$

La presión total puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica, y es una medida del contenido energético del aire, por lo que va siempre descendiendo a medida que se produce el avance del aire por el interior del conducto. Únicamente aumenta al pasar a través del ventilador.

**Pérdida de carga en los conductos:** Existen dos componentes de la pérdida global de presión en un tramo de conducto:

- 1) Pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, del diámetro del conducto, de la densidad y viscosidad del aire, y de la rugosidad superficial del conducto. L.F. Moody combinó todos estos factores en un gráfico, mediante el cual si se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, es posible hallar el factor de fricción  $f$ . Una vez determinado ese factor se utiliza en la ecuación de Darcy-Weisbach a fin de determinar la pérdida de carga global en el tramo:

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot PD \quad 2.4$$

Donde:

H: Pérdida de carga en el conducto, mmca.

F: factor de fricción, adimensional.

L: Longitud del tramo, m.

D: Diámetro del conducto, m.

Existen otros trabajos que produjeron ecuaciones útiles para el cálculo de la presión dinámica:

$$h = H_f . L . PD \quad 2.5$$

El valor de  $H_f$  se determino experimentalmente para el flujo de aire Standard en conductos de varios materiales obteniéndose la ecuación de la forma:

$$H_f = \frac{a.V^b}{Q^c} \quad 2.6$$

Esta ecuación proporciona buena exactitud. La constante 'a' y los exponentes 'b' y 'c' de la siguiente tabla en función del material.

Material	$\varepsilon$ (cm)	a	b	c
Aluminio, acero, Acero inoxidable	0.005	0.0162	0.465	0.602
Chapa galvanizada	0.015	0.0155	0.533	0.612
Conducto flexible alma recubierta	0.09	0.0186	0.604	0.639

**Tabla 3: Constantes a, b, c para resolver la ecuación 2.6**

**Fuente: Pneumatic transportation**

- 2) Pérdidas de carga en puntos singulares; los puntos singulares (codos, uniones, etc.) de un conducto también producen perdida de presión total. Estas pérdidas se calculan mediante uno de los siguientes métodos: Método de la presión dinámica y/o el de la longitud equivalente.

### 2.7.7 Generalidades sobre el cálculo de sistemas neumáticos

El procedimiento general de cálculo, para cualquiera de ellos, se resume a continuación:

1. Determinar la velocidad y caudal de aire requerido, tomando como base la cantidad de material a manejar y las propiedades del mismo.
2. Calcular el diámetro de la tubería que garantice el caudal requerido a la velocidad determinada previamente.

Esto se hace partiendo de la expresión:

$$Q = V \times A \quad 2.7$$

Donde

Q: Caudal de aire (pie<sup>3</sup>/min).

V : Velocidad de la corriente (pies/min).

A: Área seccional de la tubería (pie<sup>2</sup>).

Para una tubería circular de diámetro D (pies).

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad 2.8$$

Luego, de 2.7 y 2.8

$$Q = \frac{V \pi D^2}{4} \quad 2.9$$



de donde

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad 2.10$$

El valor así obtenido de D debe ser ajustado a un diámetro comercial, para lo cual se sugiere escoger como diámetro definitivo el valor estándar más cercano.

3. Recalcular la velocidad o el caudal según convenga. En este sentido es necesario considerar el ajuste del diámetro referido anteriormente, con el objeto de garantizar que la velocidad u el caudal de trabajo sean al menos iguales a los determinados en el punto 2. Así, si el diámetro se ajusta por exceso se recalcula el caudal y si por el contrario, el ajuste se hace por defecto, se recalcula la velocidad.
4. Cuando se usen mangueras (sistemas de succión), determinar el diámetro de estas y la velocidad requerida para el levantamiento efectivo del material. Se estima que la velocidad en la manguera debe ser aproximadamente 2.6 veces la velocidad en la línea; como consecuencia de ello y para que se mantenga el caudal, el diámetro debe ser 70% a 80% el diámetro de la tubería.
5. Calcular las Pérdidas de presión en el sistema. En este punto deben identificarse todas las posibles fuentes de fricción con el fin de obtener el mejor estimado, utilizando para ello las formulas que corresponden en cada caso.
6. Calcular la potencia requerida del motor a partir de las Pérdidas totales.
7. Seleccionar el equipo de impulsión.

### **2.7.8 Métodos para el cálculo de pérdidas de presión**

Los métodos presentados a continuación, para fase diluida, son producto de ensayos constantes, sus formulas en su mayoría empíricas no tienen una deducción formal, debido a lo complejo del análisis de transporte de salidos en suspensión. Esta área es análisis en flujo bifásico, cuyos estudios son relativamente nuevos (1560 en adelante), cuya evolución es continua y reciente.

Existen diversos métodos para el cálculo de sistemas de transporte neumático entre los cuales resaltan los siguientes:

- ❑ Método de Max Leva.
- ❑ Método de Hinkle.
- ❑ Método de Fisher.
- ❑ Método de Ingeniería y Ventilación.

### 2.7.8.1 Método de Max-Leva

#### Nomenclatura:

V<sub>aire</sub>: Velocidad del aire en pie/s

$\rho_F$ : Densidad del aire en lbs/ pie<sup>3</sup>

G<sub>f</sub>: Flujo másico de aire (lbs/hr.pie<sup>2</sup> ).

W<sub>n</sub>: Cantidad de Material a transportar (lds/hr).

A<sub>t</sub>: área transversal de la tubería (pie<sup>2</sup> ).

R<sub>M/a</sub> : Relación material – aire.

V<sub>slip</sub>: velocidad relativa.

V<sub>p</sub> : velocidad de la partícula totalmente acelerada (pie/s).

D<sub>p</sub> : Diámetro de la partícula del material (pie).

$\rho_s$ : peso específico del material en (lbs/pie<sup>3</sup>).

$\Delta p_h$  = Caída de presión en la tubería horizontal (lbs/pie<sup>2</sup> )

$g_c$  = Factor de conversión,(lbs masa)(pie)/(lb fuerza/ s<sup>2</sup>).

$f_f$ : Factor de fricción de Moody debido al aire (depende del número de Reynold)

D<sub>t</sub>: Diámetro de la tubería en (Pies).

$f_p$ : factor de fricción debido a la partícula.

L: longitud horizontal de la tubería.

$\rho_F$  : densidad específica del aire.

$\Delta p_V$  : Caída de presión en la tubería vertical (lbs/pie<sup>2</sup>).

L: Longitud vertical de la tubería(pie)

#### Velocidad mínima requerida del aire:

$$V_{aire} = k \frac{\rho_F D_p^n}{\rho_F + 62.3} \quad 2.11$$

Constante	Vertical	Horizontal
k	910	270
n	0.6	0.4

**Tabla 4: Constante k para el cálculo de la velocidad mínima requerida**

**Fuente: pneumatic transportation**

Esta estimación de la velocidad del aire requerida muestra que la velocidad del aire es función del peso específico y el diámetro de la partícula.

Esta formula es valida tanto para tramos verticales como tramos horizontales, y para partículas que se encuentren dentro de un rango de peso especifico menor o igual a 187 lbs/pie<sup>3</sup>

#### **Flujo Másico de Aire:**

$$Gf = \left( \frac{Wn}{At * Rm / a} \right) \quad 2.12$$

#### **Velocidad de la partícula totalmente acelerada:**

$$V_{relativa} = 1.41 \times V_{aire} \times Dp^{0.3, \gamma, 0.5} \quad 2.13$$

Reemplazando  $V_{relativa} = V_{aire} - V_p$ , la diferencia entre la velocidad del gas transportador y la velocidad de la partícula completamente acelerada;  $\gamma$  es la gravedad especifica de el sólido y las otras cantidades son ya conocidas, haciendo la sustitución donde  $V_p$  es la velocidad mínima de equilibrio del sólido, y sí se introduce la densidad del sólido en ves de la gravedad especifica resulta:

$$V_p = V_{aire} \left[ 1 - 1.41 Dp^{0.3} \left( \frac{\rho_s}{62.3} \right)^{0.5} \right] \quad 2.14$$

### Pérdidas de Presión:

Para evaluar la caída de presión debido a la combinación de sólidos y gas en flujo horizontal en conductos circulares Hinkle propone

$$\Delta p_H := \frac{f_f \cdot V_{aire}^2 \cdot \rho_F \cdot L}{2g_c \cdot Dt} \cdot \left( 1 + f_p \cdot \frac{V_p}{f_f \cdot V_{aire}} \right) \quad 2.15$$

Donde  $f_f$  es el factor de fricción de la ecuación de Fannin y  $f_p$  es un flujo sólido factor de fricción prevaleciente bajo la condición de que el flujo esta completamente acelerado

$$f_p := \frac{(3 \cdot \rho_F \cdot Cd \cdot Dt)}{(2 \cdot Dp \cdot \rho_s)} \cdot \left[ \frac{(V_{aire} - V_p)}{V_{aire}} \right]^2 \quad 2.16$$

$Cd$  : es el coeficiente de arrastre y es obtenido de la **Figura 4** de los valores ya conocidos

$$Cd := V_{aire} Dp \cdot \rho_F \cdot \frac{1}{\mu} \quad 2.17$$

$Cd$  esta en función del Reynold modificado

$$Re_m = \frac{Dp \cdot G}{\mu} \quad 2.18$$

Para tramos verticales:

$$\Delta p_V := \frac{f_f \cdot V_{aire}^2 \cdot \rho_F \cdot L}{2 \cdot g_c \cdot Dt} \cdot \left( 1 + \frac{f_p \cdot V_p \cdot R}{f_f \cdot V_{aire}} + 2 \cdot g_c \cdot \frac{Dt \cdot R}{f_f \cdot V_{aire} \cdot V_p} \right) \quad 2.19$$

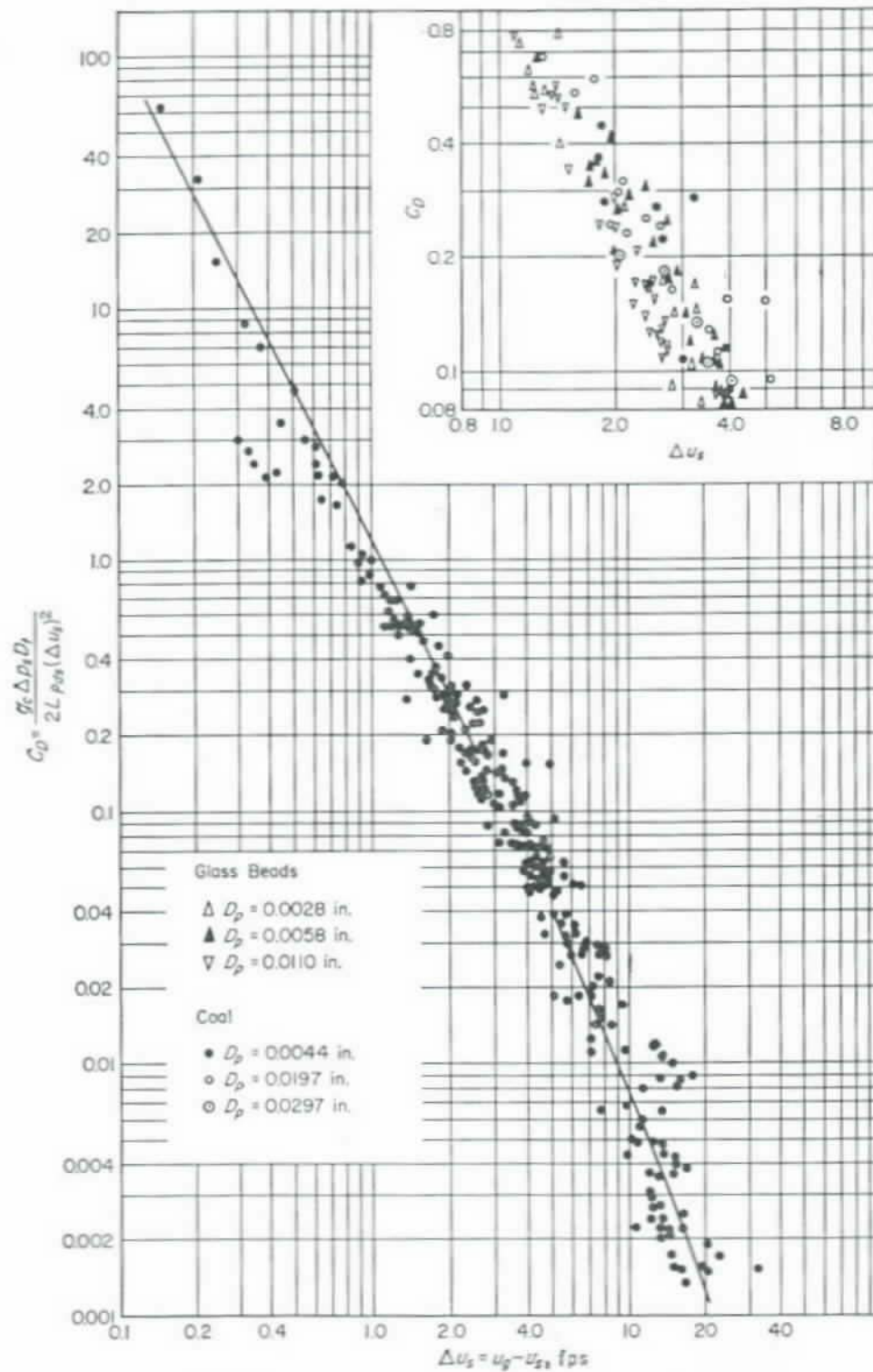


Figura 4: Coeficiente Cd

### 2.7.8.2 Método de Hinkle

**Flujo másico de aire:**

$$W_g = \frac{W_m}{A_t \cdot R_{M/a}} \quad 2.20$$

$W_g$ : Flujo másico de aire (lbs/pie<sup>2</sup>.hr)

$W_m$ : Cantidad de material a transportar (lbs/hr).

$A_t$ : Área de la tubería (pie<sup>2</sup>)

$R_{M/a}$ : Relación material- aire.

**Flujo másico del material:**

$$W = \frac{W_m}{A_t} \quad 2.21$$

$W$ : Flujo másico de material ( Lb/pie<sup>2</sup>).

**Velocidad de la partícula:**

$$V_p = V_{aire} * (1 - 0.179 * D_p^{0.3} * \rho_p) \quad 2.22$$

$V_p$ : Velocidad de la partícula(pie/s).

$V_{aire}$ : Velocidad del aire(pie/s).

$\rho_p$ : Peso específico del material(lbs/pie<sup>3</sup>).

$D_p$ : Diámetro de la partícula del material (pie).

### Caída de presión en la tubería horizontal.

$$\Delta p_h = \frac{V_{aire}^2 \cdot \rho_{aire}}{2 \cdot g} + \frac{W \cdot V_p}{g} + \frac{2 \cdot f \cdot \rho_{aire} \cdot V_{aire}^2 \cdot L_h}{9 \cdot D_t} \left( 1 + \frac{F_p \cdot V_p \cdot W}{f \cdot \rho_{aire} \cdot V_{aire}^2} \right) \quad 2.23$$

$\Delta p_h$ : Caída de presión en Tubería Horizontal( Lbs/pie<sup>2</sup>).

$\rho_g$  : Peso específico del aire (lbs/pie<sup>3</sup>).

$g$ : gravedad(pie/s<sup>2</sup>).

$L_h$ : Longitud de tubería Horizontal(pie)

$D_t$ : Diámetro de tubería(pie).

$F$ : Factor de fricción convencional en tubería de ventilación ( basado en el número de Reynold).

$$Re = \frac{D_t \cdot V_{aire} \cdot \rho_{aire}}{\mu_{aire}} \quad 2.24$$

Con este número de Reynold se calcula el factor de fricción.

$$F_d = \frac{3 \cdot \rho_{aire} \cdot C_d \cdot D_t}{2 \cdot \rho_{particula} \cdot D_p} \left( \frac{(V_{aire} - V_p)^2}{V_p} \right) \quad 2.25$$

$F_p$ : Factor de partículas esféricas.

Nota:  $D_p$  debe ser corregido para partículas no esféricas y  $C_d$  debe ser asumido por valores recomendados.



**Caída de presión en tuberías verticales**

$$\Delta p_v = \frac{2.f.\rho_{\text{aire}}.L_v.V_{\text{aire}}^2}{D_t.g} \left( 1 + \frac{F_p.V_p.R_{M/a}}{f.V_{\text{aire}}} \right) + \frac{W.L_v}{V_p} \quad 2.26$$

$\Delta p_v$  : Caída de presión en la tubería vertical (lbs/pie<sup>2</sup>).

$L_v$ : Longitud vertical (pie).

**Caída de presión total**

$$\Delta p_t = \Delta p_h + \Delta p_v \quad 2.27$$

$\Delta p_t$  = Caída de presión total (lbs/Pie<sup>2</sup>).

### 2.7.8.3 Método de Ingeniería de Ventilación

#### Velocidad de flotación

$$V_f = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \gamma_m \cdot V_m}{F_d \cdot \gamma_a \cdot A_m}} \quad 2.28$$

$V_f$ : Velocidad entre el aire y el material en el ducto vertical.

$g$  : Aceleración de gravedad

$\gamma_m$  : peso específico del Material (lbs/pie<sup>3</sup>).

$V_m$  Volumen promedio de la partícula del material (pie<sup>3</sup>).

$F_d$ : coeficiente promedio de arrastre de la partícula del material ( adimensional).

$\gamma_{aire}$  : Peso específico del aire (lbs/pie<sup>3</sup>).

$A_m$ : Área proyectada promedio de la partícula del material (pie<sup>2</sup>).

Nota: Es importante notar que el cálculo de la velocidad entre el aire y el material influye el peso específico, el tamaño y forma de la partícula del material.

#### Fuerza de Arrastre

$$F_a := \frac{F_d \cdot \rho_a \cdot V_f^2 \cdot A_p}{2} \quad 2.29$$

$F_a$ : Fuerza de arrastre.

$F_d$ : Coeficiente de arrastre.

$\rho_a$  : Peso específico del fluido (lbs/pie<sup>3</sup>).

$V_f$ : Velocidad del fluido (aire) (pie/min).

$A_p$ : Área proyectada de la partícula (pie<sup>2</sup>).

### Fuerza de gravedad:

$$F_g = V_p \cdot \rho_m \cdot g \quad 2.30$$

$F_g$ : Fuerza de Gravedad (lbs.pie/s<sup>2</sup>).

$V_p$ : Volumen de la partícula (pie<sup>3</sup>).

$\rho_m$ : Peso de la partícula (lbs/ pie<sup>3</sup>).

$g$ : Gravedad (32.1 pie/ s<sup>2</sup>).

Igualando la fuerza de arrastre con la fuerza de gravedad.

$$V_f = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \rho_m \cdot V_p}{F_d \cdot \rho_a \cdot A_p}} \quad 2.31$$

$V_f$ : velocidad que debería tener el fluido de trabajo para que la partícula se mantenga flotando (pie/s).

### Velocidad relativa

$$V_r = V_f(0.18 + 0.65 \times 10^{-4} V) \quad 2.32$$

$V_r$ : Velocidad entre el aire y el material en el tramo horizontal (pie/min).

### Velocidad Media del Material

#### Tramo Horizontal

$$V_{mh} = V - V_r \quad 2.33$$

#### Tramo Vertical

$$V_{mv} = V - V_f \quad 2.34$$

Nota: La velocidad del material debe ser lo suficientemente alta para evitar el amontonamiento o minimizarlo.

### Cantidad de Aire

$$W_a = \rho_a \cdot V \cdot A \quad 2.35$$

W<sub>a</sub>: Cantidad de aire (lbs/hr)

V: Velocidad del aire.

A: Área transversal de la tubería.

### Relación Material- Aire

$$R_{M/a} = \frac{W_m}{W_a} \quad 2.36$$

W<sub>m</sub>: Cantidad de material (lbs/hr).

W<sub>a</sub>: Cantidad de aire (lbs/hr).

### Pérdidas de presión

#### Por Elevación de Material

$$T_{p1} = R_{M/a} \cdot \left( \frac{L}{69.4} \right) \quad 2.37$$

T<sub>p1</sub> (pulg de H<sub>2</sub>O)

#### En tramo Horizontal

$$T_{ph} = \frac{R_{M/a} \cdot H \cdot F_d}{69.4} \quad 2.38$$

T<sub>ph</sub> (pulg de H<sub>2</sub>O)

#### Por aceleración del material

$$T_{pa} = R_{M/a} \cdot V_p \quad \text{en donde } V_p = \frac{V_m^2}{2 \cdot g \cdot 69.4} \quad 2.39$$

T<sub>pa</sub>: (pulg de H<sub>2</sub>O)

V<sub>p</sub>: Velocidad de presión

Estas Pérdidas son ocasionadas cada vez que el material deba ser acelerado nuevamente hasta la velocidad correspondiente de transporte.

### **Pérdidas en los codos**

$$Tp90^0 = \pi.Fd.Vp.R_{M/a} \quad 2.40$$

En este caso

$$Vp = \frac{Vmp^2}{2.g.69,4} \quad 2.41$$

Vmp: es la velocidad promedio del material en los codos. Para codos de  $90^0$ , la velocidad del material disminuye en un 20% según experiencias recomendadas por la práctica.

### **Pérdidas en un ciclón**

$$Tpc = F.Vp \quad 2.42$$

F: Factor de diseño del ciclón en base a las dimensiones del ciclón diseñado

### **Pérdidas por fricción del aire**

Estas Pérdidas se calculan empleando gráficos de fricción para el aire(anexo).

V: (pie/min).

D : (pulg).

Tpf : (pulg de H<sub>2</sub>O)

**Pérdidas Totales**

$$P_t = T_{p1} + T_{ph} + T_{pa} + T_{p90^0} + T_{pc} + T_{pf} \quad 2.43$$

**Potencia del Ventilador**

$$BHP = \frac{Q \cdot P_t}{6356 \cdot \eta} \quad 2.44$$

Q: Caudal de aire (pie<sup>3</sup>/min).

$\eta$ : Eficiencia mecánica

P<sub>t</sub>: Pérdidas totales (pulg de H<sub>2</sub>O).

#### 2.7.8.4 Método de John Fisher

##### Pérdidas por Aceleración

Son las Pérdidas producidas por la aceleración de la partícula de material que se trasladan, desde una velocidad nula hasta su velocidad de transporte.

Estas Pérdidas se rigen por la ecuación:

$$Pa = \left( \frac{F.V_t^2}{Q.1205568} \right) \quad 2.45$$

F: Cantidad de material transportar (lb/min).

Vt: Velocidad de transporte (pie/min).

Q: Caudal de aire (pie<sup>3</sup>/min).

##### Pérdidas por Fricción

$$Pf = \frac{f.Leq}{100} \quad 2.46$$

f: Factor de fricción de la tubería por cada 100 pies de longitud( f se obtiene del anexo) o mediante la ecuación:

$$f = \frac{2,74 \left( \frac{V_{aire}}{1000} \right)^{1,9}}{(\phi_{tuberia})^{1,22}} \quad 2.47$$

##### Pérdidas por fricción en los codos

El cálculo de las Pérdidas por codo es similar a las Pérdidas por fricción en la tubería. Se determina en una tabla(anexo) cual es la longitud equivalente que representa, dependiendo de su relación (R/D) y los grados de desviación, con el factor de fricción

correspondiente al diámetro y velocidad de transporte del codo, se calcula las pérdidas utilizando la ecuación 2.72.

### **Pérdidas por cambio de dirección.**

Estas Pérdidas son las significativas en el cálculo de las Pérdidas de presión, ya que estas aportan altas caídas de presión al sistema. Fischer supone que el coeficiente de fricción es igual a 1 en los codos (valor muy conservador).

$$P_{cd} = \frac{f \cdot \pi \cdot N_{\text{codos}}^o \cdot V_t^2}{Q \cdot 1205568} \quad 2.48$$

### **Pérdidas por presión de Velocidad**

Son producidas por cambios de velocidad en las tuberías

$$P_v = \left( \frac{V_t}{4005} \right)^2 \quad 2.49$$

### **Pérdidas por Expansiones (Manyfold).**

Este tipo de Pérdidas, se calcula utilizando tablas( anexo). Estas tablas indican cual es la longitud equivalente que representa la expansión, la unión o el manyfold.

Esta longitud equivalente depende del tipo de cambio de diámetro y ángulo que se estas utilizando.

$$P_{fu} = \frac{F \cdot (H + L)}{5,2 \cdot Q} \quad 2.50$$

F: Cantidad de material (lbs/min).

H: Longitud horizontal de la tubería (pie).

L: Longitud vertical de la tubería (pie).

Q: Caudal de aire (pie<sup>3</sup>/min).



### **Pérdidas por el colector de polvo**

Para estas Pérdidas los fabricantes de los equipos recomiendan que se tomen 3 pulg a 6 pulg de agua para los filtros de manga y de 3 a 10 pulg de agua para los ciclones.

Para la esclusa el usuario debe utilizar tablas. También es necesario el uso de filtros de aire a la entrada de la tubería, para asegurar que el aire del sistema es limpio. Para estos filtros las Pérdidas son muy bajas y se deben colocar según lo recomiende el fabricante.

### **Pérdidas totales**

$$P_{\text{totales}} = P_a + P_{fc} + P_{cd} + P_v + P_{fu} + P_t + P_{\text{ciclón}} + P_{\text{filtros}} \quad 2.51$$

## 2.8 AUTOMATIZACIÓN

### 2.8.1 Principio de un sistema automático

Todo sistema automático por simple que este sea se basa en el concepto de bucle o lazo, tal y como se representa en la Figura 5.

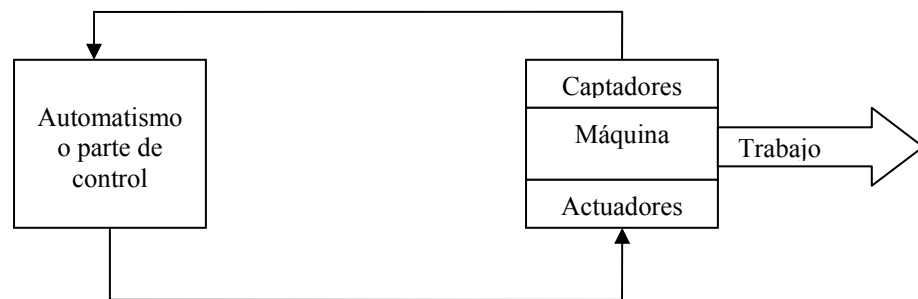


Figura 5: Bucle de un sistema automático

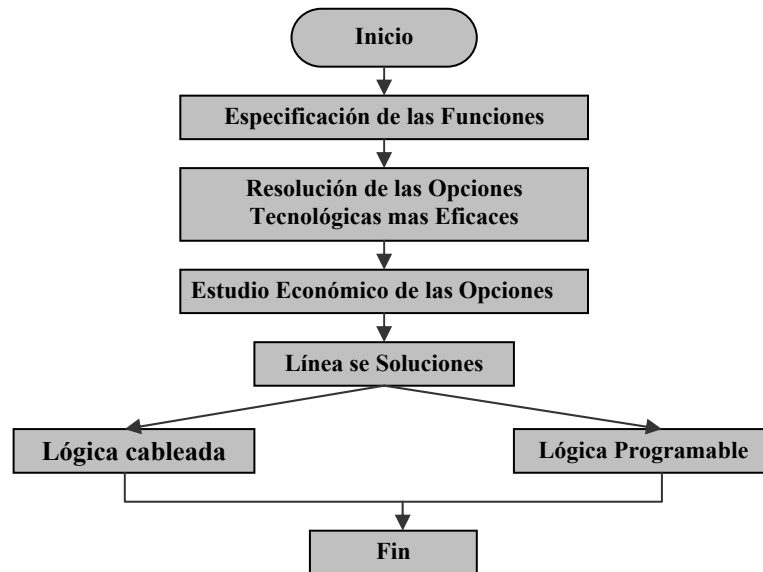
#### 2.8.1.1 Fases de estudio en la elaboración de un automatismo

Para el desarrollo y elaboración correcta de un automatismo, por el técnico o equipo encargado de ello, es necesario conocer previamente los datos siguientes:

- Las especificaciones técnicas del sistema o proceso a automatizar y su correcta interpretación.
- La parte económica asignada para no caer en el error de elaborar una buena opción desde el punto de vista técnico, pero inviable económicamente.
- Los materiales, aparatos, etc., existentes en el mercado que se van a utilizar para diseñar el automatismo. En este apartado es importante conocer también:
  - Calidad de la información técnica de los equipos.
  - Disponibilidad y rapidez en cuanto a recambios y asistencia técnica.

El organigrama de la **Figura 6** representa el procedimiento general o fases mas utilizado para el estudio de los automatismos. A continuación se va a estudiar cada uno de los apartados descritos:

- a) **Estudio previo:** Es importante antes de acometer cualquier estudio medianamente serio de un automatismo el conocer con el mayor detalle posible las características, el funcionamiento, las distintas funciones, etc., de la maquina o proceso a automatizar; esto lo obtenemos de las especificaciones funcionales, esta es la base mínima a partir de la cual podremos iniciar el siguiente paso, es decir, estudiar cuales son los elementos mas idóneos para la construcción del automatismo.
- b) **Estudio técnico económico:** Es la parte técnica de especificaciones del automatismo: relación de materiales, aparatos, su adaptación al sistema y al entorno en el que se haya inscrito, etc. También aquí se ha de valorar la parte operativa del comportamiento del automatismo en todos sus aspectos, como mantenimiento, fiabilidad, etcétera. Es obvio que la valoración económica, que será función directa de las prestaciones del mismo, ha de quedar incluida en esta parte del estudio.
- c) **Decisión final:** En el apartado anterior se han debido estudiar las dos posibilidades u opciones tecnológicas generales posibles: lógica cableada y lógica programada. Con esta información y previa elaboración de los parámetros que se consideren necesarios tener en cuenta, se procede al análisis del problema.



**Figura 6: Organigrama general para el estudio y elaboración de automatismos**

Los parámetros que se deben valorar para una decisión correcta pueden ser muchos y variados, algunos de los cuales serán específicos en función del problema concreto que se va a resolver, pero otros serán comunes, tales como los siguientes:

- Ventajas e inconvenientes que se le asignan a cada opción en relación a su fiabilidad, vida media y mantenimiento.
- Posibilidades de ampliación y de aprovechamiento de lo existente en cada caso.
- Posibilidades económicas y rentabilidad de la inversión realizada en cada opción.
- Ahorro desde el punto de vista de necesidades para su manejo y mantenimiento.

Una vez realizado este análisis solo queda adoptar la solución final elegida.

### 2.8.1.2 Opciones tecnológicas

La **tabla 5** nos muestra las opciones tecnológicas posibles derivadas de las dos generales: lógica cableada y lógica programada.

<b>Tipo</b>	<b>Familia Tecnológica</b>	<b>Subfamilias Específicas</b>	
Lógica Cableada	Eléctrica	Relés Electroneumáticos	
		Electroneumática	
		Electrohidráulica	
	Electrónica	Electrónica Estática	
Lógica Programable	Electrónica	Sistemas Informáticos	Microprocesadores
			Miniordenadores
		Microsistemas universales específicos	
		Autómatas Programables	

**Tabla 5: Opciones tecnológicas generales**

## 2.8.2 Autómatas Programables

### 2.8.2.1 Definición

Se entiende por Controlador Lógico Programable (PLC), o Autómata Programable, a toda maquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en media industrial procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizada

por personal eléctrico a electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.

También se le puede definir coma una "caja negra" en la que existen unos terminales de entrada a los que se conectaran pulsadores, finales de carrera, fotocélulas,

detectores, etc.; unos terminales de salida a los que se conectarán bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, etc., de tal forma que la actuación de estos últimos está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

Esto quiere decir que los elementos tradicionales como Relés auxiliares, Relés de enclavamiento, temporizadores, contadores..., son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el "programa", que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida.

#### **2.8.2.2 Antecedentes e historia**

El desafío constante que toda industria tiene planteado para ser competitiva ha sido el motor impulsor del desarrollo de nuevas tecnologías para conseguir una mayor productividad.

Debido a que ciertas etapas en los procesos de fabricación se realizan en ambientes nocivos para la salud, con gases tóxicos, ruidos, temperaturas extremadamente altas o bajas, etcétera, unido a consideraciones de productividad, llevo a pensar en la posibilidad de dejar ciertas tareas tediosas, repetitivas y peligrosas a un ente al que no pudieran afectarle las condiciones ambientales adversas: habla nacido la máquina y con ella la automatización.

Surgieron empresas dedicadas al desarrollo de los elementos que hicieran posible tal automatización; debido a que las máquinas eran diferentes y diferentes las maniobras a realizar, se hizo necesario crear unos elementos estándar que, mediante la combinación de los mismos, el usuario pudiera realizar la secuencia de movimientos deseada para solucionar su problema de aplicación particular.

Relés, temporizadores, contadores..., fueron y son los elementos con que se cuenta para realizar el control de cualquier máquina. Debido a la constante mejora de la calidad de estos elementos y a la demanda del mercado, que exigía mayor y mejor calidad en la producción, se fue incrementando el número de etapas en los procesos de fabricación controlados de forma automática.

Comenzaron a aparecer problemas: los armarios de maniobra o cajas en donde se coloca el conjunto de relés, temporizadores, etc., constitutivos de un control, se hacían cada vez más y más grandes, la probabilidad de avería era enorme, su localización, larga y complicada, el stock que el usuario se veía obligado a soportar era numeroso, y el costo del mismo se incrementaba cada vez mas.

El desarrollo tecnológico que trajeron los semiconductores primero y los circuitos integrados después intentaron resolver el problema sustituyendo las funciones realizadas mediante relés por funciones realizadas con puertas lógicas.

Con estos nuevos elementos se ganó en fiabilidad y se redujo el problema del espacio, pero no así la detección de averías ni el problema del mantenimiento de un stock. De todas maneras, subsistía un problema: la falta de flexibilidad de los sistemas.

Debido a las constantes modificaciones que las industrias se veían obligadas a realizar en sus instalaciones para la mejora de la productividad, los armarios de maniobra tenían que ser cambiados, con la consiguiente pérdida de tiempo y el aumento del costo que ello producía.

En 1968, Ford y General Motors impusieron a sus proveedores de automatismos unas especificaciones para la realización de un sistema de control electrónico para máquinas transfer. Este equipo debía ser fácilmente programable, sin recurrir a los computadores industriales ya en servicio en la industria.

A medio camino entre estos microcomputadores y la lógica cableada aparecen los primeros modelos de Autómatas, también llamados controladores lógicos programables (PLC). Limitados originalmente a los tratamientos de lógica secuencial, los Autómatas se desarrollaron rápidamente, y actualmente extienden sus aplicaciones al conjunto de sistemas de control de procesos y de máquinas.

### **2.8.2.3 Campos de aplicación**

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamental mente en aquellas instalaciones en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo al de transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.



Ejemplos de aplicaciones generales podrían ser los siguientes:

a) Maniobra de máquinas

- Maquinaria industrial del mueble y madera.
- Maquinaria en procesos de grava, arena y cemento.
- Maquinaria en la industria del plástico.
- Maquinas herramientas complejas.
- Maquinaria en procesos textiles y de confección.
- Maquinaria de ensamblaje.
- Maquinas transfer.

b) Maniobra de instalaciones

- Instalaciones de aire acondicionado, calefacción, etc.
- Instalaciones de seguridad.
- Instalaciones de frío industrial.
- Instalaciones de almacenamiento y trasvase de cereales.
- Instalaciones de plantas embotelladoras.
- Instalaciones en la industria de automatización.
- Instalaciones de tratamientos térmicos.
- Instalaciones de plantas depuradoras de residuos.
- Instalaciones de cerámica.

c) Señalización y control

- Chequeo de programas.
- Señalización del estado de procesos.

#### **2.8.2.4 Ventajas y desventajas del PLC**

No todos los Autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica tableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y a las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones nos obligan a referirnos a las ventajas que proporciona un Autómata de tipo medio.

##### **2.8.2.4.1 Ventajas del PLC**

Las condiciones favorables que presenta un PLC son las siguientes:

- 1) Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
  - No es necesario dibujar el esquema de contactos.
  - No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
  - La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.
- 2) Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- 3) Mínimo espacio de ocupación.
- 4) Menor costo de mano de obra de la instalación.

- 5) Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos Autómatas pueden detectar e indicar averías.
- 6) Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo Autómata.
- 7) Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- 8) Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el Autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

#### **2.8.2.4.2 Desventajas del PLC**

Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido.

Pero hay otro factor importante, como el costo inicial, que puede o no ser un inconveniente, según las características del automatismo en cuestión. Dado que el PLC cubre ventajosamente un amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador, es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su amplitud como en sus limitaciones. Por tanto, aunque el coste inicial debe ser tenido en cuenta a la hora de decidimos por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurarnos una decisión acertada.

#### **2.8.3 Control de motores**

El circuito de control de motores, consta básicamente de los siguientes elementos:

- A) Elemento de desconexión manual.
- B) Los alimentadores.
- C) El arrancador (Formado por dos contactores).

D) Relé de protección térmica.

E) El motor eléctrico.

#### **2.8.4 Relés de protección**

Actúa sobre el mecanismo de protección del Relé, en el momento en que detecta una sobre-corriente (sobre-carga o corto-circuito) en el circuito que protege.

La protección de los circuitos se efectúa dependiendo del tipo de acción del disparo del Relé, la cual puede ser:

■ **Térmica**

■ **Magnética**

■ **Termo magnética**

■ **Estado Sólido**

La Térmica Se trata de una protección contra sobrecargas, se obtiene a base del empleo de un dispositivo bimetalico. Si ocurre una sobrecarga, este sufrirá una deflexión, activando el mecanismo de operación. La desviación del bimetálico ocurre debido al calor (pérdidas) que se genera al paso de la corriente a través de las piezas metálicas del bimetálico. El dispositivo actúa más rápidamente cuanto mayor sea la sobrecarga.

#### **2.8.5 Elección de los elementos de control para motores**

La elección de los dispositivos mencionados se hace en función de la capacidad de corriente y el valor de protección señalado por el Código Eléctrico Nacional de la siguiente manera:

##### **2.8.5.1 Corriente Nominal**

La corriente nominal del circuito, se determina en función de:

- ✓ Dato de placa del motor.
- ✓ Potencial del motor y Tensión del motor

#### 2.8.5.2 Elemento de desconexión manual

- **Interruptor seccionador o cuchilla con fusibles**

$$I \geq 1.25 * I_n$$

- **Protección de corto-circuito (Fusibles)**

Tipo (gl) de acción rápida  $I \geq 3 * I_n$

Tipo (aM) de acción lenta  $I \geq 1.5 * I_n$ .

Podrán ser empleados el interruptor seccionador o cuchilla y los fusibles por interruptores automáticos, teniendo presente:

- **Interruptor de tiempo inverso (Termo magnético)**

Corriente de ajuste de interruptor  $I \geq 2.5 I_n$ .

- **Interruptor de acción instantánea (Magnético)**

Corriente de ajuste del Interruptor.  $I \geq 7 I_n$ .

#### 2.8.5.3 Alimentadores

Los cables deberán dimensionarse en función del tipo de aislamiento y por cualquiera de los tres métodos siguientes:

- Por densidad de corriente
- Por caída de tensión (AV %).
- Por cálculo de corto- circuito.

#### 2.8.5.4 Arrancador

El arrancador deberá elegirse en forma directa mediante las tablas técnicas correspondientes:

**NORMAS NEMA:**

Tensión y Pot. (HP) del contactor  $\geq$  Tensión y Pot. (HP) del motor.

**NORMAS I.E.C.**

Tensión y corriente del contactor  $\geq$  Tensión y corriente del motor.

**2.8.5.5 Relé de protección tipo térmico**

El Relé de térmico deberá ajustarse de acuerdo con las normas del código Eléctrico Nacional del la siguiente manera:

- ✓ Motores con factor de servicio = 1,0:  $I_{\text{Relé}} = (1 - 1,15) I_n$ .
- ✓ Motores con factor de servicio = 1,15:  $I_{\text{Relé}} = (1-1,25) I_n$ .

**2.8.5.6 Motor eléctrico**

El motor eléctrico trifásico estará conectado internamente, el bobinado del estator en estrella o triangulo, de acuerdo a la tensión de la fuente de alimentación.

**2.9 METODOLOGÍA DE DISEÑO****2.9.1 Tormenta de ideas**

Este método fue ideado por Alex Osborn (Milani, 1978) y consiste en reunir un grupo para trabajar sobre un problema. El grupo debe trabajar sobre las siguientes reglas:

- No se permite ninguna evaluación o juicio sobre las ideas, de no ser así se corre el riesgo de que cada participante se enfoque en defender su idea en vez de buscar nuevas ideas.
- Debe buscarse un gran número de ideas porque esto ayudará a evitar evaluarlas

internamente y porque cantidad, en este caso genera calidad.

- Debe promoverse entre los miembros del grupo, que construyan o modifiquen las ideas de otros, porque esto generalmente desemboca en ideas superiores a las iniciales.

### **2.9.2 Análisis Morfológico**

Consiste en seleccionar los parámetros más importantes del problema luego buscar la mayor cantidad de alternativas para cada parámetro.

A continuación se explicarán los parámetros seleccionados para evaluar diferentes posibles soluciones obtenidas en la tormenta de ideas.

Para elegir la opción más favorable dentro de nuestro estudio, es necesario tomar en cuenta aquellas variables y detalles del diseño en cuestión, para lo que realizará una ponderación de los parámetros según su importancia.

#### **2.9.2.1 Parámetros de Selección para las Opciones**

Los parámetros para la selección para las opciones son el punto de partida para la elección final del diseño, por lo que deben ser bien definidos para evitar confusiones de conceptos en el momento de la evaluación. Estos parámetros se detallan a continuación.

##### **➤ Costo del Mantenimiento Preventivo.**

Son los costos de un mantenimiento que consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados (estadísticamente) de tiempo o según eventos regulares (horas de servicio, número de piezas producidas, kilómetros recorridos, vacaciones del personal). Su objetivo es reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una máquina o instalación tratando de planificar unas intervenciones que se ajusten al máximo a la vida útil del elemento intervenido. En ocasiones resulta muy costoso en la medida en que no hay una

planificación adecuada y se hacen paradas innecesarias con aumento en el costo de repuestos, mano de obra, cambios de lubricantes, pérdidas de energía.

➤ **Costo del Mantenimiento Correctivo.**

Costos del mantenimiento efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. Es un mantenimiento de crisis porque se paraliza todo el proceso productivo por una falla imprevista y convierte al personal en "bomberos" que deben estar listos a apagar cualquier incendio. Es muy costoso para la empresa.

➤ **Costo del Mantenimiento Predictivo.**

Se basa en el conocimiento del estado o condición operativa de una máquina o instalación. La medición de ciertos parámetros (vibración, ruido, temperatura, esfuerzos internos) permite programar la intervención del elemento justo antes de que la falla llegue a producirse, eliminando así la incertidumbre. Existen varias técnicas de mantenimiento predictivo que nos dan información sobre la máquina funcionando: análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceites, ultrasonido (ensayos no destructivos), etc.

➤ **Frecuencia del Mantenimiento.**

La frecuencia de mantenimiento esta directamente ligada con el tipo de equipo utilizado en alguna máquina, esto nos dice que si tenemos equipos rotativos, se le realizará un mantenimiento según un plan, más frecuente que en una maquinaria con gran parte de equipos estáticos. Se debe tener en cuenta este tipo de configuraciones a la hora de generar un plan de mantenimiento para el equipo diseñado, es importante saber en ese plan cada cuanto tiempo se debe realizar un mantenimiento.



➤ **Facilidad del Mantenimiento.**

Se debe tomar en cuenta un parámetro importante el cual es diseñar un equipo basado en la ergonomía y comodidad de los operarios y trabajadores presentes en el proceso que este realiza, tal que no debe perturbar el proceso productivo, ni debe incomodar a los trabajadores al operar la máquina o circular cerca de ella.

➤ **Eficiencia del Sistema de Elevación y Estructura.**

La eficiencia será tomada en cuenta según el sistema sea capaz de elevar y descender la Tamizadora. Otro punto importante en la eficiencia será la estabilidad que presente el diseño final ya en funcionamiento. Además hay que tomar en cuenta el ruido generado por este sistema para que no sobrepase los límites establecidos (Ver Norma COVENIN 1565-1995: Ruido Ocupacional. Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación).

➤ **Costo del Sistema de Elevación y Estructura.**

Son los costos referentes a los equipos eléctricos, mecánicos o neumáticos necesarios para la funcionabilidad del sistema, además de los elementos estáticos tales como las vigas o columnas.

➤ **Seguridad.**

La seguridad del sistema esta enfocada en evitar una falla cuando éste se encuentra en funcionamiento. Esta seguridad implica que todo lo cercano al sistema no debe estar en riesgo, lo que involucra tanto al personal como a las máquinas adyacentes, esto acarrearía pérdidas de tiempo. Además la seguridad comprende evitar accidentes, tomando en cuenta el contacto entre el sistema y el personal operativo.

➤ **Ergonomía.**

La ergonomía se encarga de optimizar los sistemas hombre-máquina buscando la adaptación de la máquina al hombre, preservando a este en su salud. Este aspecto supone la facilidad de desplazamiento de los trabajadores al momento en que la máquina se encuentre inoperante.

➤ **Facilidad de la adquisición de los componentes (Procura).**

En el momento de realización y concepción de un diseño se debe considerar los elementos que van a constituir dicho sistema o máquina, ya que los elementos seleccionados deben ser comercialmente accesibles, para no elevar el costo de construcción al tener que adquirir los elementos en otra parte del país o fuera de él.

➤ **Versatilidad.**

Representa cuan adaptable a cambios futuros en el proceso es un sistema, y cuan moldeable es el mismo.

➤ **Innovación.**

Consiste en la aplicación de una idea. Se trata de un hecho comercial y social que crea riquezas y no conocimientos. Este ítem implica alterar las cosas introduciendo novedades, aspecto importante al momento de desarrollar cualquier diseño. La innovación representa cuan diferente a lo estándar es un proyecto.

### **2.9.3 Matriz Morfológica**

En el diseño a realizar se han tomado en consideración distintas ideas o posibles soluciones al problema. Las ideas tomadas Estas ideas son estudiadas basándonos en los parámetros seleccionados ponderando con un porcentaje la importancia otorgada al

parámetro en este diseño, por ejemplo enfocando principalmente nuestro trabajo en una mejora en la seguridad del sistema, se otorga un 15% de importancia únicamente a la seguridad que debe brindar el sistema y así se realiza una ponderación a todos los parámetros antes mencionados.

#### **2.9.4 Estudio de Factibilidad**

Estos estudios no son otra cosa que desarrollar proyectos hasta la fase de propuesta con el fin de tomar una decisión sobre la conveniencia de llevarlos a la práctica.

En el estudio de factibilidad deberían considerarse entre otros los siguientes aspectos:

##### **Factibilidad Técnica:**

- a) El sistema no contraviene ninguna de las leyes de la ciencia (Leyes de Newton, Leyes de la termodinámica, principio de la conservación de la energía, etc.)
- b) No hay incompatibilidad entre los componentes del sistema (por ejemplo la presencia de motores eléctricos puede influir negativamente en sistemas de control electrónico).
- c) Los componentes del sistema existen y no están por inventarse o desarrollarse.

**Factibilidad Económica:**

- a) Las piezas a componentes pueden ser fabricados a niveles competitivos.
- b) Las materias primas a componentes se consiguen con facilidad, sin peligros de suspensión del suministro.
- c) Las características, precio y costos del sistema lo hacen competitivo con otros similares en el mercado.

## CAPÍTULO III: MODELADO AUTOCAD 3D

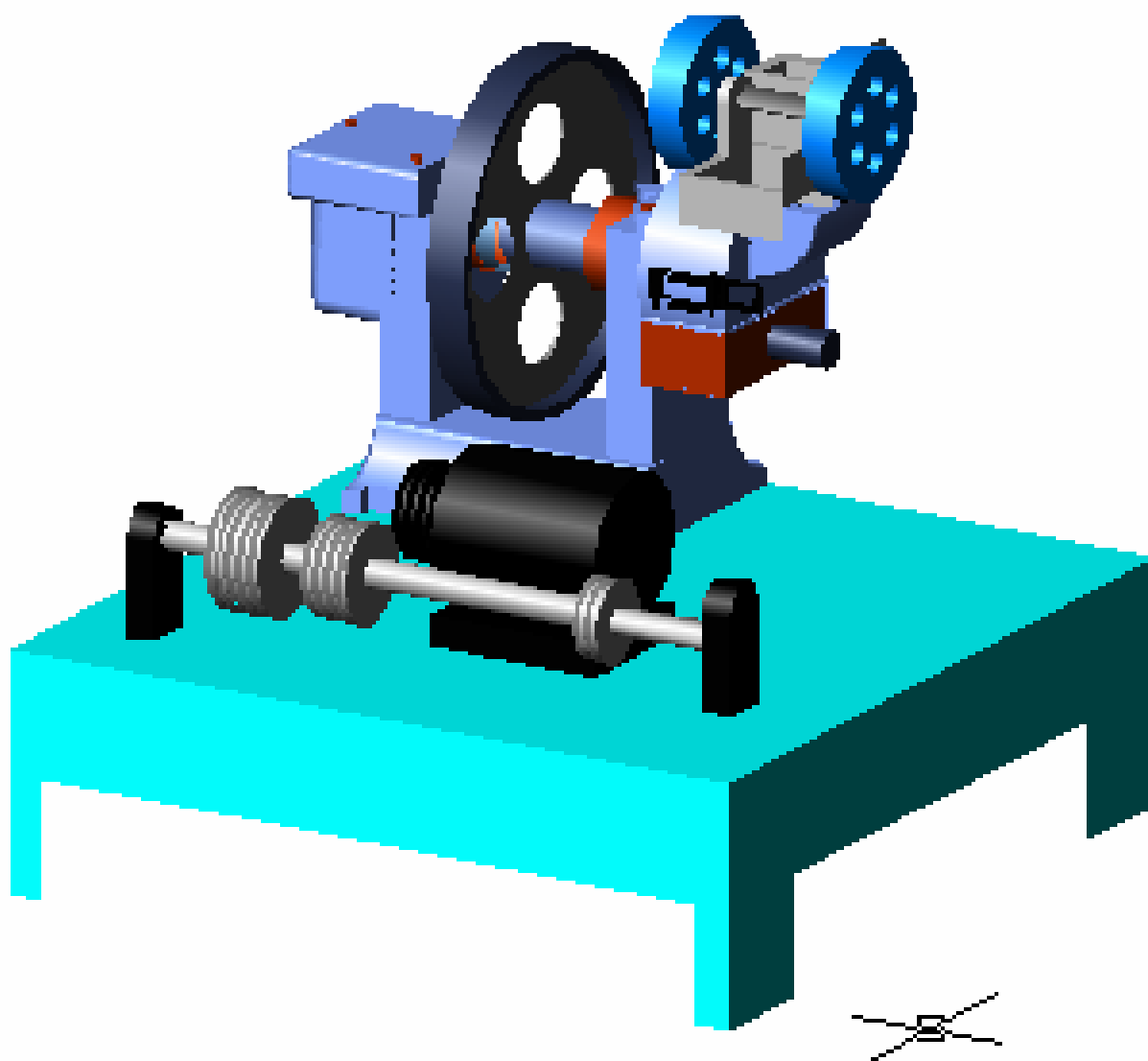
En esta parte se realizaron las mediciones de las dimensiones de cada uno de los componentes de las maquinas, para hacer un perfil esquemático, en tres dimensiones, bajo un programa de modelado tridimensional de máquinas.

Para aprender a utilizar Autocad 3D, requerimos de la siguiente bibliografía:

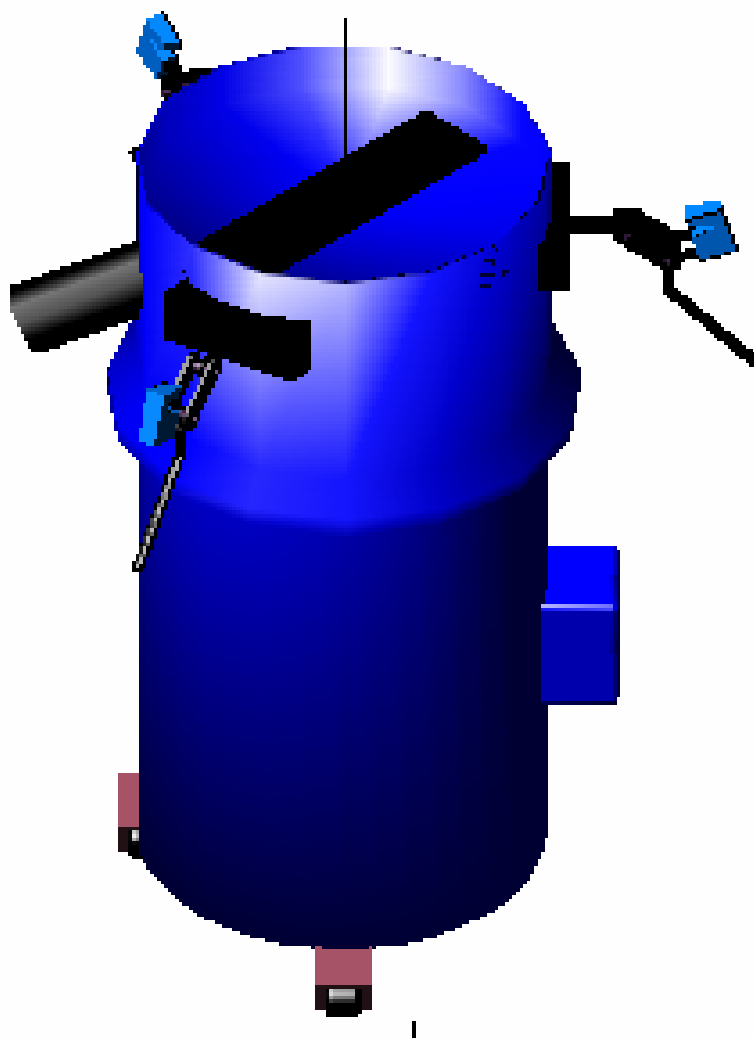
- ❑ Libro de conceptos básicos.
- ❑ Libro de Modelado en 3D.

Las máquinas modeladas son:

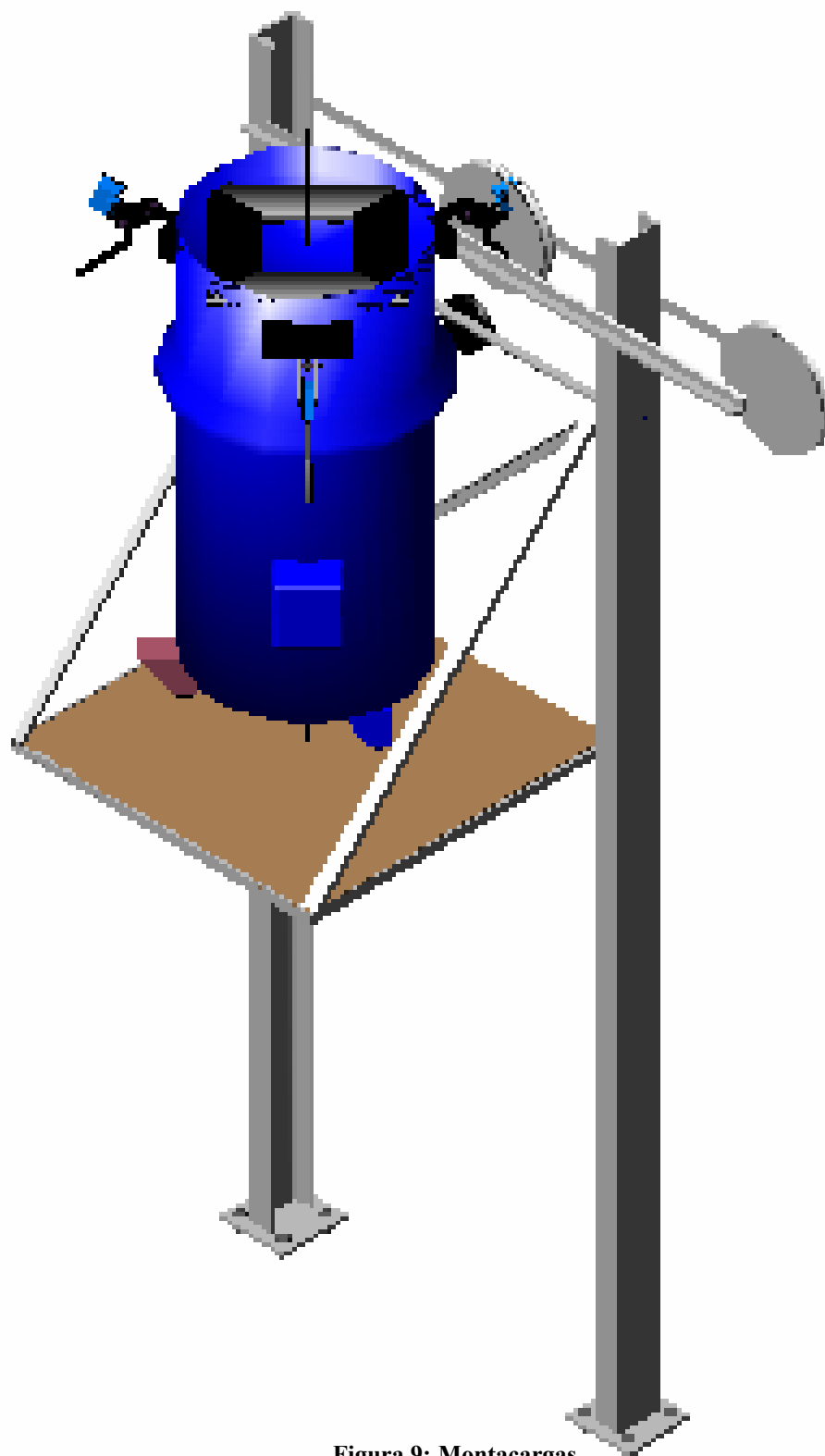
- ❑ Sistema de trituración. (**Figura 7**)
- ❑ Tamizadora. (**Figura 8**)
- ❑ Montacargas. (**Figura 9**)
- ❑ La mesa de Wilfley. (**Figura 10**)
- ❑ Conjunto. (**Figura 11**)



**Figura 7: Sistema de trituración.**

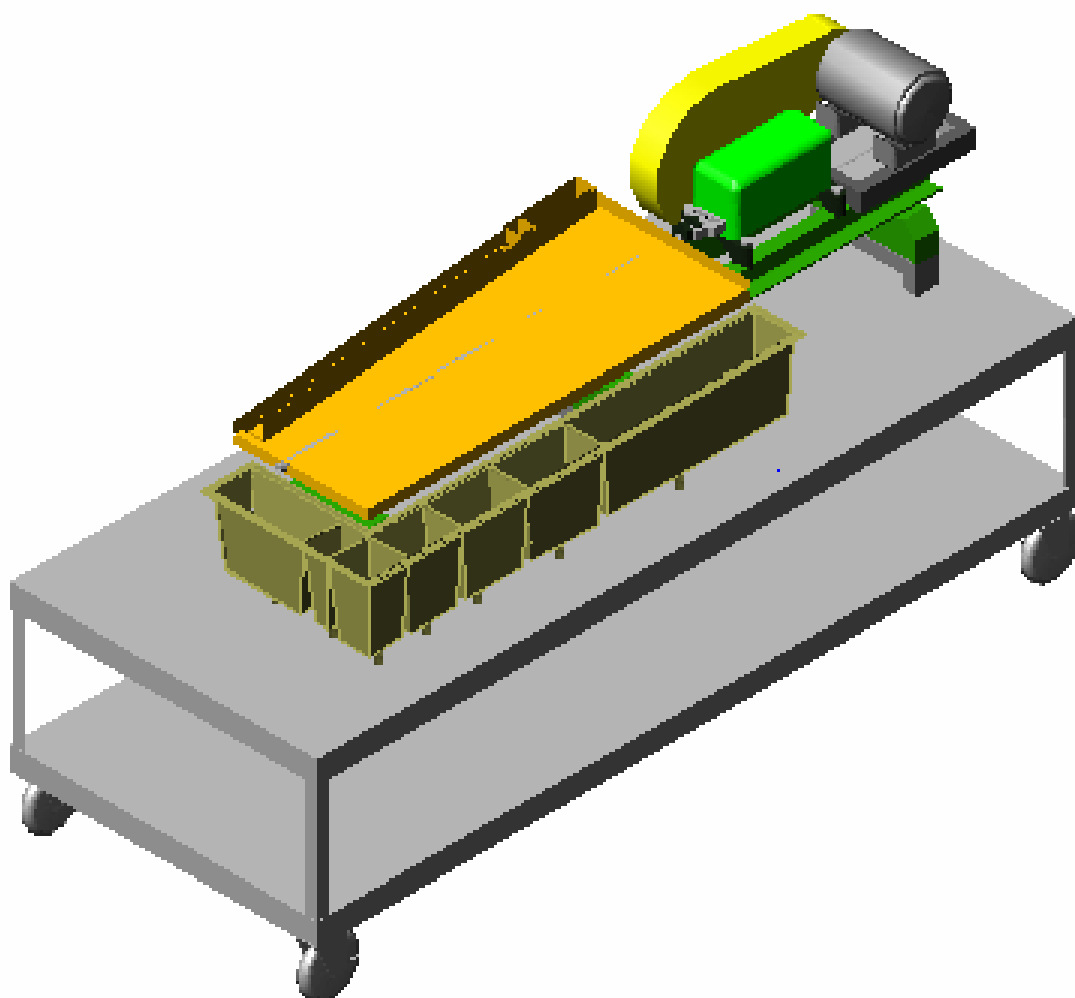


**Figura 8: Tamizadora.**

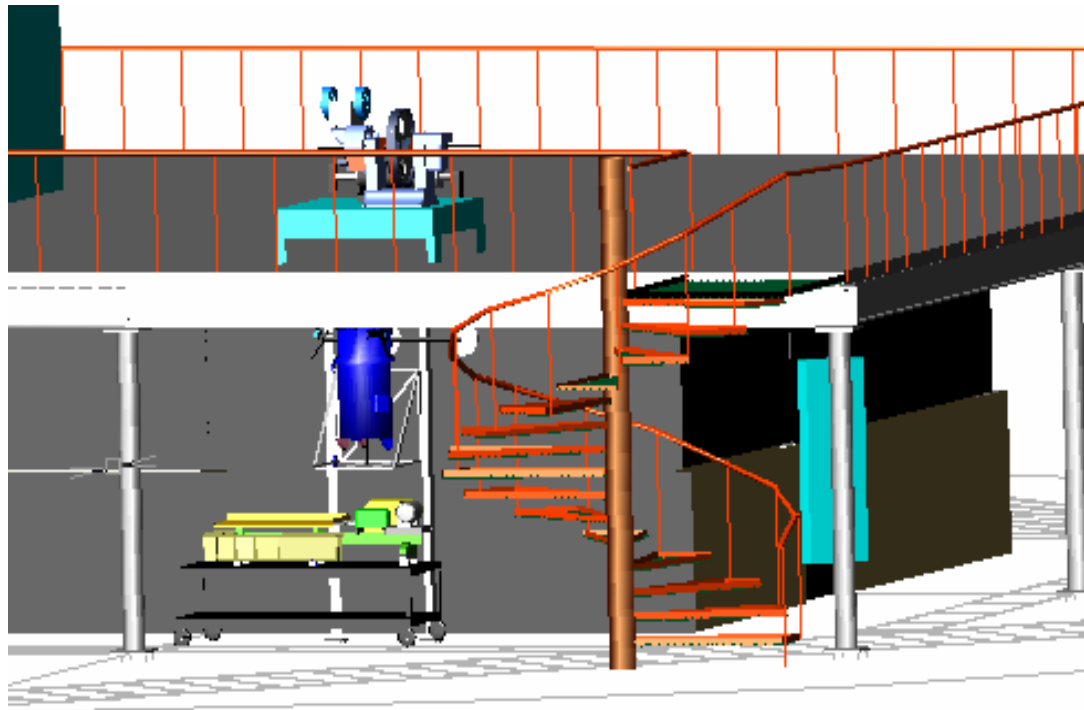


**Figura 9: Montacargas**





**Figura 10: Mesa de Wilfley**



**Figura 11: Conjunto**

## CAPÍTULO IV: CÁLCULOS

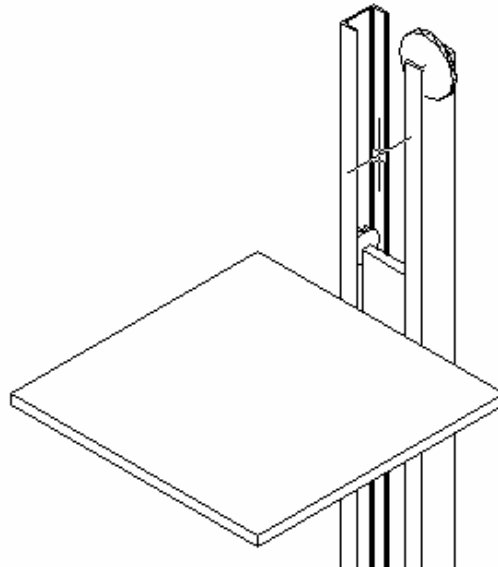
### 4.1 Diseño del montacargas

Se realizaron una serie de bocetos con el objeto de crear un montacargas que permita elevar la Tamizadora a una altura dada y que tenga una buena estabilidad ya que la máquina antes mencionada va a ponerse en marcha sobre la plataforma del montacargas, por lo que el mismo va estar sometido a fuertes vibraciones, además tenemos otra condición que se debe cumplir, el espacio que queda debajo de la plataforma cuando ésta se eleve debe estar totalmente despejado para colocar la mesa de Wilfley.

Para el diseño del montacargas decidimos utilizar la metodología explicada anteriormente y que presentaremos a continuación:

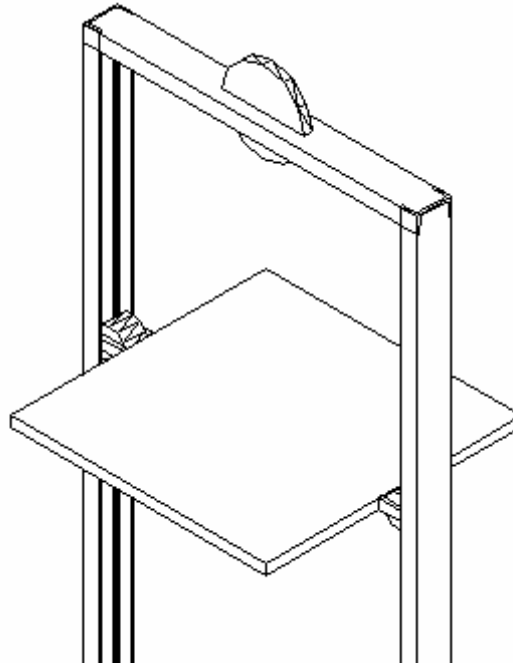
#### Tormenta de Ideas

**Idea 1:** El sistema consta de dos canales por donde se desplaza el carro pequeño que va unido a la plataforma por tornillos, la cual es de forma rectangular y queda en voladizo, la polea del cable se coloca en la parte superior de la guía (**Figura 12**).



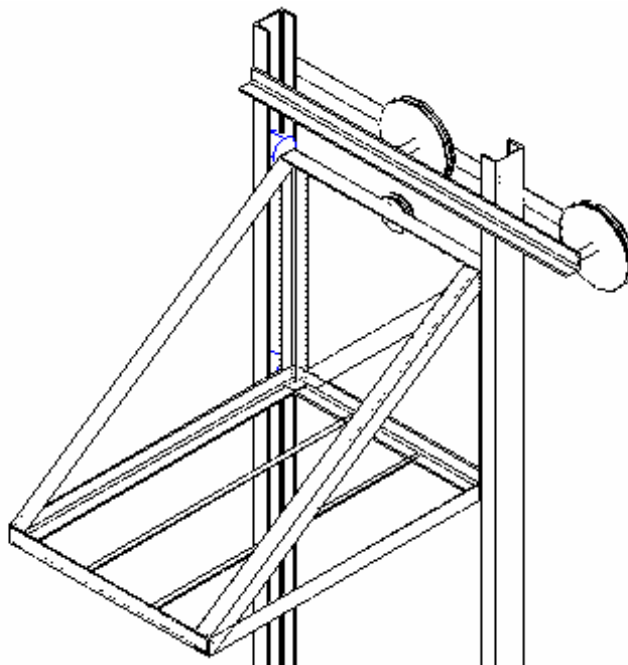
**Figura 12:** Esquematización de la idea 1

**Idea 2:** Se colocan las guías del montacargas, de manera que la plataforma que entre ellas, colocando la polea del cable en una viga en la parte más alta del conjunto, hay que acotar que la distancia entre las guías debe ser mayor que el ancho de la mesa de Wilfley (**Figura 13**).



**Figura 13:** Esquematización de la idea 2

**Idea 3:** Se colocan las guías del montacargas de manera que la separación entre ellas sea la misma longitud que tiene el carro con todos sus accesorios, en la parte superior del conjunto se sueldan ángulos que soportarán dos poleas por donde se va a conducir el cable de acero, el carro tiene el mismo ancho de la plataforma por lo que se suelda a la misma y se refuerza colocando un par de tirantes como se indica en la **Figura 14**.



**Figura 14:** Esquematización de la idea 3

Parámetros	%	1	2	3
Costo del Mantenimiento Preventivo	15,0	3,5	8 0,3	8 0,3
Costo del Mantenimiento Correctivo		3, 5	8 0,3	8 0,3
Costo del Mantenimiento Predictivo		3,0	7 0,2	7 0,2
Frecuencia del Mantenimiento		2,5	5 0,1	5 0,1
Facilidad del Mantenimiento		2,5	7 0,2	7 0,2
Eficiencia del Sistema de Elevación Estructura	20,0	6 1,2	6 1,2	8 1,6
Costo del Sistema de Elevación Estructura	20,0	9 1,8	9 1,8	9 1,8
Seguridad	15,0	6 0,9	7 1,1	8 1,2
Ergonomía	10,0	6 0,6	5 0,5	7 0,7
Facilidad de la Adquisición de los Componentes	10,0	5 0,5	5 0,5	5 0,5
Versatilidad	5,0	6 0,3	6 0,3	8 0,4
Innovación	10,0	3 0,3	3 0,3	4 0,4
Total	100	7,2	7,3	8,2

**Tabla 6: Matriz morfológica**

Como conclusión de la matriz se desarrollará en el proyecto la idea 3.

#### **4.1.1 Selección de los equipos de impulsión del montacargas**

Según la norma DIN 4130 (**tabla 5**), Los equipos que vamos a utilizar puede considerarse como del tipo IV, ya que se tiene una alta frecuencia de movimiento y se va a tener una carga fija sobre el montacargas.

Grupo	Frecuencia de los movimientos	Importancia de la carga
I	Movimiento de precisión	Sin precisar
II	» poco frecuente	Raramente plena carga
III	» frecuente	» » »
IV	» poco frecuente	Plena carga
V	» frecuente	» »
V	» »	Todas las cargas en la industria siderúrgica

**Tabla 7: Clasificación de los cables para máquinas de elevación (DIN 4130)**

**Fuente: Aparatos de elevación y transporte**

#### 4.1.1.1 Cálculo del cable de acero

Para el cálculo del diámetro del cable utilizamos la siguiente fórmula (DIN 4130):

$$d = k\sqrt{S} \quad 3.1$$

Donde:

d: diámetro del cable

S: tracción máxima sobre un ramal del cable (incluyendo peso de la plataforma), en Kg.

K: coeficiente de la **tabla 8**

Sabiendo la carga a la cual estará sometido el montacargas y suponemos una masa de la cabina aproximada de 50 Kg. Sustituyendo en 3.1:

$$d = 0.34 * \sqrt{200Kg.}$$

$$d = 4.8mm \approx 5mm$$

Grupo	Cable		Tambor $c$	Polea $c$	Polea de compensación $c$
	Valores de $\nu$ para 160 kg/mm <sup>2</sup>	$k$			
		Para cables de 160 y 180 kg/mm <sup>2</sup>			
I	5,5 a 6	0,30 a 0,32	5 a 6	5,5 a 7	4,5 a 5
II	5,5 a 6	0,30 a 0,32	6 a 7	7 a 8	4,5 a 5
III	6 a 7	0,32 a 0,34	7 a 8	8 a 10	5 a 6
IV	7 a 8	0,34 a 0,37	8 a 9	9 a 12	6 a 7,5
V	8 a 9,5	0,37 a 0,40	8 a 9	9 a 12	6 a 7,5

**Tabla 8: Factores de seguridad y coeficientes k y c (DIN 4130)**

**Fuente: Aparatos de elevación y transporte**

#### 4.1.1.2 Cálculo de las poleas

Para el cálculo de la polea tenemos la siguiente ecuación (Según DIN 4130):

$$D = c \cdot \sqrt{S} \quad 3.2$$

Donde:

D: diámetro de la polea

c: coeficiente de la **tabla 8**

Calculamos D, sustituyendo en 3.2:

$$D = 9 \cdot \sqrt{200Kg}$$

$$D = 128mm$$

A pesar del cálculo anterior el código nacional de ascensores obliga a construir las poleas con un diámetro primitivo igual a 40 veces el diámetro de cable de acero. Para la construcción de la polea se deben utilizar las medidas dadas por las **tabla 9** y las **figuras 15 y 16**.

Por lo tanto la polea que debemos construir tiene diámetro primitivo:

$$D = 40 * 5mm$$

$$D = 200mm$$



$D_1$	Poleas de polipasto y de reenvío										Poleas de compensación							
	$D_2$	$b_1$		$b_2$ (*)	$d$		$l^{**}$		$r$	Diámetro del cable $s$	$D_2$	$b_1$		$b_2$ *	$d$	$l$	$r$	Diám. del cable $s$
		Fun- dición	Acero mold.		Cota min.	Cota máx.	Cota min.	Cota máx.				Fun- dic.	Acero mold.					
80	105	22	22	20	25	30	50	2	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	
100	130	25	25	20	25	30	50	2,7	3,5-5	—	—	—	—	—	—	—	—	
125	160	30	30	25	30	35	60	3,5	5-6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	
160	200	32	30	25	40	35	60	4,3	6,5-8	200	36	32	50	60	5,4	8-10		
200	240	36	32	25	50	40	60	5,4	8-10	250	40	36	60	70	7	10-13		
250	300	40	36	25	60	50	70	7	10-13	305	50	45	70	80	8,5	13-16		
315	375	50	45	30	80	60	80	8,5	13-16	380	60	55	80	100	12	16-22		
400	460	60	55	40	100	70	120	12	16-22	480	70	65	90	110	14,5	22-27		
500	580	70	65	50	125	80	140	14,5	22-27	590	80	75	110	140	18	27-33		
630	720	80	75	60	140	80	150	18	27-33	730	95	90	125	150	23	40-43		
710	800	85	80	70	160	90	180	18	27-33	840	115	110	125	150	26	43-45-48		
800	900	95	90	80	180	100	200	23	33-40-43	930	135	130	140	170	29	48-51-54		
900	1010	105	95	90	200	130	240	24	40-43-45									
		110	105					24	40-43-45									
1000	1120	115	110	90	200	130	240	29	48-51-54									
		115	110					26	43-45-48									
1120	1250	125	115	100	220	130	250	32	51-54-58									
		125	120					26	45-48									
1250	1400	135	130	100	220	160	250	32	51-54-58									
1400	1550	135	130	100	220	200	250	32	51-54-58									

Tabla 9: Selección de poleas

Fuente: Aparatos de elevación y transporte

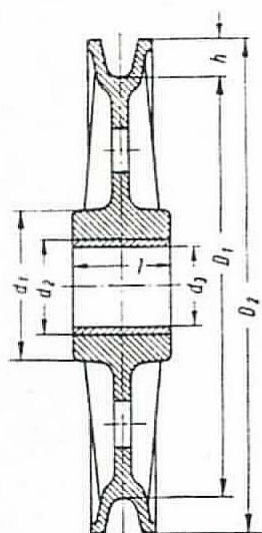


Figura 15: Polea de cable en fundición

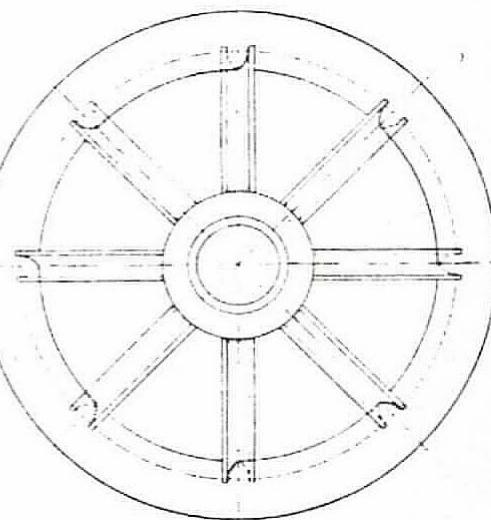
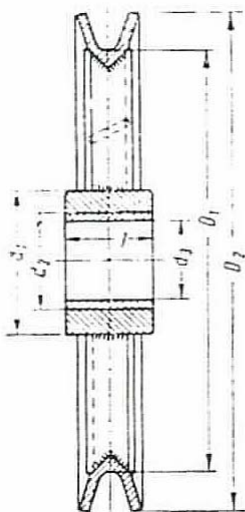


Figura 16: Polea de cable soldada

#### 4.1.1.3 Cálculo del tambor de arrollamiento

Para el tambor, el diámetro de arrollamiento según DIN 4130 se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D = c \cdot \sqrt{S} \quad 3.3$$

Donde:

D: diámetro del tambor

c: coeficiente de la **tabla 8**

De 3.3 calculamos D:

$$D = 8 \cdot \sqrt{200Kg}$$

$$D = 114mm$$

calculamos el número de espiras como:

$$n = \frac{L}{D \cdot \pi} \quad 3.4$$

Donde:

n: Número de espiras

L: Longitud del cable

D: Diámetro del tambor

$$n = \frac{1500mm}{114 \cdot \pi}$$

$$n = 5espiras$$

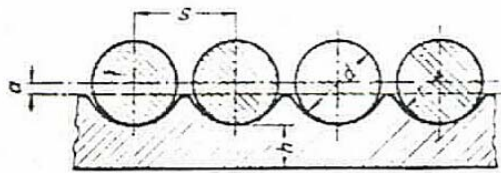
Es necesario dejar 4 espiras muertas para reforzar la fijación del cable y que impiden que se desarrolle por completo, aun en el caso de que la plataforma llegue a la posición más baja.

Por lo tanto el número final de espiras es:

$$n = 9 \text{ espiras}$$

Según la **tabla 10** tenemos:

$$\begin{aligned} s &= 7\text{mm} \\ r &= 3\text{mm} \\ a &= 0.5\text{mm} \end{aligned}$$



**Figura 17: Dimensión de las ranuras de los tambores**

Diámetro del cable	10.	13.	16.	19.	22.	27.	33.	40.	44.
<i>s</i> .....	12	15	18	22	25	31	37	45	49
<i>r</i> .....	5,5	7	9	10,5	12	15	18	22	24
<i>a</i> .....	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6

**Tabla 10: Dimensiones de las ranuras de los tambores**

**Fuente: Aparatos de elevación y transporte**

Calculamos la longitud de arrollamiento del tambor con:

$$l = s * (n + 1) \quad 3.5$$

tenemos, de 3.5:

$$l = 7\text{mm} * (9 + 1)$$

$$l = 70\text{mm}$$

El espesor  $h$  se obtiene de la **tabla 11**:

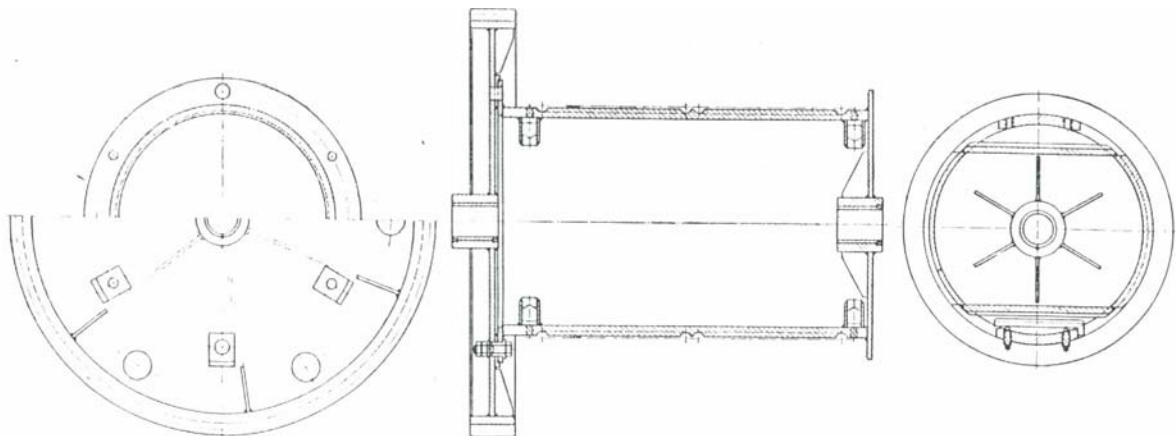
$$h = 4 \text{ mm}$$

Los valores entre paréntesis se entienden para tambores de fundición. Servicio normal

Tracción del cable (kg)	Diámetro del cable (mm)	Paso (mm)	Diámetro del tambor (mm)						
			250	300	400	500	600	700	800 -
500 .....	8	9,5	4 (6)	4 (6)	—	—	—	—	—
1 000 .....	10	12	6 (9)	6 (9)	—	—	—	—	—
1 500 .....	13	15	—	8 (12)	7 (11)	—	—	—	—
2 000 .....	16	18	—	9 (14)	8 (13)	—	—	—	—
2 500 .....	16	18	—	—	10 (15)	10 (12)	—	—	—
3 000 .....	19	22	—	—	11 (16)	11 (16)	—	—	—
4 000 .....	22	25	—	—	—	12 (18)	—	—	—
5 000 .....	24	27	—	—	—	14 (20)	14 (20)	—	—
6 000 .....	27	31	—	—	—	—	15 (22)	14 (22)	—
7 000 .....	29	33	—	—	—	—	16 (24)	16 (24)	—
8 000 .....	31	35	—	—	—	—	—	17 (26)	—
9 000 .....	31	35	—	—	—	—	—	19 (27)	18 (26)
10 000 .....	33	37	—	—	—	—	—	20 (28)	19 (27)

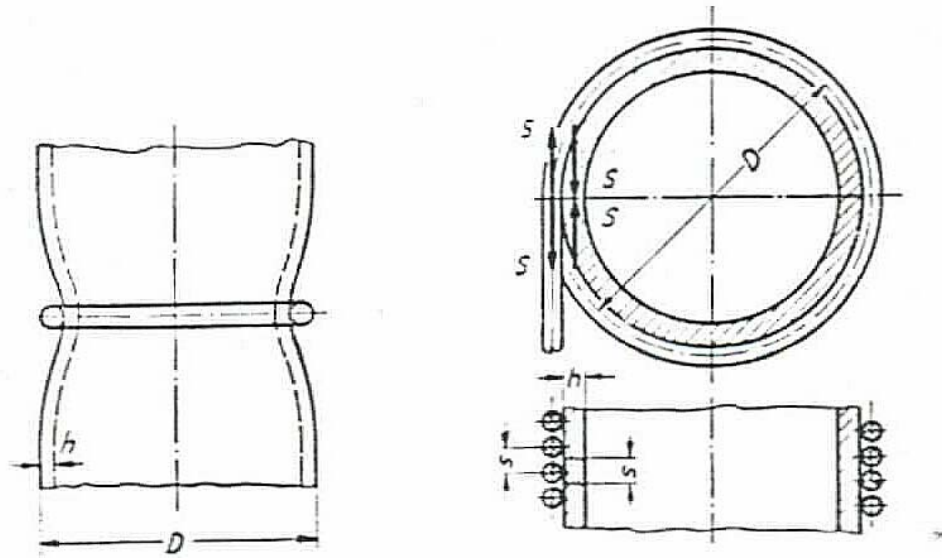
**Tabla 11: Espesor  $h$  de los tambores soldados en acero y de fundición**

**Fuente: Aparatos de elevación y transporte**



**Figura 18: Tambor de cable (Soldado)**

De ser necesario el tambor se puede fabricar por fundición ó, de una manera más económica y eficiente por soldadura (**Figura 18**)



**Figura 19: Deformación del Tambor**

Es importante seleccionar o fabricar el tambor con el espesor recomendado por la norma DIN 4130, debido a que éste estará sometido a grandes esfuerzos de compresión y torsión (**Figura 19**).

#### 4.1.1.4 Cálculo de la potencia del motor

Ahora calculamos la potencia del motor que accionará al mecanismo de la manera siguiente:

$$N_M = 0.98 \frac{(Q + G) * v}{75 * \eta} \quad 3.6$$

Donde:

NM: potencia en Hp.

Q: plena carga en Kg.,

G: el peso propio de la maquina o del carro en Kg.,

v: la velocidad normal en m/s,

$\eta$ : rendimiento mecánico del sistema motor-reducción.

De 3.6 calculamos  $N_M$ :

$$N_M = 0.98 \frac{(150 + 50) * 0.3}{75 * .75}$$

$$N_M = 1Hp$$

#### 4.1.1.5 Cálculo del reductor

Para el cálculo de la reducción basta con calcular la relación entre la velocidad de rotación del motor y la del tambor:

$$i = \frac{\omega_{tambor}}{\omega_{motor}} \quad 3.7$$

De 3.7:

$$i = \frac{\omega_{tambor}}{\omega_{motor}} = \frac{\frac{V_{tan}}{r_{tambor}}}{\omega_{motor}} = \frac{\frac{0.3m / s}{0.057m}}{\frac{1750 * \pi}{30s}} = \frac{1}{35}$$

El torque que ofrece el motor es igual:

$$T = \frac{N_M}{\omega_{tambor}} = \frac{1 * 0.7457 Kw}{5.88 rad / seg}$$
$$T = 127 Nm$$

El torque que debe vencer es:

$$T = S * r_{tambor}$$
$$T = 200 * 9.8 N * 0.057 m$$
$$T = 111 Nm$$

Por lo tanto la combinación motor-reductor calculada es adecuada.

Los cálculos anteriores sirven de base para la selección de cada uno de los componentes del montacargas, en la práctica se suele comprar los equipos similares que se ofrecen en el mercado y se adaptan a las necesidades del caso.

#### 4.1.1.6 Cálculo del acople

Se selecciona de la tabla de Flender del **anexo 9**. con lo que se obtiene un NEUPEX tipo A Modelo 116.

#### 4.1.2 Diseño de carro del montacargas

$$P_{\text{Tamizadora + material + carro(supuesto)}} = 200 \text{ Kg.}$$

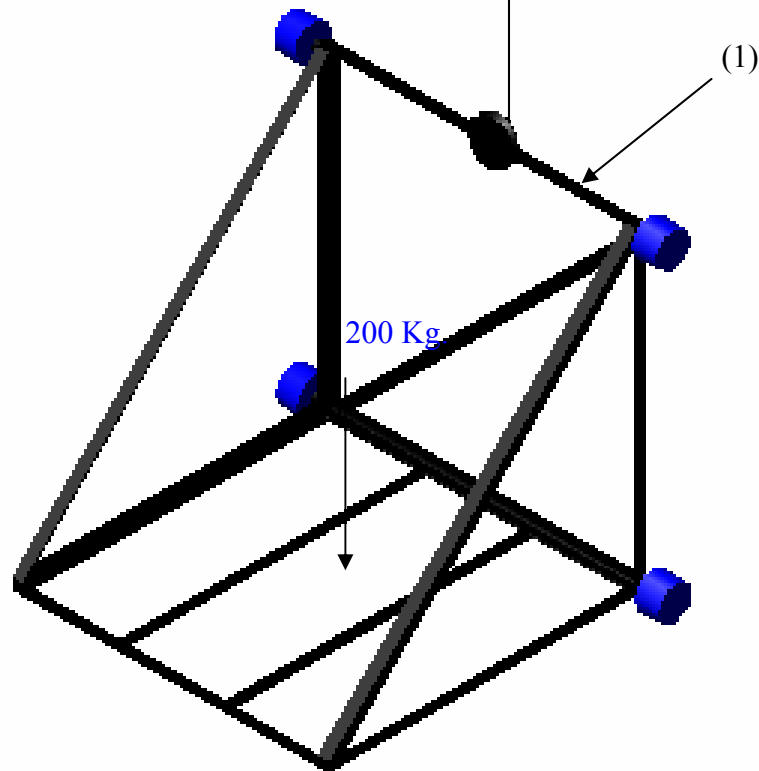


Figura 20: Carro del montacargas

Como podemos observar en la **Figura 20** el eslabón que absorbe toda la carga directamente es el que identificaremos como (1), éste tiene una longitud de 80 cm. Estudiamos el eslabón como una viga doblemente empotrada, utilizando el método de las fuerzas hallamos los momentos que se desarrollan en los soportes por acción de la fuerza aplicada de 200 Kg.

Esta viga, indeterminada de segundo grado, se reduce a la determinación suprimiendo los momentos de los extremos. En dicha viga determinada las rotaciones de las tangentes en los soportes por acción de la carga aplicada se pueden tomar del **anexo 2**.

$$|\Delta_{AP}| = \left| \left( \frac{dv}{dx} \right)_{x=0} \right| = \frac{Pab}{6EI} (a + 2b) \quad 3.8(a)$$

$$|\Delta_{AP}| = \left| \left( \frac{dv}{dx} \right)_{x=L} \right| = \frac{Pab}{6EI} (b + 2a) \quad 3.8(b)$$



En nuestro caso las cantidades “a” y “b” son iguales, quedando las ecuaciones 3.8:

$$|\Delta_{AP}| = \left| \left( \frac{dv}{dx} \right)_{x=0} \right| = \frac{PL^2}{6EI} \quad 3.9(a)$$

$$|\Delta_{BP}| = \left| \left( \frac{dv}{dx} \right)_{x=L} \right| = -\frac{PL^2}{16EI} \quad 3.9(b)$$

Las rotaciones de los extremos de la viga debidas a los pares unitarios se pueden hallar en el **anexo 2**.

Con  $M_0 = 1$  lo anterior da

$$|f_{AA}| = |f_{BB}| = \frac{L}{3EI} \quad 3.10(a)$$

$$|f_{AB}| = |f_{BA}| = \frac{L}{6EI} \quad 3.10(b)$$

En cada ecuación los desplazamientos positivos se miden en el sentido del desplazamiento originado por la cantidad redundante correspondiente. Con base en ello se obtienen dos ecuaciones:

$$\begin{aligned} \Delta_A = \theta_A &= \frac{L}{3EI} M_A + \frac{PL}{6EI} M_B + \frac{PL^2}{16EI} = 0 \\ \Delta_B = \theta_B &= \frac{L}{6EI} M_A + \frac{PL}{3EI} M_B + \frac{PL^2}{16EI} = 0 \end{aligned} \quad 3.11$$

Resolviéndolas simultáneamente queda

$$M_A = M_B = -\frac{PL}{8} = \frac{200Kg * 80cm}{8} = -2000Kgcm$$

Por simetría obtenemos las reacciones verticales como:

$$R_A = R_B = -\frac{P}{2} = -100Kg$$

Donde los signos negativos de los momentos flexionantes indican que los sentidos supuestos eran incorrectos.

Ahora debemos calcular la deflexión de la viga, por sumatoria de momentos en cualquier punto previo a la carga tenemos:

$$M(x) = M_A - 100X$$

Utilizando la ecuación diferencial para la deformación de vigas:

$$y(x) = \frac{10}{EI}x^2 - \frac{50}{3EI}x^3$$

**Tomaremos un perfil de viga de acero tipo ángulo de ala 2" (E = 2,04x10<sup>6</sup> Kg/cm<sup>2</sup>, I<sub>xx</sub>=8,97 cm<sup>4</sup>) y verificaremos que se cumpla la norma  $v \leq L/300$ .**

$$y(x) = \frac{10}{EI}x^2 - \frac{50}{3EI}x^3$$

$$y(x) = \frac{10}{2.04 \times 10^6 \times 8.97}x^2 - \frac{50}{3 \times 2.04 \times 10^6 \times 8.97}x^3$$

$$y(x) = 5.46 \times 10^{-7}x^2 - 9.2 \times 10^{-7}x^3$$

Evaluando la deflexión máxima para x= 40 cm, y sabiendo que  $v \leq L/300 = 80\text{cm}/300 \approx 0.3$  cm, tenemos:

$$y(40) = 0.03\text{cm} \ll 0.3\text{cm}$$

Verificamos el peso supuesto:

$\rho = 3.6$  Kg/m (viga ángulo 2"x2")

$$P_{carro} = 3.6\text{Kg} / m(7 \times 0.8\text{m} + 3 \times 1.13\text{m})$$

$$P_{carro} = 32.40\text{Kg} \ll 50\text{Kg}(\text{supuesto})$$

**Por lo tanto se utilizará el perfil ángulo 2"x 2" para la construcción del carro**

#### 4.1.3 Selección de las guías del montacargas:

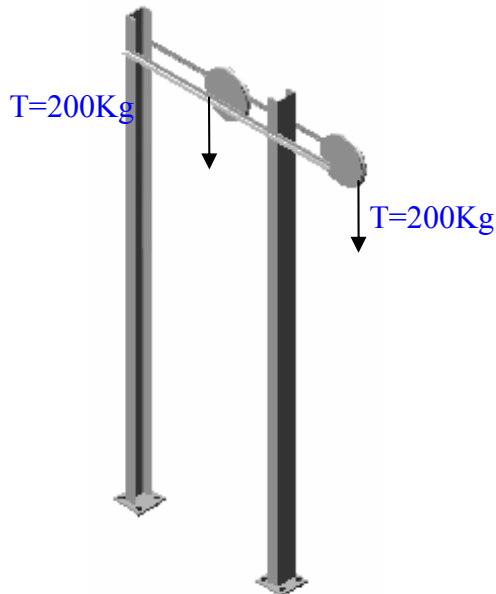


Figura 21: Guías del montacargas

Analizando la viga más cargada, observamos que los momentos producidos por las cargas se anulan, obteniéndose solo carga axial, como resultado de la tensión del cable, además podemos aproximar el punto de aplicación de la carga en el extremo superior con lo que podemos modelar la viga como una columna con extremos empotrados **Figura 22** y para la cual se aplique la fórmula de Euler para columnas elásticas. Como el material de las vigas en acero comercial (en general 1020), tenemos que:  $E=2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  y que el límite de proporcionalidad es  $2,52 \text{ Ton/cm}^2$  (**Anexo 3**).



Figura 22: Viga doblemente empotrada con carga axial

Sabiendo las condiciones de borde  $u(0)=u(L)=0$ , tenemos:

$$R_1 = P(0) = \frac{Pb}{L}$$

$$R_2 = P(L) = -\frac{Pb}{L}$$

$a=0$  y  $b=L$  para nuestro caso, obtenemos:

$$R_1 = \frac{400Kg \times 235cm}{235cm} = 400Kg = -R_2$$

Suponiendo esta carga como la carga crítica podemos calcular el módulo de sección mínimo requerido por la viga, calculando:

$$I_{\min} = \frac{P_{cr} L^2}{4E\pi^2} = \frac{400 \times 235^2}{4 \times 2.04 \times 10^6 \times \pi^2} \Rightarrow$$

$$I_{\min} = 0.274 \text{ cm}^4$$

**Tomaremos una viga perfil canal de 100 mm de alma y 50 mm de ala, cuyas características más importantes son:**

$$I_{\min}=I_{yy}= 13.3 \text{ cm}^4$$

$$A=10,06 \text{ cm}^2$$

**Se toma este perfil cuyo módulo mínimo es mucho mayor que el calculado, debido a que la viga va a servir de columna soportando la carga debida al peso de la viga principal y las máquinas en el piso superior, y además estará sometida a cargas dinámicas.**

#### 4.1.4 Cálculo de las vigas soporte de las poleas

Las vigas que soportan a las poleas se simulan como sigue:

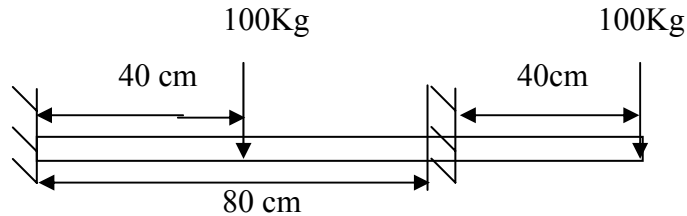


Figura 23: Esquematización de las vigas soporte de las poleas

Debido a que se colocarán 2 vigas, verificando la flecha para un perfil 2" x 2" (es el perfil que se seleccionó para el carro del montacargas) cuya ecuación, deducida a partir del método de integración antes descrito, para el extremo en voladizo (donde se encuentra la mayor deflexión) es:

$$y(x) = 1.82 \times 10^{-6} X^3 - 2.19 \times 10^{-4} X^2$$

Para  $x=40$  cm, medido a partir del segundo empotramiento, obtenemos el máximo

$$v(40\text{cm}) = -0.23\text{cm}$$

Por norma:

$$v_{\max} = 0.23\text{cm} \leq \frac{L}{300} = \frac{120}{300} = 0.4\text{cm}$$

**Por lo tanto podemos utilizar este perfil.**

#### 4.2 Cálculo de las vigas de refuerzo de la estructura:

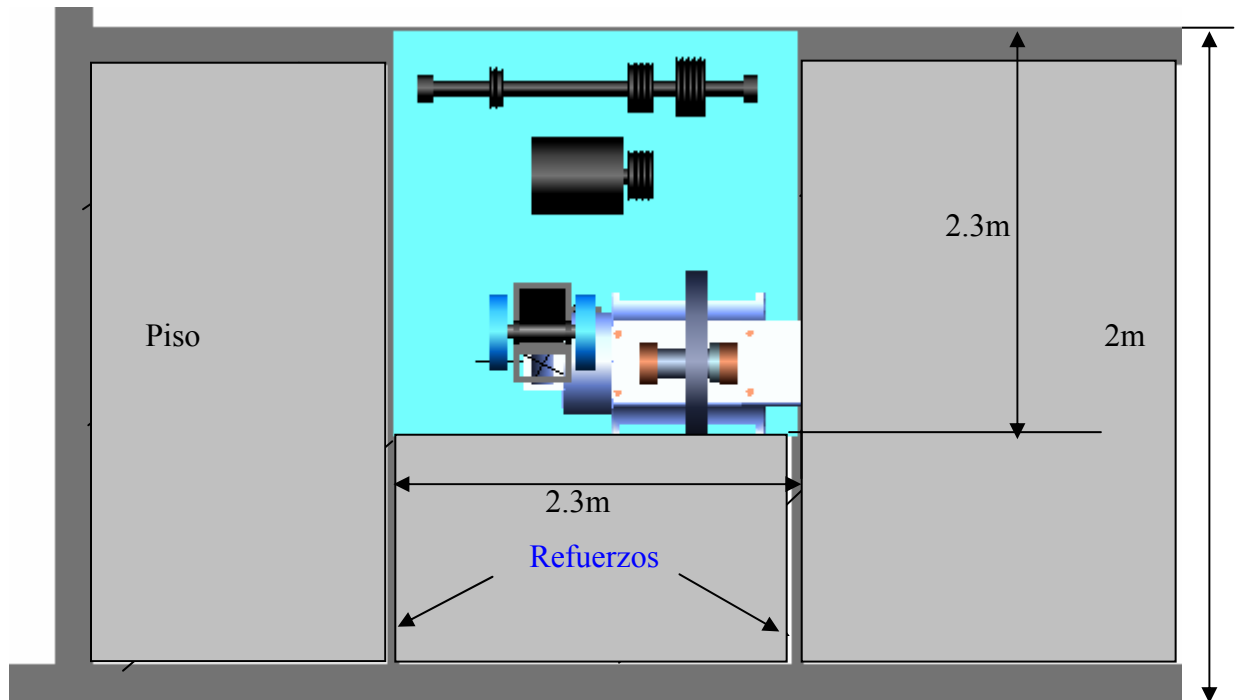


Figura 24: Disposición de las vigas de refuerzo de la estructura

Como podemos observar en la **Figura 24**, las vigas de refuerzo van a estar sometidas a una carga distribuida debido al peso del piso, la mesa y los equipos sobre la misma.

Por la configuración geométrica de la curva elástica es posible utilizar varias condiciones, tales como  $\Delta\theta_{AB}=0$  o  $t_{AB}=0$  o  $t_{BA}=0$  de la condición  $\Delta\theta_{AB}=0$ , del (**Anexo 2**):

$$\Delta_A = \theta_A = \frac{ML}{3EI} + \frac{ML}{6EI} + \frac{\rho_0 L^3}{24EI} = 0$$

tenemos

$$M_A = M_B = -\frac{\rho_0 L^2}{12}$$

En comparación con el momento flexionante máximo de una viga simplemente apoyada ocurre ahora una reducción considerable en la magnitud de los momentos críticos.

Como el piso tiene un peso aproximado de  $100 \text{ kg/m}^2$ , y la mesa con los equipos tiene un peso aproximado de  $1000 \text{ Kg}$ , y tiene un área de  $1,3^2 \text{ m}^2$ , podemos suponer que ejercerá una carga distribuida de:

$$\rho_{\text{mesa}} = \frac{1000 \text{ Kg}}{1.3 \text{ m}^2} = 592 \text{ Kg / m}^2, \text{ sumado al peso el piso nos queda:}$$

$$\rho_{\text{mesa}} + \rho_{\text{piso}} = 592 \text{ Kg / m}^2 + 100 \text{ Kg / m}^2 = 692 \text{ Kg / m}^2$$

Por razones de seguridad supondremos que esta carga distribuida se ejerce sobre toda la superficie de las vigas de refuerzo.

Como la distancia entre los refuerzos es  $1,3 \text{ m}$  podemos calcular la carga distribuida a lo largo de las vigas como sigue:

$$p = (\rho_{\text{mesa}} + \rho_{\text{piso}}) 1.3 \text{ m} = 692 \text{ Kg / m}^2 * 1.3 \text{ m} = 900 \text{ Kg / m}$$

Como son dos vigas:

$$p = 450 \text{ Kg/m}$$

Calculamos las reacciones:

$$R_A = R_B = \frac{\rho_0 L}{2} = \frac{450 \text{ Kg / m}(2 \text{ m})}{2} = 450 \text{ Kg}$$

$$M_A = M_B = -\frac{\rho_0 L^2}{12} = -\frac{450 \text{ Kg / m}(2 \text{ m})^2}{12} = -150 \text{ Kg m}$$

Cortando la viga en una sección y haciendo sumatoria de fuerzas y de momentos:

$$\sum F_y = 0$$

$$V_x = 450 + 450X$$

$$\sum M_z = 0$$

$$M_x = 225X^2 + 450X - 150$$

Cuyos valores máximos se calculan para  $x=0$

$$V(0) = 450Kg$$

$$M(0) = 150Kgm$$

Con estos datos entramos a las tablas de vigas de C.V.G. (Anexo 4) y seleccionamos un perfil I 80x42 cuyas características son:

$$V_{adm} = 3680Kg$$

$$M_{adm} = 211Kgm$$

#### 4.3 Cálculo de la soldadura de los miembros del carro del montacargas

Utilizando acero 1020, electrodos E6013 y el proceso SMAW, diseñamos la soldadura de filete para los lados y extremos del ángulo de 50 x 50 x 4 mm que trabaja como tirante en el carro del montacargas y que resiste la misma carga del perfil .

Capacidad a tensión de ángulo

$$P_U = \phi_1 F_y A_g$$

$$P_U = 0.9 \times 2520Kg / cm^2 \times (5 \times 0.4 + 4.6 \times 0.4) cm^2$$

$$P_U = 8709.12Kg$$

Tamaño máximo de la soldadura = 0.4 cm (según normas AISC)

Tamaño mínimo de la soldadura = 1/8 pulg. = 0.32 cm (**tabla 2**)

Se tomará el tamaño máximo por recomendación N° 2 de la norma AISC.

Espesor efectivo de la garganta =  $(0.707)(0.4) = 0.283$  cm

Resistencia máxima a la tensión de la soldadura (**Anexo 5**):

$$0.6S_y = 0.6 \times 345 MPa = 207 MPa$$



El esfuerzo de corte medio a lo largo de la garganta es (**Anexo 6**):

$$\tau = \frac{F}{\sqrt{2}hl}$$

la única incógnita en esta ecuación es l, despejamos:

$$l = \frac{F}{\sqrt{2}h\tau} = \frac{8709.12 * 9.8N}{\sqrt{2} * 0.00283m * 207 * 10^6 N/m^2} = 0.103m = 10.3cm$$

Ahora calculamos las uniones soldadas para los extremos del miembro sometido a flexión. Para simplificar los cálculos supondremos que la soldadura bordeará todo el ángulo y verificamos si soporta la carga a la que estará sometida:

$$\sigma_{Corte} = \frac{V}{A_{gar}} = \frac{100 * 9.8N}{0.707 * 4mm * 100mm} = 3.47MPa$$

Donde:

$\sigma_{Corte}$ : esfuerzo cortante.

V: Fuerza cortante max.

$A_{gar}$ : Area de garganta.

Por tablas (**Anexo 7**):

$$I_X = 0.707 * 2.83mm * \frac{(50 + 50)^4 - 6 * 50^2 * 50^2}{6 * (50 + 50)} mm^3$$

$$I_X = 208418mm^4$$

$$\sigma_{Flex} = \frac{Mc}{I} = \frac{20000 * 9.8Nmm * 37.5mm}{208418mm^4} = 35.3MPa$$

Donde:

$\sigma_{Flex}$ : esfuerzo de flexión

M: Momento de flexión max.

c: distancia al centroide de la fibra más alejada sometida a compresión.

I: Momento de inercia.

Por tabla (**Anexo 5**), los esfuerzos admisibles son:

Por cortante:

$$\sigma_{Per} = 0.4S_y = 0.4 * 345MPa = 138MPa \gg 3.47MPa$$

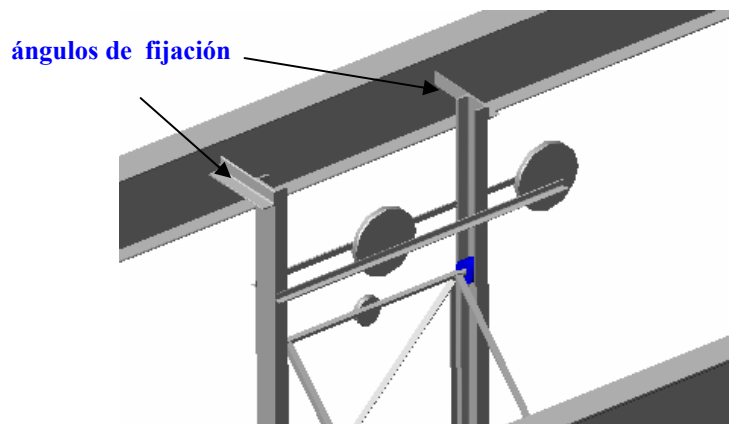
Por flexión o compresión:

$$\sigma_{Per} = 0.6S_y = 0.6 * 345MPa = 207MPa \gg 35.3MPa$$

Podemos observar que la soldadura soporta los esfuerzos, por lo tanto se hará de esta manera.

#### 4.4 Cálculo de la soldadura de las guías del montacargas

Calculamos los cordones de soldadura para la conexión de las guías del montacargas y la viga principal, como se observa en la **Figura 28**. Debemos utilizar algún tipo de suplemento para soldar las vigas debido a la luz que hay entre ellas, para ello utilizaremos ángulos 50x50x4 mm de la manera siguiente:



**Figura 25: Disposición de los ángulos de fijación**

Como se puede observar en la **Figura 25**, los ángulos estarán sometidos a tensión axial, por lo tanto utilizando un procedimiento similar al tirante, tenemos:

$$l = \frac{F}{\sqrt{2}h\tau} = \frac{8709.12 * 9.8N}{\sqrt{2} * 0.00283m * 207 * 10^6 N/m^2} = 0.103m = 10.3cm$$

#### 4.5 Cálculo de la soldadura de las vigas soporte de las poleas

Como se puede observar en la **Figura 24**, la disposición de los cordones de soldadura hará que los mismos estén sometidos a torsión.

Tomamos el espesor (por norma AISC) como 4 mm y suponemos una longitud igual al ala de la guía (5cm):

$$\sigma_{Corte} = \frac{V}{A_{gar}} = \frac{200 * 9.8N}{2 * 0.707 * 4mm * 50mm} = 6.93MPa$$

Por tablas (**Anexo 8**):

$$J = \frac{0.707 * 4mm * 50mm * (3 * (50mm)^2 + (50mm)^3)}{6} = 235666.7mm^4$$

Luego:

$$\sigma_{torsión} = \frac{Mr}{J} = \frac{200 * 400 * 9.8Nmm * 25mm}{235666.7mm^4} = 83.16MPa$$

Combinamos ambos esfuerzos:

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{Torsión}^2 + \sigma_{Corte}^2} = \sqrt{83.16^2 + 6.93^2} = 83.43MPa$$

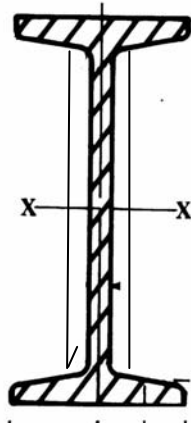
El esfuerzo admisible de corte es:

$$\sigma_{Per} = 0.4S_y = 0.4 * 345MPa = 138MPa > 83.43MPa$$

**Por lo tanto la soldadura soportará la torsión a la que será sometida.**

#### 4.6 Cálculo de la soldadura de las vigas de refuerzo a la estructura

Como se explicó anteriormente estas vigas de 2 m de longitud estarán sometidas a flexión, con una carga distribuida de 450 Kg/m a lo largo de toda la viga, además la longitud de la soldadura debe ser la del alma de la viga (aproximadamente 7 cm); el espesor de la soldadura se obtiene de :



$$P_w = \phi_1 F_w$$

$$P_U = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \times 0.707 \times 1 \text{ cm} =$$

$$P_U = 1336.23 \text{ Kg} / \text{cm}$$

$$\sigma_{\text{Corte}} = \frac{450 \times 9.8 \text{ N}}{2h \times 70 \text{ mm}} = \frac{31.5}{h} \text{ N} / \text{mm}$$

Figura 26: disposición de los cordones de soldadura

Por tablas (**Anexo 7**):

$$I_x = \frac{0.707 * h * (70 \text{ mm})^3}{6} = 40417 \text{ h mm}^3$$

$$\sigma_{\text{Flex}} = \frac{M_{\text{max}} * C}{I_x} = \frac{150000 * 9.8 \text{ N mm} \times 35 \text{ mm}}{40417 \text{ h mm}^3} = \frac{1273}{h} \text{ N} / \text{mm}$$

Como se puede observar la flexión determinará el espesor, sabiendo el esfuerzo permisible e igualándolo a la expresión anterior, calculamos el espesor de la soldadura como:

$$\sigma_{\text{Per}} = 207 \text{ MPa}$$

$$207 \text{ MPa} = \frac{1273}{h} \text{ N} / \text{mm}$$

$$h = \frac{1273}{207} = 6,14 \text{ mm} \approx 1 / 4"$$

## 4.7 Cálculo de las pérdidas de presión en el Sistema de transporte neumático

### Método de Max-Leva

**Velocidad mínima requerida del aire:**

$$V_{aire} = 32.4 \text{ pie/s}$$

**Flujo Másico de Aire:**

$$G_f = 22.456 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \text{sec}} \blacksquare$$

**Velocidad de la partícula totalmente acelerada:**

$$V = 276.038 \frac{\text{ft}}{\text{sec}} \blacksquare$$

**Perdidas de Presión:**

$$Re_m = 7.518 \times 10^3$$

$$C_d = 0.44 \quad Re > 500$$

$$F_f = 0.021 \quad F_p = 0.002053$$

$$\Delta p_h = 56.783 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \blacksquare$$

**Para tramos verticales:**

$$\Delta p_v = 91.927 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \blacksquare$$

**Totales:**

$$\Delta p_{tot} := \Delta p_h + \Delta p_v$$

$$\Delta p_{tot} = 148.71 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \blacksquare$$

**Método de HINKLE****Flujo másico de aire:**

$$W_a = 3.36 \frac{lb}{ft^2 s}$$

**Flujo másico del material:**

$$W_m = 5.98 \frac{lb}{ft^2 s}$$

**Velocidad de la partícula:**

$$V_p = 351.001 \text{ ft/sec}$$

**Caída de presión en la tubería horizontal.**

$$\Delta p_H = 23.12 \frac{lb}{ft^2}$$

**Caída de presión en tuberías verticales**

$$\Delta p_V = 380.585 \frac{lb}{ft^2}$$

**Caída de presión total**

$$\Delta p_t = \Delta p_H + \Delta p_V$$

$$\Delta p_{total} = 403.704 \frac{lb}{ft^2}$$

**Método de Ingeniería de Ventilación****Velocidad de flotación**

$$V_f = 13.092 \text{ ft/sec}$$

**Velocidad relativa**

$$V_r = V_f(0.18 + 0.65 \times 10^{-4} V)$$

$V_r$  : Velocidad entre el aire y el material en el tramo horizontal (pie/min).

**Cantidad de Aire**

$$W_a = 0.072 \text{ lb/sec}$$

**Cantidad de material**

$$W_m = 0.018 \text{ lb/sec}$$

**Relación Material- Aire**

$$R_{m/a} = 0.025$$

**Perdidas de presión****Por Elevación de Material**

$$T_{p1} = 0.036 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

**En tramo Horizontal**

$$T_{ph} = 0 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

**Por aceleración del material**

$$T_{pa} = 4.928 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

**Perdidas en los codos**

$$\text{En este caso } V_p = \frac{V_{mp}^2}{2. \cdot g. 69,4} \quad V_p = 19.293 \text{ ft/sec}$$

$$T_{pcodoper} = 0 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

**Perdidas en un ciclón**

$$T_{pc} = F \cdot V_p$$

**Perdidas por fricción del aire**

Estas pérdidas se calculan empleando gráficos de fricción para el aire (**Anexo 6**).

V: (pie/min).

D : (pulg).

$T_{pf}$  : (pulg de  $H_2O$ )

**Perdidas Totales**

$$P_t = 4.9625 \text{ (pulg de } H_2O)$$

**Potencia del Ventilador**

$$Q = 0.941 \text{ ft}^3/\text{sec}$$

Asumiendo una eficiencia del 70 %

$$BHP = 0.00105 \text{ hp}$$



## METODO DE JOHN FISCHER

### Perdidas por Aceleración

$$P_a = 0.073 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

### Perdidas por Fricción

$$P_f = 0.431 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

f: Factor de fricción de la tubería por cada 100 pies de longitud

$$f = 0.701$$

### Perdidas por fricción en los codos

El cálculo de las pérdidas por codo es similar a las pérdidas por fricción en la tubería. Se determina en una tabla(anexo) cual es la longitud equivalente que representa, dependiendo de su relación (R/D) y los grados de desviación, con el factor de fricción correspondiente al diámetro y velocidad de transporte del codo, se calcula las pérdidas utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{fc} = \frac{f \cdot L_{eq}}{100}$$

$$P_{fc} = 0.023 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

### Perdidas por cambio de dirección.

Estas pérdidas son las significativas en el cálculo de las pérdidas de presión, ya que estas aportan altas caídas de presión al sistema. Fischer supone que el coeficiente de fricción es igual a 1 en los codos (valor muy conservador).

$$P_{cd} = \frac{f \cdot \pi \cdot N_{\text{codos}}^0 \cdot V t^2}{Q \cdot 1205568}$$

$$P_{cd} = 0.0008706 \text{ (pulg de H}_2\text{O)}$$

**Perdidas por presión de Velocidad**

$$P_v = 0.003693(\text{pulg de H}_2\text{O})$$

**Perdidas por Expansiones (Manyfold).**

Este tipo de perdidas, se calcula utilizando tablas( anexo). Estas tablas indican cual es la longitud equivalente que representa la expansión, la unión o el manyfold.

Esta longitud equivalente depende del tipo de cambio de diámetro y ángulo que se estas utilizando.

$$P_{fu} = \frac{F.(H + L)}{5.2.Q}$$

**Perdidas por el colector de polvo**

Para estas perdidas los fabricantes de los equipos recomiendan que se tomen 3 pulg a 6 pulg de agua para los filtros de manga y de 3 a 10 pulg de agua para los ciclones.

Para la esclusa el usuario debe utilizar tablas. También es necesario el uso de filtros de aire a la entrada de la tubería, para asegurar que el aire del sistema es limpio. Para estos filtros las perdidas son muy bajas y se deben colocar según lo recomiende el fabricante.

**Perdidas totales**

$$P_{\text{totales}} = 5.186 (\text{pulg de H}_2\text{O})$$

**Potencia del Ventilador**

$$\text{BHP} = 0.001693 \text{ hp.}$$

Metodo John Fisher	0.2 psig
Metodo Max -Leva	1 psig
Metodo Ingenieria de Ventilación	0.2 psig
Metodo Hinkle	3 psig

**Tabla 12 Resultados de los métodos de cálculo de pérdidas**

**Fuente: tesis**

Como podemos observar el método que arroja mayores pérdidas a lo largo del sistema es el método de Hinkle, por lo que los cálculos referentes a velocidades y potencia requeridas son mas precisos que el resto, por lo tanto lo sugerimos como base para realizar las pruebas o ensayos necesarios para instalar el sistema de transporte neumático.

Los accesorios requeridos para el sistema de transporte neumático son : Un Presostato, Una válvula de Alivio, Dos Válvulas Reguladoras de Flujo, Y una electro válvula, tubería de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro nominal, con dos codos de 90 grados y un ciclón separador de mezcla.

## **4.8 Selección del Autómata programable**

En este momento ya se conocen todas las variables que se deben manejar, y las características básicas del sistema, así como las bases para la selección entre un sistema de control por lógica cableada o un sistema de control por autómata (PLC). El sistema de control diseñado tiene 6 entradas y 4 salidas por consiguiente se selecciona la utilización de un Autómata de la casa Telemecanique del grupo Schneider Electric (o equivalente) modelo Zelio SR1B121BD, con 6 entradas y 4 salidas, con control de seguridad (paro de emergencia). La opción de elegir un PLC viene dada por la condición del sistema, un PLC sobre un sistema de lógica cableada, en este caso tiene la ventaja de reducir los temporizadores y cableado excesivo expuestos en el diagrama eléctrico, ya que en un PLC se pueden programar varios temporizadores.

### **4.8.1 Narrativa del sistema de control**

#### **Equipos:**

Para este sistema se requiere que desde una caja de Botones pulsadores se pueda activar y detener el sistema, para que este opere de forma automática o manual, con arranque directo sobre la línea de alimentación, cada equipo debe tener su propio arrancador derivado sobre la línea, y entre los motores debe haber un pequeño retardo, pues las máquinas se han de acelerar sucesivamente. Además el disparo de un Relé de sobrecarga en uno de los arrancadores debe parar totalmente el sistema, para evitar que las muestras procesadas por un equipo en marcha sobrecargue al otro motor.

#### **Montacargas:**

Se requiere que desde una caja de tres botones se gobierne el arranque y paro de un solo motor con inversión de sentido de giro, y que el disparo de su Relé de sobrecarga detenga o pare el motor.

### **Sistema de Transporte Neumático de Materiales:**

Este sistema debe funcionar bajo la acción de una célula fotoeléctrica , la cual solo se activa cuando detecta un nivel de muestra en la tolva de captación de rocas o arenas (no procesadas por la tamizadora). Esta célula fotoeléctrica activa una electro válvula o válvula de expansión eléctrica la cual deja fluir el aire comprimido para poder transportar la muestra a través de una tubería hasta la tolva superior, unos segundos después se activara un dosificador (esclusa giratoria) durante uno o dos minutos, tiempo suficiente para transportar unos kilos de muestra.

El sistema completo solo se debe activar si la presión en la línea de aire comprimido es mayor o igual a 75 psig.

#### **4.8.2 Mantenimiento del Sistema**

El plan de mantenimiento especifica para cada uno de los equipos utilizados, su mantenimiento respectivo, para esto se establecen frecuencias y tipos de mantenimiento según el fabricante de cada uno de los mismos, teniendo como especificación de mantenimiento la **tabla 12**.

<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Tipo de Mantenimiento</b>
Contactores	6 meses	Cambio de láminas de contactos
Autómata y sus elementos	Mensualmente	Limpieza General

**Tabla 13: Mantenimiento del Sistema de Control.**

## CAPÍTULO V: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

### 5.1 Datos de placa

#### 5.1.1 Tolva de Alimentación

Peso del Alimentador volumétrico = 82 kg.(lleno)

Marca = Carpio      Modelo : FM – TO -  $\frac{3}{4}$ .

Fase : Sencilla.

Motor:(2)

115 Volts

1 Amp.

Hz: 60.

Marca :Sytron

Modelo : CFVC 70C.

Tipo: Controlador Eléctrico.

Motor (3)

Volts: 115

Apm.: 0.35

Marca: Sytron.

Modelo: FT-OC, FO.:B73967

Tipo Alimentador Magnético

Hz: 60

#### 5.1.2 Bascula Electrónica

Peso de la Bascula Electrónica: 10 kg.

Marca: Pesacoa.

Modelo: MC-200

Capacidad: 200 kg.

Desviación mínima 50 gr.

Terminal de Pesaje:

Modelo: 120

Volts (alimentador de célula): 10

Volts(alimentación : 200 VAC.

Hz (Frecuencia de red) : 50

Salida : RS 232

Peso : 3.5 kg.

Leds : 14 mm de altura

### 5.1.3 Tamizadora

Marca: Vorti- Siv.

Modelo Nro.: RBF – 15.

Peso : 120 kg.(el sistema completo + sedimentos).

Motor:

Tipo: CS	FR: HC 56C
Rice AMB: 40 0C.	Ins Class : B
HP: 1	SF:2.0
Volts: 120.	Code: J
Amp.:12.1/5.6	Time Rating: Cont.
R.P.M.: 3.450	PH: 1
Hz: 60	

### 5.1.4 Trituradora de Mandíbula y trituradora de disco

Sistema de trituración y pulverización

**Marca: Denver McCool.**

Modelo No. = 9 ½ k

Peso = 850 kg.

R.P.M. (**Trituradora de Mandíbula**) = 350-450.

R.P.M. (**Trituradora de discos**) = 275.

**Motor Eletrico:**

**Marca = Allis Chaimers.**

Tipo = G      Rice AMB = 40 °C.

HP = 5      Volts = 208-416

Amp.= 14,7/7,35      R.P.M. = 1450

Time Rating = 24 hrs.      Fase = 3

Locked K.V.A. Code = H      Frame = 215

Nema desing = B      Factor se Servicio = 1,0

### 5.1.5 Mesa de Separación Hidrodinámica ( Mesa de Wilfley)

#### Características Técnicas

Marca: Humpreys                      Modelo :13A  
Nombre: Mesa de Wilfley      Peso = 100 kg. (llena)  
Frame = 48

#### Motor eléctrico:

HP= 0,32                      Volts = 115  
Amp. = 6/3.2-3              R.P.M. = 1750  
Hz= 60                      Time Rating = Cont.  
Rice AMB = 40 Grados Centig.  
PCF = A6.8/3.6-3.4  
Fase = Sencilla

### 5.2 Selección de los accesorios de conexión de los equipos

#### 5.2.1 Tolva de Alimentación

*Elemento de desconexión manual*

A3- Interruptor Magnético  $I = 7 * I_n = 7 * 1 \text{ Amp.} = 7 \text{ Amp.}$

Utilizando Normas Nema:

$V_{\text{motor}} = 115 \text{ volts} \Rightarrow V_{\text{arrancador}}$

$P_{\text{ot.motor}} = 1 \text{ hp} \Rightarrow P_{\text{ot Arrancador}}$



*Relé de protección tipo térmico*

Factor de servicio = 1,0

$I_{\text{rele}} = (1 - 1,15)I_n = 1 - 1,15 \text{ amp.}$

*Alimentadores para la tolva.*

2 Alimentadores de cables 14 tamaño AGW tipo TW, TF, TFF, NM.

**5.2.2 Bascula Electrónica***Elemento de desconexión manual*

A3- Interruptor Magnético  $I = 7 * I_n = 7 * 0.35 \text{ Amp.} = 2.45 \text{ Amp.}$

*Arrancador*

Utilizando Normas Nema

$V_{\text{motor}} = 115 \text{ volts} \Rightarrow V_{\text{arrancador}}$

$\text{Pot. motor} = 0.0539 \text{ hp} \Rightarrow \text{Pot Arrancador}$

*Relé de protección tipo térmico*

Factor de servicio = 1,0

$I_{\text{rele}} = (1 - 1,15)I_n = 1 - 1,15 \text{ amp.}$

*Alimentadores Bascula Electrónico*

2 Alimentadores de cables 14 tamaño AGW tipo TW, TF, TFF, NM.

### 5.2.3 Tamizadora

#### *Elemento de desconexión manual*

A3- Interruptor Magnético  $I = 7 * I_n = 7 * 11.2 \text{ Amp.} = 78.4 \text{ Amp.}$

#### *Arrancador*

Utilizando Normas Nema

$V_{\text{motor}} = 120 \text{ volts} \leq V_{\text{arrancador}}$

$\text{Pot. motor} = 1 \text{ hp} \leq \text{Pot Arrancador}$

#### *Relé de protección tipo térmico*

Factor de servicio = 1,0

$I_{\text{relé}} = (1 - 1,15)I_n = 11.2 - 12.88 \text{ amp.}$

#### *Alimentadores Tamizadora*

2 Alimentadores de cables 14 tamaño AGW tipo TW, TF, TFF, NM.

### 5.2.4 Trituradora de Mandíbula y trituradora de disco

#### *Elemento de desconexión manual*

A3- Interruptor Magnético  $I = 7 * I_n = 7 * 14.7 \text{ Amp.} = 102.9 \text{ Amp.}$

#### *Arrancador*

Utilizando Normas Nema

$V_{\text{motor}} = 208 \text{ volts} \leq V_{\text{arrancador}}$

$\text{Pot. motor} = 5 \text{ hp} \leq \text{Pot Arrancador}$

*Relé de protección tipo térmico*

Factor de servicio = 1,0

$I_{\text{rele}} = (1 - 1,15)I_n = 14.7 - 16.905 \text{ amp.}$

*Alimentadores Maquina Trituradora de Mandíbula trituradora de disco*

3 Alimentadores de cables 10 tamaño AGW tipo TW, TF, TFF, NM.

**5.2.5 Mesa de Separación Hidrodinámica ( Mesa de Wilfley)***Elemento de desconexión manual*

A3- Interruptor Magnético  $I = 7 * I_n = 7 * 6 \text{ Amp.} = 42 \text{ Amp.}$

*Arrancador*

Utilizando Normas Nema

$V_{\text{motor}} = 115 \text{ volts} \leq V_{\text{arrancador}}$

$\text{Pot. motor} = 0.32 \text{ hp} \leq \text{Pot Arrancador}$

*Relé de protección tipo térmico*

Factor de servicio = 1,0

$I_{\text{rele}} = (1 - 1,15)I_n = 6 - 6.9 \text{ amp.}$

*Alimentadores Mesa de Separación Hidrodinámica ( Mesa de Winfley)*

2 Alimentadores de cables 14 tamaño AGW tipo TW, TF, TFF, NM.

### 5.2.6 Montacargas

#### *Elemento de desconexión manual*

A3- Interruptor Magnético  $I = 7 * I_n = 7 * 3.8 \text{ Amp.} = 26.6 \text{ Amp.}$

#### *Arrancador*

Utilizando Normas Nema

$V_{\text{motor}} = 230 \text{ volts} \leq V_{\text{arrancador}}$

$\text{Pot. motor} = 1 \text{ hp} \leq \text{Pot Arrancador}$

#### *Relé de protección tipo térmico*

Factor de servicio = 1,0

$I_{\text{rele}} = (1 - 1,15) I_n = 3.8 - 4.37 \text{ amp.}$

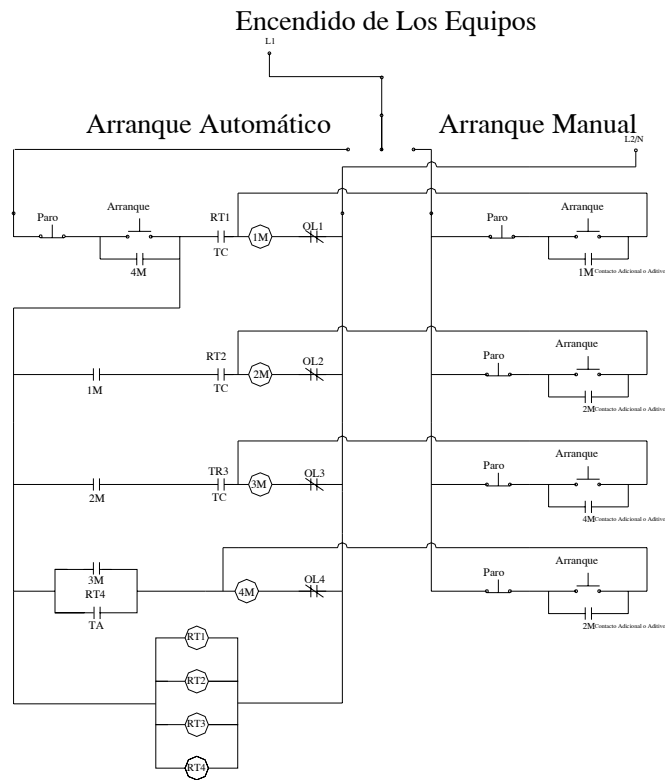
#### *Alimentadores Montacargas*

3 Alimentadores de cables 10 tamaño AGW tipo TW, TF, TFF, NM.

### 5.3 Diagramas eléctricos

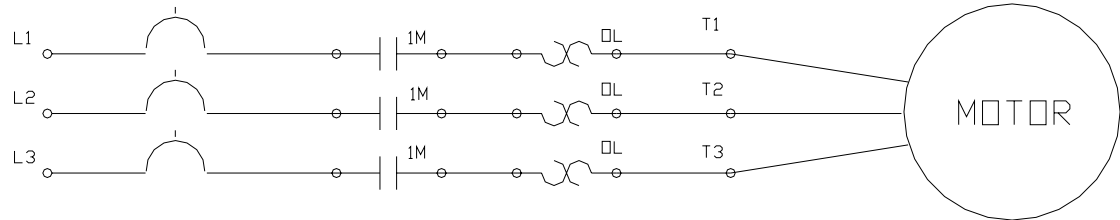
Elemento	Símbolo	Descripción
Contactor	1M	Arranque del motor de trituradoras
	2M	Arranque de motor de la tolva
	3M	Arranque de motor de la tamizadora
	4M	Arranque de motor de la mesa de wilfley
	5M	Subida de carro del montacargas
	6M	Bajada del carro del montacargas
Temporizador	RT1	Retarda encendido de 2M
	RT2	Retarda encendido de 3M
	RT3	Retarda encendido de 4M

#### 5.3.1 Diagrama de control de los equipos de separación

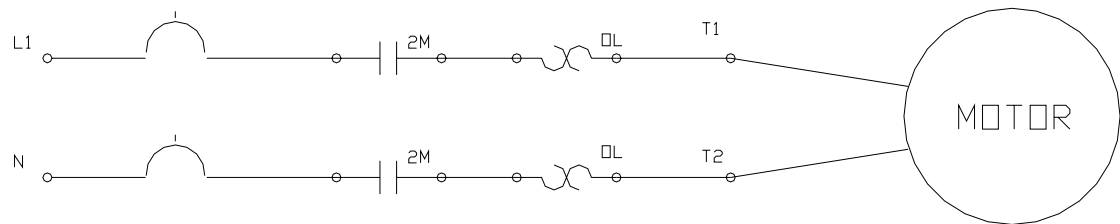


### 5.3.2 Diagrama de potencia de los equipos de separación

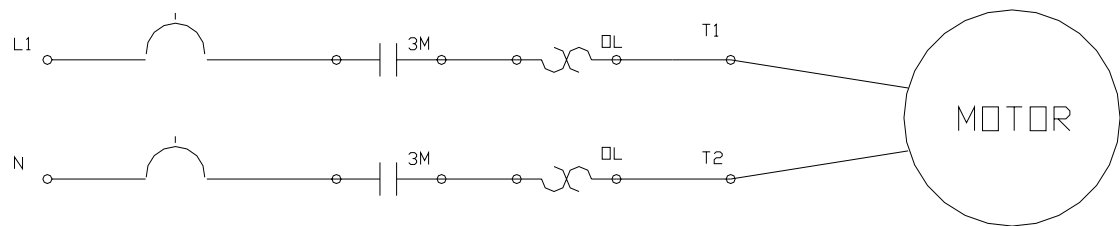
#### 5.3.2.1 Sistema de Trituración



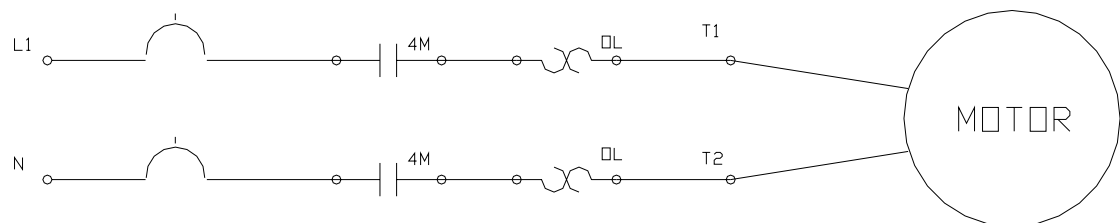
#### 5.3.2.2 Tolva de alimentación



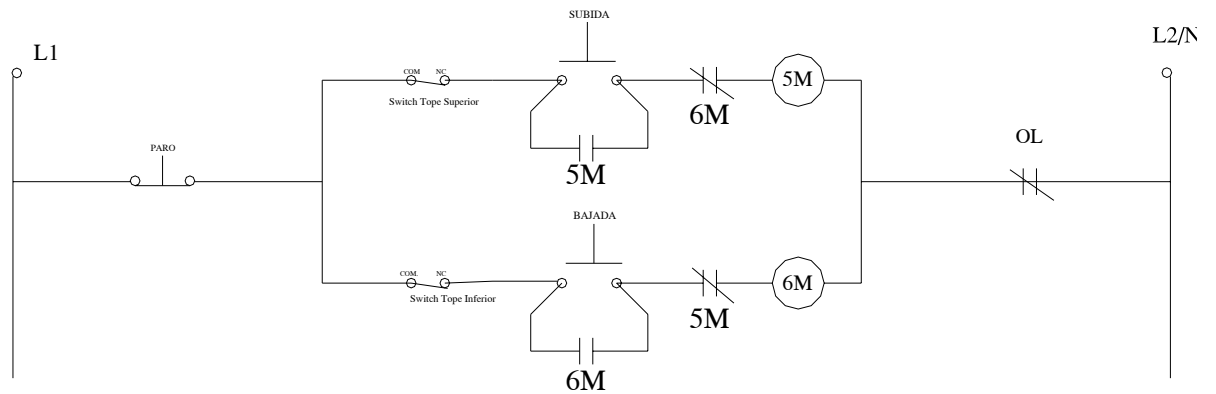
#### 5.3.2.3 Tamizadora



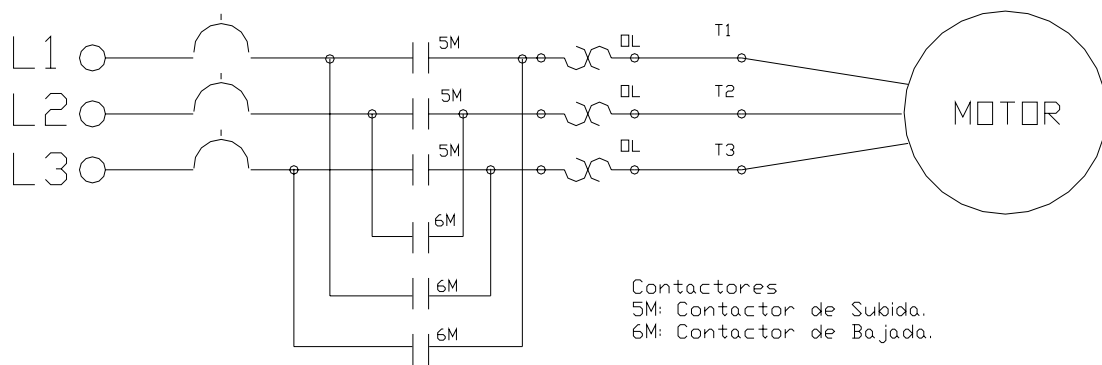
#### 5.3.2.4 Mesa de Wilfley



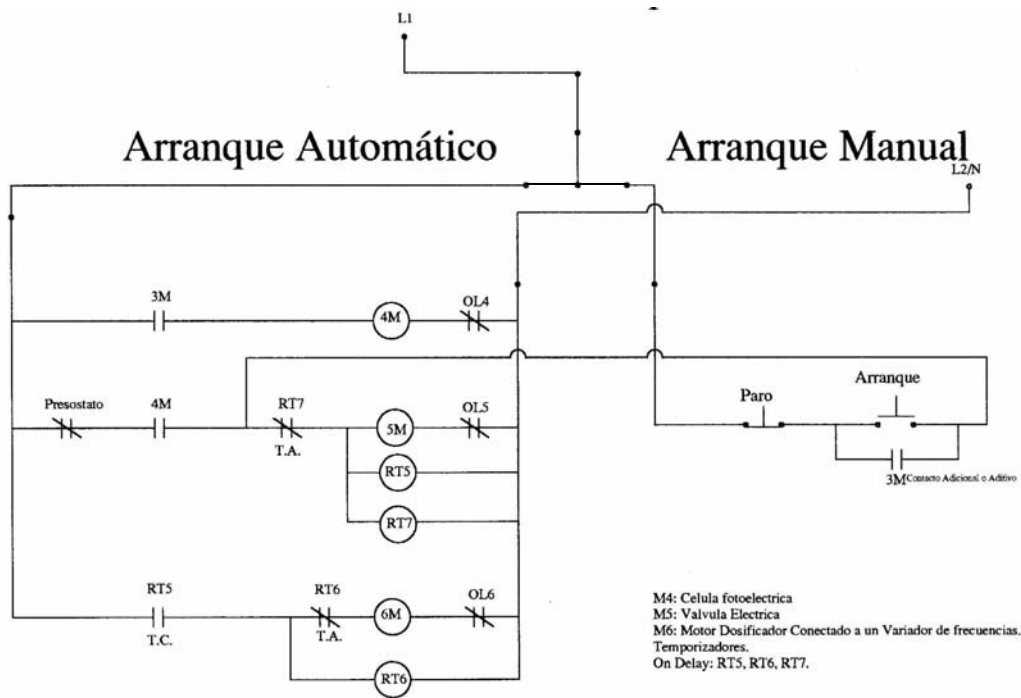
### 5.3.3 Diagrama de control del montacargas



### 5.3.4 Diagrama de potencia del montacargas



### 5.3.5 Diagrama de control del sistema de transporte neumático





## CONCLUSIONES

En base a lo realizado podemos concluir lo siguiente:

- 1) Este Trabajo Especial de Grado sirve de base para la realización de futuras tesis que se encarguen de optimizar aun más el procesamiento de minerales pesados.
- 2) Es importante tener un régimen de mantenimiento para cada una de las máquinas que componen el sistema de procesamiento de minerales pesados, debido a que por ser importadas, resulta muy costoso sustituir piezas dañadas por desgaste y mal uso o falta de mantenimiento. Las máquinas deben trabajar con una buena lubricación que evite el desgaste de los mecanismos que componen este sistema, ya que su vida útil depende en gran parte del programa de mantenimiento de estos equipos.
- 3) Por la naturaleza de la mesa de Wilfley observamos que no es suficiente poner en funcionamiento el sistema, además se deben ajustar varios parámetros como:
  - Longitud de Sacudida.
  - Numero de sacudidas por minuto.
  - Angulo de inclinación de la cubierta
  - Alimentación de Agua y Sedimentos.
  - Nivel de la máquina
- 4) El diseño tridimensional fue de gran ayuda para optimizar el espacio requerido para la instalación mas adecuada del conjunto de maquinas, según los requerimientos de espacio, aprovechando las ventajas que ofrece el diseño en Autocad 3D 2000, como por ejemplo: No tener que desplazar las máquinas en el sitio, y visualizar el espacio disponible para la colocación de todos los aparatos utilizados para el Sistema de Separación de Minerales Pesados.

- 5) También se pudo afianzar conocimientos a través de aplicaciones prácticas y puntuales como la instalación del montacargas y los contactores de los equipos, para citar algunas.
- 6) En la construcción del montacargas se puede observar lo importante de aplicar los conocimientos teóricos en el momento de la instalación, ya que se presentan numerosos imprevistos cuya única manera de resolver es teniendo cierta base teórica.
- 7) Los métodos de cálculo de pérdida del transporte neumático solo brindan un estimado de las Pérdidas en los conductos para flujo mixto, (Aire y Muestra); solo proporcionan un estimado de la potencia del soplador o Ventilador que se debería colocar en la entrada del sistema para que suministre la energía necesaria para transportar y elevar la muestra hasta la tolva. Se deben hacer pruebas o mediciones para determinar si la velocidad del aire comprimido a la entrada es mayor o igual a la velocidad mínima requerida, si es así ahorra la adquisición del Soplador o Ventilador.

## RECOMENDACIONES

En cuanto a las recomendaciones podemos citar las siguientes:

### **Sistema de Trituración:**

- Deben cambiarse los discos para pulverizar material, ya que estos presentan un desgaste pronunciado en su superficie producto del uso.
- Debe mantenerse un nivel de aceite en las cajetines de para evitar el desgaste en las piezas mecánicas, debido al roce, entre los ejes y el cajetín de transmisión.
- No sobre alimentar las máquinas con muestra, esto podría forzar y trabar el mecanismo de triturado y pulverización y en el peor de los casos dañar o romper el sistema de correas.

### **Mesa de Wilfley:**

- Para su óptima operación se debe mantener perfectamente nivelada.
- Debe realizarse una calibración de los mecanismos para el tratamiento de muestras, para ello deben proponerse trabajos de grado en el área de Minas, que permitan hacer un estudio detallado de estos parámetros.
- Se deben seguir las recomendaciones de mantenimiento sobre todo en la parte de lubricación para evitar el desg

Para finalizar se debe contar con un inventario de las piezas cuyo desgaste es alto, tales como los disco de la trituradora, ya que de esta manera se evita la detención del sistema y por ende pérdidas de tiempo y dinero.

## BIBLIOGRAFÍA

AVALLONE, Eugene y Theodore Baumeister III. "**Manual del Ingeniero Mecánico**". Editorial McGraw Hill. México, 1995. Tomo I.

BEER, Ferdinand y E. Russell Johnston, Jr. "**Mecánica de Materiales**". Editorial McGraw-Hill. Santiago de Bogota, Colombia. 1993.

Catálogo General SKF. Italia, 1999.

FREY, David. "**Autocad 2000**". Editorial Nuevo Mundo. México.1999.

GIECK, Kart. "**Manual de Formulas Técnicas**". Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. México, 1975.

HELLMUT, Ernst,. "**Aparatos de elevación y transporte**". Editorial Limusa. México.1978

JONES, Christopher. "**Métodos de Diseño**". Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona. (España) 1982.

KRICK, Edward V. "**Fundamentos de ingeniería; métodos, conceptos y resultados**". Editorial Limusa. México, 1991.

Manuales Técnicos proporcionados por el Fabricante para la Mesa de Separación Hidrodinámica (Mesa de Wilfley), Tolla de alimentación y Sistema de Trituración.

MC CORMAC, Jack. "**Diseño de estructuras de acero, Método LRFD**". Editorial McGraw-Hill. Caracas.1989.

MII,ANI, Rodolfo. "**Diseño para Nuestra Realidad**". Editorial Equinoccio. Caracas.

MOTT, Robert. "**Diseño de elementos de Máquina**". Editorial Prentice Hall. México. 1995.

NIE , G. "**Tratado teórico práctico de elementos de máquinas**". Editorial Labor. Barcelona. (España). 1973.

Normas AISC sobre soldadura. EE. UU. 1930.

Normas DIN 15302 a 15316 sobre ascensores. Alemania. 1975.

POPOV, Egor P.. "**Introducción a la mecánica de sólidos**". Editorial Limusa. México. 1990.

QUIES, José. "**Ascensores y Montacargas**". Editorial Mc Graw-Hill. Caracas. 1996.

SHIGLEY, Joseph E. y Charles R. Mischke. "**Diseño en Ingeniería Mecánica**". Editorial McGraw Hill Interamericana de México, S.A. México. 1990.

SHIGLEY, Joseph E. y John J. Uicker, Jr. "**Teoría de máquinas y mecanismos**". Editorial McGraw Hill Interamericana de México, S.A. México. 1988.

SINGER, Ferdinand. "**Resistencia de Materiales**". Ediciones del Castillo S.A. Madrid. (España) 1971.

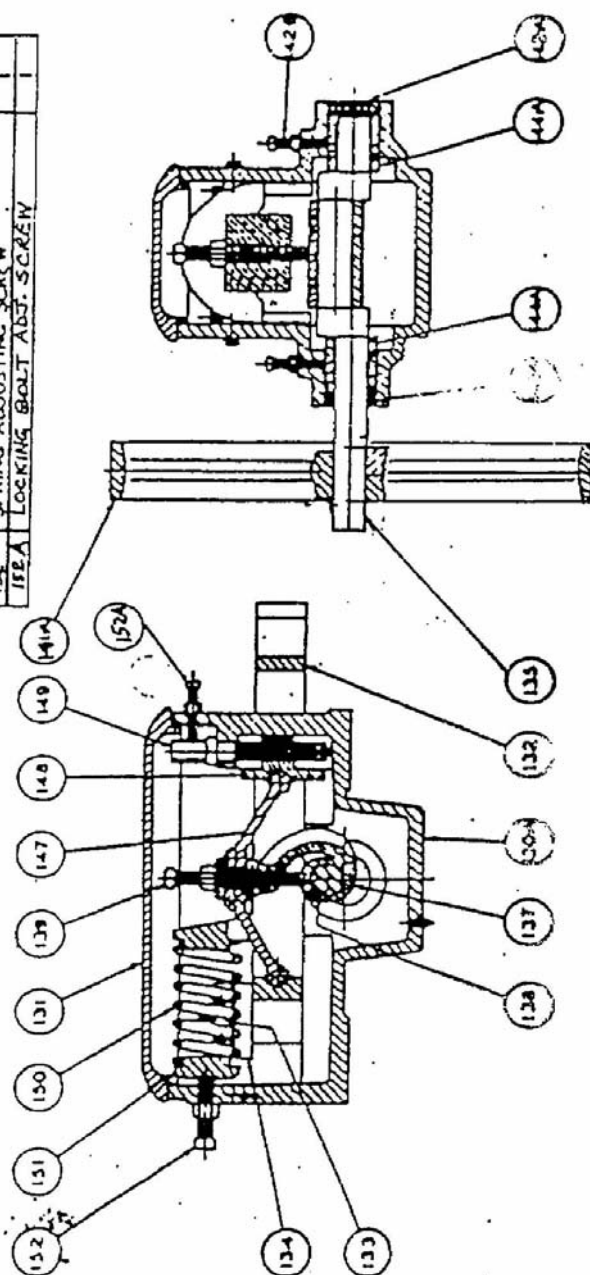
# ANEXOS

[illegible]

Figure 1: Diagram of Laboratory Table

—PARTS LIST—  
HEADMOTION  
FOR NO 13 WILFLEY TABLE  
SERIAL NO 17446 & UP

PART NO	DESCRIPTION	NO REQD
130A	HEAD MOTION FRAME	1
131	HEAD MOTION COVER	1
132	THRUST YOKE	1
133	YORK GUIDE	2
134	LOWER YORE CLIP	2
135	ECCENTRIC SHAFT	1
136	PITMAN	1
137	PITMAN CAP	1
138	PITMAN SCREW	1
139	PLUG-OIL DEAD	1
140	FF ROLLER	1
141A	PLUG-HOUSING	1
142	ECCENTRIC SHAFT BUSHING SCREW	2
143A	OIL SEAL	2
144A	ECCENTRIC SHAFT BUSHING	2
145	TOGGLE	2
146	ADJUSTING BLOCK	1
148	STROKE ADJUSTING SCREW	1
150	COIL SPRING	1
151	COIL SPRING WASHER	1
152	SPRING ADJUSTING SCREW	1
152A	LOCKING BOLT ADST. SCREW	1

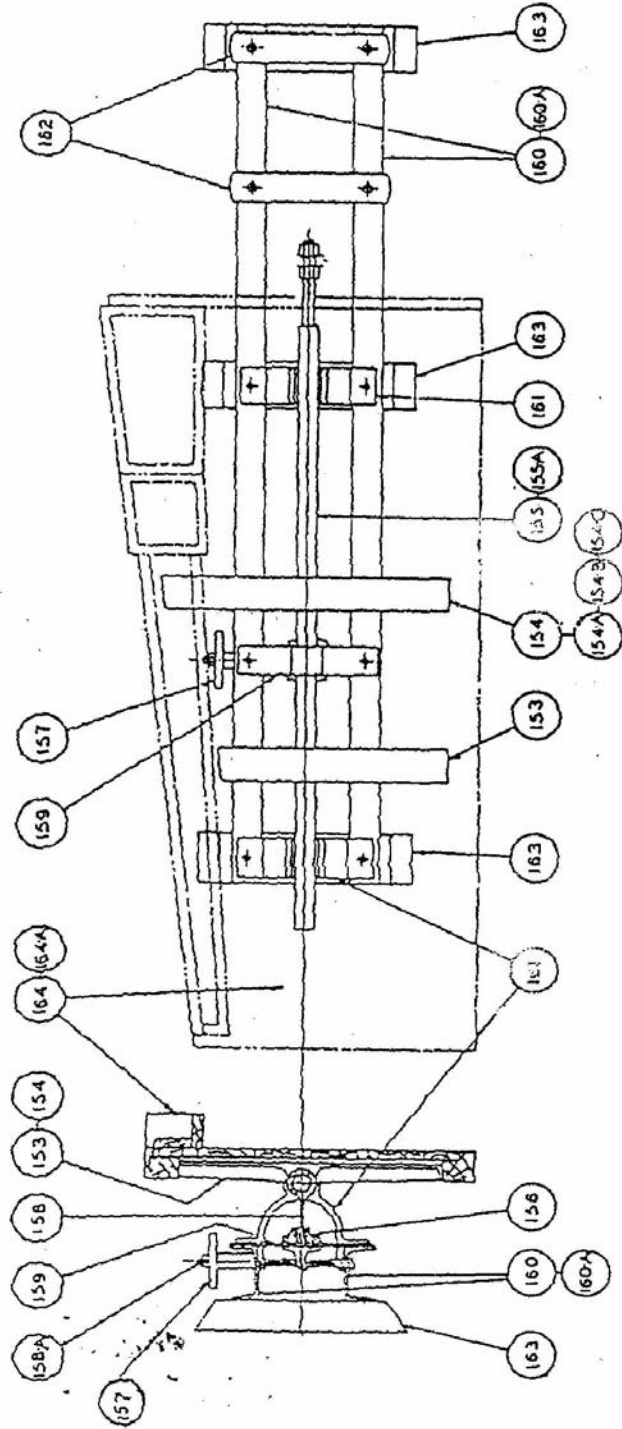




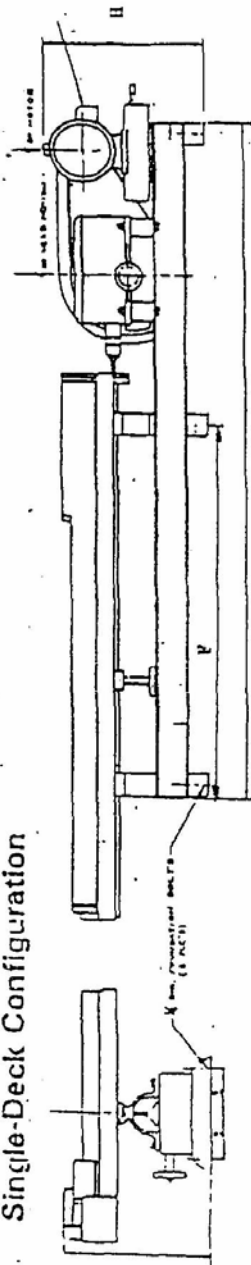
—PARTS LIST—  
DECK AND  
UNDERSTRUCTURE

FOR NO. 13A OR 13B  
WILFLEY TABLE  
SERIAL NO. 17646 & UP

— STANDARD — 18' x 40'			— OVERSIZE — 24' x 50"		
PART NO.	DESCRIPTION	NO. REQD.	PART NO.	DESCRIPTION	NO. REQD.
152	SHORT DECK BRACKET	1	154-A	SHORT DECK BRACKET	1
154	LONG DECK BRACKET	1	154-B	MEDIUM DECK BRACKET	1
155	DRAW BAR ROD	1	154-C	LONG DECK BRACKET	1
156	TILTING LUG	1	155-A	DRAW BAR ROD	1
157	TILTING HAND WHEEL	1	156	TILTING LUG	1
158	TILTING CASTING	1	157	TILTING HAND WHEEL	1
158-A	TILTING SCREW	1	158	TILTING CASTING	1
159	TILTING LUG SLIDE	1	159	TILTING LUG SCIDE	1
160	BASE CHANNEL - VARI-SPEED	2	160-B	BASE CHANNEL -	2
161	DECK SUPPORT	2	160-C	BASE CHANNEL - VARI-SPEED	2
162	FILLER BLOCK	2	161	DECK SUPPORT	2
163	WOOD FOOT BLOCK	2	162	FILLER BLOCK	2
164	DECK - COMPLETE (SAND OR SLIME)	3	163	WOOD FOOT BLOCK	3
			164-A	DECK - COMPLETE	3

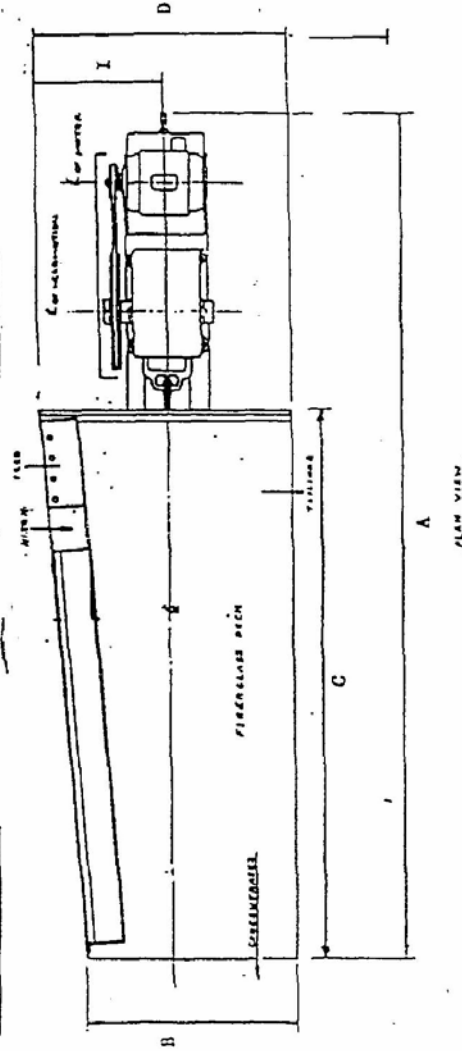


# Single-Deck Configuration



1/2 in. (12.7 mm) dimensioned bolts

RIGHT ELEVATION



ALUMINUM RAILS

A

Model	Water Requirements	HP (KW)	Shipping Weight		Dimensional Information Ins (mm)								
	GPM (Liters/Min)		LBS (KGS)	Height (Cu.Ft. (Cu.M)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
15-1	1-4 (1-15)	1-3 (0.22)	330 (138)	24 (0.7)	72 (1829)	14 (356)	14 (356)	18 (457)	15 (381)	25 (635)	53 (1373)	17 (432)	9 (229)
15-2	1-6 (1-23)	1-4 (0.22)	330 (138)	25 (0.7)	83 (2108)	20 (508)	20 (508)	24 (610)	15 (381)	34 (864)	63 (1601)	17 (432)	11 (279)

## A-2 Esfuerzos permitidos por la norma AISC para material soldante

TIPO DE CARGA	TIPO DE JUNTA	ESFUERZO PERMISIBLE	$n^*$
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.40S_y$	1.44

\*El factor de seguridad  $n$  ha sido calculado considerando la energía de distorsión.

## A-3 Propiedades físicas de materiales

PROPIEDADES FÍSICAS Y ESFUERZOS PERMISIBLES TÍPICOS DE ALGUNOS MATERIALES <sup>a</sup>											
Material	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Resistencia última, kg/cm <sup>2</sup>			Resistencia de fluencia <sup>d</sup> , kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzos permisibles <sup>i</sup> , kg/cm <sup>2</sup>		Módulos de elasticidad $\times 10^6$ , kg/cm <sup>2</sup>		Coef. de dilatación térmica $\times 10^{-6}$ , por °C
		Tens.	Comp. <sup>c</sup>	Corte	Tens. <sup>b</sup>	Corte	Tens. o comp.	Corte	Tens. o Comp.	Corte	
Aluminio de aleación 2024-T4 (extrusión) 6061-T6	2.768	4 200	....	2 240	3 080	1 750			0.74	0.28	23.2
		2 660	....	1 680	2 450	1 400			0.70	0.26	23.4
Hierro colado Gris	7.640	2 100	8 400	.... <sup>e</sup>	....	....			0.91	0.42	10.4
Maleable		3 780	....	3 360	2 520	1 680			1.75	0.84	12.0
Concreto <sup>b</sup> 30.3 litros/saco	2.408	....	210	.... <sup>e</sup>	....	....	-94.5 <sup>f</sup>	4.62	0.21	....	10.8
22.7 litros/saco		....	350	....	....	....	-157.5 <sup>f</sup>	6.02	0.35	....	
Magnesio de aleación, AM100A	1.799	2 800	....	1 470	1 540	....			0.46	0.17	25.2
Con 0.2% de carbono (laminado en caliente)		4 550	....	3 360	2 520	1 680	±1680	1015			
Acero <sup>c</sup> Con 0.6% de carbono (laminado en caliente)	7.833	7 000	....	5 600	4 200	2 520			2.10 <sup>k</sup>	0.84	11.7
Con 0.6% de carbono (templado)		8 400	....	7 000	5 250	3 150					
Con 3.5% de Ni, 0.4% de C (abeto rojo (de costa)	0.498	14 000	....	10 500	10 500	6 300	±133 <sup>j</sup>	8.40 <sup>f</sup>	0.12	....	....
Madera <sup>d</sup> Pino del sur (de hoja larga)	0.581	....	588 <sup>d</sup>	105 <sup>f</sup>	....	....	±157.5 <sup>j</sup>	9.45 <sup>f</sup>	0.12	....	....

<sup>a</sup> Las propiedades mecánicas de los metales dependen no sólo de su composición sino también de su tratamiento térmico, labrado en frío previo, etc. Los datos para la madera son para probetas de 5 cm por 5 cm con un contenido de humedad de 12%. Los valores verdaderos son variables.

<sup>b</sup> "Litros por saco" significa "litros de agua por saco de 42.7 kg (94 lb) de cemento Portland". Los valores dados son para concreto a una edad de 28 días.

<sup>c</sup> Para bloques cortos únicamente. Tratándose de materiales dúctiles la resistencia última en compresión es indefinida, y puede suponerse igual a la de tensión.

<sup>d</sup> Compresión paralela a las fibras (o al grano) en bloques cortos. Para compresión perpendicular a las fibras en el límite de proporcionalidad: 66.5 kg/cm<sup>2</sup> y 83.5 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Valores del *Wood Handbook* del U.S. Department of Agriculture.

<sup>e</sup> Falla en tensión diagonal.

<sup>f</sup> Paralelo a las fibras.

<sup>g</sup> Para la mayor parte de los materiales a una deformación permanente de 0.2%.

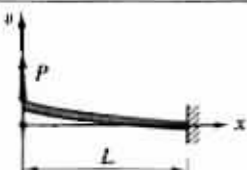
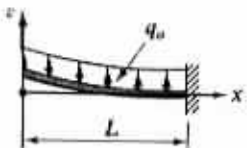
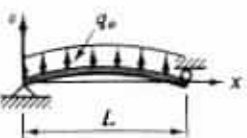
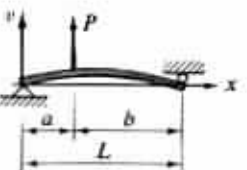

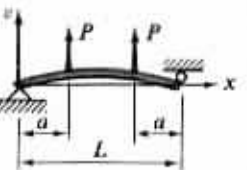
<sup>h</sup> Para materiales dúctiles la resistencia de fluencia a la compresión puede suponerse la misma.

<sup>i</sup> Para cargas estáticas solamente. Esfuerzos mucho menores se requieren en el diseño de máquinas debido a las propiedades de fatiga y a las cargas dinámicas.

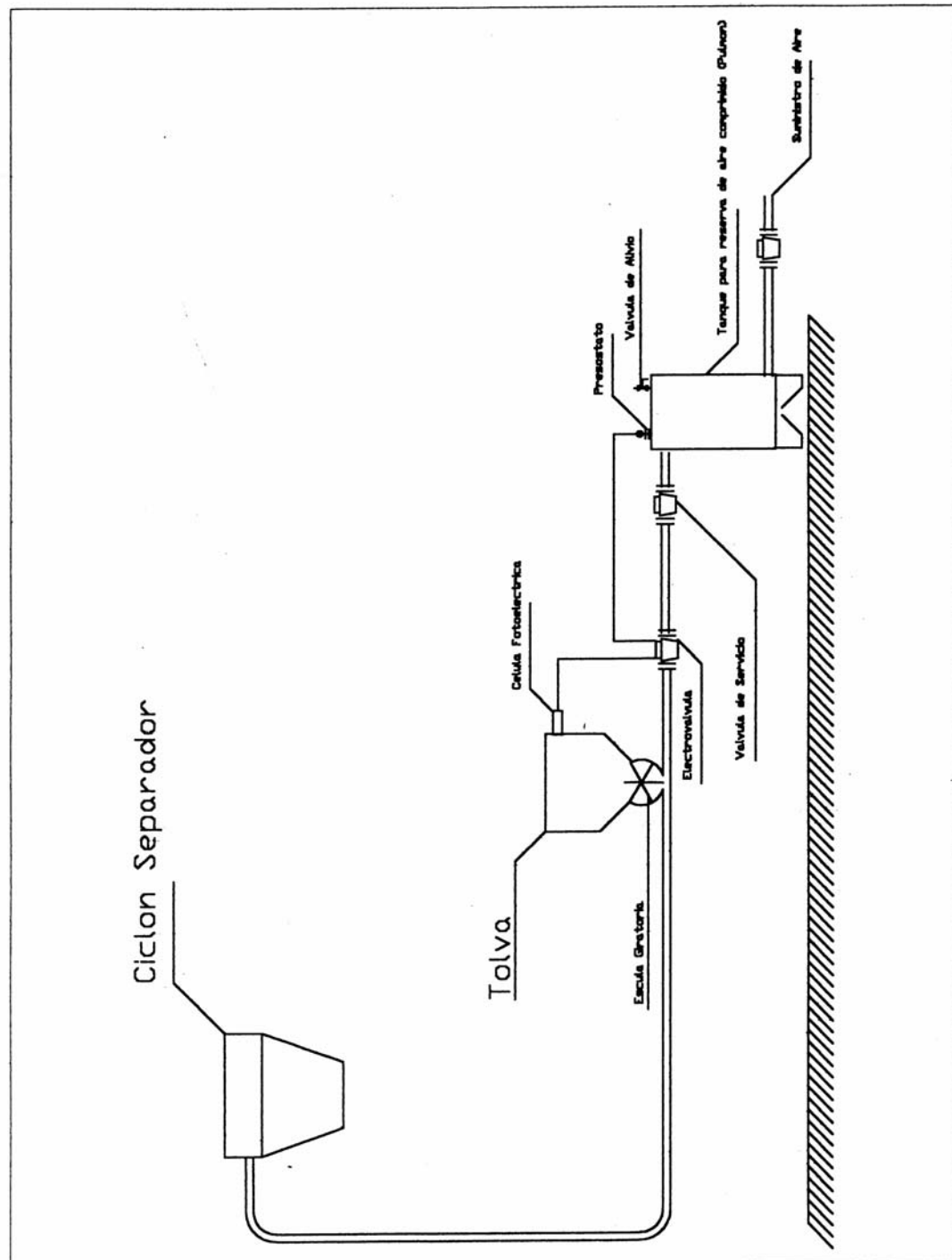
<sup>j</sup> En flexión únicamente. No se admiten esfuerzos de tensión en el concreto. Los esfuerzos para madera son para la clase selecta o densa.

<sup>k</sup> El AISC recomienda el valor de  $29 \times 10^6$  lb/plg<sup>2</sup> (o sea,  $2.03 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>).

## A-4 Tabla de efectos sobre vigas

Tipo de carga	Ecuación de la curva elástica	
	Deflexión máxima	Pendiente en el extremo
	$v = \frac{P}{6EI} (2L^3 - 3L^2x + x^3)$ $v_{\max} = v(0) = \frac{PL^3}{3EI}$	$\theta(0) = -\frac{PL^2}{2EI}$
	$v = \frac{P_0}{24EI} (x^4 - 4L^3x + 3L^4)$ $v_{\max} = v(0) = \frac{P_0L^4}{8EI}$	$\theta(0) = -\frac{P_0L^3}{6EI}$
	$v = \frac{P_0x}{24EI} (L^3 - 2Lx^2 + x^3)$ $v_{\max} = v(L/2) = \frac{5P_0L^4}{384EI}$	$\theta(0) = -\theta(L) = \frac{P_0L^3}{24EI}$
	$v = \frac{Pb}{6EIL} \left[ (L^3 - b^3)x - x^3 + \left(\frac{L}{b}\right)(x-a)^3 \right] \text{ Véase pág. 466}$ <p>Cuando <math>a = b = \frac{L}{2}</math>, entonces</p> $v = \frac{Px}{48EI} (3L^3 - 4x^3) \quad \left(0 \leq x \leq \frac{L}{2}\right)$ $v_{\max} = v(L/2) = \frac{PL^3}{48EI}$	$\theta(0) = -\theta(L) = \frac{PL^2}{16EI}$
	$v = -\frac{M_0x}{6EIL} (L^3 - x^3)$ $v_{\max} = v(L/\sqrt{3}) = -\frac{M_0L^3}{9\sqrt{3}EI}$	$\theta(0) = -\frac{\theta(L)}{2} = -\frac{M_0L}{6EI}$
	$v_a = v(a) = \frac{Pa^3}{6EI} (3L - 4a)$ $v_{\max} = v(L/2) = \frac{Pa}{24EI} (3L^3 - 4a^3)$	$\theta(0) = \frac{Pa}{2EI} (L - a)$

## A-5 Esquema de instalación del sistema de transporte neumático



# **A-5 PLANOS**