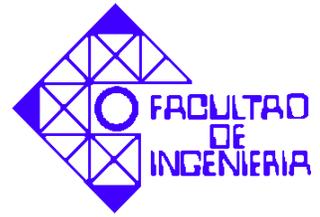




**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE Y DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA  
DE SÍLICA AMORFA PARA UN MEZCLADOR**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO.**

**DEIVIS COLMENAREZ**

**VALENCIA, ENERO 2008**



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de grado titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE Y DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE SÍLICA AMORFA PARA UN MEZCLADOR**”, realizado por el bachiller: **DEIVIS COLMENAREZ**, cedula de identidad: **13.869.136**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

\_\_\_\_\_  
Prof.  
Tutor

\_\_\_\_\_  
Prof.  
Jurado

\_\_\_\_\_  
Prof.  
Jurado

VALENCIA, ENERO 2008

## DEDICATORIA

*A Dios Nuestro Creador, por haberme dado la luz en mi mente y la suficiente fuerza espiritual a través de mi fe para superar los obstáculos abruptos del camino.*

*A mis adorados padres; Yolanda Castillo y David Colmenarez por darme la vida, especialmente a mi madre orgullo de mujer, esmero de progenitora, luchadora incansable, quien me ha apoyado para continuar mis estudios y lograr la meta alcanzada.*

*Con cariño A mis hermanos; Jimmy, Jenny, Ligia y Ronald, particularmente a Jimmy Jesús por su voluntad constante para escucharme, ofrecerme su amistad y atender mis necesidades como estudiante durante toda la carrera.*

*Con respeto a mis abuelos: Isabel Sequera de Castillo, Hipólito Castillo y Lucinda de Colmenarez ejemplo de honestidad, trabajo y constancia, dignos de ser imitados.*

*Con aprecio a mis sobrinos, tíos, primos, y amigos de siempre por demostrar solidaridad, comprensión y alegría en todo momento.*

*A mi amada novia Ivanna González flor de estación primaveral motivo de inspiración para culminar la meta trazada y a sus padres por brindarme su colaboración, darme ánimos para continuar trabajando y no decaer ante las dificultades.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad de Carabobo, Alma Mater, digno ejemplo de centro de enseñanzas, categoría academia, y prestigio educativo a nivel Nacional y Latinoamericano*

*A los profesores Marcos Ciaccia y Luis Escalona por la asesoría, apoyo y recomendaciones brindadas a lo largo de la realización de este proyecto.*

*A los Ingenieros José Abi-karam y Elias Moreno por las sugerencias y consejos emitidos en la realización del proyecto.*

*A mis compañeros de trabajo en especial a los del Departamento de Mantenimiento los Ingenieros Richard, Yopez, Victor, por sus enseñanzas, solidaridad, colaboración y amistad incondicional.*

## RESUMEN

En el área de mezclado de compuestos de la planta C.A Goodyear de Venezuela, durante el transporte de la sílica, se generan dispersiones que obligan a los trabajadores exponerse al contaminante, estando presente el riesgo de sufrir enfermedades profesionales y errores humanos que ocasionaría defectos en los procesos y calidad del producto. El diseño planteado correspondió a un sistema de transporte que mejore la situación antes descrita. Para ello se realizó un diagnóstico de la situación actual para identificar las oportunidades de mejora, diseñar e integrar un nuevo procedimiento y estudiar la factibilidad económica del mismo.

Se llegó a la conclusión que el sistema de transporte y dosificación apropiado para la sílica es el de tornillo sin fin, ya que este mecanismo puede manejar los volúmenes de materiales requeridos, además de, transportar el material en forma hermética evitando así las dispersiones y contaminación del ambiente de trabajo. Las recomendaciones sugeridas son optimizar el proceso actual, con el objeto de evitar la manipulación directa del componente químico por parte de los operadores y la contaminación del ambiente de trabajo, así como, estudiar la aplicabilidad del uso del tornillo sin fin en casos donde se presenten estas situaciones.

## LISTADO DE VARIABLES

$A_o$ : Área de la sección transversal del cilindro	$Q_m$ : Flujo másico (kg/hr)
$A$ : Área de la sección transversal	$Q_v$ : flujo equivalente ( $m^3/hr$ )
$B$ : Paso del tornillo helicoidal.	$Q_v'$ : flujo volumétrico equivalente. ( $m^3/hr$ )
$c$ : Distancia desde la línea neutra a la fibra mas alejada	$Q_v''$ : Flujo volumétrico equivalente.
$C$ : Coeficiente de resistencia de cojinete,	$S_y$ : Esfuerzo de fluencia
$D_H$ : Diámetro de hoja tornillo transportador. (Inch)	$S_{sy}$ : Esfuerzo de fluencia en cortante.
$f_H$ : Factor de hélice.	$v$ : Volumen ( $m^3$ )
$f_p$ : Factor de paso.	$\bar{V}$ : Volumen específico promedio.
$f_i$ : Factor de inclinación.	$V$ : Volumen especifico ( $m^3/kg$ )
$h$ : Espesor de hoja.	$\alpha$ : ángulo de inclinación del transporte.
$H$ : Altura de elevación.	$\sigma$ = Esfuerzo combinado.
$\eta$ :Velocidad de rotación (rpm).	$\sigma_a$ = Esfuerzo alternante.
$l$ : Longitud del tornillo helicoidal. ( $m$ )	$\sigma_m$ = Esfuerzo medio.
$n$ : Factor de seguridad a la fatiga	$\sigma_x$ = Esfuerzo normal.
$P$ : Peso de la bolsa material sílica (kg)	$\tau_{xy}$ = Esfuerzo cortante.
$P_f$ : Carga puntual (kg)	$\xi$ : Eficiencia de Unidad Motriz.
$P_{cg}$ : Peso del cilindro graduado	$W$ : Carga neta peso propio y peo de sílica.
	$W_x$ : Componente axial del peso neto.
	$W_y$ : Componente vertical.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA

1.1.- Planteamiento del problema.....	4
1.2.- Objetivos.....	9
1.2.1.- Objetivo General.....	9
1.2.2.- Objetivos Específicos.....	9
1.3.- Limitaciones.....	9
1.4.- Delimitaciones.....	10
1.5.- Justificación.....	10

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.- Revisión de Antecedentes.....	12
2.1.1.- Estudio y diseño de un equipo de transporte neumático para carbonato de sodio.....	12
2.1.2.- Evaluación y rediseño del sistema de transporte de urea de Pequiven- Morón.....	12
2.1.3.- Estudio y diseño de los sistemas de almacenamiento, mezcla y suministro a tolvas de materia prima, para una maquina inyectora.....	13
2.2.- Bases Teóricas.....	14
2.2.1.- Sílica.....	14
2.2.2.- Transportadores Helicoidales.....	14
2.2.3.- Cálculo de Transportadores Helicoidales.....	20
2.2.4.- Elevadores Helicoidales.....	29
2.2.5.- Transportadores de Cadena de Arrastre Tubular.....	31
2.2.6.- Transportadores Neumáticos.....	35
2.2.7.- Diseño por Carga Cíclica (Fatiga).....	37

2.3.- Descripción del Proceso Actual.....	42
2.3.1.- Entradas.....	43
2.3.2.- Mezcla de Compuesto.....	44
2.3.3.- Sistema de Negro Humo.....	44
2.3.4.- Salidas.....	49

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1.- Nivel de Investigación.....	51
3.2.- Diseño de la Investigación.....	51
3.3.- Población y muestra.....	51
3.4.- Técnicas e Instrumentación de Recolección de Datos.....	51
3.5.- Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	52
3.6.- Formulación de la Situación Problemática.....	55
3.6.1.- Información Inicial.....	55
3.6.2.- Situación Problemática.....	55
3.6.3.- Formulación del Problema.....	56
3.6.4.- Especificación del sistema a diseñar.....	57
3.6.5.- Criterios del Sistema a Diseñar.....	57
3.7.- Alternativas de Solución.....	57
3.7.1.- Posible solución #1.....	57
3.7.2.- Posible solución #2.....	59
3.7.3.- Posible solución #3.....	60
3.8.- Selección de la Mejor Solución.....	62

### **CAPÍTULO IV**

#### **DESARROLLO.**

4.1.- Sistema Propuesto.....	67
4.2.- Volumen Requerido de Sílica.....	70
4.3.- Tiempo de Dosificación.....	71
4.4.- Aplicación de la Válvula de Descarga Rápida.....	73
4.5.- Selección de Transporte Helicoidal.....	75
4.6.- Cálculo del Diámetro y Velocidad de Rotación Óptimos.....	76

4.7.- Cálculo de Potencia de Accionamiento.....	77
4.8.- Selección de Ejes de Accionamiento.....	78
4.9.- Selección de Unidad Motriz para Accionamiento del Tornillo.....	94
4.10.- Selección de Acoplamiento Motor Eje Motriz Tornillo Helicoidal.....	96
4.11.- Diseño De Estación de Bolsas de Sílica.....	97
4.12.- Diseño del Sistema de Control del Proceso de Dosificación.....	121
4.13.- Descripción del Funcionamiento del Variador de Frecuencia.....	140

## **CAPÍTULO V**

### **EVALUACION ECONOMICA.**

5.1 Evaluación Económica del Proyecto.....	146
--	-----

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES.**

6.1.- Conclusiones.....	150
6.2.- Recomendaciones.....	151

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1.- Componentes de Neumáticos Radiales.....	5
Figura 1.2.- Mezclador Banbury 270XG.....	7
Figura 2.1.- Transporte Helicoidal.....	15
Figura 2.2.- Velocidad de Rotación Óptima para Transporte de Hoja Estándar..	20
Figura 2.3.- Factor de Hélice para Transportadores de Hélice de Banda.....	22
Figura 2.4.- Cargas Aplicadas al Tornillo Helicoidal.....	25
Figura 2.5.- Estación para Verter Costales.....	31
Figura 2.6.- Transporte de Arrastre Tubular.....	32
Figura 2.7.- Sistema de Transmisión y Cadena.....	32
Figura 2.8.- Válvula Rotativa.....	33
Figura 2.9.- Válvula de Descarga Rápida.....	34
Figura 2.10.- Alimentación por Medio de Estación de Bolsas.....	35
Figura 2.11.- Sistema de Transporte en Fase Diluida.....	36
Figura 2.12.-. Sistema de Transporte en Fase Densa.....	37
Figura 2.13.- Variación del Esfuerzo Axial en una Prueba de Fatiga.....	39
Figura 2.14.- Columna Cargada Excéntricamente.....	41
Figura 2.15.- Esquema de Mezclado.....	43
Figura 2.16.- Mezclador “Banbury”.....	44
Figura 2.17.- Diagrama de Dosificación de Negro Humo del Sistema Actual....	46
Figura 2.18.- Ubicación de Celdas de Carga Tolva de Pesado de Negro Humo..	46
Figura 2.19.- Silos de Almacenamiento de Negro Humo.....	47
Figura 2.20.- Esquema del Proceso de Mezclado de Compuesto de Banbury....	48
Figura 3.1.- Montaje de la bolsa Estación Rígida.....	58
Figura 3.2.- Diagrama de Dosificación de Sílica de la Alternativa #1.....	59
Figura 3.3.- Transporte de Arrastre Tubular de la Alternativa #2.....	60
Figura 3.4.- Diagrama de Dosificación de Sílica de la Alternativa #2.....	61
Figura 3.5.- Descarga Neumática de la Posible Solución #3.....	61
Figura 3.6.- Diagrama de Dosificación de Sílica de la Alternativa #3.....	62
Figura 4.1.- Subsistemas del Mezclador.....	68
Figura 4.2.- Secuencia Actual de Mezclado de Compuestos de Banbury #3.....	69
Figura 4.3.- Secuencia Propuesta para el ciclo de Mezclado de Banbury #3....	69

	<b>Pág.</b>
Figura 4.4.- Descarga de Negro Humo y Sílica Aplicación de la Válvula de Descarga Rápida.....	74
Figura 4.5.- Tipo de Tomillo Seleccionado DH = B (Diámetro de Hoja Igual al Paso de Helicoide).....	75
Figura 4.6.- Cargas Aplicadas al Tomillo Helicoidal.....	79
Figura 4.7.- Diagrama de Corte y Momento Aplicado al Elemento 1.....	82
Figura 4.8.- Sección del Punto de Aplicación de Cargas Fluctuantes del Elemento 1.....	84
Figura 4.9.- Diagrama de Corte y Momento Aplicado al Elemento 3.....	88
Figura 4.10.- Sección del Punto de Aplicación de Cargas Fluctuantes del Elemento 1.....	90
Figura 4.11.- Punto de Aplicación de Carga en la Estación de Bolsas.....	98
Figura 4.12.- Vista Superior de la Estructura para la Estación de Bolsas.....	99
Figura 4.13.- Vista de la Sección Transversal de la Columna Excéntrica.....	100
Figura 4.14.- Carga Aplicada al Soporte para la Base de Fijación de la Bolsa de Sílica.....	104
Figura 4.15.- Diagrama de Cargas Aplicadas al Perfil Angular.....	105
Figura 4.16.- Detalle de la Unión Soldada entre los Perfiles IPN y Perfil L.....	108
Figura 4.17.- Grupo de Juntas Soldadas, Dirección de los Esfuerzos resultantes en el Plano xz.....	111
Figura 4.18.- Vista de la Unión Soldada en El Plano yz.....	112
Figura 4.19.- Soporte para la Fijación de la Bolsa de Sílica.....	115
Figura 4.20.- Detalle de la Soldadura en la Base.....	116
Figura 4.21.- Carga Aplicada al Pasador.....	118
Figura 4.22.- Diagrama de Corte y Momento Aplicada al Pasador.....	119
Figura 4.23.- Módulo de Entrada y Salida del PLC Controllogix 1756-IF16.....	123
Figura 4.24.- Diagrama de Potencia.....	125
Figura 4.25.- Diagrama de Conexiones Cabezal Local del PLC.....	126
Figura 4.26.- Terminales de Conexiones Control / Potencia Drive GC3000.....	130
Figura 4.27.- Diagrama de Escalera del PLC del Sistema Propuesto.....	133
Figura 4.28.- Diagrama de Conexiones Ranura 13, Cabezal Local de las Balanzas de Negro Humo.....	135

	<b>Pág.</b>
Figura 4.29.- Diagrama de Conexiones Ranura 14, Cabezal Local de las Balanzas de Negro Humo.....	136
Figura 4.30.- Diagrama de Conexiones Ranura 12, Cabezal Local de las Balanzas.....	139
Figura 4.31.-Introducción de Parámetros del Variador.....	142
Figura 4.32.-Introducción de Parámetros del Variador.....	143
Figura 4.33.- Activación de los Parámetros P.001 – P.032.....	143
Figura 4.34.- Activación de los Parámetros de Frecuencia.....	144

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.- Productos a Manejar en Transportistas Helicoidales.....	18
Tabla 2.- Clasificación de los Grupos según su Densidad.....	19
Tabla 3.- Factor de Hélice para Transportadores de Paleta y Hoja Normal.....	22
Tabla 4.- Factor de Paso.....	22
Tabla 5.- Factor de Inclinación De Transporte Helicoidal.....	23
Tabla 6.- Factor Geométrico.....	24
Tabla 7.-Factor de Fricción de Cojinetes.....	24
Tabla 8.- Limitaciones de las Variables Fundamentales.....	56
Tabla 9.- Restricciones Contra Soluciones.....	63
Tabla 10.- Ponderación de Criterios.....	64
Tabla 11.- Matriz de Ponderación de Criterios.....	64
Tabla 12.- Volumen Específico de Sílica, Cálculo Experimental.....	71
Tabla 13.- Características del Motor Seleccionado para el Transporte de Tornillo Helicoidal.....	127
Tabla 14.- Características del Variador de Frecuencia.....	127
Tabla 15.- Señales y Dispositivos de Entrada y Salida del PLC.....	132
Tabla 16.- Combinación de los Códigos Binarios para la Activación de las Señales de Salida.....	134
Tabla 17.- Combinación de los Códigos Binarios para la Activación de las Señales de Salida para Sílica.....	134
Tabla 18.- Señales de Entrada y Salida para la Variación de Velocidad de la Unidad Motriz del Transporte de Sílica.....	137
Tabla 19.- Señales de Entrada y Salida para la Comparación Proveniente de la Balanza y la Interfaz.....	138
Tabla 20.- Conmutación de Señales para la Activación del Parámetro de Velocidad.....	141
Tabla 21.- Conmutación Programada para el Sistema Propuesto.....	142
Tabla 22.- Presupuesto de Fabricación e Instalación de la Propuesta Realizada por Flexicon.....	147
Tabla 23.- Presupuesto de Elaboración e Instalación del Proyecto.....	147

## **Introducción**

Entre las etapas llevadas a cabo para la fabricación de neumáticos para automóviles se encuentra el proceso de mezclado, fase en la cual se fusionan los polímeros y demás componentes químicos requeridos para la composición de la goma. Entre los elementos necesarios para la obtención de la mezcla se encuentra la sílica amorfa. Ésta genera propiedades tales como: resistencia a la fricción o desgaste y rigidez en la banda de rodamiento y pestaña. Dichas propiedades son necesarias para garantizar el funcionamiento adecuado del producto.

En el área de mezclado de compuestos de la planta de C.A Goodyear de Venezuela, durante el transporte de la sílica desde la zona de almacenamiento hasta la alimentación del mezclador, se generan dispersiones que obligan a los trabajadores exponerse al contaminante, estando presente el riesgo de sufrir enfermedades profesionales ocasionadas por dicha sustancia. Estas pueden llegar a afectar al sistema respiratorio, específicamente los pulmones debido a la inhalación prolongada, produciéndose una fibrosis nodular mejor conocida como silicosis, además de, enfermedades en la piel ocasionadas por el contacto con los elementos cristalinos presentes en la sílica.

El proyecto que a continuación se presenta está orientado a mejorar la condición en el ambiente de trabajo de los operadores del área de mezcladores de compuestos, para ello es necesario disminuir los niveles de exposición de sílica presentes en el área, sin afectar el proceso productivo y la calidad del producto, diseñando un sistema en el cual los operadores no requieran manipular directamente la sílica, propiciando así un clima laboral adecuado para la higiene y salud ocupacional en el puesto de trabajo.

Para llevar a cabo ésta investigación, será necesario incurrir en métodos para la recolección de información, los cuales estarán basados en: observación directa de la práctica usual de los operadores del área y características técnicas de equipos o maquinarias; medición de variables tiempo y propiedades del compuesto a manejar consideradas relevantes en el método utilizado; consulta de textos bibliográficos de diseño mecánico y automatización.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

## 1.1 Planteamiento del Problema.

Goodyear de Venezuela, fundada en 1955 en la zona Industrial Los Guayos, es una empresa que elabora neumáticos (llantas) para todo tipo de vehículo, este producto está compuesto por polímeros y otros compuestos químicos, los cuales son mezclados para producir la goma, que será utilizada luego para la fabricación de la llanta.

Los neumáticos son armados con un conjunto de lonas y elementos compuestos por alambres y goma, ver figura 1.1, cada componente tiene propiedades características según su función en la misma, estos elementos son;

**Lonas:** que son la base inicial y sobre ellas van armados los componentes restantes, además, cumplen la función de mantener la hermeticidad cuando la llanta es inflada.

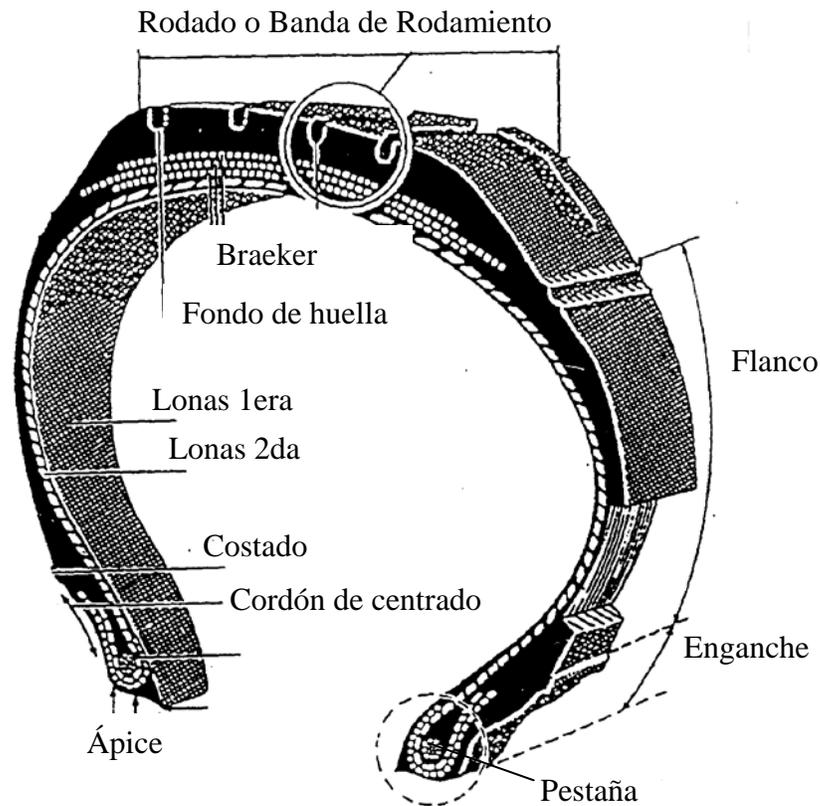
**Ápice:** es el elemento que sirve de base a la pestaña.

**Pestaña:** es el elemento que sirve de esqueleto de llanta y es la que mantiene la presión sobre el rim.

**Costado:** es el que arropa a la pestaña.

**Breaker:** es una banda compuesta por alambres colocados diagonalmente (llanta radial) ó perpendiculares al eje de giro (llanta convencional) y goma.

**Rodado:** es la banda final, donde se efectúa el tallado de la huella de la llanta.



**Figura 1.1.** Componentes de Neumáticos Radiales.  
Fuente. [www.monografias.com](http://www.monografias.com).

Para que la llanta obtenga la densidad, elasticidad, rigidez y demás propiedades físicas con los más altos niveles de calidad, Goodyear ha diseñado una fórmula donde se integran una serie de componentes que generan el resultado deseado, entre ellos se puede mencionar:

- Negro de humo: proporciona resistencia a la abrasividad y al corte, además, este componente tiene la propiedad de disipar el calor producido por la llanta mientras está en funcionamiento.
- Sílica: este componente generalmente constituye entre otros el compuesto para la banda de rodamiento y el compuesto para la pestaña, debido a la característica que proporciona para la resistencia al desgaste.

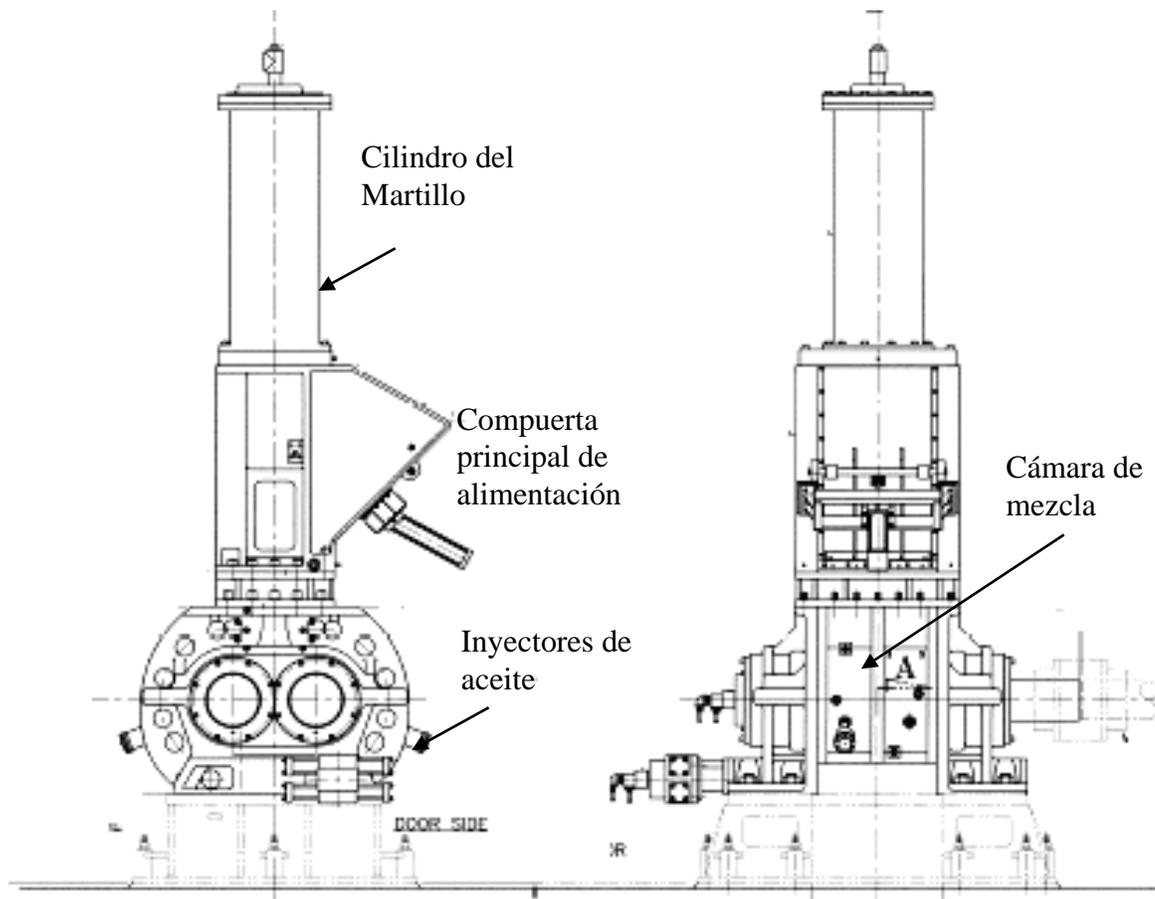
- Polímeros: son los componentes derivados del petróleo y del látex obtenido de la corteza de diversas plantas naturales, que funcionan como base y proporcionan propiedades elásticas al compuesto.
- Aceites: funcionan como agentes integradores durante el proceso de mezcla, proporcionan el medio para la unión molecular del resto de los derivados.
- Agentes acelerantes: se usan en algunos compuestos para reducir el tiempo de vulcanización durante el proceso de moldeado.

El proceso para el mezclado de la goma se realiza en un mezclador, donde son introducidos los polímeros, la sílica y el negro de humo en cantidades controladas. El mezclador es una maquinaria como la que se ilustra en la Figura 1.2 llamada Banbury, fabricada por la marca KSBI (Kobelco Stewart Bolling, INC).

Los componentes químicos son introducidos en la cámara de mezcla de la siguiente manera:

- Los polímeros son introducidos a través de la compuerta principal, “Hoper Door”, por medio del transporte alimentador, el cual está constituido por una bancada y un sistema de banda transportadora.
- El negro de humo, es introducido al mezclador por medio de un transporte-balanza a través de una abertura existente en la garganta del mezclador y un ducto inclinado transporte-pesaje.
- El aceite es introducido en la cámara de mezcla por medio de inyectores, luego de haber sido dosificado en la balanza de aceite.

Todos estos transportes son controlados por un sistema semiautomático.



**Figura 1.2** Mezclador Banbury 270XG  
Fuente. Manual del Banbury 270

Actualmente, la sílica se introduce a la cámara de mezcla manualmente siguiendo el procedimiento que se presenta a continuación:

- La sílica es pesada y colocada en bolsas en cantidades específicas, luego son marcadas con un código que relaciona la cantidad de sílica con el tipo de compuesto de goma.
- Estas bolsas son trasladadas a un lugar cercano al transporte alimentador a disposición del operador del mezclador.

- El operador selecciona según el compuesto a mezclar, la bolsa de sílica para colocarla en el transporte alimentador junto con los polímeros.
- Los compuestos son introducidos desde la compuerta principal a la cámara de mezcla.

El procedimiento actual presenta algunas desventajas, las cuales son:

- El traslado de la sílica desde el cuarto de pigmentos hasta el lugar de operación del mezclador se realiza por medio de montacargas, lo que causa en frecuentes ocasiones la dispersión del producto a lo largo de la trayectoria seguida por el transporte, generando una contaminación local del ambiente de trabajo.
- El personal de la empresa manipula directamente el agente químico lo que pone en riesgo la salud de los mismos, ya que la sílica puede producir enfermedades profesionales tales como cáncer, silicosis y otras que afectan al sistema respiratorio.
- Al pesar y colocar el código al recipiente, según la cantidad de sílica, el personal está propenso a cometer errores de proporción lo que produce la pérdida del lote (lote de goma mezclada) por razones de calidad.

## **1.2 Objetivos.**

### **1.2.1 Objetivo General.**

Diseñar un sistema de transporte y dosificación automática de sílica amorfa para el mezclador 3 Banbury 270XG en la planta Goodyear de Venezuela, con el propósito de evitar el contacto de los operadores con la sílica y garantizar la calidad de proceso.

### **1.2.2 Objetivos Específicos.**

- Realizar un diagnóstico del sistema usado actualmente.
- Diseñar el sistema de transporte y dosificación según los requerimientos de producción y continuidad del proceso.
- Integrar el sistema a diseñar al sistema de control del mezclador Banbury 270XG.
- Realizar el estudio de la factibilidad económica del proyecto.

## **1.3 Limitaciones.**

1. El controlador del sistema a diseñar debe ser el mismo que controla al sistema actual.
2. Acceso a información confidencial de la planta.

#### **1.4 Delimitaciones.**

- Solo se realizará el diseño del sistema.
- El diseño del sistema de transporte se llevará a cabo en 2 semestres.

#### **1.5 Justificación.**

La situación actual en las operaciones de mezclado de los componentes para la materia prima en la elaboración de la llanta, presenta algunas oportunidades de mejora tanto para el proceso como para el recurso más importante de la planta, el recurso humano. El ambiente de trabajo en la zona de mezclado presenta contaminación por sílica, ésta se genera durante la manipulación directa por parte de los operadores del área al no contar con un sistema seguro para transporte del componente, por otro lado, en la dosificación de sílica se mantiene latente el error humano. Este proyecto está orientado a diseñar un sistema transporte y dosificación automática de sílica que permita el manejo adecuado del componente evitando la manipulación directa por parte de los operadores y mejorar la calidad de la mezcla controlando las cantidades dosificadas en forma automática.

## **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Revisión de Antecedentes.**

### **2.1.1 Estudio y Diseño de un Equipo de Transporte Neumático para Carbonato de Sodio.**

AUTOR: Rafael Bezara Ochoa

FECHA. Mayo 1972

Este trabajo consiste en el diseño de un transportador para almacenar y alimentar el proceso por vía neumática de una de las materias primas como lo es el carbonato de sodio utilizado entre otras aplicaciones en la elaboración de detergente.

#### **Conclusiones más relevantes:**

El sistema de transporte neumático permite mantener el producto aislado de cualquier contaminación e igualmente no permite la dispersión de la materia a transportar. La potencia necesaria para los transportadores neumáticos es mucho mayor que la requerida para un transportador mecánico de igual capacidad.

### **2.1.2. Evaluación y Rediseño del Sistema de Transporte de Úrea de PEQUIVEN Morón.**

AUTOR. Ramírez B Gustavo Y.

Requena P Henry J.

FECHA. Mayo 1997.

Esta investigación consiste en el rediseño del sistema de transporte de úrea de PEQUIVEN-Morón para evitar el derrame de úrea, optimizar los recursos de mantenimiento y lograr la confiabilidad operativa del sistema de transporte.

**Conclusiones más relevantes:**

Queda demostrado que el sistema de transporte puede manejar el incremento del 15% sobre la capacidad nominal (31,25 t/h), es decir, que el sistema tiene la capacidad de transportar úrea a una tasa de 36 t/h.

El formato diseñado para identificar y reportar los componentes que requieren mantenimiento permite una mayor comunicación entre los operarios y el personal de mantenimiento, lográndose con esto administrar los recursos de mantenimiento de una manera más eficiente.

**2.1.3 Estudio y Diseño de los Sistemas de Almacenamiento, Mezcla y Suministro a Tolvas de Materia Prima, para una Máquina Inyectadora.**

AUTOR. Héctor Castro.  
Francisco García.  
FECHA. Octubre 2003

Este trabajo tiene como finalidad mejorar la calidad y disminuir los costos ocasionados por la importación de los componentes plásticos de los vehículos producidos en una ensambladora local.

**Conclusiones más relevantes:**

El éxito en la continuidad el proceso depende en gran parte del diseño del sistema de control. En el presente trabajo se ha diseñado la parte correspondiente a ingeniería mecánica, algunos elementos estructurales y de programación del PLC. El

proyecto se considera completo cuando la parte de automatización y electricidad estén completamente diseñadas.

El diseño de este proyecto se apoya en la aplicación de una ingeniería simple, basa en tecnologías poco complejas, económicas y de alta disponibilidad. En consecuencia ésta ventaja elimina la necesidad de adquirir costosas y complejas tecnologías no disponibles en el país, abarata los costos, facilita todas aquellas operaciones, sin contar el aporte tecnológico al sector industrial venezolano.

## **2.2 Bases Teóricas**

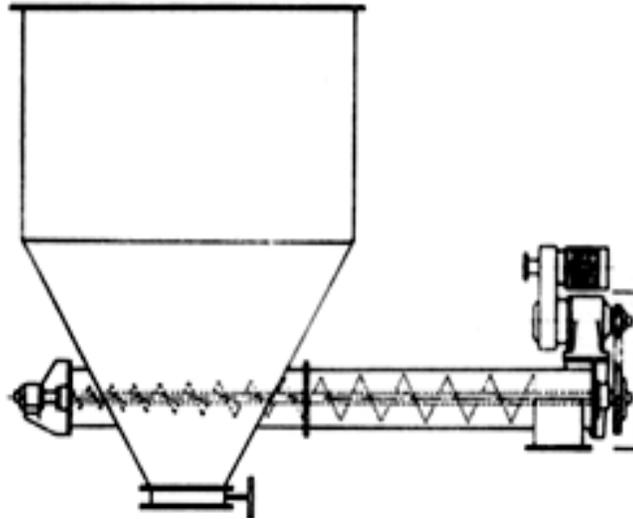
### **2.2.1 Sílica**

**Denominación Química:** Dióxido de silicio amorfo ( $\text{SiO}_2$ ).

La sílica es un material muy duro que se encuentra en casi todas las rocas. La sílica es el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita, granito, etc. Es usada en industrias textiles por su capacidad de absorber humedad, y como aditivo en sistemas de aire acondicionado. La exposición a esta sustancia puede generar enfermedades respiratorias, cáncer de piel y Silicosis.

### **2.2.2. Transportadores Helicoidales:**

Llamados también “tornillos sin fin” o “de gusano”, consiste en una lámina u hoja helicoidal unida a un eje giratorio y colocada en un canal cuya parte inferior es casi siempre semicircular, en el cual se desplaza material impulsado por el movimiento de la hoja. En la figura 2.1 se ilustra un arreglo usual para éste sistema de transporte.



**Figura 2.1.** Transporte Helicoidal.  
Fuente. [www.Ingenieríadeprocesos.com](http://www.Ingenieríadeprocesos.com)

Se usan para transportar materiales a granel, pulverizados, en trozos, etc., preferiblemente no corrosivos, ni abrasivos, en tramos de hasta unos 75 m horizontales y con inclinación de hasta unos 35°.

Ventajas:

- a) Permiten hermeticidad, evitando así contaminar o ser contaminados.
- b) El transporte puede ser acompañado de un proceso simultáneo tal como mezclado, calentamiento o enfriamiento.
- c) Su flujo se controla mejor, prestándose para dosificación en cantidades precisas para el suministro continuo.

### **2.2.2.1. Tipos de Hojas.**

1. Según el sentido del movimiento del material: supóngase que un observador se encuentra en un extremo del eje mirando hacia el centro del mismo, y que lo ve

girando en sentido horario; entonces según la inclinación de la hélice, el material se moverá hacia el observador y el transportador será derecho, o alejándose del observador, y será inverso.

Esto es importante al decidir en el proyecto las direcciones de flujo y la posición de los cojinetes axiales de los extremos, además de otros aspectos de diseño.

2. Según su forma de operar en el material: Existen las siguientes variedades de hélices:

a) De hoja completa: son aquellas en la cual el paso es igual al diámetro de la hoja, llamada también hoja normal o estándar; además existen de paso corto igual a  $2/3$  del diámetro. A medida que el paso es menor más lento y controlado es el flujo, este tipo de tornillos son más aplicable a transportadores inclinados y a productos muy fluidos.

b) De hoja doble: consta de dos hojas simples intercaladas de paso normal resultando un flujo uniforme y no tan lento.

c) De hoja aconada: varía su diámetro desde  $2/3$  del valor completo, con paso constante. Con efectos equivalentes al de paso variable se presta para entrada uniforme, controlada, de materiales en trozos, aplicándose frecuentemente en alimentadores.

d) Otros: el de hoja troquelada permite agitación y mezclado de materiales, evitando conglomeraciones no deseadas, y el de hoja cortada-doblada, retarda el flujo permitiendo una mejor acción de mezclado, mas conveniente si al mismo tiempo se necesita calentar o airear el material. El de banda, impide la acumulación de materiales adherentes en la base de la hélice, como ocurre en los de la hoja completa.

e) El de hoja normal, con paletas inclinadas a contra-flujo, que retardan la marcha del material aumentando el efecto del mezclado, y el de Paletas ajustables, que permiten mezclado y avance controlado.

#### **2.2.2.2. Materiales de los Componentes.**

Generalmente son de acero galvanizado o de aleantes para conferirles resistencia al desgaste. Para procesamientos de alimentos se usan aceros inoxidable, aluminio, metal monel y otras aleaciones “nobles”.

Para transportar productos abrasivos a veces se cubre el borde de la hoja con una banda protectora adherente, reemplazable, que es resistente al desgaste.

#### **2.2.2.3. Productos a Transportar y Nivel de Llenado.**

Se clasifican los productos según las propiedades que más afectan al transportador, o sea: abrasividad, peso específico, tamaño y borde de los trozos y granulometría. Este conjunto determina una mayor o menor “agresividad” del producto, de ello dependerá el nivel de llenado y la velocidad de rotación ya que ésta determina la mayor o menor rapidez de desgaste por el deslizamiento entre material y hoja.

En cuanto a nivel de llenado los materiales se clasifican en cinco grupos numerados de menor a mayor agresividad y por consiguiente de mayor a menor porcentaje de llenado. La tabla 1 muestra esta clasificación para algunos productos. Para otros, si no se consigue información, queda a juicio del proyectista o del usuario asignarle por comparación de propiedades el número de grupo mas apropiado.

**Tabla 1.** Productos a Manejar en Transportadores Helicoidales

PRODUCTO	P	G	F	PRODUCTO	P	G	F
Afrecho	240	2	0,4	Germen de trigo	370	2	0,4
Arvejas secas	770	1	0,5	Levadura	655	2	0,6
Cacao en polvo	625	2	0,9	Maní desconchado	640	2	0,4
Café, grano verde	530	2	0,5	Maní en concha	320	2	0,6
Café tostado	370	1	0,4	Pescado troceado	720	2	1,0
Café molido	400	2	0,6	Sílice	300	3	0,7
Cebada germinada	350	2	0,4	Soya, harina	640	2	0,8
Centeno	740	1	0,4	Trigo, granos	735	1	0,4

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales,  
Autor: Ing. César Prieto.

**P:** Peso unitario promedio,  $\text{kg/m}^3$

**G:** Grupo del producto.

**F:** Factor de resistencia del material al desplazamiento.

- **Grupo 1:** productos fluidos, livianos, poco abrasivos, como arroz, trigo, cebada o carbón lignito o bituminoso en polvo, se permite un 45% como carga optima (Un 50% máximo).
- **Grupo 2:** semi-livianos, finos o pequeños trozos, poco abrasivos. Ej. Granos de leguminosas (caraotas, soya, arvejas), café, carbón ligero, alúmina. Llenado óptimo 38% (40% máximo).

- **Grupo 3:** algo abrasivos, trozos pequeños, peso específico medio (0,6 a 1) Kg./dm<sup>3</sup>. ej. Azúcar refinada, asbesto, bórax, carbón mineral. Carga óptima 30% (máximo 35%).
- **Grupo 4:** de abrasividad semejante a la del cemento, bauxita triturada, azúcar sin refinar. Carga óptima 25% (máximo 30%).
- **Grupo 5:** muy abrasivos, como arena, lodos, piedra caliza, etc. Carga óptima 12% (máximo 18%).

Para materiales de agresividad intermedia entre dos de estos grupos puede usarse un porcentaje razonablemente intermedio. Ej. 18% para coque, o para tierra excavada seca, que están entre los grupos 4 y 5.

**Tabla 2.** Clasificación de los Grupos según su Densidad.

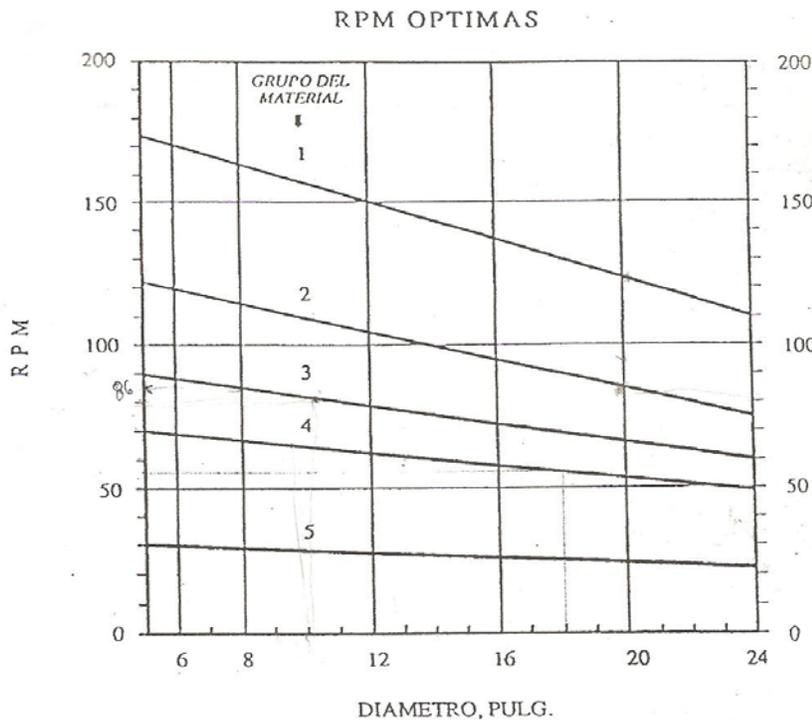
<b>GRUPO</b>	<b>DENSIDAD (kg. /dm<sup>3</sup>)</b>
1	0,8
2	1,0
3	1,2
4	1,6
5	X

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales,  
Autor: Ing. César Prieto.

### 2.2.3. Cálculo de los Transportadores Helicoidales.

#### 2.2.3.1. Velocidad de rotación óptima.

Depende del material y del diámetro, no existe un procedimiento aún donde se relacione el cálculo de rotación en función de los parámetros del producto a transportar y de las características del transporte helicoidal, sin embargo, existe documentación basada en observaciones de laboratorio donde se relaciona la velocidad de giro y diámetro de la hoja en función del tipo de material a transportar, en la figura 2.2, se relaciona para transportes helicoidales de hoja estándar, paso igual al diámetro y grupo al cual pertenece el material.



**Figura 2.2.** Velocidad de Rotación Óptima para Transportes de Hoja Estándar según el grupo de material.

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales,  
Autor: Ing. César Prieto.

### 2.2.3.2. Velocidad óptima.

La velocidad de rotación óptima es la condición donde el material es desplazado a través de los helicoides del transporte con el menor deslizamiento de la hoja, al disminuir la velocidad de rotación disminuye proporcionalmente el flujo volumétrico y al aumentar dejará de serlo y puede llegar a disminuir, mientras el desgaste es mucho mayor, el procedimiento para obtener la velocidad óptima está basado en datos obtenidos de manera experimental para flujos volumétricos, diámetros de hoja y grupo al cual pertenece el material a transportar, ver grafica 1 anexa apéndice C.

### 2.2.3.3. Capacidad Vs. Diámetro.

En la gráfica “capacidad de los transportadores helicoidales a las RPM óptimas” ver apéndice C, corresponde a transportadores horizontales de hoja normal, muestra las capacidades volumétricas para los distintos diámetros de hoja, según el porcentaje de llenado, suponiendo que las velocidades de rotación son las óptimas.

A la derecha de la gráfica esta una ampliación del intervalo logarítmico del 1 al 6, a fin de efectuar una interpolación más precisa, en el margen de la capacidad m<sup>3</sup>/hr, proyectando desde un “punto focal” P.

Si la hélice no es “normal” y/o no es horizontal, el flujo volumétrico será el que resulte al dividirlo entre los factores que consideran el tipo de hoja y la inclinación. En ese caso el flujo que resulta se denomina flujo volumétrico equivalente y el flujo real será:

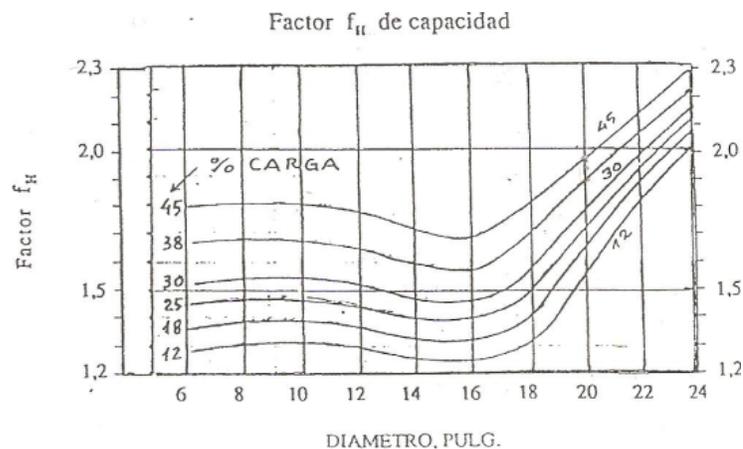
$$Q_v' = Q_v \times f_H \times f_p \times f_i \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Siendo  $f_H$  el factor de hélice, dado por la tabla 3 si el transporte es de paleta, o la figura 2.4 si es transportador de banda, por otro lado si el transporte es de hoja estándar paso igual al diámetro entonces  $f_H$  es igual a 1.

**Tabla 3.** Factor de Hélice para Transportadores de Paleta y Hoja Normal

PASO/DIAMETRO	1	2	3	4
Factor $f_H$	1,08	1,16	1,24	1,32
Factor $f_N$	1,29	1,58	1,87	2,16

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales,  
Autor: Ing. César Prieto.



**Figura 2.3** Factor de Hélice para Transportadores de Hélice de Banda.

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto.

En cuanto  $f_p$ , factor de paso, se muestra en la tabla 4, y el factor que considera la reducción de flujo debido a la inclinación  $f_i$  lo muestra la tabla 5.

**Tabla 4.** Factor de Paso

PASO/DIÁMETRO	1 1/2"	1"	2/3"	1/2"
Factor $f_p$	0,67	1	1,5	2

. Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto

**Tabla 5.** Factor de Inclinación de Transporte

INCLINACIÓN	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
Reduc. De cap. %	0	10	26	45	58	70	78
$f_I$	1	1,11	1,35	1,82	2,38	3,33	4,55

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto.

#### 2.2.3.4. Potencia requerida.

En transportadores de hoja normal, inclinado, la potencia es la suma de:

- La necesaria para girar en vacío la hélice, la cual es proporcional a la longitud del transportador, a la velocidad de rotación, un factor que considera el peso de la hoja y el diámetro de la misma.
- La necesaria para desplazar el material a lo largo del transportador suponiendo que está en posición horizontal, la cual es proporcional a la longitud, al flujo, a un factor de resistencia del material al desplazamiento y la necesaria para elevar el material.

La ecuación para calcular la potencia requerida en transportadores helicoidales es la siguiente:

$$N = [3,33 \times l \times (\eta \times A \times C + 2,2 \times Q'_m \times F \times f_n) + 3,7 \times Q'_m \times H] \times 10^{-6} \quad \text{Ecuación}$$

1.2

Donde:

- $N$ : Potencia de accionamiento (cv).

- $\eta$ : Velocidad de rotación del transporte helicoidal (*rpm*).
- $A$ : Factor geométrico (adimensional), Ver tabla 6.
- $l$ : Longitud del tornillo helicoidal. (*m*)
- $C$ : Coeficiente de resistencia de cojinete, Ver tabla 7.
- $H$ : Altura de elevación del material. (*m*)
- $Q'_m$ : Flujo másico de material (*kg/h*)
- $F$ : Factor de resistencia del material al desplazamiento, (adimensional) ver tabla 1.
- $f_n$ : Factor de hélice para hojas normales o estándar. Ver tabla.3.

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto.

**Tabla 6.** Factor Geométrico

DIÁMETRO	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
Factor A	54	96	114	171	255	336	414	510	690

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto.

$C$  es el factor que considera la resistencia que genera la fricción en los cojinetes del eje del transportador, la tabla 7 muestra los tipos de rodamientos y cojinetes usados comúnmente por los transportadores helicoidales y el factor de fricción.

**Tabla 7.** Factor de Fricción de Cojinetes

TIPO DE COJINETE		C
De rodamientos		0,6
De deslizamiento	Babbit, bronce, madera	1,0
	Plástico(polímeros pesados) UHMW	1,2
	Aleación ferrosa dura	2,5

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto.

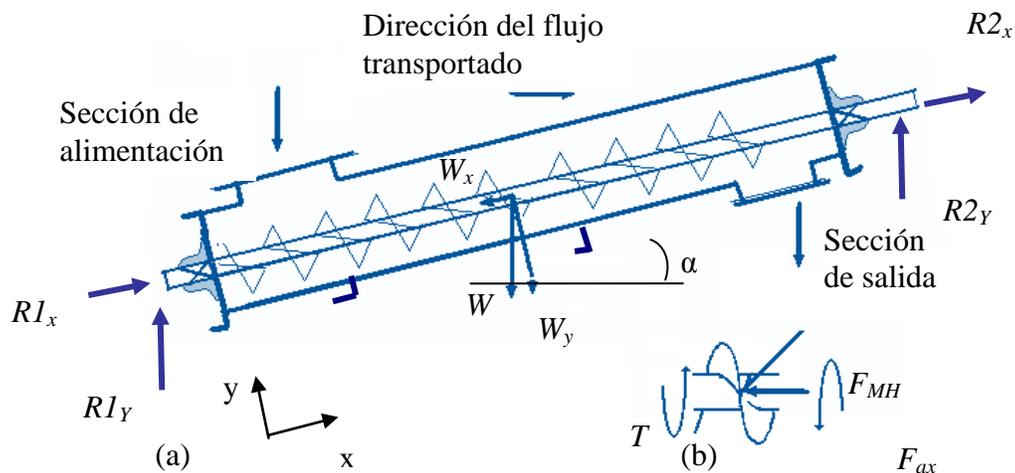
### 2.2.3.5. Diagrama de Fuerzas.

En esta sección se examinan las relaciones que existen entre las cargas aplicadas al transporte helicoidal, dichas relaciones nos proporcionan un método para analizar los esfuerzos presentes que deben ser considerados durante el diseño y selección.

Para transportadores helicoidales están presentes dos tipos de carga, la primera producida por el peso propio de los materiales y cuerpo del transporte, carga estática, y la segunda producida por el movimiento del tornillo helicoidal para empujar al material a través de él, carga variable.

- Carga Estática.

En la figura 2,4a se representa un transportador helicoidal donde se señalan las cargas producidas por el peso propio del tornillo helicoidal más el peso del material a transportar,  $W$  y las reacciones que se generan en los puntos de apoyo  $R_x$  y  $R_y$ .



**Figura 2.4.** Cargas Aplicadas al Tornillo Helicoidal.

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto.

Para transportadores inclinados, la carga  $W$  genera dos componentes;  $W_x$  y  $W_y$  orientadas según el sistema de referencia mostrado en la figura 2.4a, y están relacionados con el ángulo  $\alpha$ . La componente  $W_x$  produce tracción en un extremo del eje y compresión en el otro extremo, mientras que la componente  $W_y$  es anulada por la reacción que produce el ducto del transporte, a su vez la componente axial  $F_{ax}$  mostrada en la figura 2.4b produce el mismo efecto de  $W_x$ .

La carga  $W$  viene dada por la suma de la carga producida por el peso propio del transporte helicoidal y el peso del material a transportar de este modo se define la ecuación como sigue:

$$W = W_{Eje} + W_{Hoja} + W_{material} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde  $W_{Eje}$ : Peso del eje del transporte helicoidal y viene dado:

$$W_{Eje} = \gamma_{ac} \times V_{Eje} = \frac{\pi \times l \times \gamma_{ac}}{4} \times (De^2 - Di^2) \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

$Di$ : Si el eje del tornillo helicoidal es hueco.

$De$ : Diámetro externo del eje del tornillo helicoidal.

$\gamma_{ac}$ : Peso específico del material que constituye el eje.

El peso de la hoja del transportador  $W_{Hoja}$  se obtiene:

$$W_{Hoja} = N_{Hojas} \times \gamma_{ac} \times Esp$$

$N_{Hojas}$ : número de hojas viene dado por.

$N_{Hojas} = \frac{l}{B}$  Siendo B el paso del tornillo helicoidal.

*Esp*: Volumen de una espira.

$Esp = \frac{\pi \times h}{4} \times (D_H^2 - D_e^2)$  siendo *h* el espesor de la hoja.

Luego la expresión queda:

$$W_{Hoja} = \frac{l}{B} \times \gamma_{ac} \times \left[ \frac{\pi \times h}{4} \times (D_H^2 - D_e^2) \right] \quad \text{Ecuación 1.5}$$

El peso del material a transportar  $W_{material}$ , se calcula con la ecuación

$$W_{material} = \frac{\pi \times l \times \gamma_M}{4} \times (D_H^2 - D_e^2 + Di^2 - h \times D_H) \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Al sustituir en la ecuación 1.3

$$W = \frac{\pi \times l}{4} \left[ \gamma_{ac} \times (De^2 - Di^2) + \frac{\gamma_{ac}}{B} (D_H^2 - D_e^2) + \gamma_M \times (D_H^2 - D_e^2 + Di^2 - h \times D_H) \right] \quad \text{Ecuación 1.7}$$

La componente axial resulta de multiplicar la carga  $W$  por el seno del ángulo de elevación  $\alpha$ , si  $H$  es la altura de elevación y  $l$  la longitud total del tornillo helicoidal el seno de  $\alpha$  viene dado por:

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{H}{l}$$

De esta forma se obtiene la componente axial  $W_x$ .

$$W_x = \frac{\pi \times H}{4} \left[ \gamma_{ac} \times (De^2 - Di^2) + \frac{\gamma_{ac}}{B} (D_H^2 - D_c^2) + \gamma_M \times (D_H^2 - D_c^2 + Di^2 - h \times D_H) \right] \quad \text{Ecuación 1.8}$$

Se puede notar en la ecuación 1.7, que el término  $l$ , longitud del tornillo helicoidal no está presente, no obstante, el término  $H$ , quien representa la altura de elevación del material, mantiene una relación de proporcionalidad con la componente axial de la carga estática.

- Carga Variable.

En la figura 2.9b se ha representado el diagrama de cuerpo libre correspondiente a una sección del tornillo helicoidal, en ésta se representa la carga variable que aplica el material sobre la hoja  $F_{MH}$ . Así como la carga estática  $W$ , ésta tiene dos componentes, una vertical con excentricidad respecto al eje de giro del tornillo helicoidal, que produce torsión, y la componente axial que produce tensión y compresión en el eje del transportador.

Para transportadores de hoja normal la carga  $F_{MH}$  se expresa de la siguiente manera:

$$F_{MH} = 2148 \times \left( \frac{N}{\eta \times D_H} \right) \quad \text{Ecuación 1.9}$$

Done:

$N$ : Es la potencia de accionamiento del eje en caballos de vapor ( $cv$ ).

$\eta$ : Es la velocidad de rotación del tornillo helicoidal en revoluciones por minuto ( $rpm$ ).

La componente axial  $F_{ax}$ , se expresa de la siguiente manera:

$$F_{ax} = 6,84 \times 10^4 \times \left( \frac{N}{\eta \times D_H} \right) \times \frac{B}{D_H} \quad \text{Ecuación 1.10}$$

Siendo  $B$ , el paso entre hojas del tornillo helicoidal.

El torque producido por la componente vertical se obtiene de la siguiente expresión:

$$T = 716 \times \frac{N}{\eta} \quad \text{Ecuación 1.11}$$

#### 2.2.4. Elevadores Helicoidales.

Se colocan en posición vertical o inclinada de  $75^\circ$  a  $90^\circ$ . Muy usados para productos tales como granos, polvos, materiales triturados o en hojuelas o incluso otros como hielos; en general materiales de densidades que van de los 60 a los 2.400  $\text{kg/m}^3$  en cantidades de hasta 170  $\text{m}^3/\text{hr}$  pueden ser elevados a alturas de hasta 20 m y más.

Las velocidades de rotación son de tres a seis veces mayores que las de un transportador helicoidal de igual longitud que lleve el mismo caudal, por lo que sus componentes deben ser más acuciosamente alineados asegurando un funcionamiento sin vibraciones perjudiciales.

Para los casos de frecuente limpieza interior se diseñan cajas verticalmente separables en dos mitades.

Algunos modelos tienen el moto-reductor o “accionamiento” en la parte alta y otros en la parte baja.

El suministro de producto a elevar es mediante un helicoides horizontal cuyo eje puede ser “cruzado” con el del elevador, teniendo entonces cojinetes en los dos extremos, o de eje “central”, cuyos dos cojinetes están en el extremo de entrada al alimentador.

Con ciertos productos, para un llenado y elevación mas eficiente se construyen con una primera parte aconada de doble hoja.

Ventajas:

- Ocupan poco espacio horizontal.
- Fácil instalación o desmontaje, pudiendo ser en algunos casos prácticamente portátiles.
- Las mismas ventajas de los transportadores helicoidales en cuanto a hermeticidad y protección anti-contaminante del producto manejado.
- Sencillo y eficiente suministro del producto a elevar.

#### **2.2.4.1 Estaciones para verter costales.**

Las estaciones para verter el contenido de costales proporcionan un método conveniente y eficaz de introducir manualmente el contenido de costales de polvos y sólidos a granel de tamaño pequeño o mediano al ciclo de producción.



**Figura 2.5.** Estaciones para Verter Costales.  
Fuente. <http://www.montindustria.com>

Ventajas de usar una estación para verter costales:

- Mantiene el producto confinado dentro del ciclo de producción
- El diseño cuenta con una altura reducida - para la conveniencia del operador.  
Cabe en lugares en los que las unidades con sacos/costales no pueden.
- No existe necesidad de instalar tubería.
- No se requieren ventiladores/filtros auxiliares o aire de reposición.
- Mantenimiento fácil sin requerir herramientas especiales.

### **2.2.5 Transportadores de Cadena de Arrastre Tubular.**

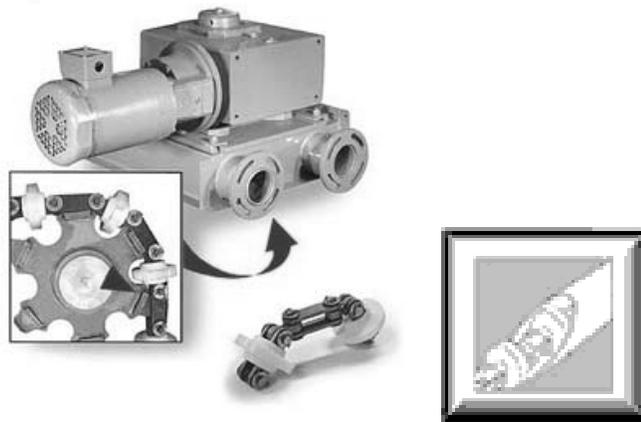
El transportador tubular de arrastre es un transportador compacto totalmente encerrado que proporciona poca degradación del producto, junto con aplicaciones de gran capacidad y de trabajo pesado que las operaciones continuas pueden requerir. Entradas y salidas múltiples agregan flexibilidad a la operación.



**Figura 2.6.** Transporte de Arrastre Tubular.  
Fuente. <http://www.montindustria.com>

Se transportan los materiales a granel entre silos en cualquier ángulo con poca o ninguna segregación o degradación del producto, asegurando movimiento positivo a lo largo de la operación.

La cadena permite transportación sobre varios ángulos y planos diferentes, se puede transportar una amplia gama de materiales incluyendo aquellos que sean frágiles, fácilmente segregados o que tengan un contenido alto en humedad. Adicionalmente, los materiales abrasivos y difíciles de manejar y/o los productos que tienden a compactarse o manchar, pueden manejarse a temperaturas de hasta 500° F.



**Figura 2.7.** Sistema de Transmisión y Cadena del Transporte de Arrastre Tubular.  
Fuente. <http://www.montindustria.com>

Uno de los proveedores de sistemas de transporte de arrastre tubular es “Montindustria”, quien ofrece una amplia gama de configuraciones disponibles para ajustarse a los requisitos específicos de plantas. Las distancias de hasta 80 pies verticales o 200 pies horizontales son posibles con capacidades de volumen de hasta 60 pies cúbicos por minuto, a velocidades de hasta 120 pies/minuto. Los transportadores y armazones son de acero al carbono (estándar) llevan un acabado de pintura esmalte o una capa de recubrimiento epóxido aplicado en dos etapas. Construcción de acero inoxidable es una opción también.

#### 2.2.5.1. Válvulas Rotativas.

Se puede usar válvulas rotativas para manipular los materiales diferentes en polvo y granulados, cemento, almidón, cal, harinas, carbón, yeso, cereales, etc. Controlan el flujo de polvos y granulados en la descarga de silos y tolvas. Descargan materiales retenidos por ciclones o filtros, impidiendo la entrada de aire a los sistemas que trabajan en depresión.



**Figura 2.8.** Válvula Rotativa.  
Fuente. <http://www.montindustria.com>.

### 2.2.5.2. Válvulas de descarga rápida.

Las válvulas de descarga rápida son válvulas del tipo on–off, que se emplean en sistemas donde se requiere cierre y apertura rápida de ductos donde el fluido está sometido a presiones elevadas. Se pueden aplicar para tuberías de agua o fluidos de viscosidad alta y materiales sólidos pulverizados o materiales sólidos a granel.

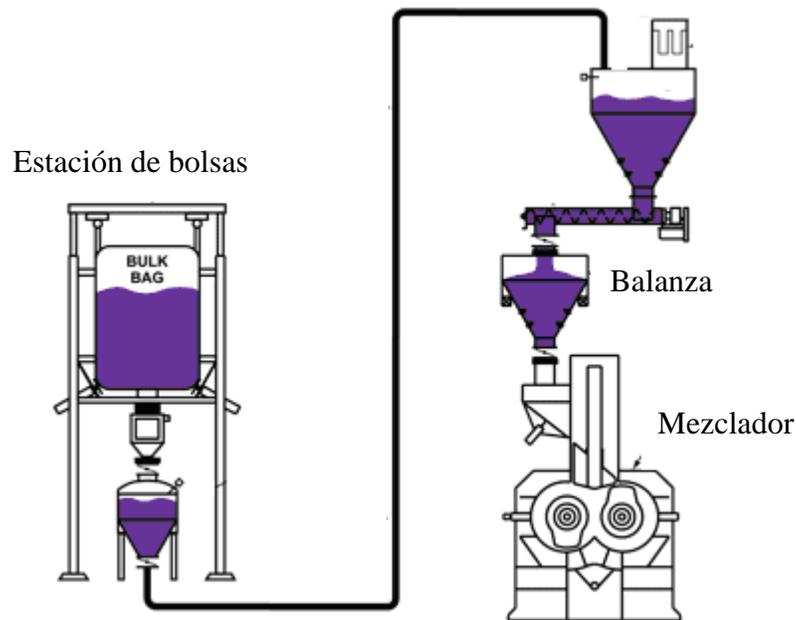


**Figura 2.9.** Válvula de descarga rápida.  
Fuente. <http://www.Interativa.ind.br>

### 2.2.5.3. Estación de Bolsas Contenedoras.

Las estaciones de bolsas contenedoras, son sistemas para descarga de sólidos a granel, consiste de un bulto o bolsa donde está contenido el sólido granulado o pulverizado.

La salida del material se encuentra en la parte inferior de la bolsa, el material fluye por gravedad al suspender la bolsa en una estructura denominada estación para su descarga, este sistema tiene una ventaja por su versatilidad en el manejo de materiales sólidos a granel, además es viable comercialmente en Venezuela por el mismo proveedor que suministra la sílica “NEGROVEN”, ver figura 2.10



**Figura 2.10.** Alimentación por Medio de Estación de Bolsa.  
Fuente. <http://www.Dynamicair.com>

### 2.2.6. Transportadores Neumáticos.

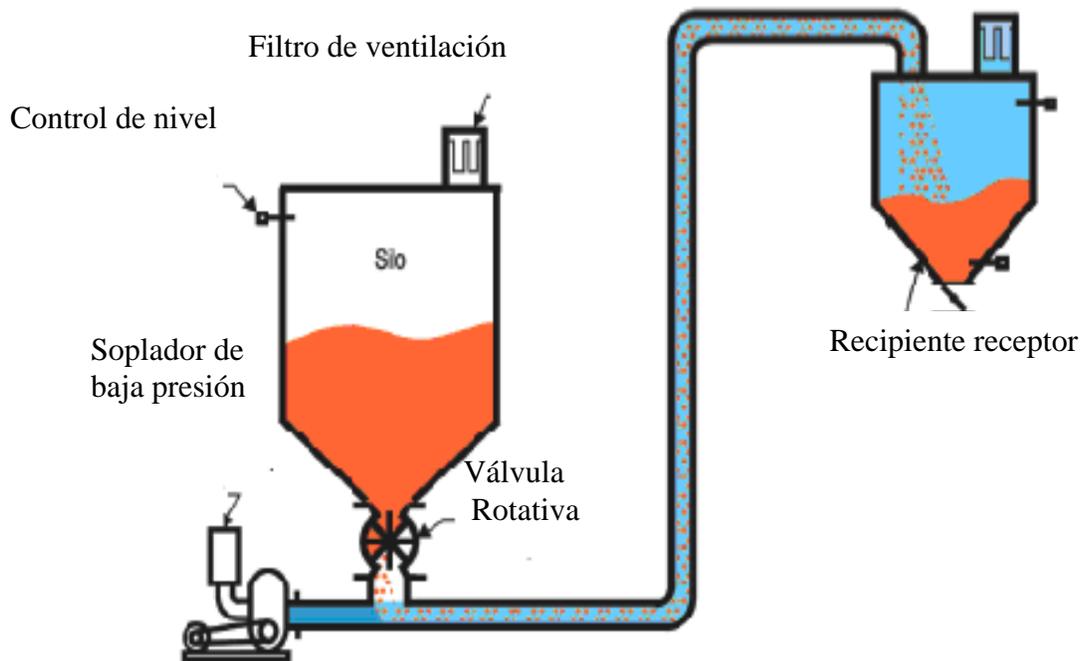
Un transporte neumático es un sistema que consiste en crear una presión diferencial a través de una tubería para mover volúmenes de materiales con aire hacia el área de menor presión. Esto se puede lograr usando sistemas de vacío (bomba de vacío) o compresores de aire para inyectar el aire dentro de la tubería.

#### 2.2.6.1. Fase Diluida vs. Fase Densa.

Las dos categorías de transportes neumáticos pueden describirse como transportes de baja presión (fase diluida) y transportes de alta presión (fase densa).

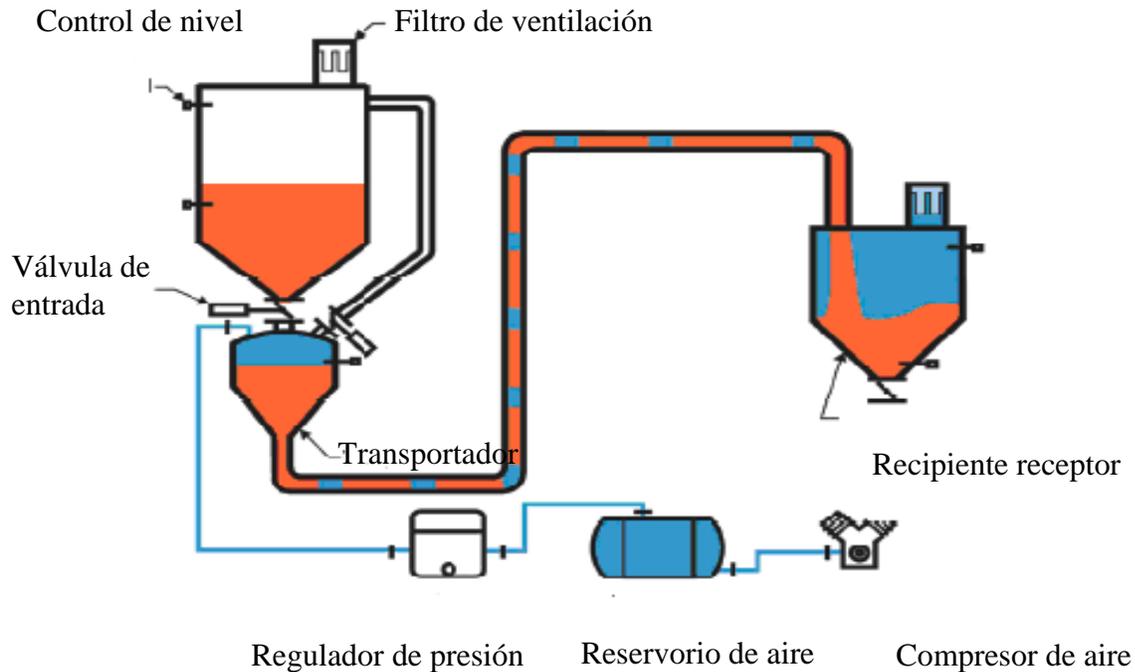
El sistema de transporte en fase diluida utiliza presiones diferenciales menores a una atmósfera, en la figura 2.11 se ilustra el esquema para transportes en fase diluida,

este sistema usa presión positiva o presión negativa para empujar o jalar el material respectivamente a través de la tubería a velocidades relativamente altas.



**Figura 2.11.** Sistema de Transporte en Fase Diluida.  
Fuente. <http://www.Dynamicair.com>

El sistema de transporte en fase densa utiliza presiones diferenciales por encima de una atmósfera, este sistema solo utiliza presiones positivas para empujar el material a través de la tubería a velocidades relativamente bajas.



**Figura 2.12.** Sistema de Transporte en Fase Densa.

Fuente. <http://www.Dynamicair.com>

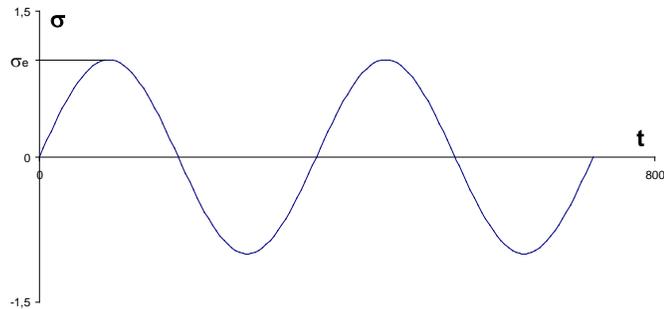
### 2.2.7 Diseño Por Carga Cíclica (Fatiga)

Algunos elementos de las máquinas, normalmente ejes y resortes, están sometidos a ciclos de carga y los esfuerzos varían continuamente.

En estas piezas la falla se da por esfuerzos menores al esfuerzo de fluencia del material, pero el cual se repite cíclicamente.

En este caso se establece el límite de fatiga del material sobre el cual aparece la falla después de un número de ciclos de esfuerzo, la falla se origina alrededor de una grieta minúscula en un punto de concentración de esfuerzos, que puede ser un defecto en el material.

La grieta puede ser el concentrador de esfuerzos y crecer hasta originar la falla.



**Figura 2.13.** Variación del Esfuerzo Axial en una Prueba de Fatiga.

El límite de resistencia a la fatiga, o de fatiga, puede estar relacionado en realidad con la resistencia a la tensión. En el caso de aceros, la relación es:

$$S'_e = \begin{cases} 0,504 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi} (1400 \text{ Mpa}) \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{ Mpa} \end{cases} \quad \text{Ecuación: 2.1}$$

El límite de la resistencia a la fatiga se obtiene de la ecuación:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d S'_e \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde  $S_e$  es el límite de resistencia a la fatiga corregido.

$S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria,

$k_a$ : Factor de superficie.

$k_b$ : Factor de tamaño.

$k_c$ : Factor de carga.

$k_d$ : Factor de temperatura.

Donde:

$$k_a = a S_{ut}^b \quad \text{Ecuación 2.3}$$

El valor de  $a$  y  $b$  se encuentran en la tabla 7-4 ver apéndice A

El factor de tamaño se obtiene con la ecuación:

$$k_b = \left( \frac{D}{0.3} \right)^{-0.1133} \quad \text{Si } 2,79\text{mm} \leq D \leq 51\text{mm}. \quad \text{Ecuación 2.4}$$

El factor  $k_c$  se determina:

Ecuación 2.5

$$k_c = \begin{cases} 0,923 & \text{Carga axial } S_{ut} \leq 220 \text{ kpsi (1520 Mpa)} \\ 1 & \text{Carga axial } S_{ut} > 220 \text{ kpsi (1520 Mpa)} \\ 1 & \text{Flexion} \\ 0,577 & \text{Torsión y cortante} \end{cases}$$

El factor de temperatura  $k_d$  se obtiene de la tabla 7-5 ver apéndice A.

### 2.2.7.1. Factor de Seguridad a Fatiga:

El factor de seguridad a fatiga (FSF) predice si la estructura fallará debido a cargas cíclicas. El FSF se calcula primero identificando todos los ciclos de carga (tensiones medias y tensiones variables) y seguidamente mediante el Diagrama de Goodman se obtienen los ciclos más desfavorables. El criterio de Goodman proporciona una estimación más conservadora del FSF, lo que significa que utilizando Goodman se tiende a sobredimensionar el diseño.

El criterio de Goodman utiliza dos propiedades del material:

La tensión última,  $S_{ut}$  y la máxima tensión alterna (o variable),  $\sigma_a$

$$n = \left( \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \right)^{-1} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Luego el esfuerzo medio y la amplitud se calculan con la ecuación:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{Ecuación 2.7 (Esfuerzo medio)}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{Ecuación 2.8 (amplitud de esfuerzo)}$$

### 2.2.7.2. Propiedades geométricas de sección circular sólida.

$$A_o = \frac{\pi \times D_e^2}{4} \quad \text{Ecuación 2.9 (área de sección circular)}$$

$$I = \frac{\pi \times D_e^4}{64} \quad \text{Ecuación 2.10 (momento polar de inercia de sección circular)}$$

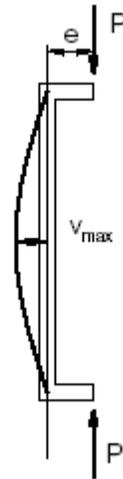
$$c = \frac{D_e}{2} \quad \text{Ecuación 2.11 (Distancia desde la línea neutra a la fibra mas alejada de la sección)}$$

### 2.2.7.3. Esfuerzos en columnas cargadas excéntricamente.

Las cargas de pandeo que se obtienen para columnas ideales son las mejores posibles. Tales análisis sólo proporcionan indicios acerca del mejor funcionamiento posible de columnas. Por lo tanto, no es sorprendente que el funcionamiento de columnas haya sido explorado también con base en algunas imperfecciones determinadas estadísticamente o en posibles desalineamientos de las cargas aplicadas.

Como una ilustración de este enfoque, se considerará una columna cargada excéntricamente que es un problema importante en si mismo.

Una columna cargada excéntricamente se indica en la Figura 2.14. Esta fuerza es equivalente a una fuerza axial concéntrica  $P$  y a momentos de extremo  $M_0 = Pe$ . Tal viga columna ya ha sido analizada, donde se encontró que debido a la flexibilidad del miembro, el máximo momento flexionante  $M_{\max}$ , es igual a  $M_0 \sec$



**Figura 2.14.** Columna Cargada Excéntricamente.

$$\sigma = \frac{P_f}{A} \left[ 1 + \frac{ec}{k^2} \text{Sec} \left( \frac{l}{2k} \sqrt{\frac{P_f}{EA}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 2.12}$$

A esta expresión se la suele denominar la fórmula de la secante para columnas. Para que se verifique dicha ecuación, la tensión máxima debe permanecer por debajo del límite de elasticidad.

Donde:

$\sigma$  : es el esfuerzo máximo producido por la carga  $P_f$

$A$  : es el área de la sección transversal de la columna.

$P_f$ : carga excéntrica aplicada a la columna.

$e$ : es la excentricidad de la carga  $P_f$  respecto al eje centroidal de la columna.

$c$ : distancia entre línea neutra y la fibra más alejada de la sección de columna.

$k$ : es el radio de giro de la sección transversal de la columna.

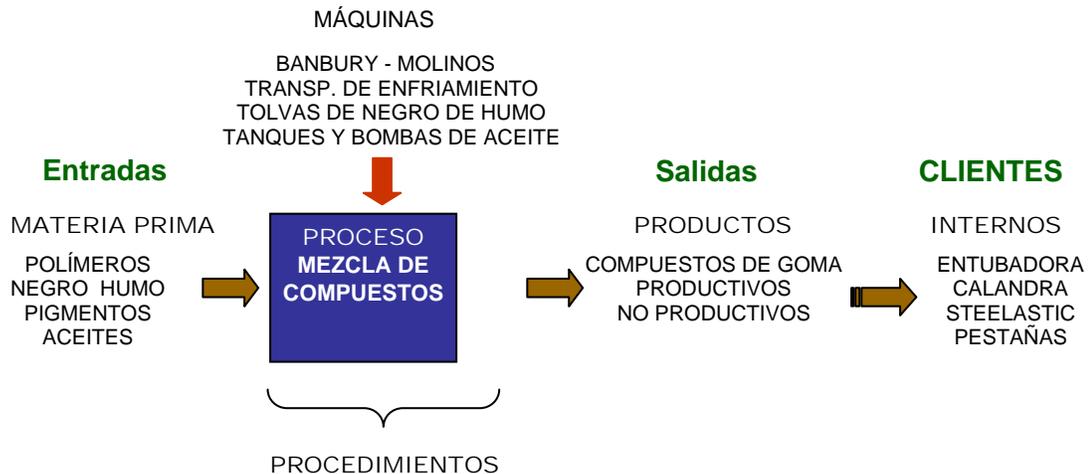
$E$ : es el módulo de rigidez de la columna,

$l$ : longitud de la columna.

### **2.3. Descripción del Proceso Actual.**

El proceso para la fabricación de los compuestos que conforman la llanta comienza en el área de mezclado, un conjunto de materiales sintéticos y naturales son mezclados para generar productos que cumplan con especificaciones de diseño y sean utilizados para construir los compuestos que serán la materia prima para las siguientes líneas de producción, estas líneas se conocen como clientes internos, y los productos generados se conocen como salidas, siguiendo este concepto se divide el proceso en cuatro partes con el objeto de identificar la importancia de cada una en la acción de producir una llanta, dichas partes son las siguientes:

- Entradas.
- Proceso de mezcla de compuesto.
- Salidas.
- Clientes.



**Figura 2.15.** Esquema de Mezclado.

Fuente: Manual de entrenamiento área de mezclado.

### 2.3.1 Entradas.

Estas están referidas específicamente a los compuestos que van a ser mezclados, como se indica en la figura 2.15. La materia prima inicial. Estos compuestos son mezclados por “pases” y la cantidad de pases es específica para cada compuesto. Estos pases se pueden dividir en:

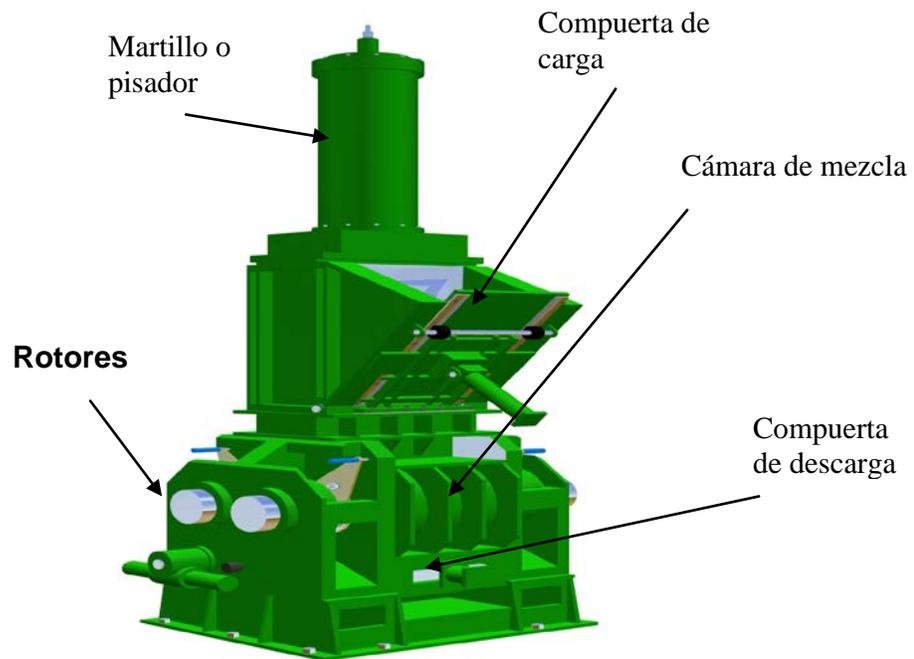
- Compuestos no productivos: (cuando la mezcla no tiene las propiedades especificadas en los estándares de proceso)
- Compuestos productivos: (mezcla final lista para ser procesada, cumple con las especificaciones de proceso).

### 2.3.2. Mezcla de Compuesto.

El “Banbury” o mezclador interno, es el equipo más común utilizado en las industrias para la incorporación o mezclado de los ingredientes que componen a una goma o compuesto.

Este equipo esta constituido internamente por tres elementos principales.

- Una cámara de mezclado: donde ocurre proceso de mezcla en un volumen de control fijo.
- Rotores: los cuales ejecutan el proceso de mezclado, los rotors giran en forma contrarrotante y con diferencia de velocidades tangenciales lo que genera esfuerzos cortantes al compuesto durante su mezclado; su forma permite que el material se mueva entre ellos y también en la dirección de sus ejes.
- Martillo: genera una presión empujando el compuesto dentro de la cámara de mezcla.



**Figura 2.16.** Mezclador “Banbury”  
Fuente. Base de Datos Corporación Goodyear.

### 2.3.3. Sistema de Negro Humo.

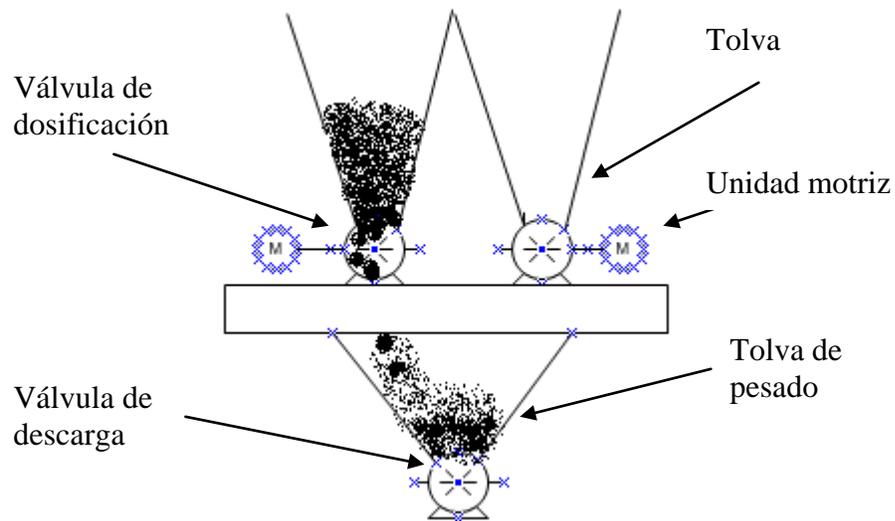
El negro humo, representa uno de los elementos más relevantes en el compuesto de goma, es incorporado a la cámara de mezcla luego de ser dosificado y pesado según receta.

El sistema de negro humo está conformado principalmente por silos donde se almacena el mismo según su tipo. Estos silos alimentan por medio de una válvula de dosificación tipo rotativa a una tolva de pesado llamada “Balanza de Negro Humo”, para controlar la cantidad de negro humo a introducir en la cámara de mezcla, se utiliza un sistema cerrado o de retroalimentación (lazo de control), por medio de 4 celdas de carga ubicadas en cada arista donde está suspendida la tolva de pesado, ver figura 2.18.

La celda de carga censa el peso del producto que cae en la tolva, convierte el peso en una señal eléctrica que es enviada a un controlador, el controlador interpreta esta señal y la compara contra un valor establecido en el set point o punto de ajuste. El controlador manda una señal a un variador de frecuencia eléctrica, quien alimenta a la unidad motriz (motor-reductor) que motoriza a la válvula de dosificación.

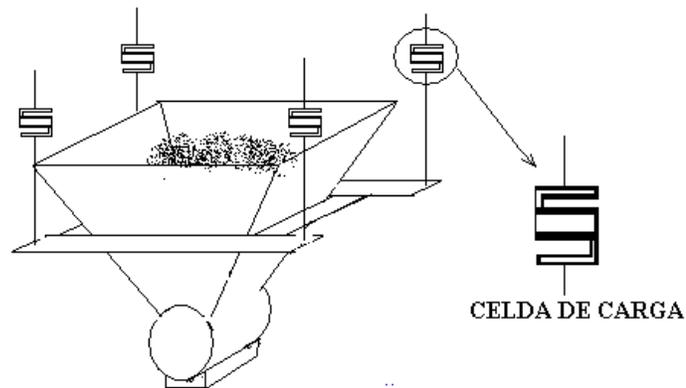
La variación de la frecuencia eléctrica sucede cuando se alcanzan tres niveles, en el primer nivel la carga de negro de humo alcanza 80% del valor de la receta, la frecuencia eléctrica disminuye de 60 Hz a 30 Hz, en el segundo nivel es cuando alcanza el 90% de la carga establecida, la frecuencia eléctrica del motor cambia de 30 Hz a movimientos generados por pulsaciones a 30 Hz, que culminan cuando se alcanza el tercer nivel ó carga completa para detener la unidad motriz, y es entonces de esta manera como se dosifica la cantidad de negro humo que se introducirá en la cámara de mezcla.

La figura 2.17 ilustra la posición relativa de las tolvas de almacenamiento y la tolva de pesado, igualmente la posición de las válvulas de dosificación y la de descarga.



**Figura 2.17.** Diagrama de Dosificación de Negro Humo del Sistema Actual.

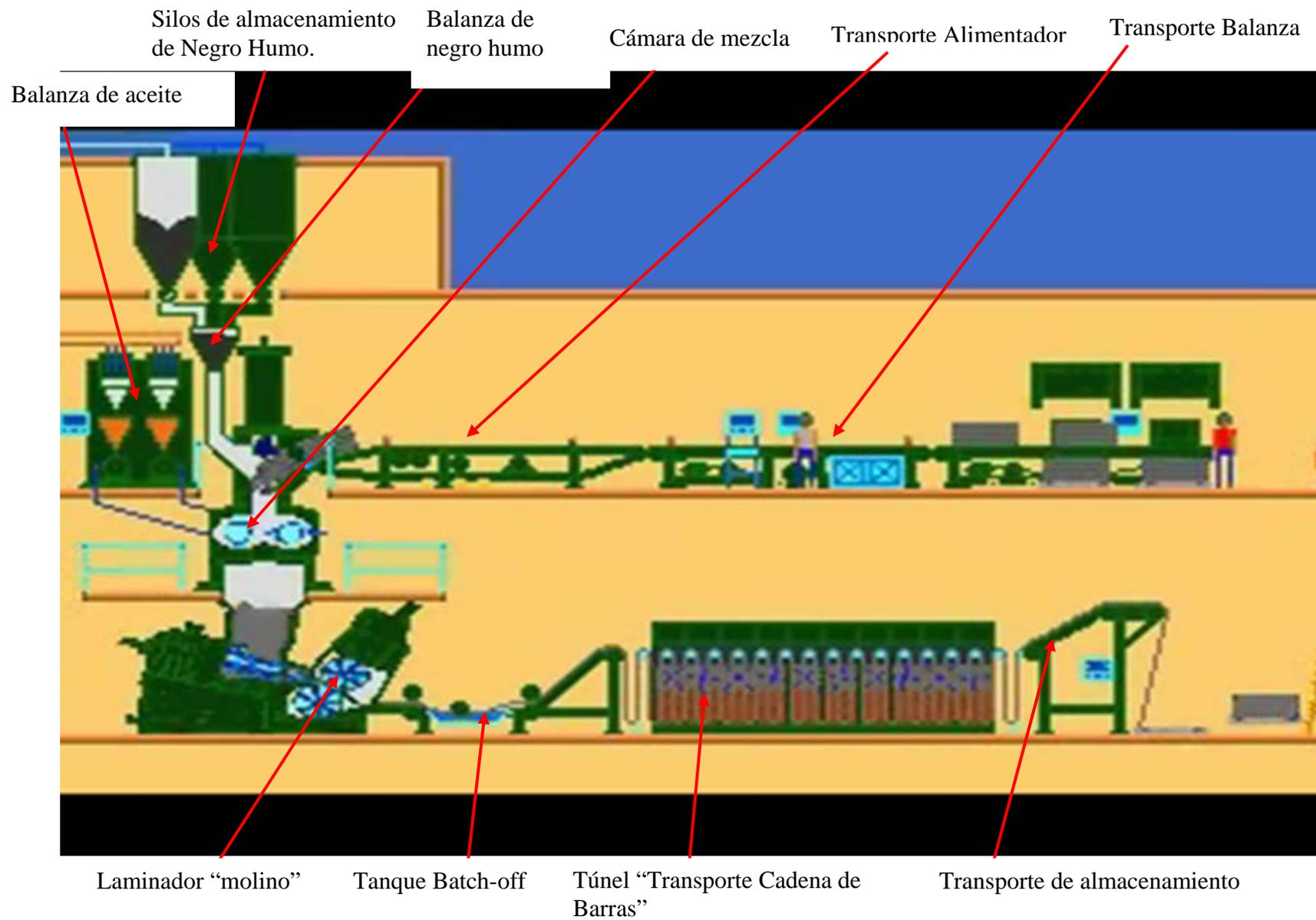
Luego de cargada la cantidad de negro humo en la cámara de mezcla, el controlador manda la señal para arrancar la unidad motriz de la válvula de descarga, válvula rotativa usada generalmente para dosificación en sistema de transportes de materiales sólidos a granel.



**Figura 2.18.** Ubicación de Celdas de Carga la Tolva de Pesado de Negro Humo.



**Figura 2.19.** Silos de Almacenamiento de Negro Humo.  
Fuente. Instalación Empresa Goodyear Los Guayos.



**Figura 2.20.** Esquema del Proceso de Mezclado.  
Fuente. Base de Datos Corporación Goodyear.

#### **2.3.4. Salidas.**

Estas están referidas al compuesto mezclado que se obtiene luego de que sale de la cámara de mezcla de Banbury. Debido a que el proceso de mezclado es discreto, los compuestos se enumeran por lotes, cada uno con un volumen que depende de la cámara de mezcla, por ejemplo; para un banbury 270 el volumen del lote es de 270 litros, (0.27 m<sup>3</sup>).

Los lotes están clasificados en dos tipos: lotes productivos y lotes no productivos.

**No Productivos:** al iniciar el proceso de mezclado, inicialmente se cargan los componentes principales, como polímeros, aceites, negro humo, etc. El lote que sale de este proceso se le denomina material crudo o lote no productivo, éste debe ser reprocesado para integrar el resto de los componentes necesarios y obtener así el compuesto que se requiere para ser utilizado en la siguiente línea de producción, lote productivo.

**Productivo:** Unión de un compuesto no productivo con sus agentes acelerantes y vulcanizantes, esta es la fase final del mezclado. En los compuestos productivos se da el proceso de entrecruzamiento de las moléculas de la llanta por medio de puentes de vulcanización generalmente formados por átomos de azufre.

# **CAPÍTULO III**

## **MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Nivel de la Investigación.**

La investigación se basará en realizar una memoria descriptiva del sistema de dosificación de sílica aplicado actualmente en el mezclador Banbury 3, con el fin de identificar las variables fundamentales del sistema y de esta manera direccionar el diseño para la solución deseada.

### **3.2. Diseño de la Investigación.**

La estrategia para adquirir la información estará regida mediante la investigación experimental del proceso de mezclado, abarcando la práctica usual de los operadores, así como la evidencia física del área relacionada con el agente químico de estudio y características técnicas de los equipos y maquinaria del área.

### **3.3. Población y Muestra.**

La población estará enmarcada por el personal que manipula el agente químico que labora en el área correspondiente al mezclador Banbury 3, por cuanto ellos constituyen una fuente primaria en la toma de información necesaria para llevar a cabo las investigaciones del proceso o funcionamiento de la máquina en estudio.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

Para realizar los ensayos y obtener datos reales del proceso se utilizarán una serie de instrumentos de medición, los cuales se mencionan a continuación:

- **Balanza:** la balanza será el instrumento utilizado para medir el peso de una cierta cantidad de sílica, quien es el compuesto a transportar, para calcular junto con el volumen de la cantidad pesada, el peso específico, propiedad fundamental para cálculo de potencia requerida.
- **Cilindro graduado:** el cilindro graduado se empleará para medir el volumen de una cierta cantidad de sílica con la finalidad de obtener el peso específico del compuesto.
- **Vernier:** instrumento formado por una regla graduada o escala principal y una escala secundaria o nonio que desliza sobre la primera. Un vernier típico toma medidas exteriores, interiores y de profundidad, Será utilizado para medir el tamaño de grano de una muestra de sílica y con esto calcular el tamaño de grano promedio del compuesto en estudio.
- **Cronómetro:** Instrumento para determinar tiempos de inicio del proceso de estudio, el cronómetro será utilizado para medir los tiempos promedios de los ciclos de mezclados, para definir los tiempos de cada una de las secuencias de descarga de los compuestos en la cámara de mezcla.

### **3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.**

Los datos obtenidos se llevarán a un tabulador donde se aplicará la ecuación del valor medio relacionado para cada actividad, para el cálculo del peso específico se tomarán cinco muestras, en cada una se medirán las propiedades primarias, peso y volumen para luego calcular el peso específico.

Para tomar los tiempos relativos en el proceso de mezclado, se dividirá el ciclo en eventos, se generará un tabulador para calcular el promedio de cada uno por separado.

a) Procedimiento para la toma del tiempo de mezclado.

Lugar para toma de datos: Área aledaña al mezclador Banbury # 3, donde se tomaran los tiempos del ciclo de mezclado.

- Se dividirá el ciclo de mezclado por eventos que se describen como sigue:
  - 1) Cierre de compuerta de descarga de compuesto mezclado.
  - 2) Descarga de compuestos desde el transporte alimentador a la cámara de mezcla.
  - 3) Cierre de compuerta de carga.
  - 4) Descarga de Negro Humo desde la balanza de pesado hasta la cámara de mezcla.
  - 5) Baja contrapeso flotante.
  - 6) Sube contrapeso flotante.
  - 7) Inyección de aceite de proceso a la cámara de mezcla.
  - 8) Baja contrapeso flotante.
  - 9) Mezcla de los compuestos dentro de la cámara de mezcla hasta que estos alcanzan la temperatura de receta.
  - 10) Apertura de la compuerta de descarga del bache mezclado.
  - 11) Sube contrapeso flotante.
  
- Se tomará un punto de referencia como punto de partida o inicio del ciclo de mezclado y es cuando sale el bache de la cámara de mezcla, el evento siguiente es el punto más indicado para el punto de partida, de los eventos mencionados

anteriormente, el evento número uno. “Cierre de la compuerta de descarga del compuesto mezclado”.

- Se tomarán cinco muestras de tiempo para el ciclo de mezclado completo, estos se llevarán a una tabla para calcular posteriormente el valor medio.
- Se tomarán cinco muestras para cada uno de los eventos que completan el ciclo de mezclado, se llevará a un tabulador y se calculará el valor medio para cada evento.

b) Procedimiento para el cálculo del peso específico de la sílica.

Para la medición de las propiedades físicas primarias de la sílica se utilizará el Laboratorio Físico de la planta Goodyear.

- Se tomarán cinco muestras de bolsas diferentes en un recipiente y se llevarán al laboratorio físico, se medirá el peso ( $P$ ) y el volumen ( $v$ ) de cada una de las muestras.
- En cada una de las muestras se medirá el volumen.
- Se calculará el peso específico para cada una de las muestras aplicando la ecuación.  $\rho = \frac{v}{P}$  ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) estos resultados se llevarán a un tabulador y se calculará el valor promedio.

### **3.6 Formulación de la Situación Problemática.**

#### **3.6.1. Información inicial.**

Automatizar la dosificación de la sílica a la cámara de mezcla de banbury 3.

#### **3.6.2. Situación problemática.**

En la actualidad la alimentación de la sílica a la cámara de mezcla se realiza de forma manual, la administración de la planta Goodyear de Venezuela requiere eliminar esta operación para evitar la manipulación directa de la sílica por parte del operador, además, se requiere agilizar la operación de carga de compuestos hacia la cámara de mezcla.

Actualmente la operación para cargar la sílica presenta algunas desventajas:

- El traslado de la sílica desde el cuarto de pigmentos hasta el lugar de operación del mezclador se realiza por medio de montacargas, lo que causa en frecuentes ocasiones la dispersión del producto a lo largo de la trayectoria seguida por el transporte, generando una contaminación local del ambiente de trabajo.
- El personal de la empresa manipula directamente el agente químico lo que pone en riesgo la salud de los mismos, ya que la sílica puede producir enfermedades profesionales tales como cáncer, silicosis y otras enfermedades que afectan al sistema respiratorio.
- Al pesar y colocar el código al recipiente, según la cantidad de sílica, el personal está propenso a cometer errores de proporción lo que produce la pérdida del bache (lote de goma mezclada) por razones de calidad.

### 3.6.3. Formulación del problema.

Diseñar un sistema de transporte y dosificación automática de sílica amorfa para el mezclador 3 Banbury 270XG en la planta Goodyear de Venezuela, con el propósito de evitar la operación manual y el contacto entre la sílica y los operadores y de esta manera garantizar la calidad de proceso.

Para definir el problema se identifican las variables del sistema a diseñar, ver tabla 3 éstas son las variables que configuran la estructura del problema, establece las bases para diseñar el sistema que cumpla con la condición requerida.

**Tabla 8.** Limitaciones de las Variables Fundamentales

<b>V.F.</b>	<b>LIMITACIONES</b>
<b>S.B.</b>	Alimentación y dosificación manual
<b>E.I.S.B.</b>	Manual
<b>E.F.S.B.</b>	Automático
<b>S. a D.</b>	Transporte Dosificador Automático
<b>S.A.</b>	Mezclador Banbury 3

Fuente: Guía Estrategias Creativas de Diseño en Ingeniería Mecánica  
Prof. Nelson Vilchez

**V.F.** Variables Fundamentales.

**S.B.** Sistema Básico.

**E.I.S.B.** Estado Inicial del Sistema Básico.

**E.F.S.B.** Estado Final del Sistema Básico.

**S.a.D.** Sistema a Diseñar.

**S.A.** Sistema Actual.

### **3.6.4. Especificación del sistema a diseñar.**

Funciones principales:

- Evitar el contacto entre el operador y la sílica.
- Dosificar la sílica que va a ser introducida a la cámara de mezcla según la receta, de forma automática.
- Operar en forma continua cuando sea requerido.
- Evitar impactos ambientales producidos por derrames de sílica.

### **3.6.5. Criterios del sistema a diseñar.**

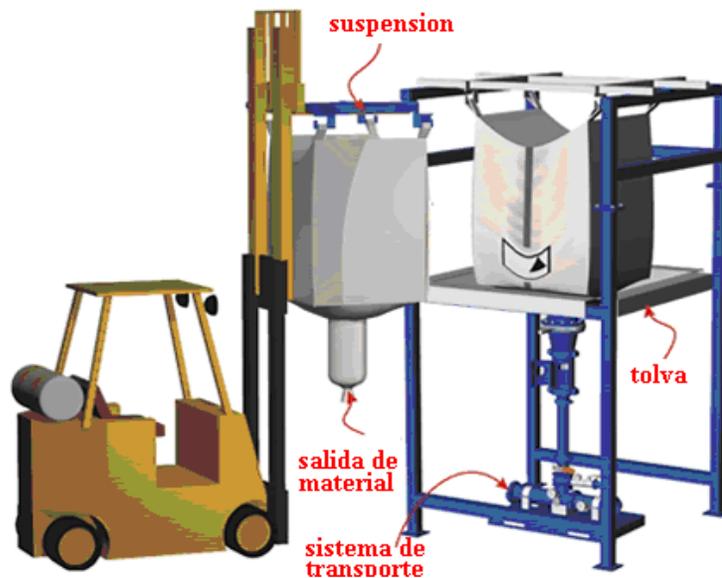
1. Construcción factible.
2. Bajo costo de mantenimiento.
3. Que ocupe poco espacio.
4. Mínimo consumo de energía.
5. Repuestos comerciales.

### **3.7. Alternativas de Solución.**

Se plantearon tres alternativas de solución para cumplir con los requerimientos del proceso de transporte y dosificación, las mismas se enumeran a continuación:

**3.7.1. Posible Solución 1:** Alimentador de tornillo sin fin, alimentando la tolva de pesado de negro humo o balanza directamente desde un reservorio ubicado en el mismo nivel del transporte denominados “Estación de bolsas contenedoras”

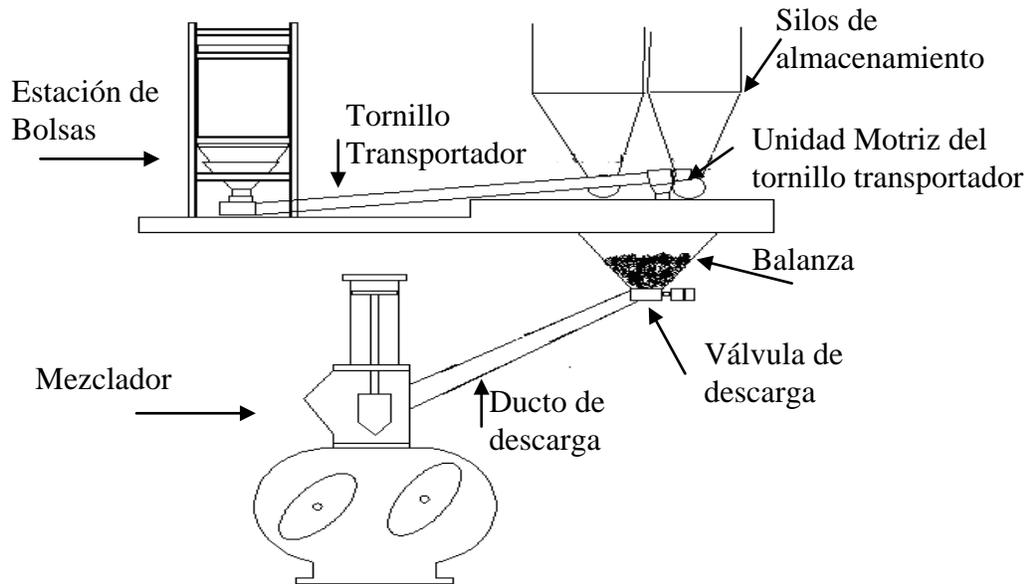
La sílica es transportada desde la estación de bolsas, hasta la tolva de pesado, la dosificación se realizará a través del tornillo transportador y es controlado por medio de un sistema de circuito cerrado. Ver figura 3.2



**Figura 3.1.** Montaje de la Bolsa en una Estación Rígida.  
Fuente. [www.Dynamicair.com/Conveyingsystem](http://www.Dynamicair.com/Conveyingsystem).

El transportador helicoidal permitirá controlar el flujo de material que se introducirá en la balanza a fin de lograr una dosis más precisa, además, el flujo se transporta a través de un ducto cerrado eliminando así cualquier posibilidad de contaminación del ambiente físico de trabajo.

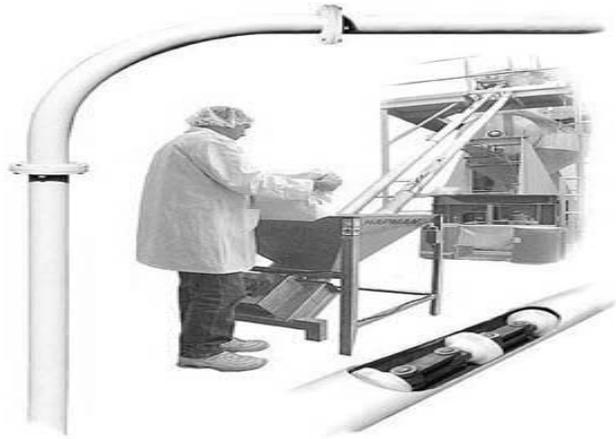
La estación de bolsas es un sistema que no permitirá el contacto de la sílica con el operador, el transporte desde la zona de almacenamiento hasta la estación de bolsas se hará en forma segura sin generar contaminación en el ambiente de trabajo. La figura 3.1 ilustra la operación de instalación de bolsa con el contenido del producto.



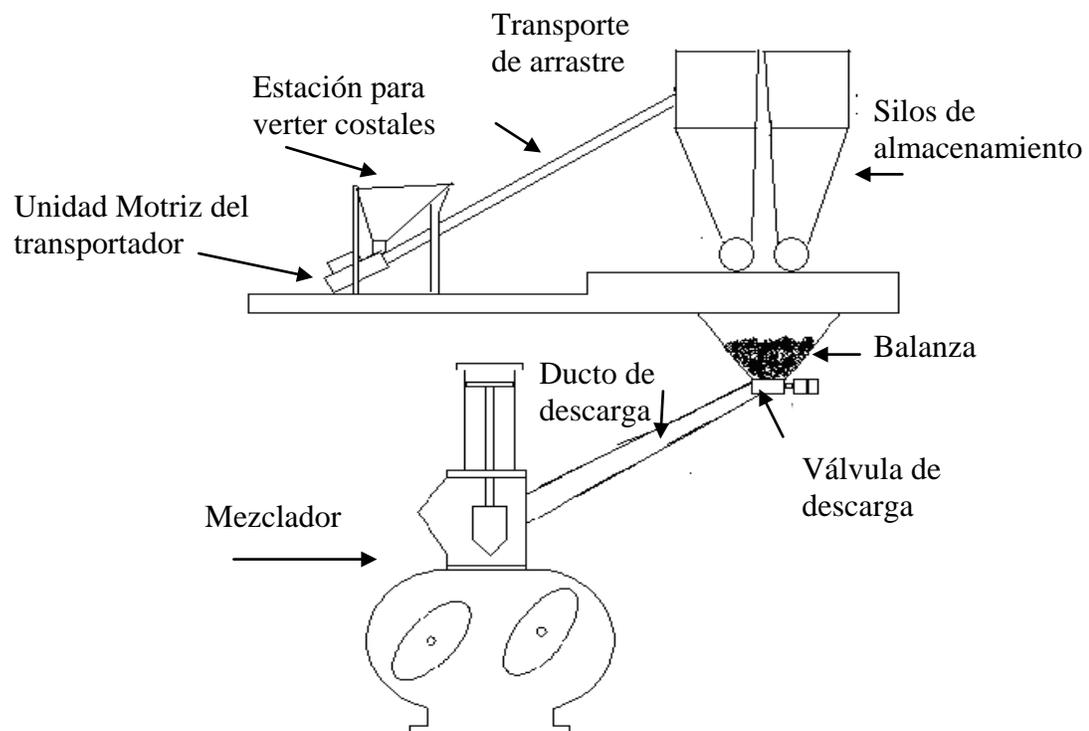
**Figura 3.2.** Diagrama de Dosificación de Sílica de la Alternativa 1.

**3.7.2. Posible Solución 2:** Alimentador de cadena tubular, utilizando un sistema de transporte de cadena tubular que transporta la sílica desde una estación para verter costales a uno de los silos usados actualmente para negro humo, y que será destinado para usar únicamente sílica, para luego ser dosificado por el sistema existente actualmente, por medio de válvulas rotativas a la balanza o tolva de negro humo, la figura 3.3 ilustra el arreglo para la instalación del transporte.

El Transportador tubular de arrastre es un transportador compacto totalmente encerrado que proporciona poca degradación del producto, junto con aplicaciones de gran capacidad y de trabajo pesado que las operaciones continuas pueden requerir. La estación para verter costales facilita la operación para cargar el transporte sin la necesidad de emplear equipos para cargas pesadas



**Figura 3.3.** Transporte de Arrastre Tubular de la Alternativa 2.  
Fuente. <http://www.montindustria.com>

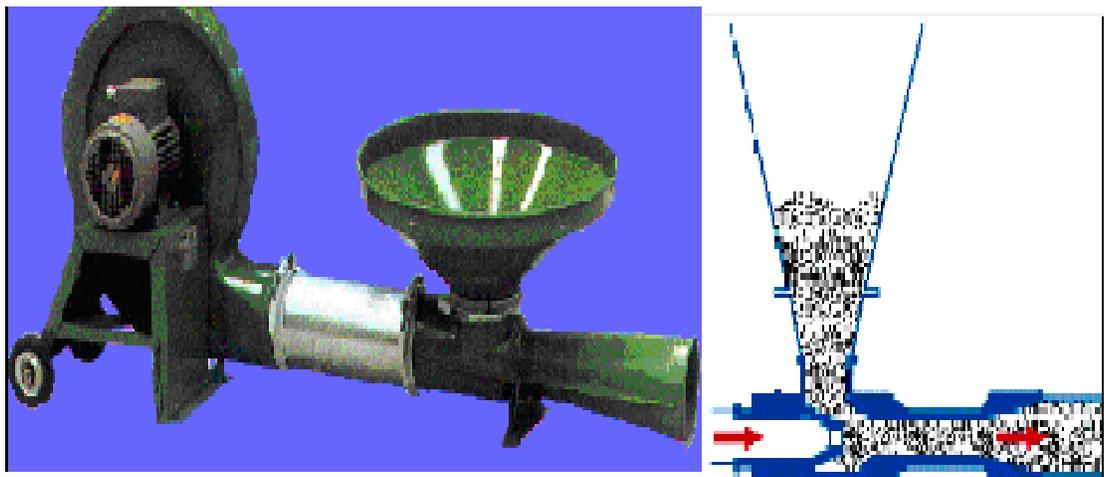


**Figura 3.4.** Diagrama de dosificación de sílica de la alternativa 2.

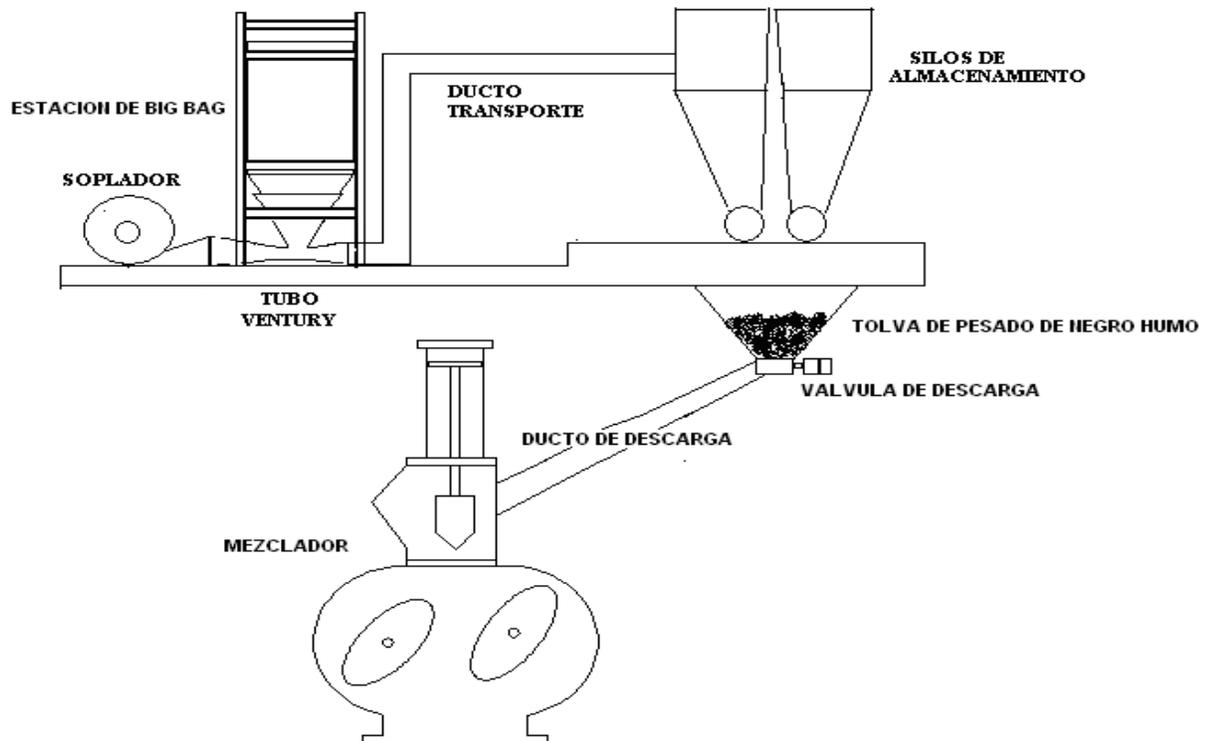
**3.7.3 Posible Solución 3:** Transporte neumático, por medio de soploadores impulsar el compuesto (sílica) a través de ductos cerrados herméticamente, el flujo de material es

depositado en uno de los silos usados actualmente para negro humo que va a ser destinado a usar únicamente sílica, luego es descargado por medio de una válvula de dosificación o válvula rotativa a la balanza, aquí se dosifica el componente. Figura 3.6.

Para la descarga de sílica en el transportador neumático se empleará unas estaciones de bolsas con el fin de que el peso de la carga venza por gravedad la presión de aire producida por el soplador. El transporte neumático garantiza el flujo de material en forma hermética para evitar contaminación por emanación de sílica en el ambiente. Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Descarga Neumática de la Posible Solución 3.  
Fuente. <http://www.montindustria.com>



**Figura 3.6.** Diagrama de Dosificación de Sílica de la Alternativa 3.

### 3.8. Selección de la Mejor Solución.

Se procede a seleccionar la mejor solución o toma de decisión, aplicando el método de ponderación de criterios y soluciones, donde el resultado de criterios contra posibles soluciones se muestra en las tablas siguientes.

Posibles soluciones:

- PS1. Alimentador de tornillo sin fin alimentado por medio de una estación de bolsas.
- PS2. Transporte de cadena de arrastre tubular con estación para verter costales.
- PS3. Transporte neumático alimentado por medio de una estación de bolsas.

Restricciones:

- R1. Área < 168 m<sup>2</sup>
- R2. Operar con sílica y negro humo.
- R3. Trabajo continuo 3 turnos / día.

Criterios:

- C1. Construcción factible.
- C2. Bajo costo de mantenimiento.
- C3. Que ocupe poco espacio.
- C4. Mínimo consumo de energía.
- C5. Repuestos comerciales.

Aplicación de las restricciones a las posibles soluciones.

**Tabla 9.** Restricciones Contra Soluciones

	PS1	PS2	PS3
R1	SI	SI	SI
R2	SI	SI	SI
R3	SI	SI	SI

Fuente. Creación propia.

Ponderación de criterios. (P)

**Tabla 10.** Ponderación de Criterios

CRITERIOS	PONDERACIÓN
C1	10
C2	8
C3	2
C4	7
C5	9

Fuente: Guía Soluciones Creativas de Diseño en Ingeniería Mecánica  
Prof. Nelson Vilchez.

Donde diez (10) es la mayor calificación y uno (1) la menor.

Ponderación de criterios respecto de la solución. (PC)

**Tabla 11.** Matriz de Ponderación de Criterios

SOLUCIONES	C1	C2	C3	C4	C5
PS1	10	8	4	6	9
PS2	4	6	8	6	1
PS3	6	7	3	8	6

Fuente: Guía Soluciones Creativas de Diseño en Ingeniería Mecánica  
Prof. Nelson Vilchez

Ponderación final

$$X1 = (PC)_1 * P_{11} + (PC)_2 * P_{12} + \dots + (PC)_K * P_{1K}$$

PC: ponderación de criterio respecto a la solución.

P: ponderación de criterio.

Para la solución # 1

$$X1 = (10)*10 + (8)*8 + (2)*4 + (7)*6 + (9)*9 = 295$$

Para la solución # 2

$$X2 = (PC)_1 * P_{21} + (PC)_2 * P_{22} + \dots + (PC)_K * P_{2K}$$

$$X2 = (10)*4 + (8)*6 + (2)*8 + (7)*6 + (9)*1 = 155$$

Para la solución # 3

$$X3 = (PC)_1 * P_{31} + (PC)_2 * P_{32} + \dots + (PC)_K * P_{3K}$$

$$X3 = (10)*6 + (8)*7 + (2)*3 + (7)*8 + (9)*6 = 232$$

Aplicando el método de selección de la mejor solución (ponderación de criterios y restricciones a cada solución), la solución escogida es la alternativa #1. Alimentador de tornillo sin fin alimentado por medio de una estación de bolsas.

# **CAPÍTULO IV**

## **DESARROLLO**

## **Diseño y Selección de Equipos.**

En la sección anterior se realizó una breve descripción del funcionamiento de la solución seleccionada. Ahora se hará un estudio detallado de las partes que componen dicha solución y como se relacionan con el proceso de dosificación, señalando los cálculos fundamentales para el diseño y selección de todos los elementos mecánicos necesarios para el funcionamiento adecuado del sistema a diseñar.

### **4.1. Sistema Propuesto.**

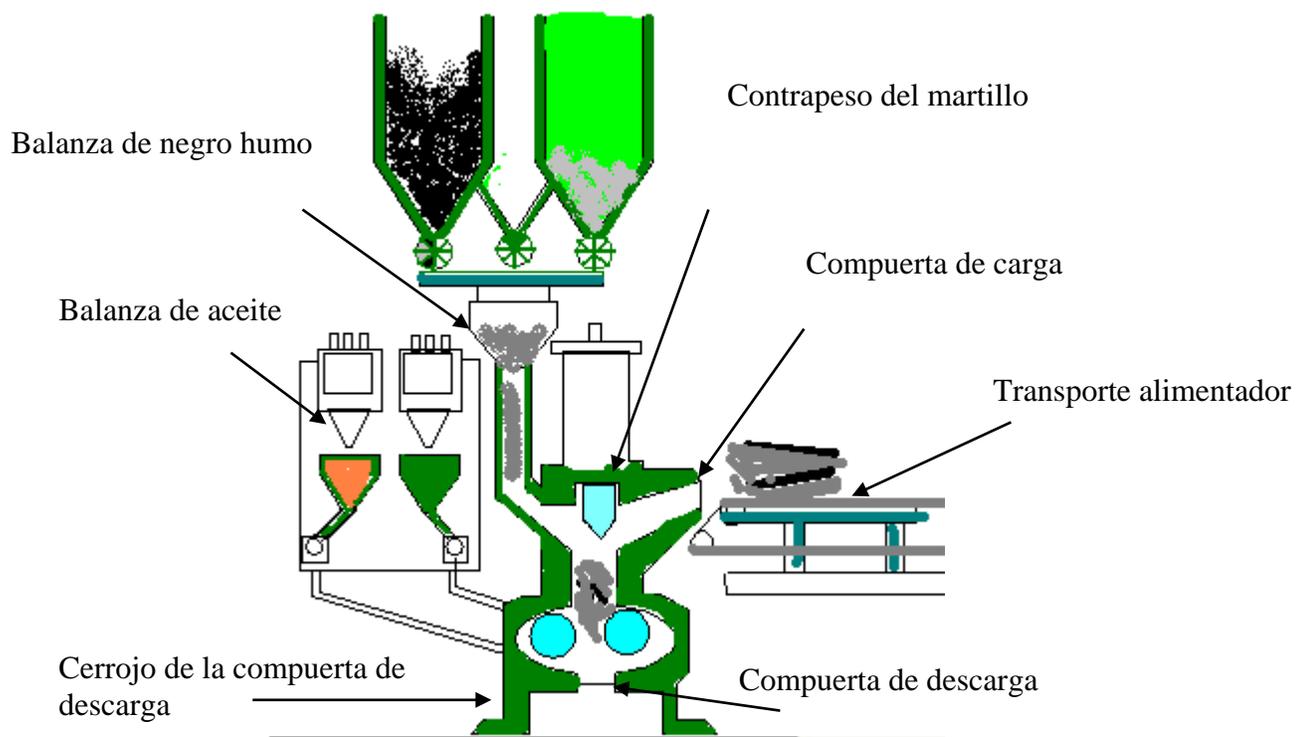
La alternativa de solución seleccionada, ver figura 3.2, está constituida físicamente por dos subsistemas que funcionan en forma conjunta, el transporte helicoidal y la estación para las bolsas de contenido de sílica, inicialmente se propone un arreglo en función del espacio físico del área y las operaciones que realizarán los operadores del nuevo sistema. En el apéndice A, plano 4.05, se presenta un diseño inicial con la finalidad de tener un punto de partida para los cálculos y dimensión de los equipos para su funcionamiento.

Para lograr cumplir con los objetivos planteados para el proyecto es necesario identificar las variables de proceso relevantes y mantener la funcionalidad de las mismas luego de la aplicación del proyecto, de modo de no afectar el resto de las operaciones del sistema actual al integrar la dosificación automática de sílica en el sistema.

Con los datos recolectados por medio de la observación directa y datos suministrados por el personal encargado del proceso de producción, se logró dividir el ciclo de mezclado en un conjunto de pasos secuenciales que ayudarán a visualizar el proceso de mezclado y se indican en la figura 4.2.

En primer orden se identifican los subsistemas del mezclador que interactúan durante el proceso de mezclado y se describen a continuación:

- Transporte alimentador.
- Compuerta de carga.
- Compuerta de descarga, cerrojo de la compuerta de descarga.
- Martillo.
- Balanza de aceite.
- Balanza de negro humo.



**Figura 4.1.** Subsistemas del Mezclador.

En la figura 4.1 se pueden identificar los subsistemas relevantes los cuales mantienen una secuencia lógica durante el proceso de mezclado



El tiempo del ciclo de mezclado en Banbury 3 varía para cada código de mezcla, es decir, existe una lista de compuestos que son mezclados, cada uno con especificaciones técnicas disímiles entre sí y que afectan a algunos eventos de la secuencia, ya que los mismos están directamente relacionados con las características del compuesto, para la mayoría el tiempo de mezcla promedio es aproximadamente 11 minutos.

Para dimensionar el sistema de transporte seleccionado para la operación de dosificación, es necesario obtener información del flujo de material a transportar, generalmente el transporte desplazará volúmenes diferentes de sílica según sea lo requerido para la mezcla del compuesto, no obstante el transporte debe tener la capacidad de desplazar el flujo mayor requerido de sílica mas un porcentaje como factor de seguridad.

#### **4.2. Volumen Requerido de Sílica.**

Se analizaron los compuestos mezclados para obtener la condición más crítica, y es cuando dicho compuesto requiere la mayor cantidad de sílica en peso, y de aquí dimensionar el transporte de forma adecuada, la lista de compuestos se conoce como receta y el compuesto con mayor cantidad de sílica se conoce como “SU1262” el cual contiene 23,53 kg. Ver hoja de receta, apéndice C.

Para obtener el flujo volumétrico ( $Q_v$ ) de sílica a desplazar a través del transporte, se requiere información de las variables que la componen, como volumen específico ( $v_s$ ) y flujo másico ( $Q_m$ ), éstas se obtienen en base a mediciones de variables primarias. El flujo másico sería la cantidad de sílica en (kg) a desplazar en una cantidad de tiempo (s); mientras que el volumen ( $m^3$ ) que ocupa cierta cantidad (kg) de sílica, basado en mediciones del laboratorio.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de las mediciones directas realizadas en el laboratorio.

Inicialmente se midió el peso del cilindro graduado (Pcg).

Pcg = 0,36 kg.

**Tabla 12.** Volumen Específico de la Sílica, Cálculo Experimental

Ensayo	Volumen (ml)	Peso (kg.)	Peso(kg) – Pcg (kg.)	Volumen específico(ml/kg)
1	440	0,50	0,14	3034,4
2	250	0,44	0,08	3125,0
3	260	0,44	0,08	3058,8
4	330	0,47	0,11	3000,0
5	315	0,46	0,10	3118,8

Fuente. Creación propia.

$$\bar{V} = \frac{\sum Volumen_{esp}}{n} = 3067,42 \text{ ml/kg} = 0,003067 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$n$  : número de ensayos

$\bar{V}$ : Volumen específico promedio.

Luego el volumen de sílica a transportar sería el siguiente:

$$v = P \times \bar{V} = 23,53 \text{ kg} \times 0,003067 \text{ m}^3/\text{kg} = 0,072 \text{ m}^3$$

### 4.3. Tiempo de Dosificación.

El tiempo de dosificación está relacionado directamente con la especificación del compuesto a mezclar, para el cálculo del flujo de sílica se aplicará el criterio de usar el código del compuesto que mayor cantidad requiera, con el fin de diseñar el sistema con la capacidad necesaria para cubrir las exigencias del proceso, adicionalmente, al eliminar la operación manual y adicionar la dosificación automática conlleva a

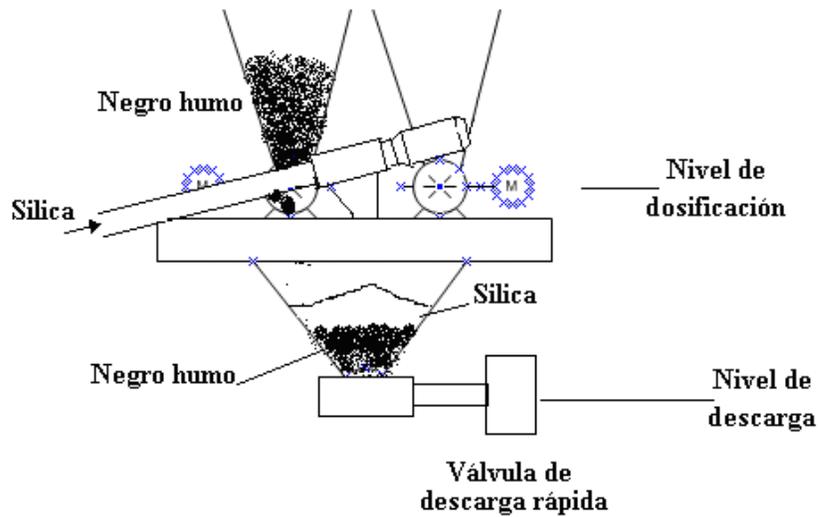


Al introducir en la balanza la sílica y el negro humo (evento 4), ver figura 4.3, se genera un incremento de tiempo durante la descarga, debido a que aumenta el volumen de material a descargar. El sistema actual utiliza para la descarga una válvula rotativa. Ésta válvula está diseñada para descargar material pulso a pulso, es decir, el material fluye en forma discreta y paulatinamente, se aplica generalmente para dosificación ó descarga de materiales donde se requieren flujos constantes y controlados.

Para contrarrestar este defecto, se sustituye la válvula rotativa de la balanza de pesado por una válvula de descarga rápida, esta válvula garantiza una reducción en el tiempo de descarga y disminuye el efecto de incremento de volumen producido por la sílica. Ver figura 4.4.

El tipo de válvula seleccionada, válvula de descarga rápida tipo mariposa, debe coincidir con el diámetro de la tubería de descarga, 12 pulgadas.

En el catálogo del fabricante Interativa se pueden ver las especificaciones de estas válvulas, ver anexos. Esta válvula puede trabajar con flujos de materiales sólidos como arena y otros productos en condiciones severas.



**Figura 4.4.** Descarga de Negro Humo y Sílica, Aplicación de la Válvula de Descarga Rápida.

Ahora considerando el tiempo de descarga  $t = 40$  s, y una carga de 23,53 kg, se puede obtener un flujo volumétrico para diseñar el tornillo transportador.

$$P = 23,53 \text{ kg}$$

$$V = 0,003067 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$t = 40 \text{ s.}$$

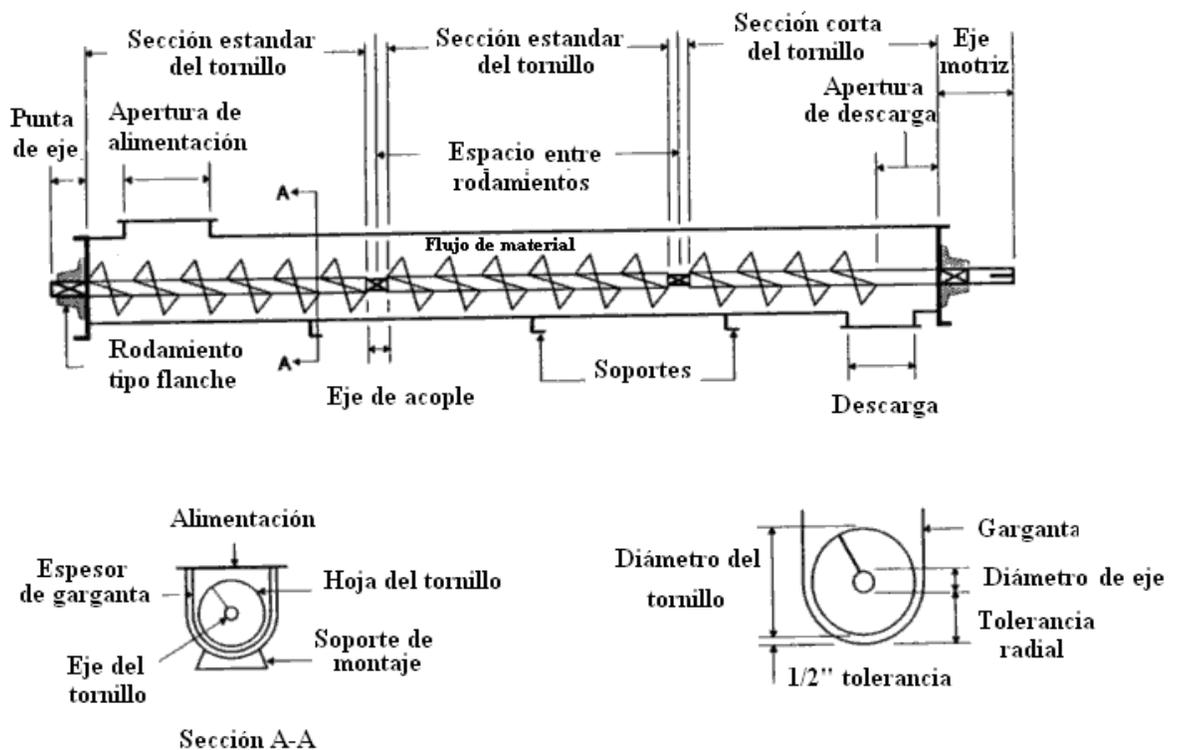
De aquí se obtiene:

$$Q_v = \frac{V \times P}{t} = \frac{0,003067 \text{ m}^3/\text{kg} \times 23,53 \text{ kg}}{40 \text{ s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 6,49 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_v = 6,49 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4.5. Selección del Transporte Helicoidal.

Por ser el más común y de construcción menos compleja, en comparación con los otros tipos de transportes helicoidales mencionados en capítulo 2, se selecciona el de hoja estándar o normal donde el paso es igual al diámetro, este tipo de transporte es más comercial en el mercado y con disponibilidad a nivel regional, el mismo se ajusta a los requerimientos del sistema a diseñar y es capaz de controlar los flujos volumétricos del material a transportar.



**Figura 4.5.** Tipo de Tornillo Seleccionado  $D_H = B$  (Diámetro de Hoja Igual al Paso de Helicoide).

Fuente. <http://www.montindustria.com>

#### 4.6. Cálculo del Diámetro y Velocidad de Rotación Óptimos.

Teniendo en cuenta algunos factores que afectan el flujo de material, es necesario calcular el flujo volumétrico equivalente y con éste realizar los cálculos para obtener el diámetro de hoja y la potencia requerida por el sistema.

Aplicando la ecuación 1.1 se tiene.

$$Q_V' = (6,49 \text{ m}^3/\text{h}) \times 1,033 = 6,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$f_H = 1$ : para hojas normales con paso entre filetes igual al diámetro de hoja.

$f_p = 1$ : para paso de filetes igual al diámetro de hoja.

$f_I = 1,033$ : para transportes con inclinación de  $\alpha = 6,5^\circ$  interpolación entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$  ver figura 2.6.

$\alpha$  : ángulo de inclinación del transporte con respecto a la horizontal.

Dado el flujo volumétrico a desplazar, el paso siguiente es seleccionar el diámetro de hoja para el transporte helicoidal, en el gráfico “capacidad de los transportadores helicoidales a las RPM óptimas”, ver apéndice A, conocido el flujo volumétrico y el grupo de material se obtiene  $D_H = 6,7''$  dado que la sílica pertenece al grupo III, ver tabla 1.

Los diámetros comerciales para tornillos helicoidales estándar existentes son (6'', 8'', 9'', 12'' y 15''), dada la condición, hay dos caminos para seleccionar el diámetro de hoja adecuado, el primero es seleccionar el diámetro de hoja y reajustar el flujo volumétrico para mantener la velocidad de rotación óptima, y el segundo, seleccionar el diámetro de hoja y ajustar la velocidad de rotación para mantener el flujo volumétrico.

Teniendo en cuenta el término de velocidad óptima, se selecciona  $D_H = 6''$ , se mantiene la velocidad de rotación óptima. En este caso el flujo volumétrico disminuye, lo que incrementa el tiempo de dosificación de sílica.

Luego con el diámetro de hoja seleccionado, en la gráfica “capacidad de los transportadores helicoidales a las RPM óptimas” se obtiene el nuevo flujo volumétrico equivalente  $Q_V' = 4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ , luego el flujo real será  $Q_V = 4,06 \text{ m}^3/\text{h}$  que al dividirlo por el factor de inclinación del transporte se obtiene:

$$t = \frac{V \times P}{Q_V} = \frac{0,003067 \text{ m}^3/\text{kg} \times 23,53 \text{ kg}}{4,06 \text{ m}^3/\text{h}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 64 \text{ s}$$

Este tiempo es poco conservador si se compara con la dosificación de negro humo. Al seleccionar el diámetro de hoja inmediato superior  $D_H = 8''$ , se obtiene el nuevo flujo volumétrico equivalente  $Q_V' = 9,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , luego el flujo real será  $Q_V = 8,71 \text{ m}^3/\text{h}$ , y el tiempo de dosificación  $t = 30 \text{ s}$ .

Se selecciona  $D_H = 8''$ , y la velocidad de rotación óptima se obtiene de la figura 2.2 interceptando la curva que representa al grupo III de materiales a transportar con una línea vertical que pasa por el punto diámetro de hoja igual  $8''$ , se obtiene  $\eta = 86 \text{ rpm}$ .

#### 4.7. Cálculo de Potencia de Accionamiento.

Para el cálculo de la potencia de accionamiento se aplicará la ecuación 1.2, y se obtiene:

$$N = \left[ 3,33 \times 6m \times \left( 86rpm \times 82 \times 1 + 2,2 \times 2934,46 \frac{kg}{h} \times 0,7 \times 1,29 \right) + 3,7 \times 2934,46 \frac{kg}{h} \times 0,8 \right] \times 10^{-6} = 0,27cv$$

Donde:

$$\eta = 86 rpm.$$

$A = 82$ , diámetros entre 6" a 9", ver figura 2.7.

$C = 1$ , para rodamientos, ver figura 2.8.

$H = 0,8$  m es la altura de elevación según diseño.

$F = 0,7$  para sílice. Ver tabla 1.

$f_n = 1,29$  para hojas normales diámetro igual al paso, ver figura 2.3.

$l = 6$  m. longitud

El flujo másico equivalente es:

$$Q_m' = \frac{Q_v'}{V} = \frac{9 \frac{m^3}{h}}{0,003067 \frac{m^3}{kg}} = 2934,46 \frac{kg}{h}$$

La potencia de accionamiento en "caballos de fuerza" se obtiene al multiplicar el resultado en "caballos de vapor" por el factor 0,9861.

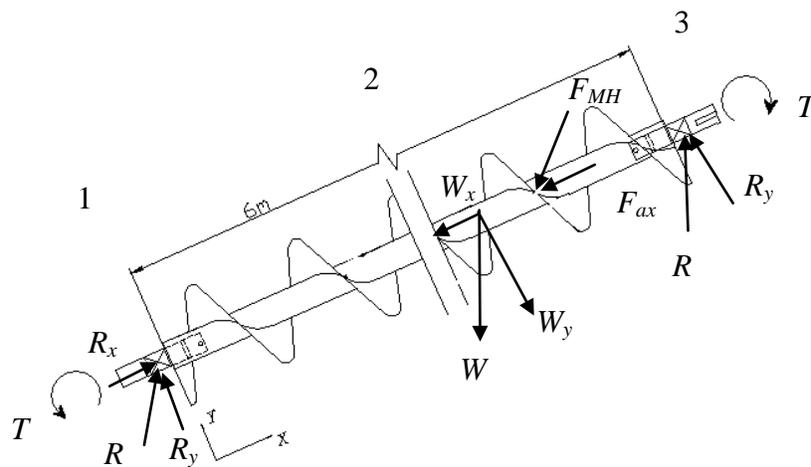
$$N_{(hp)} = N_{(cv)} * 0,9861 = 0,27cv * 0,9861 = 0,266hp$$

#### 4.8. Selección de Ejes de Accionamiento.

Partiendo de  $D_H = 8''$ , se establece un diseño previo del transporte helicoidal, considerando las opciones presentes en catálogo de fabricante Heliven, anexo.

Las especificaciones para tornillos sin fin con número de referencias T.8S2A306 para diámetro de eje igual a 1 ¼” y T.8S3386 para diámetro de eje igual a 1 ½”.

Para llevar a cabo el diseño, se selecciona un tornillo sin fin helicoidal y se realizan los estudio de carga sobre el mismo para evaluar la resistencia del eje de accionamiento y conducido, en este caso se selecciona la referencia T.8S2A306, con diámetro de eje motriz igual a 1 ¼”, ver catálogo de ejes para sin fines helicoidales anexo, referencia E.801039, eje para chumacera referencia E.801109 y eje para soporte colgante referencia E.801129. Dichos ejes son fabricados en acero AISI 1040 con tratamientos térmico para disminuir tensiones internas.



**Figura 4.6.** Cargas Aplicadas al Tornillo Helicoidal.

En la figura 4.6 se observan 3 componentes, el primero es el eje de la sección de alimentación “1”, el segundo es el tornillo sin fin helicoidal “2” y el tercero es el eje de acoplamiento ó motriz que va en la sección alimentadora.

Cargas aplicadas:

- Cargas estáticas:

Aplicando la ecuación 1.3 se tiene:

$$W = W_{Eje} + W_{Hoja} + W_{material}$$

$W_{Eje} + W_{hoja} = 23,25 \text{ kg}$ . Dado por el fabricante, ver catálogo de tornillos sin fin helicoidales apéndice B.

La carga del material se obtiene de la ecuación 1.6.

Si  $\gamma_M = 1/ V$

$$W_{material} = \frac{\pi \times 6m \times 326,05 \text{ kg/m}^3}{4} \times \left( (0,20m)^2 - (0,048m)^2 + (0,0317m)^2 - 0,0045m \times 0,20m \right)$$

$$W_{material} = 60,85 \text{ kg.}$$

Luego la carga total  $W$

$$W = 23,25 \text{ kg} + 60,85 \text{ kg} = 84,1 \text{ kg}$$

- Carga variable:

Aplicando la ecuación 1.10 y 1.11 se tiene.

$$F_{ax} = 6,84 \times 10^4 \times \left( \frac{0,27cv}{86rpm \times 20cm} \right) \times \frac{20cm}{20cm} = 10,73kg$$

$$T = 716 \times \frac{0,27cv}{86rpm} = 2,25kg \times m$$

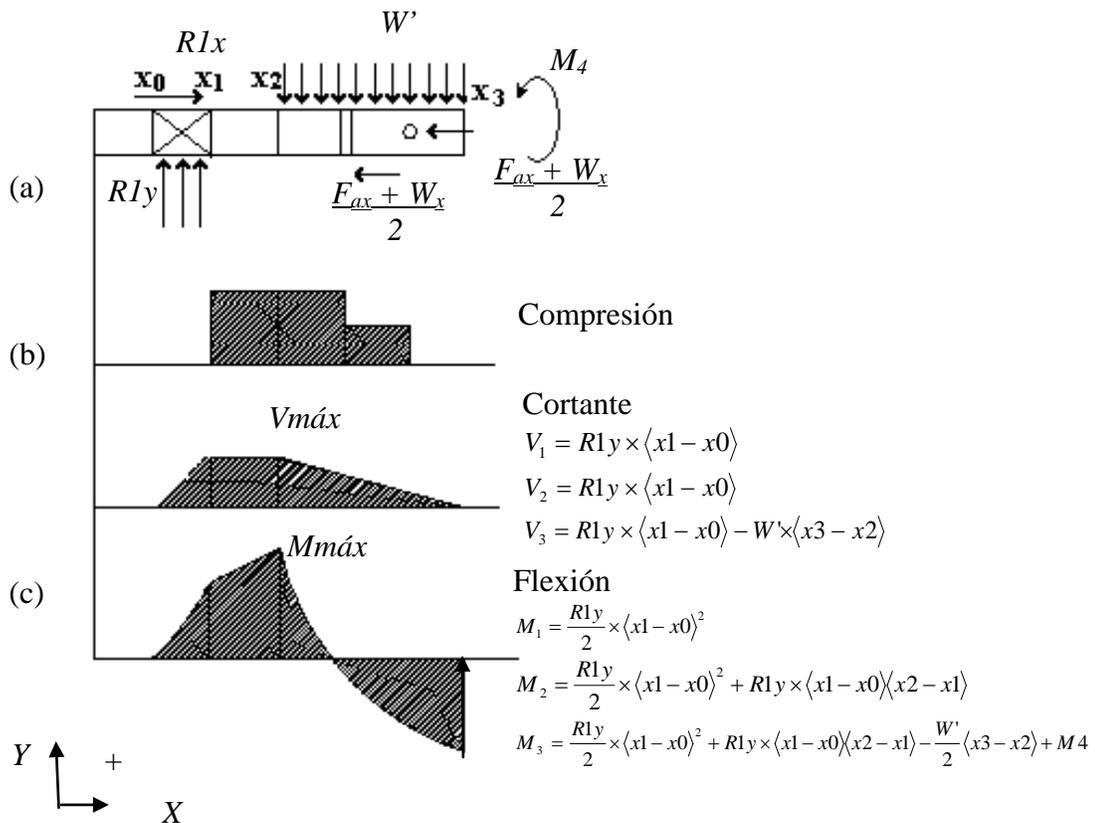
Luego de obtenidas las cargas aplicadas al conjunto se analizan las los componentes por separado:

1.- Eje conducido de la sección alimentadora:

Éste componente soporta la mayor carga axial debido a que el peso recae sobre él, sin embargo, el torque aplicado al mismo es nulo, ya que el par se transmite desde la unidad motriz al elemento “3”, ver figura 4.6.

El torque disminuye proporcionalmente a la longitud del tornillo sin fin hasta anularse cuando llega al extremo del eje conducido, el par se produce cuando el sistema entra en funcionamiento y el material muestra resistencia al movimiento.

La carga cortante solo aparece con el peso propio del tornillo sin fin ya que el peso del material está soportado por el ducto del transporte, el diagrama de cargas queda de la siguiente forma.



**Figura 4.7.** Diagrama de Corte y Momento Aplicado al Elemento 1.

Para el diagrama de compresión figura 4.7(a) la reacción  $RI_x$  será la suma de la componente axial de la carga estática y la componente axial de la carga variable.

$$RI_x = F_{ax} + W_x$$

Donde:

$F_{ax}$  Carga axial Ec 1.10

$W_x$  Componente axial de la carga del material.

$$RI_x = 10,73kg + 84,1kg \times \text{Sen}(6,5) = 20,25kg$$

Las cargas cortantes se obtienen de las ecuaciones en los puntos de cambio de pendiente de la curva, ver figura 4.7(b). Si  $\langle x_1 - x_0 \rangle = 0,054 \text{ m}$ , según especificaciones para ejes conducidos, referencia E.801079. Anexo.

$R1y$  y  $W'$  se obtienen:

$$R1y = \frac{Weje}{2 \times \langle x_1 - x_0 \rangle} = \frac{23,25kg}{2 \times 0,054m} = 215,1 \text{ kg/m}$$

$$W' = \frac{Weje}{2 \times \langle x_3 - x_2 \rangle} = \frac{23,25kg}{2 \times 0,150m} = 77,46 \text{ kg/m}$$

Las cargas cortantes en los puntos de cambio de pendiente son las siguientes:

$$V_1 = 215,1 \times 0,054m = 11,65kg$$

$$V_2 = 11,65kg$$

$$V_3 = 0kg$$

Los momentos flectores son:

$$M_1 = 0,314kg \times m$$

$$M_2 = 0,488kg \times m$$

$$M_3 = 0,0kg \times m$$

$$M_4 = 0,383kg \times m$$

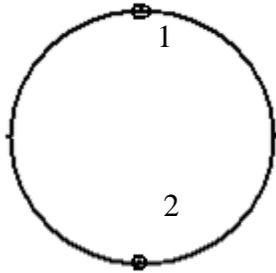
En la figura 4.7, se puede ver que existe un posible punto de falla en  $x_2$ , en este punto está presente la mayor carga cortante y momento flector, a pesar de la existencia de concentradores de esfuerzos en los puntos de acoplamiento del eje con el tornillo sin fin, la carga cortante y el momento flector son bajos.

La carga estática produce en el punto x2 tensión y compresión, mientras que la carga variable solo producirá compresión cuando el eje esta en movimiento, lo que genera variación en las magnitudes de los esfuerzos en las superficies del eje, la presencia de dichas cargas fluctuantes.

Para descartar fallas por fatiga, se realizará el estudio aplicando la ecuación de Goodman modificada.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Al analizar la sección transversal del elemento de estudio se presenta las cargas aplicadas en la superficie, figura 4.8

$$\sigma_x = -\frac{M_2 \times c}{I} - \frac{W_x}{A_0}$$


$$\sigma_x = +\frac{M_2 \times c}{I} - \frac{W_x}{A_0}$$

**Figura 4.8.** Sección del Punto de Aplicación de Cargas Fluctuantes del Elemento 1.

Durante el ciclo de rotación, el esfuerzo en el punto 2 pasará a la posición del punto 1, mientras que el esfuerzo punto 1 pasará a la posición del punto 2.

Dichas esfuerzos se obtienen:

$$\sigma_x = \pm \frac{M_2 \times c}{I} - \frac{R1x}{A_o}$$

Aplicando las ecuaciones 2.9, 2.10 y 2.11 para las propiedades de la sección circular sólida se obtiene:

$$I = \frac{\pi \times (0,032m)^4}{64} = 4,98 \times 10^{-8} m^4$$

$$A_o = \frac{\pi \times (0,032m)^2}{4} = 0,80 \times 10^{-3} m^2$$

$$c = \frac{0,032m}{2} = 0,016m$$

Luego los esfuerzos en los puntos 1 y 2 son:

$$\sigma_{x1} = -\frac{0,488kg \times m \times 0,016m}{4,98 \times 10^{-8} m^4} - \frac{20,25kg}{0,80 \times 10^{-3} m^2}$$

$$\sigma_{x1} = -182,1 \times 10^3 \frac{kg}{m^2} = -1,78MPa$$

$$\sigma_{x2} = \frac{0,488kg \times m \times 0,016m}{4,98 \times 10^{-8} m^4} - \frac{20,25kg}{0,80 \times 10^{-3} m^2}$$

$$\sigma_{x2} = 131,47 \times 10^3 \frac{kg}{m^2} = 1,29MPa$$

Se tiene que:

$$\sigma_{\min} = \sigma_{x1} = -1,78MPa$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{x2} = 1,29MPa$$

Sustituyendo en la ecuación 2.7 y 2.8 se obtiene:

$$\sigma_m = -0,25MPa$$

$$\sigma_a = 1,53MPa$$

El límite de la resistencia a la fatiga se obtiene de la ecuación 2.2.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d S_e'$$

Para obtener  $S_e'$  aplicamos el método de relación del límite de fatiga y la resistencia última, luego si  $S_{ut} = 519MPa$  para acero AISI:1040 revenido, ver tabla A-21 del apéndice A. el límite de resistencia a la fatiga se obtiene  $S_e' = 0,504 \times S_{ut}$

$$S_e' = 261,5MPa.$$

Para calcular  $k_a$  se aplica la siguiente ecuación 2.3

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Si  $a = 57,7$  y  $b = -0,718$  para piezas laminadas en caliente, tabla 7-4 ver apéndice A.

$$k_a = 0,65$$

Aplicando la ecuación 2.4 se obtiene el factor de tamaño  $k_b$ .

$$k_b = \left( \frac{D}{0.3} \right)^{-0.1133} \quad \text{Si } 2,79\text{mm} \leq D \leq 51\text{mm}.$$

$$k_b = \left( \frac{31.75}{0.3} \right)^{-0.1133} = 0,59$$

Se determina el factor  $k_c$  con la ecuación 2.5.

$k_c = 0,92$  Ya que la carga para este elemento es axial y  $S_{ut}$  es menor a 1520 Mpa.

El factor de temperatura  $k_d$  se obtiene de la tabla 7-5 ver apéndice A.

$$k_d = 1,00$$

Al sustituir los factores en la ecuación 2.2 se tiene:

$$S_e = 0,65 \times 0,59 \times 0,92 \times 261,5\text{MPa}$$

$$S_e = 92,26\text{MPa}$$

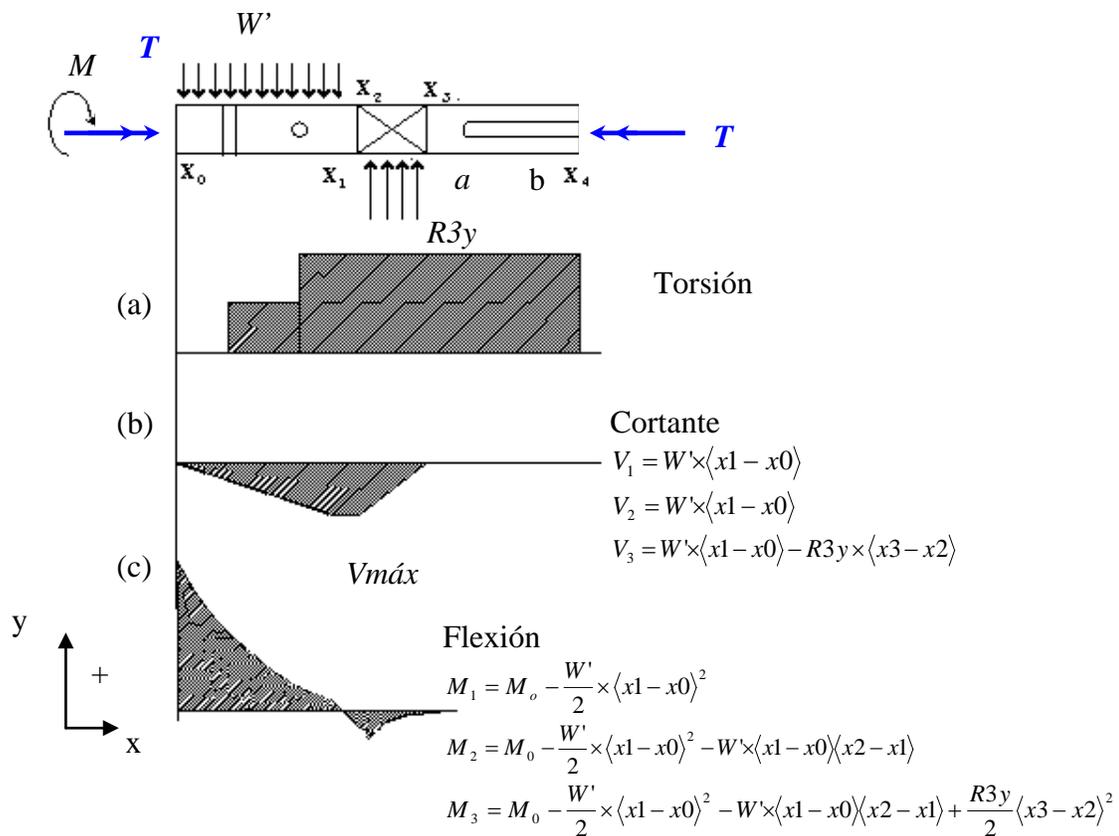
Luego al aplicar la ecuación 2.6 se y despejar  $n$  se tiene:

$$n = 62$$

Resultado que indica que el elemento 1, eje conducido para chumacera no fallará por fatiga y tendrá vida infinita.

## 2.- Eje motriz sección de descarga:

El eje motriz está sometido a cargas cortantes debidas al peso propio y el peso del tornillo sin fin, adicional a esto, la unidad motriz transmite a través de éste elemento el par torsor para dar movimiento al tornillo sin fin, la carga axial no está presente debido a que la misma es absorbida por el elemento 1, el diagrama de corte y momento queda de la siguiente manera.



**Figura 4.9** Diagrama de Corte y Momento Aplicado al Elemento 3.

El par torsor aplicado al elemento “3” tiene dos puntos de cambio, la unidad motriz transmite el torque hacia el eje por medios pernos, el primero transmite parte

de la potencia hacia el eje mientras el segundo transmite el resto de la potencia y torque al eje en estudio.

$$T_b = 2,25kg \times m \quad \text{Para el primer perno.}$$

$$T_a = 1,125kg \times m \quad \text{Para el segundo perno.}$$

Las cargas cortantes se obtienen de las ecuaciones en los puntos de cambio de pendiente, ver figura 4.9(b). Para el eje motriz referencia E.801039,  $R3y$  y  $W'$  se obtienen:

$$R3y = \frac{Weje}{2 \times \langle x1 - x0 \rangle} = \frac{23,25kg}{2 \times 0,054m} = 215,1 \frac{kg}{m}$$

$$W' = \frac{Weje}{2 \times \langle x3 - x2 \rangle} = \frac{23,25kg}{2 \times 0,120m} = 96,47 \frac{kg}{m}$$

Las cargas cortantes en los puntos de cambio de pendiente son:

$$V_1 = 96,47 \times 0,120m = 11,65kg$$

$$V_2 = 11,65kg$$

$$V_3 = 0kg$$

Los momentos flectores son:

$$M_0 = 0,844kg \times m$$

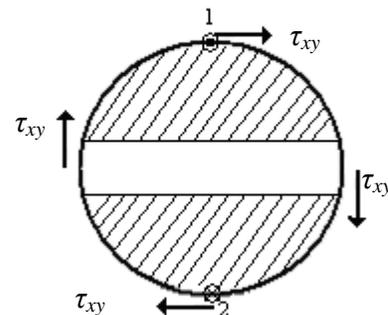
$$M_1 = 0,14kg \times m$$

$$M_3 = -0,02kg \times m$$

$$M_4 = 0,00kg \times m$$

En la figura 4.9, se puede ver que existe un posible punto de falla en el punto “b” cercano a  $x_1$ , la presencia de un concentrador de esfuerzo debido al agujero y la aplicación del par torsor máximo y momento flector  $M_b$ . pueden generar fractura, adicionalmente, igual que el elemento “1” la tensión y compresión producida por la flexión fluctúan, a tal sentido se aplica el estudio de fatiga para descartar la falla del elemento en cuestión.

Al analizar la sección transversal del elemento de estudio se presenta las cargas aplicadas en la superficie, figura 4.10.

$$\sigma_x = -\frac{M_2 \times c}{I} - \frac{W_x}{A_0}$$


$$\sigma_x = +\frac{M_2 \times c}{I} - \frac{W_x}{A_0}$$

**Figura 4.10** Sección del Punto de Aplicación de Cargas Fluctuantes del Elemento 3.

Los esfuerzos en dichos puntos se obtienen de la siguiente forma:

La tensión y compresión si  $M_b = M_o - \frac{W'}{2} \times \langle xb - x_0 \rangle^2$ , con  $\langle xb - x_0 \rangle = 0,086 \text{ m}$ , dimensiones tomadas del plano de la pieza con numero de referencia E801039.

$$M_b = 0,844kg \times m - \frac{96,47kg/m}{2} \times \langle 0,086m \rangle^2 = 0,48kg \times m$$

Luego el esfuerzo en “x<sub>1</sub>” y “x<sub>2</sub>”

$$\sigma'_{x_1} = -\frac{0,48kg \times m \times 0,015m}{4,98 \times 10^{-8} m^4} = 144,57 \times 10^3 kg/m^2$$

$$\sigma'_{x_2} = \frac{0,48kg \times m \times 0,015m}{4,98 \times 10^{-8} m^4} = 144,57 \times 10^3 kg/m^2$$

El factor de concentración de esfuerzo para flexión es  $k_t$  con  $d = 13/32$ ” y  $D_e = 1/4$ ” ver especificaciones para ejes motrices referencia E801039.

$d/D_e = 0,3$  luego  $k_t$  se obtiene de la figura A-15-11 barra circular con agujero transversal, ver apéndice A.

$$k_t = 1,9$$

$$\sigma_{x_1} = k_t \times \sigma'_{x_1} = -1,9 \times 144,57 \times 10^3 kg/m^2$$

$$\sigma_{x_1} = -274,7 \times 10^3 kg/m^2 = -2,69MPa$$

$$\sigma_{x_2} = 274,7 \times 10^3 kg/m^2 = 2,69MPa$$

El esfuerzo medio y amplitud resultan:

$$\sigma'_m = 0$$

$$\sigma'_a = 2,69MPa$$

La torsión en los puntos 1 y 2 es igual y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau'_{xy} = \frac{T \times r}{J}$$

Donde  $r = D_e / 2$

$$J = \frac{\pi \times D_e^4}{32}$$

Luego al sustituir se obtiene el siguiente resultado.

$$\tau'_{xy} = 359,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^2$$

El factor de concentración de esfuerzo para torsión  $k_t$  si  $d/D_e = 0,3$  se obtiene de la figura A-15-10, barra circular con agujero transversal sometida a torsión.

$$k_t = 3,05$$

$$\tau_{xy} = k_t \times \tau'_{xy} = 3,05 \times 359,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^2 = 1.097,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_{xy} = 10,76 \text{ MPa}$$

Luego el esfuerzo cortante medio y la amplitud resultan:

$$\tau_m = \frac{\tau_{m\acute{a}x} + \tau_{m\acute{i}n}}{2}$$

$$\tau_m = 10,76 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{m\acute{a}x} - \tau_{m\acute{i}n}}{2}$$

$$\tau_a = 0$$

El esfuerzo medio y alternante total se obtiene aplicando la teoría de la máxima energía de distorsión.

$$\sigma_m = \left( \sigma_m'^2 + 3\tau_m'^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma_m = \left( 0^2 + 3 \times (10,76MPa)^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma_m = 18,64MPa$$

$$\sigma_a = \left( \sigma_a'^2 + 3\tau_a'^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma_a = \left( (2,69MPa)^2 + 3 \times 0^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma_a = 2,69MPa$$

Si  $S_e = 92,26MPa$  y  $S_{ut} = 519MPa$ , al aplicar la ecuación 2.6, ecuación de Goodman modificada, al despejar  $n$  se tiene:

$$n = \left( \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \right)^{-1}$$

$$n = \left( \frac{2,69MPa}{92,26MPa} + \frac{18,64MPa}{519MPa} \right)^{-1} = 15$$

El resultado muestra que el elemento tres no fracturará y se puede considerar con vida infinita.

En los planos 4.01 y 4.02, anexos, se establece el arreglo para la instalación del transporte de tornillo sin fin y los accesorios con referencia Heliven.

#### 4.9. Selección de la Unidad Motriz para Accionamiento del Tornillo.

Para seleccionar la unidad motriz que accionará al tornillo helicoidal se empleará la marca Sew Eurodrive, ésta compañía fabricante de motores eléctricos mantiene un convenio con Goodyear para la ventas de equipos y repuestos con precios estándar a nivel corporativo y regional.

Los parámetros requeridos para la selección son los siguientes:

- Torque ( $T$ ) en  $lb \cdot in$
- Potencia requerida. ( $hp$ )
- Relación de transmisión o velocidad de rotación requerida.

Dichos parámetros se obtienen de la siguiente manera.

Torque:

$$T_{(lb \cdot in)} = T_{(kg \cdot m)} \times 86,8 \frac{lb \cdot in}{kg \cdot m}$$

$$T_{(lb \cdot in)} = 2,25 kg \cdot m \times 86,8 \frac{lb \cdot in}{kg \cdot m} = 195,3 lb \cdot in$$

Velocidad de rotación:

En la sección 4.6, la velocidad de rotación corresponde a la velocidad óptima para tornillo de diámetro igual 8".

$$\eta = 86 \text{ rpm}$$

Potencia de accionamiento:

Se obtiene según la ecuación recomendada por el fabricante, ver catálogo de acoples flexoblea “Falk”, anexo.

$$N_{AC} = \frac{N}{\xi}$$

Donde  $N$  es la potencia requerida por el sistema

$\xi$  Es la eficiencia mecánica del motor proporcionada por el fabricante.

En la sección 4.7 se obtuvo el valor de la potencia de accionamiento del eje. El resultado fue:

$$N = 0,26 \text{ hp}$$

La eficiencia mecánica del motor proporcionada por el fabricante Sew Euro drive. Ver anexo, catálogo de motores Sew Eurodrive.

$$\xi = 0,95$$

$$N_{AC} = \frac{N}{\xi} = \frac{0,26 \text{ hp}}{0,95} = 0,274 \text{ hp}$$

El motor seleccionado es el siguiente:

**Motor-reductor:** R17DT71C4, Motor de inducción de 4 polos 1800 *rpm*.

Velocidad de salida: 87 *rpm*.

Potencia de accionamiento  $N = 0,33 \text{ hp}$

Tensión 440Vac

Ver anexo catálogo de motores Sew Eurodrive.

#### 4.10. Selección del Acoplamiento Motor Eje Motriz del Tornillo Helicoidal.

Por la frecuencia de parada y arranque del sistema y variación en el torque, se selecciona el acoplamiento flexible marca Falk, este acoplamiento tiene características que permiten absorber variaciones de carga y vibración que cumplen con el fin de proteger al motor.

En el apéndice A, catalogo de acoples flexibles de la marca Falk, se establece el método para la selección estandar de acoplamientos, la información requerida es la siguiente:

- Potencia a transmitir por el acople, requerida por el sistema (N = 0,266 hp)
- Velocidad de rotación del eje de acoplamiento.(  $n = 83$  rpm )
- Aplicación del sistema. (Transporte de tornillo )
- Diámetros de ejes. Dmotirz = 20 mm ver apéndice B. especificaciones de moto-reductores catálogo de motores Sew Eurodrive. Deje = 31,75 mm; eje motriz seleccionado en la sección anterior, referencia Heliven E801039.
- Espacio físico. (Sin restricción).
- Para el factor de servicio se aplicará el caso mas crítico con S.F = 3 en la tabla.1 del manual de selección. Ver apéndice B. catálogo de acoples flexibles de la marca Falk.

Determinación del torque de aplicación:

$$Application - Torque(lb * in) = \frac{Motor(Hp) \times 63.000 \times S.F}{rpm}$$

Aplicando la ecuación se tiene.

$$\text{Application - Torque}(lb * in) = \frac{0,266 \times 63.000 \times 3}{83} = 605,7lb * in$$

El acople seleccionado es el siguiente:

Referencia 1040T, diámetro máx.1.625 in. Ver apéndice B. catálogo de acoples flexibles de la marca Falk.

#### **4.11. Diseño de Estación de Bolsas de Sílica.**

Para dimensionar la estructura de las estación de bolsas de sílica se establece un diseño preliminar, en primer lugar se consideran los espacios que requiere la bolsa con el contenido de sílica, los espacios requeridos para la sección de alimentación del transporte helicoidal y la tolva de descarga, adicionalmente, el espacio disponible para la instalación, ver plano A-4.05 anexos, con este esquema se establece el criterio para el estudio de cargas y dimensión de los elementos de las estructura.

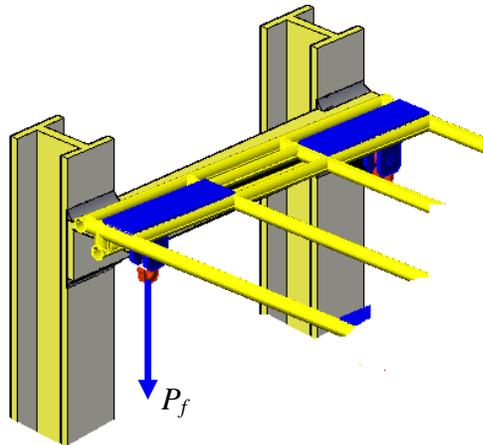
En el plano A-401 anexo, se observa las dimensiones preliminares y requeridas para el funcionamiento del sistema de descarga (estación de bolsas de sílica). Allí se pueden observar los elementos que la componen y se indican a continuación:

- Estructura.
- Soporte para fijación de la bolsa.
- Tolva para descarga de sílica.

Estructura:

Para llevar a cabo el diseño de la estructura, se analizan las cargas aplicadas a la misma con la finalidad de obtener los puntos críticos y que pueden presentar fallas.

La figura 4.11, representa una vista parcial de la estructura donde se detalla un punto de aplicación de la carga parcial,  $P_f$ , ésta representa  $\frac{1}{4}$  del peso de la bolsa de sílica cuando ésta está inicialmente llena, la misma produce un esfuerzo normal en las columnas de la estructura quienes pudieran presentar pandeo, adicionalmente, el perfil “L” soldado a la columna esta sometida a carga cortante y flexión.



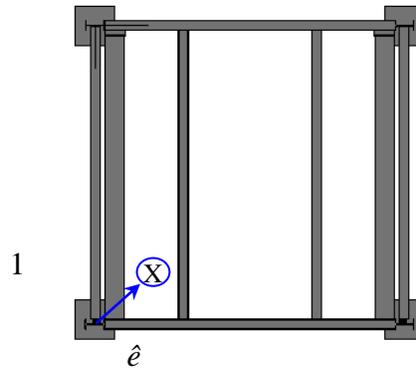
**Figura 4.11.** Punto de Aplicación de Carga en la Estación de Bolsas.

Selección de perfil para la columna:

Las columnas de la estación de bolsas se seleccionan en perfil IPN en sistema métrico, este perfil es comercial en la región central del país y son usadas regularmente en Goodyear en la mayoría de las estructuras de la planta.

Para seleccionar la dimensión del perfil a usar en la columna, se aplicará el criterio de la columna con carga excéntrica, considerando la distancia entre la línea de aplicación de la fuerza  $P_f$  y el eje centroidal de la columna. En la figura 4.12, se señala dicha distancia en una vista superior de la estructura. El elemento “1” expuesto

en la figura indica el punto de estudio para la carga aplicada,  $\hat{e}$  es el vector distancia entre el eje centroidal de la columna y el punto de aplicación de la carga  $P_f$ .



**Figura 4.12.** Vista Superior de la Estructura para la Estación de Bolsas de Sílica.

El esfuerzo producido por la carga  $P_f$  viene dado por la ecuación 2.12.

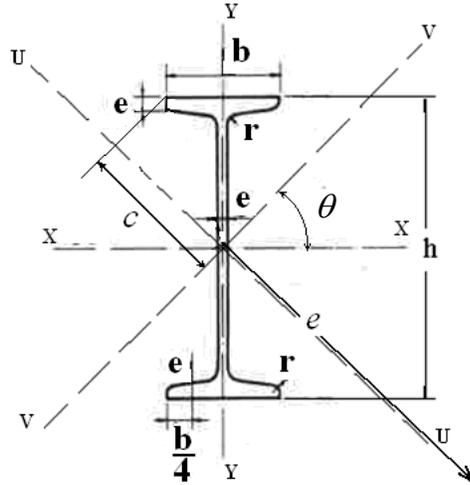
$$\sigma = \frac{P_f}{A} \left[ 1 + \frac{ec}{k^2} \text{Sec} \left( \frac{l}{2k} \sqrt{\frac{P_f}{EA}} \right) \right]$$

La excentricidad “ $e$ ” está representada con el vector  $\hat{e}$ , tomando el eje centroidal del perfil de viga IPN como punto inicial de referencia, el vector  $\hat{e}$  tiene coordenadas  $(b/2 + 0,08; h/2 + 0,08)$  m, y la magnitud de la excentricidad es igual al módulo del vector, esta se obtiene de la siguiente forma: .

$$e = \sqrt{\left(\frac{b}{2} + 0,08\right)^2 + \left(\frac{h}{2} + 0,08\right)^2}$$

En la figura 4.13 se muestra la sección transversal de la columna, las variables  $h$  y  $b$  representan la altura del alma y ancho del ala respectivamente, las magnitudes  $0,08$  m, representan las distancias que existen entre las superficies de los planos internos de la columna y el gancho de soporte de la bolsa con el contenido de sílica, éstas

medidas se muestran en el plano A-4.06 vista frontal y vista lateral de la estructura, ver anexo.



**Figura 4.13.** Vista de la Sección Transversal de la Columna con Carga Excéntrica.

$$h = 0,08 \text{ m}$$

$$b = 0,042 \text{ m}$$

$$A = 75,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$e = \sqrt{\left(\frac{0,042}{2} + 0,08\right)^2 + \left(\frac{0,08}{2} + 0,08\right)^2} = 0,15 \text{ m}$$

La distancia  $c$ , se calcula de igual forma con la siguiente ecuación:

$$c = \frac{1}{2}(h \times \cos \theta + b \times \sin \theta)$$

El seno y el coseno de  $\theta$ , se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{Sen}(\theta) = \frac{b \times 0,5 + 0,08}{e}$$

$$\text{Sen}(\theta) = 0,673$$

$$\text{Cos}(\theta) = \frac{h \times 0,5 + 0,08}{e}$$

$$\text{Cos}(\theta) = 0,8$$

Luego se tiene:

$$c = \frac{1}{2}(0,08m \times 0,8 + 0,042 \times 0,673) = 0,046m$$

El radio de giro  $k$  se obtiene de la siguiente ecuación:

$$k = \sqrt{\left(\frac{I_V}{A}\right)}$$

$I_V$ : es el momento de inercia respecto al eje V-V, perpendicular el vector  $\hat{e}$ .

$$I_V = I_X \times \text{Sen}^2(\theta) + I_Y \times \text{Cos}^2(\theta) + I_{XY} \times \text{Sen}(2\theta)$$

Para iniciar la selección se considera el perfil IPN 80, cuyas características se pueden ver en la tabla anexa del apéndice C.

Los momentos de inercia para los ejes principales son:

$$I_X = 77,8 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_Y = 62,9 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_{XY} = 0,0 \text{ m}^4$$

El momento de inercia  $I_v$  perpendicular al vector  $\hat{e}$  se obtiene:

$$I_v = 77,8 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \times \left( \frac{0,042/\sqrt{2} + 0,08}{0,15} \right)^2 +$$

$$62,9 \times 10^{-6} \times \left( \frac{0,08/\sqrt{2} + 0,08}{0,15} \right)^2 = 35,9 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

El radio de giro resulta:

$$k = \sqrt{\left( \frac{35,9 \times 10^{-6} \text{ m}^4}{75,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \right)} = 2,18 \times 10^{-2} \text{ m}$$

El modulo de rigidez  $E$  para el perfil seleccionado en acero UNE 36.521 es de 210.000 N/mm<sup>2</sup>, ver apéndice C.

La longitud de la columna viene representada por la altura de aplicación de la carga en la estructura.

$$l = 3,635 \text{ m.}$$

Los perfiles IPN comerciales se encuentran desde 80 mm, hasta 600 mm, ver tabla anexa apéndice C,

Para seleccionar las dimensiones del perfil IPN que soporte la carga aplicada por la sílica, se realiza una preselección y se evalúan las cargas aplicadas al mismo.

La carga  $P_f$  es igual a 1/4 del peso neto de la bolsa con el contenido de sílica ya que se apoya en cuatro puntos, ver plano A-4.01, Los ganchos el soporte para colgar la bolsa, si la carga neta de la bolsa de sílica es de 800 kg, cada punto de apoyo soporta 200 kg, equivalente 1962 N.

Al sustituir en la ecuación 3.3 se tiene:

$$\sigma = \frac{1962}{75,8 \times 10^{-3}} \left[ 1 + \frac{0,15m \times 0,046}{(2,18 \times 10^{-2})^2} \text{Sec} \left( \frac{l}{2 \times 2,18 \times 10^{-2}} \sqrt{\frac{1962}{210 \times 10^9 \times 75,8 \times 10^{-3}}} \right) \right]$$

$$\sigma = 58,5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Luego el factor de seguridad se calcula de la siguiente manera:

$$N = \frac{S_{yc}}{\sigma}$$

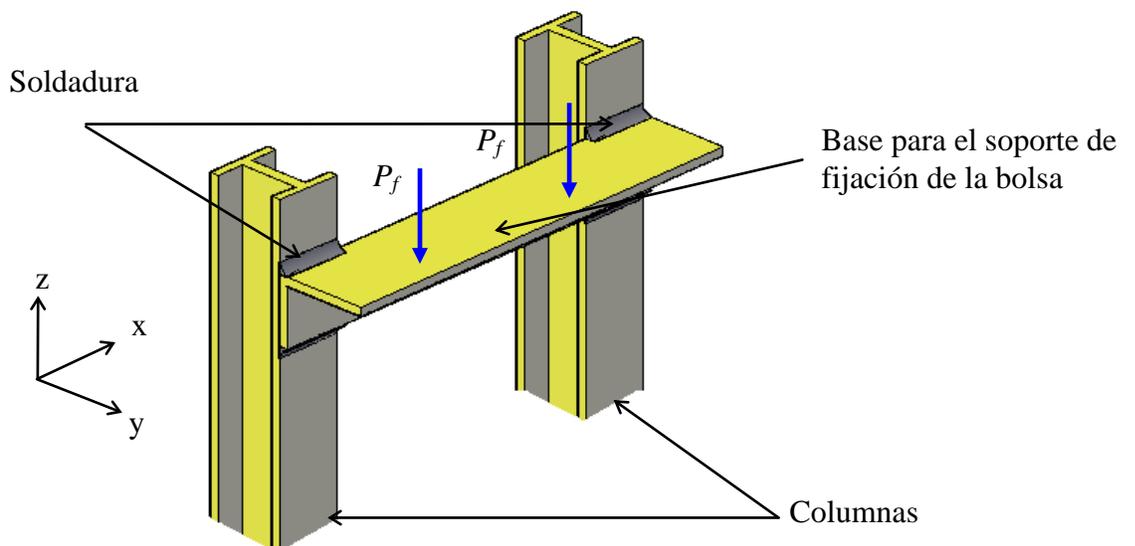
Para el acero UNE 36.521 la resistencia a la fluencia es  $S_{yc} = 225 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

$$N = \frac{225 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{58,5 \times 10^6 \text{ N/m}^2} = 3,85$$

Factor de seguridad conservador para la columna de perfil IPN 80, perfil seleccionado para las columnas de la estación de bolsas. En el apéndice A, la tabla anexa muestra una matriz de cálculo para los perfiles comerciales, la columna  $N$  a la derecha representa el factor de seguridad asociado al perfil IPN.

### Selección de base para soporte de fijación de la bolsa:

En la figura 4.14 se indica el soporte que estará soldado a la columna de la estructura, este es el punto de apoyo para la base donde se colgará la bolsa con el contenido de sílica. El perfil comercial y usado regularmente en planta es de acero laminado en caliente UNE 36.531, perfil angular “L60x60x5” éste es el perfil seleccionado para la base, se tiene un lado para la fijación por soldadura a las columnas y un lado para apoyar la base de suspensión de la bolsa de sílica, adicionalmente, el electrodo seleccionado para la soldadura es Indura E-6011, electrodo usado comúnmente en las estructuras de planta por tener alta penetración y resistencia a la tensión, los mismos son recomendado para soldar aceros de baja aleación de carbono. Ver hoja técnica para el electrodo E-6011 de Indura, apéndice “C”

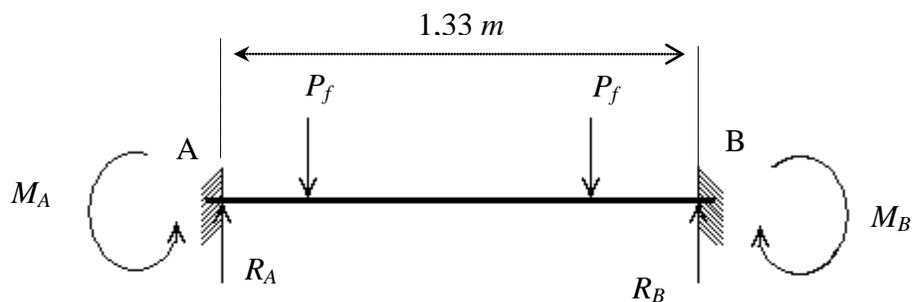


**Figura 4.14** Carga Aplicada al Soporte para la Base de Fijación de la Bolsa de Sílica.

En la figura 4.14 se muestra un sistema referencia indicando la dirección de dos ejes de coordenadas “x” y eje “y”. La carga aplicada al perfil angular produce un momento torsor en dirección de la componente x, mientras la componente “y” produce flexión en la junta soldada.

La posición de la junta soldada genera en el plano “xz” una condición de viga estáticamente indeterminada debido a que están presentes momentos y reacciones de las juntas en cada extremo, esto genera 4 incógnitas y solo se pueden plantear 2 ecuaciones por el método tradicional. Por otro lado, en el plano “yz” la fuerza aplicada genera un momento flector que produce tensión y compresión en la junta soldada.

En el primer caso, para resolver la indeterminación, se empleará el método de la doble integración basada en la deformación de la viga. En la figura 4.15 se detalla un diagrama de cuerpo libre donde se indican las cargas aplicadas y las reacciones.



**Figura 4.15** Diagrama de Cargas Aplicadas al Perfil Angular.

La longitud total del perfil es  $1,33\text{ m}$  las cargas son aplicadas a  $0,08\text{ m}$  de los extremos A y B, si se toma como referencia el punto “A” la ecuación queda de la siguiente manera:

$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = M_A + R_A X - P_f \langle X - 0,08 \rangle - P_f \langle X - 1,22 \rangle \quad (\text{a})$$

$$EI \frac{\partial y}{\partial x} = M_A X + \frac{R_A}{2} X^2 - \frac{P_f}{2} \langle X - 0,08 \rangle^2 - \frac{P_f}{2} \langle X - 1,22 \rangle^2 + C_1 \quad (\text{b})$$

$$EI y = \frac{M_A}{2} X^2 + \frac{R_A}{6} X^3 - \frac{P_f}{6} \langle X - 0,08 \rangle^3 - \frac{P_f}{6} \langle X - 1,22 \rangle^3 + C_1 + C_2 \quad (\text{c})$$

La ecuación (b) representa la pendiente que se genera en la deformación de la viga, si evaluamos cuando X está en el extremo B,  $X = 1,33$  punto de empotramiento la deflexión es nula y no se genera pendiente por lo que el termino  $C_1$  es igual a cero. Luego la ecuación queda de la siguiente manera:

$$EI \frac{\partial y}{\partial x} = M_A 1,33 + R_A 0,845 - P_f 0,744 - P_f 0,0032 = 0$$

Lo mismo sucede con la ecuación (c),

$$EI y = M_A 0,845 + R_A 0,366 - P_f 0,302 - \frac{P_f}{6} 0,00085 = 0$$

Con estas dos ecuaciones se obtiene:

$$R_A = -P_f$$

$$M_A = 0,074 P_f$$

Si  $P_f = 1962 \text{ N}$

$R_A = 1962 \text{ N}$  y  $M_A = 145,2 \text{ N*m}$

Luego por la simetría presente en la estructura se deduce:

$M_B = M_A = 145,2 \text{ N*m}$

$R_B = R_A = 1962 \text{ N}$

La reacción en el soporte produce un esfuerzo cortante el cual se calcula con la ecuación:

$$\tau' = \frac{V}{A'}$$

Donde:

$$V = R_A = 1962 \text{ N}$$

$A'$  es el área de la garganta en toda la soldadura, viene dada por la siguiente ecuación:

$$A' = 0.707h(2b + d)$$

$h$  : Ancho de la garganta de la junta

Si el electrodo a usar es de  $\frac{1}{4}$ " Indura E-6011,  $h = 6 \text{ mm}$

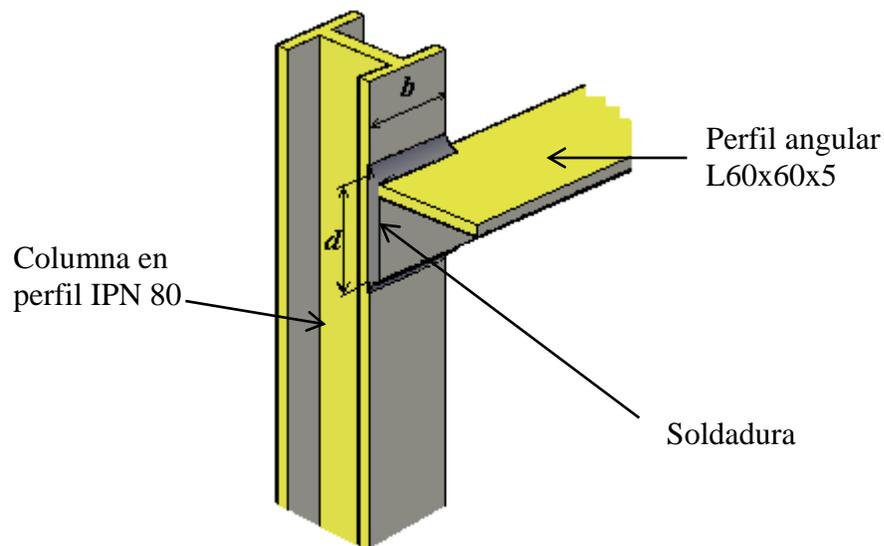
$b$  y  $d$  se indican en la figura 4.16, con la columna seleccionada se obtiene el valor de  $b = 80 \text{ mm}$  para el caso en estudio, y  $d$  se obtiene con la dimensión del perfil angular seleccionado en este caso  $d$  es igual a  $60 \text{ mm}$ , luego el área de la junta soldada resulta

$$A' = 0,707 \times 0,006m \times (2 \times 0,08m + 0,06m)$$

$$A' = 9,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Luego al sustituir en la ecuación anterior se obtiene:

$$\tau' = \frac{1962N}{9,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2,1 \times 10^6 \text{ N/m}$$



**Figura 4.16.** Detalle de la Unión Soldada Entre los Perfiles IPN y Perfil L.

En el segundo caso antes mencionado, el momento aplicado al soporte, y que se aprecia en plano “yz” produce cortante secundario, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\tau'' = \frac{Mr}{J}$$

Donde:

$M$  = es el momento aplicado al grupo de juntas soldadas.

$J$  es el segundo momento polar de inercia,  $r$  es la distancia existente entre el centroide del grupo de juntas y el punto de interés de la unión soldada.

$$J = 0.707h \times j_u$$

$j_u$  es el segundo momento polar de área unitario. Para el arreglo en el grupo de juntas a utilizar se utiliza la ecuación 4.1, ver apéndice C tabla 9-2 propiedades a la torsión de juntas soldadas.

$$j_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$$

Al sustituir los valores de  $b$  y  $d$  en la ecuación se obtiene:

$$j_u = \frac{8(0,08)^3 + 6(0,08)(0,06)^2 + (0,06)^3}{12} - \frac{(0,08)^4}{2(0,08) + (0,06)} = 3,17 \times 10^{-4} m^3$$

Luego con  $h = 0,006 m$ , el valor de  $J$  resulta:

$$J = 0.707 \times 0,006 \times 3,17 \times 10^{-4} = 1,35 \times 10^{-6} m^4$$

En la figura 4.17, se puede apreciar que la distancia  $r$  es mayor cuando se mide desde el centroide del grupo de juntas hasta la fibra A, el esfuerzo cortante tendrá el valor máximo en este punto ya que el valor de  $M$  y  $J$ , se mantienen constantes en todas las posiciones y el valor de  $\tau$  depende de  $r$ , esta distancia se calcula aplicando el teorema de Pitágoras con las coordenadas del vector  $r$ .

$$r = \sqrt{(b - x)^2 - (d - z)^2}$$

Luego las distancias “x” y “z” centroidales se calculan de la siguiente manera, ver tabla 9-2 del apéndice C.

$$x = \frac{b^2}{2b + d} = \frac{(0,08m)^2}{2 \times 0,08m + 0,06m} = 0,016m$$

$$z = \frac{d}{2} = \frac{0,06}{2} = 0,03m$$

Luego al aplicar la ecuación anterior se obtiene:

$$r = \sqrt{(0,08 - 0,016)^2 - (0,06 - 0,03)^2} = 7,06 * 10^{-2} m$$

El esfuerzo secundario  $\tau''$  se obtiene aplicando la ecuación 3.9

$$\tau'' = \frac{145,2N * m \times 7,06 \times 10^{-2} m}{1,35 \times 10^{-6} m^4} = 7,59 \times 10^6 N/m^2$$

En la figura 4.17 se observa la dirección de cada esfuerzo sobre la junta en el plano X - Z, la resultante es  $\tau_{xz}$  y se calcula según la regla del coseno:

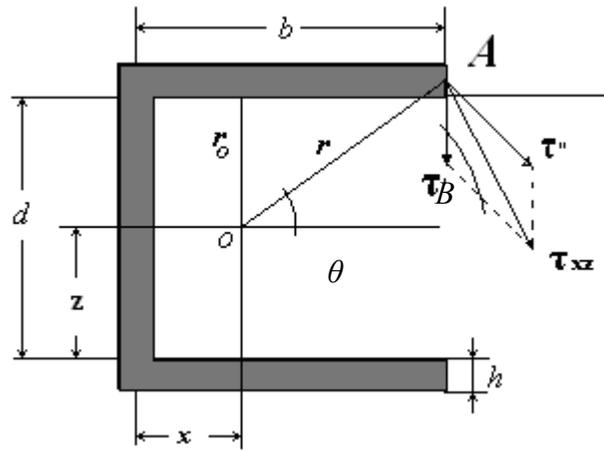
$$\tau_{xz} = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2 - 2 \times \tau' \times \tau'' \times \cos(B)}$$

B es el ángulo complementario del ángulo existente entre el vector  $\tau'$  y el vector  $\tau''$  y suplemento del vector  $\theta$ .

$$B = 180^\circ - \theta$$

Luego se cumple que:

$$\cos(B) = -\cos(\theta) = -\frac{(b-x)}{r}$$



**Figura 4.17.** Grupo de Juntas Soldadas, Dirección de los Esfuerzos Resultantes en el Plano “xz”.

$$\cos(B) = -\frac{(0,08 - 0,016)}{0,07} = -0,91$$

Al sustituir los resultados en la ecuación anterior se tiene:

$$\tau_{xz} = \sqrt{(2,1 \times 10^6)^2 + (7,59 \times 10^6)^2 + 2 \times 2,1 \times 10^6 \times 7,59 \times 10^6 \times 0,91} = 9,7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

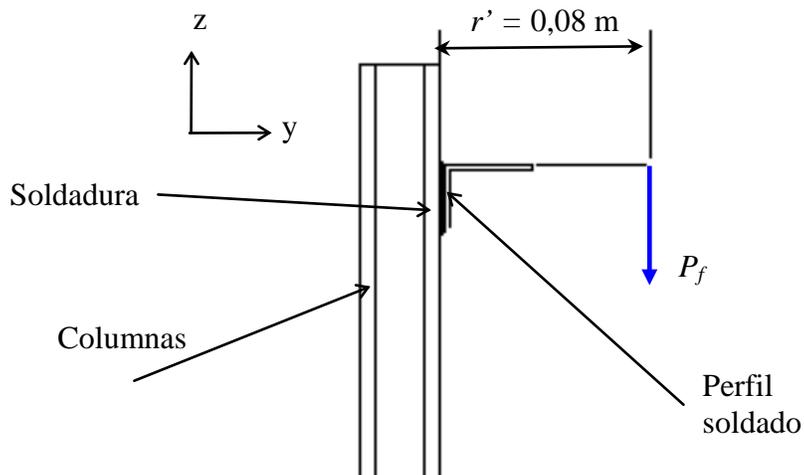
En la figura 4.18 se muestra el plano YZ, donde se puede ver la distancia entre la aplicación de la carga y la unión soldada. El esfuerzo normal puede suponerse perpendicular al área de la garganta y se calculará con la siguiente ecuación:

$$\tau_{zy} = \frac{M' c}{I}$$

Donde  $M'$  es el momento producido por  $P_f$  y la distancia  $c$ .

$I$  es el segundo momento de área y se calcula de la siguiente manera:

$$I = 0,707h \times I_u$$



**Figura 4.18.** Vista de la Unión Soldada en el Plano “yz”.

Siendo  $I_u$  el momento de área unitario, para el arreglo en el grupo de juntas se calcula con la siguiente ecuación, ver apéndice C tabla 9-3 propiedades a la flexión de juntas soldadas.

$$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$$

Al sustituir se tiene:

$$I_u = \frac{(0,06m)^2}{12}(6 \times 0,08m + 0,06m) = 1,62 \times 10^{-4} m^3$$

$$I = 0,707 \times 0,006 \times 1,62 \times 10^{-4} = 6,87 \times 10^{-7} m^4$$

Con  $c = 0,03 m$  y  $r' = 0,08 m$  al sustituir en la ecuación se tiene:

$$\tau_{zy} = \frac{P_f \times r' \times c}{I} = \frac{1962N \times 0,08m \times 0,03m}{6,87 \times 10^{-7} m^4} = 6,85 \times 10^6 N/m^2$$

Luego el esfuerzo cortante máximo es la resultante entre  $\tau_{xz}$  y  $\tau_{zy}$  ambos vectores están en planos perpendiculares y el esfuerzo  $\tau$  se calcula con el teorema de Pitágoras:

$$\tau = \sqrt{(\tau_{xz})^2 + (\tau_{zy})^2}$$

Al sustituir se obtiene:

$$\tau = \sqrt{(9,7 \times 10^6)^2 + (6,85 \times 10^6)^2} = 11,874 \times 10^6 N/m^2$$

Para el electrodo E6011 el límite de fluencia  $S_y$  es 331 MPa, ver hoja técnica apéndice C.

Aplicando la teoría de la energía de distorsión, el esfuerzo de fluencia al corte es:

$$S_{ys} = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$$

Al sustituir se obtiene

$$S_{ys} = \frac{331 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{\sqrt{3}} = 191,1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

El factor de seguridad se obtiene al aplicar la ecuación:

$$n = \frac{S_{ys}}{\tau}$$

$$n = \frac{191,1 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{11,874 \times 10^6 \text{ N/m}^2} = 16,13$$

De esta forma se garantiza que la unión soldada no fallará.

Soporte para fijación de la bolsa:

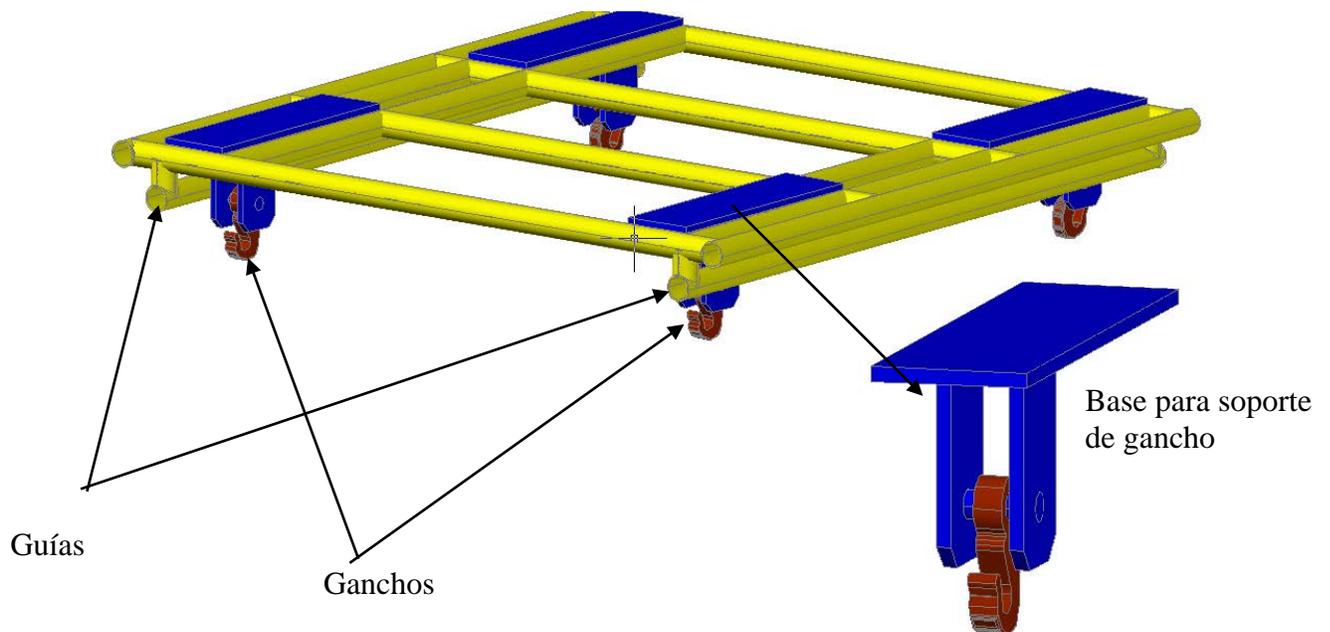
En la figura 4.19, se indica el diseño preliminar para el soporte de fijación de la bolsa de sílica. Consiste en una estructura rígida dimensionada para apoyarse en los extremos sobre las bases de perfil angular solidarias a las columnas de la estructura principal.

Por otro lado, en la parte inferior de la misma se colocan dos guías que tienen la finalidad de mantener centrado el soporte durante su instalación, el arreglo en el cuadrante superior tiene como objeto soportar las bases para los ganchos que sostienen los colgantes de la bolsa.

Se posicionan los ganchos con el propósito de mantener las cargas en posición vertical para evitar cargas con proyecciones horizontales.

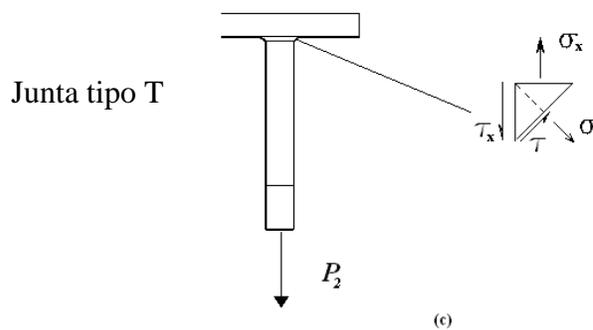
El gancho seleccionado para el objetivo planteado corresponde al número de código S-320F-1096374, ver hoja técnica del fabricante de ganchos Crosby Group, anexo, con capacidad de carga de 1000 kg, actualmente están disponibles en la planta como repuestos para las grúas y polipastos en el área de producción.

Para llevar a cabo el diseño, se analizan las cargas aplicadas al sistema en estudio, asumiendo que la carga  $P$  está distribuida en los cuatro puntos de apoyo, ver figura 4.11, siendo  $P_f$  la carga aplicada en cada punto de apoyo, el elemento de estudio será el soporte para el gancho, este elemento está sometido a cargas de tracción que puede afectar la junta soldada en T, ver figura 4.20, y produce cortante en el pasador de articulación del gancho, ver figura 4.21



**Figura 4.19.** Soporte para la Fijación de la Bolsa de Sílica.

Para iniciar el análisis, en primer lugar se realiza el estudio sobre la carga aplicada a la junta soldada. El material de construcción de la base es en acero Aisi 1040 Normalizado, resistencia de fluencia  $374 \text{ MPa}$ , se selecciona este material para la base, debido a la disponibilidad, el electrodo a usar es un E-6011, electrodo seleccionado en la sección anterior para soldar la base angular a la columna de la estructura.



**Figura 4.20.** Detalle de la Soldadura en la Base.

El esfuerzo cortante que se produce en la junta soldada se calcula con la ecuación:

$$\tau_x = \frac{P_1}{A} = \frac{P_1}{2xhxl}$$

Donde:

$P_1$ : es igual a  $P_f/2$ , asumiendo que la carga está centrada.

$l$ : es la longitud del cordón

$h$ : es la garganta

La longitud del cordón de soldadura según se indica en el plano A-4.04, anexo, es de  $100 \text{ mm}$ , la garganta es  $6 \text{ mm}$  para electrodos E-6011 de  $\frac{1}{4}$ ", los esfuerzos quedan de la siguiente forma:

$$\tau_x = \frac{981N}{2 \times 0.006m \times 0.1m} = 817.500 \frac{N}{m^2}$$

El esfuerzo cortante máximo viene dado por la ecuación:

$$\tau = 1.118\tau_x$$

Luego al sustituir queda:

$$\tau = 1.118 \times 817500 \frac{N}{m^2} = 913.960 \frac{N}{m^2}.$$

Para el electrodo E6011 el límite de fluencia  $S_y$  es 331 MPa,

Aplicando la teoría de la energía de distorsión, el esfuerzo de fluencia al corte es:

$$S_{sy} = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$$

Al sustituir se obtiene

$$S_{sy} = \frac{331 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{\sqrt{3}} = 191,1 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

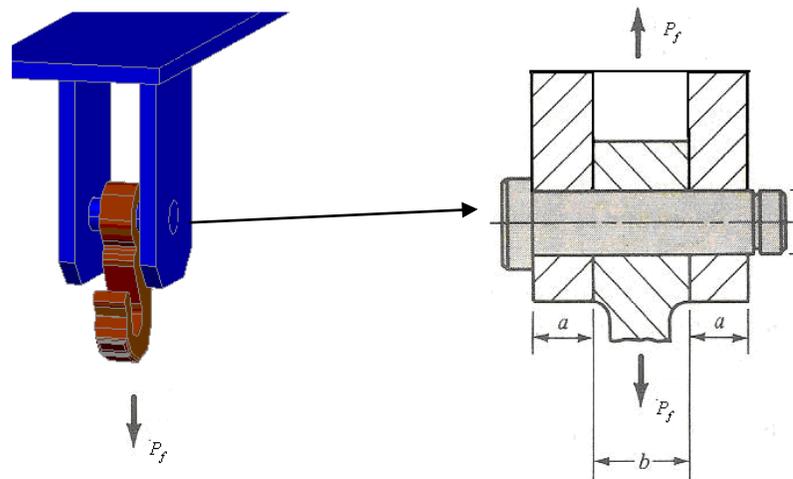
El factor de seguridad se obtiene al aplicar la ecuación:

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$$n = \frac{191,1 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{913960 \frac{N}{m^2}} = 208$$

Existe una notable diferencia que nos indica que la junta soldada está lejos del punto de fluencia y no afectara el diseño del soporte.

Otro elemento a considerar en el diseño, es el mecanismo de articulación del gancho, en la figura 4.21, se indica el detalle de la fijación del pasador, la carga  $P_f$  es  $\frac{1}{4}$  del peso total de la bolsa de sílica y es igual a 1962 N.

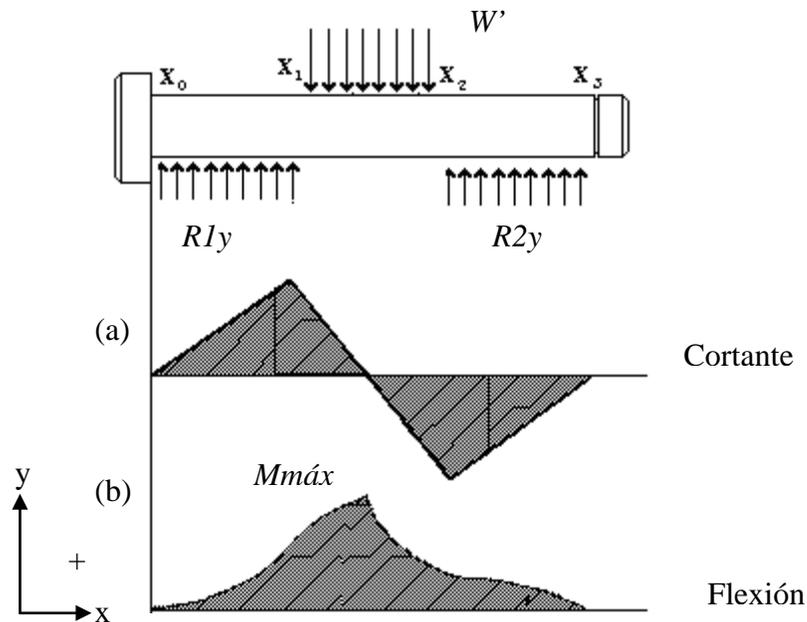


**Figura 4.21.** Carga Aplicada al Pasador.

La carga aplicada produce un efecto de cizallamiento en el pasador, el diagrama de corte y momento queda de la siguiente manera, figura 4.22,  $W'$  representa la carga distribuida producida por el gancho y resulta de dividir la carga  $P_f$  entre el ancho del anillo del gancho representado en la figura 4.21 como  $b$ , en el plano A-4.04 se indica esta dimensión y corresponde 17 mm. En los extremos aparecen las reacciones  $R1y$  y  $R2y$ , igual que  $W'$ , estas cargas son distribuidas e iguales, resultan de dividir  $P_f$  entre dos veces el valor de  $a$ , indicado en la figura 4.21.

$$W' = \frac{P_f}{b} = \frac{1962N}{0,017m} = 115,41 \times 10^3 N/m$$

$$R1y = R2y = \frac{1962N}{2 \times 0,0127m} = 77,24 \times 10^3 N/m$$



**Figura 4.22** Diagrama de Corte y Momento Aplicado al Pasador.

Los puntos  $x_1$  y  $x_2$  son simétricos, el esfuerzo cortante y flector tienen la misma magnitud en ambos puntos, se hace el estudio de esfuerzo en  $x_1$ . Se selecciona un pasador de 1 pulgada de diámetro, esto debido a que el diámetro interno del anillo en el gancho es de 27 mm.

Se tienen el valor de la fuerza cortante en  $x_1$  y el área de la sección transversal de pasador es:

$$A = \pi * D_p^2 / 4$$

Siendo  $D_p$  el diámetro del pasador igual a 1 pulgada (0,0254 m).

El esfuerzo cortante se obtiene:

$$\tau_{xy} = \frac{4 \times R1y \times \langle x_0 - x_1 \rangle}{\pi \times D_p^2} = \frac{4 \times 77,24 \times 10^3 \text{ N/m} \times 0,0127 \text{ m}}{\pi \times (0,0254 \text{ m})^2} = 1,93 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo normal producido por flexión se obtiene de la siguiente manera:

$$\sigma_x = \frac{M * c}{I}$$

El momento flector en  $x_1$  se obtiene del área bajo la curva de la gráfica (a),

$$M = \frac{R1y \times \langle x_0 - x_1 \rangle^3}{6} = \frac{77,24 \times 10^3 \text{ N/m} \times \langle 0,0127 \text{ m} \rangle^3}{6} = 0,022 \text{ N} \times \text{m}$$

$c$ : es el radio del pasador igual a  $D_p / 2$

$I$  es el segundo momento de área y se calcula con la ecuación 2.4.

$$I = \frac{\pi \times (0,0254 \text{ m})^4}{64} = 2,04 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma_x = \frac{0,022 \text{ N} * \text{m} \times 0,012 \text{ m}}{2,04 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 12,91 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

Aplicando la teoría de la máxima energía de distorsión se tiene:

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_x)^2 + 3(\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\left(10,91 \times 10^3 \frac{N}{m^2}\right)^2 + 3 \times \left(1,93 \times 10^6 \frac{N}{m^2}\right)^2} = 3,34 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

El factor de seguridad para este elemento es:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

En la tabla A-21 apéndice C, se indican las propiedades de los aceros comerciales, se selecciona acero Aisi 1040 normalizado como material para el pasador, a igual que el soporte, este material es comercial y de fácil adquisición su esfuerzo de fluencia es de 374 MPa, luego el factor de seguridad es el siguiente:

$$n = \frac{374 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{3,34 \times 10^6 \frac{N}{m^2}} = 111$$

#### 4.12. Diseño del Sistema de Control del Proceso de Dosificación.

El sistema de control a diseñar debe estar integrado al sistema de control actual para garantizar que el proceso de dosificación de sílica forme parte de la secuencia de mezclado de compuestos en el mezclador, por tal motivo se requiere que exista compatibilidad entre los sistemas.

Descripción del proceso actual: El operador del Banbury introduce los valores de receta en la interfaz “Factory Link”, ver figura 4.22, la interfaz posee un campo para la selección de tolva de negro humo y la cantidad requerida según la receta.

Selección de tolva y transporte de sílica

C.A. GOODYEAR		CONTROL DE BANBURY Y BALANZAS					06/09/2006	
COMPUESTO N°: S551259		FECHA U.R.: 06/09/2006					REVISADO POR: MARYANGEL	
	GOMA 1	GOMA 2	GOMA 3	GOMA 4	GOMA 5	PIGME.	PARAMETROS DEL BANBURY	
PESO	184.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Batch Programados	2
	N/H 1	N/H 2	ACE. 1	ACE. 2	ACE. 3	ACE. 4	Temp. de Descarga	340 °F
TOLVA	1	0	1	0	0	0	Tiempo de Mezcla	160 s
PESO	36.84	0.00	4.60	0.00	0.00	0.00	Tiempo Min. Mezcla	120 s
							Tiempo Max. Mezcla	180 s
							Retardo Compuerta	7 s
							Elevación Martillo	80 s
							Retardo Martillo	10 s
							Tiempo Inicial N/H	20 s
							Tiempo Descar. N/H	5 s
							Temp. Des. Aceite	230 °F
							Tiempo. Des. Aceite	0 s
							Turno N°: 1	Hora: 13.39.03
							Peso Total (Kgr.)	226.00
							K.W.H.:	0

[09/06/06 13:38:29] Martillo Trancado  
 [09/06/06 13:37:04] Balanza Aceite #4 Vacía  
 [09/06/06 13:36:06] Cero en Caída de Negro Humo  
 [09/06/06 13:34:55] Balanza Aceite #4 Vacía

**ALARMAS**

**Figura 4.22.** Interfaz del Factory Link, Parámetros de Entrada para Selección de Compuestos.

Fuente. Manual de operaciones de Banbury #3.

Actualmente existen 4 tolvas de almacenamiento para 4 tipos de negro humo, al seleccionar una de las tolvas las cuales están enumeradas desde 1 hasta 4, se genera una señal digital que tienen relación de correspondencia con cada selección, esta señal se transmite por medio de conexiones puerto serial desde el PC hasta el PLC (control lógico Programable), ver figura 4.23, quien activa según lo programado la tolva de negro humo que descargará en la balanza.

El PLC recibe la señal del “Factory Link” y la compara con la señal recibida por el instrumento transmisor de la balanza que censa la carga en la tolva de negro humo, compara estos valores y activa la secuencia de trabajo programado.

## Figura 4.23

El PLC genera dos señales de salida, la primera dirigida a un variador de frecuencia para ajustar la velocidad de operación del motor, la segunda señal activa el contactor del motor de la válvula de descarga correspondiente al producto seleccionado. En la figura 4.24 se representa el diagrama de potencia correspondiente a las unidades motrices de las válvulas de descarga de negro humo del sistema actual, donde K1, K2, K3 y K4 son los contactores correspondientes a cada motor, y la activación de los mismos se produce cuando se selecciona el número de tolva en la interfaz del “Factory Link”, el PLC recibe la señal de la interfaz y activa una señal en la dirección correspondiente a la conexión de los contactores, ver diagrama de escalera, figura 4.27.

Requerimiento de control. Para la integración del sistema diseñado al sistema actual será necesario:

Crear un código para la señal binaria que activará la selección de sílica en la interfaz del operador “Factory Link” este sistema está basado en lenguaje Basic, al crear la señal se crea una línea en el diagrama de escalera actual para activar la selección de sílica, a esta señal se le asigna una salida para la activación del mando del motor de transporte de sílica, ver diagrama de potencia figura 4.24.

Mantener el sistema de pesado de compuesto actual, conformado por balanzas y celdas de carga, que están configuradas para trabajar en un rango de 0 lb a 750 lb, cada una, en conjunto el peso máximo es de 3.000 lb. El peso total del conjunto estructural, unidad motriz y válvula de descarga es de 1.854 lb, (841kg) este valor esta reflejado en el manual de calibración de balanza, ver apéndice C

Figura 4.24

Figura 4.25

Mantener el controlador programable PLC y agregar al programa el código correspondiente al proceso de dosificación de sílica, para lograr esto, se utilizará una ranura disponible en el cabezal local del PLC para instalar un módulo adicional y usar una salida para la activación del contactor correspondiente a la unidad motriz de sílica, el resto de las entradas y salidas se mantienen igual, El PLC usado en la actualidad es Controllogix serie 1756 Allen Bradley, el módulo de salida es 1756 – IF16. Ver hoja técnica apéndice B.

Se utilizará el variador de frecuencia instalado en el sistema actual, ya que el mismo puede funcionar con la unidad motriz que se seleccionó para el transporte de sílica, en la tabla 13, se muestran las características del motor para el transporte de sílica, en la tabla 14, se muestran las características del variador de frecuencia del sistema actual, el variador de frecuencia tiene capacidad para funcionar con motores de igual y mayor potencia que el motor seleccionado, además, la tensión nominal es la misma, estos son los dos parámetros mínimos necesarios que se requieren para seleccionar el variador de frecuencia.

**Tabla 13.** Características del Motor Seleccionado para el Transporte de Tornillo Helicoidal

Fabricante	Modelo	Potencia	Velocidad De Rotación	Tensión Nominal
Sew Eurodrive	R17DT71C4,	0,33 Hp	1800 rpm	440VAC

Fuente. Catálogo del fabricante Seu Eurodrive.

**Tabla 14.** Características del variador de frecuencia del sistema actual

Fabricante	Modelo	Potencia	Tensión Nominal
Reliance Electric	GV3000	5 Hp	440VAC

Fuente. Manual De Operaciones Del Drive GV3000.

### Selección y justificación de la tecnología:

Éste proyecto está orientado a diseñar un sistema de transporte que esté integrado al sistema de control actual del mezclador, lo que implica que la tecnología de control ha sido seleccionada y está operando en la actualidad. Por consiguiente se describirán los equipos que tienen relación directa con el proyecto:

Controlador Lógico Programable (PLC): la secuencia de mezclado actual es llevada por un controlador programable, las especificaciones de diseño de control para los mezcladores son de procedencia de la casa matriz de la compañía en Akron, Ohio. El PLC usado en los mezcladores es Controllogix serie 1756, en la figura 4.23 se muestra una red de conexión entre el PLC y el PC por medio de puerto serial con conexión Db9.

Módulos de entradas y salidas: El PLC actual posee expansión para módulos adicionales de entradas y salidas, para cada subsistema se ubica un chasis con capacidad para 8 slot ó ranuras, ver figura 4.25, cada ranura está identificada con un número correlativo, por ejemplo; 13.01 corresponde a la salida 01 del módulo ubicado en la ranura 13 del chasis en el tablero de balanzas.

Para integrar el sistema diseñado se requiere anexar un módulo adicional debido a que los módulos existentes no tienen puntos de salida disponibles. El módulo requerido es un 1756-IF16 para mantener la compatibilidad del chasis con los módulos existentes, la ranura para este nuevo módulo corresponde con la número 14, esto quiere decir, que la señal de activación será 14.xx.

Balanza de pesado de compuesto: El sistema de pesado de negro humo se hace por medio de celdas de carga, quienes transmiten una señal eléctrica a un instrumento indicador transmisor, el instrumento usado para esto es una balanza “Lynx” del

fabricante Mettler Toledo, ver hoja técnica en el apéndice C, este instrumento tiene la capacidad de convertir la señal analógica que recibe de las celdas de carga en señal digital y transmitir a través de puerto serial al PLC.

Celdas de carga: Al integrar el pesado de sílica en conjunto con el componente negro humo, se genera un incremento en el peso promedio de la tolva de pesado, el mayor incremento se alcanza cuando se mezcla el compuesto “S3592”, el cual contiene 35 kg de negro humo y 15 kg de sílica. Ver hoja de receta del compuesto “S3592”, apéndice C.

El peso del contenido de la tolva alcanza un total de 50 kg, este es el compuesto de los que contienen sílica que genera en la balanza la mayor lectura de peso, sin embargo, entre los compuestos que no contienen sílica, existe un código que contiene negro humo en una cantidad que supera el peso antes mencionado, y es el compuesto “S1872”, Ver hoja técnica del compuesto “S1872”, apéndice C, el contenido de negro humo es de 80,89 kg esto significa que la celdas de cargas usadas en la actualidad no requieren ser reemplazadas al momento de integrar el pesado de sílica, ya que las mismas están acondicionadas para trabajar en un rango más amplio y con límite superior de carga mayores que las que se pueden generar con los compuestos que contienen sílica.

En el apéndice B, se muestra la hoja técnica de las celdas de carga Totalcomp, tipo TS 750, la capacidad por unidad es de 750 lb (340 kg), en el sistema actual se utilizan 4 celdas para un total de carga de 3.000 lb (1.360 kg).

El conjunto tolva, válvula de descarga y unidad motriz forman parte del peso inicial y se conoce como “Tara”. El restante forma parte del rango de variabilidad del peso de los componentes pesados en la tolva.

Figura 4.26

Variador de frecuencia: El variador de frecuencia del sistema actual alimenta a 4 motores que corresponden a las unidades motrices de las tolvas de negro humo, en la figura 4.24 se representa el diagrama de potencia para los motores del sistema actual y la integración del motor para la unidad de transporte diseñada.

El variador de frecuencia es un Reliance modelo GV3000, este equipo tiene la capacidad de recibir señales analógicas y programarse para cambio de frecuencia desde controles remotos, el mismo posee dos terminales de conexiones, una para conexiones de control y la otra para entrada y salida de potencia, ver figura 4.26. La capacidad del mismo está adecuada para los motores de las válvulas rotativa que son de 5 Hp, sin embargo, puede ser adaptado para trabajar con motores de menor potencia.

#### Descripción de la secuencia del PLC:

El controlador Programable recibe dos tipos de señales, señales analógicas provenientes de dispositivos de campo y señales digitales provenientes de un ordenador y las provenientes de las balanzas, las entradas digitales tienen direcciones internas en la memoria del controlador, estas activan bits relacionados a funciones de correspondencia del diagrama de escalera, las entradas analógicas tienen direcciones físicas en los módulos 1756-IF16 del PLC y se enumeran según la ranura del chasis y el punto de conexión.

Los diagramas de secuencia del PLC son propiedad de C.A Goodyear de Venezuela, por lo tanto solo se mostrarán y explicarán los bloques correspondientes a la aplicación del trabajo y se describen a continuación:

- Selección de tolva para descarga de compuesto, corresponden a las líneas 0.0001, 0.0002, 0.0003, 0.0004 de la figura 4.27, en esta se define la activación de la unidad

motriz de las tolvas de Negro-Humo, la línea 0.0005 corresponde a la activación de la unidad motriz del transporte de sílica.

Estas salidas del PLC van direccionadas a las bobinas de los contactores correspondientes a cada unidad motriz, ver diagrama de conexiones figura 4.28 y 4.29, en la tabla 15 se indican las señales digitales de entrada y las salidas para las líneas antes descritas.

**Tabla 15.** Señales y Dispositivos de Entradas y Salidas del PLC.

<b>ENTRADAS</b>	<b>DISPOSITIVOS</b>	<b>SALIDAS</b>	<b>DISPOSITIVOS</b>
2020.00	Interfaz (factory Link)	13.10	Bobina de contactor K1
2020.01	Interfaz (factory Link)	13.11	Bobina de contactor K2
2020.02	Interfaz (factory Link)	13.12	Bobina de contactor K3
2021.01	Interfaz (factory Link)	13.13	Bobina de contactor K4
2021.02	Interfaz (factory Link)	14.01	Bobina de contactor K5

Fuente. Creación Propia.

Las señales de entrada son digitales y provienen de la interfaz del operador para la selección de las tolvas de negro humo, el PLC recibe de la interfaz una señal binaria de 5 dígitos que activan las salidas correspondientes cuando tienen la combinación mostrada en la tabla 16.

Para la activación de las unidades motrices de las tolvas existen dos modalidades, la primera es la activación automática, esta se realiza cuando la secuencia de mezclado está en funcionamiento, la segunda modalidad corresponde a la activación manual, esta opción es ejecutable para casos especiales de inspección y chequeo de los equipos.

Figura 4.27

Las salidas corresponden al módulo en la ranura 13 y los correlativos 10, 11,..13 corresponden a los puntos de conexión en el terminal del módulo.

**Tabla 16.** Combinación de los Códigos Binarios para la Activación de las Señales de Salida

Entrada	SELECCIÓN DE TOLVA DE NEGRO HUMO							
	Tolva 1 (auto / man.)		Tolva 2 (auto / man.)		Tolva 3 (auto / man.)		Tolva 4 (auto / man.)	
2020.00	1	1	0	0	1	1	0	0
2020.01	0	0	1	0	1	0	0	0
2020.02	0	0	0	0	0	0	1	0
2021.01	0	0	0	1	0	1	0	0
2021.02	0	0	0	0	0	0	0	1

Fuente. Creación Propia.

Para integrar el sistema de transporte de sílica se adiciona una línea al diagrama de escalera y la señal de activación se configura en la interfase del (factory link) en el campo de selección de tolva donde 1, 2, 3 y 4 corresponden a las tolvas de negro humo y 5 a la bobina del contactor de la unidad motriz del transporte diseñado. La tabla 17 indica la combinación binaria para la activación automática y manual del transporte de sílica.

**Tabla 17.** Combinación de los códigos binarios para la activación de sílica

ENTRADA	SELECCIÓN	
	AUTO	MANUAL
2020.00	1	1
2020.01	0	0
2020.02	1	0
2021.01	0	0
2021.02	0	1

Fuente. Creación propia.

Figura 4.28

Figura 4.29

- La línea 0.0006 corresponde a la señal que determina la velocidad alta de la unidad motriz seleccionada en el punto anterior. Esta señal de salida del PLC está direccionada a una bobina asociada al contacto K6, contacto que activa la entrada 18 en el variador de frecuencia (velocidad a 60Hz).

**Tabla18.** Señales de Entradas y Salidas para la Variación de Velocidad de la Unidad Motriz del Transporte de Sílica

ENTRADAS	DISPOSITIVOS	SALIDAS	DISPOSITIVOS
2020.00	Interfaz (factory Link)	12.10	Bobina de contactor K6
2020.01	Interfaz (factory Link)	12.11	Bobina de contactor K7
2020.02	Interfaz (factory Link)		
2020.06	Interfaz (factory Link)		
2021.00	Interfaz (factory Link)		
2021.01	Interfaz (factory Link)		
2021.02	Interfaz (factory Link)		
2155.00	Interfaz (factory Link)		
12.21	Contacto para 30 Hz		
61.12	Selector(velocidad alta y madia)		
61.15	selector		

Fuente. Creación propia.

Esta señal depende del peso que esté sensando la balanza en la tolva de descarga. Cuando faltan  $k \cdot 1000$  g. Siendo  $k$  un factor que se determina en la interfaz, por ejemplo si  $k$  es igual a 3 luego el valor de comparación es 3000 g. Cuando la diferencia entre el valor de la receta y el valor de la señal que recibe el plc desde la balanza es 3000 g, la señal 61.11 se activa y abre el bit asociado en la línea 6 desactivándose la señal 12.10 para cambiar de frecuencia el motor que está en funcionamiento, inmediatamente se activa la señal 12.11 para activar la señal de

frecuencia baja en la línea 0.0008. En la figura 4.30 se indica el diagrama de conexiones asociado al módulo de salida que envía la señal al terminal de control del variador de frecuencia.

- La línea 0.0007 es un bloque de comparación que toma la señal proveniente del punto anterior y la compara con un parámetro de carga, este parámetro representa la cantidad de gramos faltantes para completar el peso total de la receta. Una vez que la señal proveniente del punto anterior es menor al parámetro, se activa la señal que indica el cambio de velocidad de la unidad motriz.

**Tabla19.** Señales de Entradas y Salidas para la Comparación de Cargas provenientes de la balanza y la interfaz.

<b>ENTRADAS</b>	<b>DISPOSITIVOS</b>	<b>SALIDAS</b>	<b>DISPOSITIVOS</b>
2020.06	Interfaz (factory Link)	61.12	Luz piloto
2020.11	Interfaz (factory Link)	61.13	Bobina de contactor
2231	Balanza		

Fuente. Creación propia.

Cuando se activa el comparador este recibe la variación de peso proveniente de la balanza de negro humo y compara con el valor de receta, al activarse el bit 61.11 se abre un contacto en la línea 6 del diagrama de escalera y cierra un contacto en la línea 8 y con esta acción se cambia la señal eléctrica que va a la entrada digital del variador de frecuencia para cambiar la frecuencia de giro de 60 Hz a 30 Hz.

- La línea 0.0008 corresponde a la señal que determina la velocidad lenta de la unidad motriz seleccionada en el punto 1. Esta señal de salida del PLC esta direccionada al variador de frecuencia que alimenta a las unidades motrices.

Figura 4.30

- Línea 0.0009. es un bloque de comparación que toma la señal proveniente del Factory Link y la compara con la señal proveniente del sistema de balanza. En esta línea se genera la activación del “Cutoff” ó desconexión de la unidad motriz cuando el peso sensado en la balanza corresponde con el valor introducido en la interfase.

#### **4.13. Descripción de Funcionamiento del Variador de Frecuencia.**

En la línea 0.0006 y 0.0008 del diagrama de escalera se indican dos señales eléctricas direccionadas al variador de frecuencia, correspondientes a velocidad alta y velocidad baja respectivamente, las salidas antes mencionadas están conectadas al terminal de control del variador, en la figura 4.26 se muestran las terminales de conexiones del variador, donde se indican las funciones de cada uno de los puntos de conexión, el terminal superior para control y el terminal inferior para salida y entrada de potencia.

Programación para cambio de frecuencia. Para la activación o cambio de la señal de frecuencia de giro del motor, el variador de frecuencia tiene una lógica de activación interna, los puntos 17, 18 y 19 en el terminal de conexiones de control, ver figura 4.26, reciben la señal eléctrica desde un relé o un autómata programable, la conmutación entre dichos puntos van a activar el parámetro de velocidad programado en él, en la tabla 20 se indican las combinaciones predeterminadas y el parámetro de activación respectivo.

**Tabla 20.** Conmutación de señales para activación del parámetro de velocidad

ENTRADAS DIGITALES(TERMINALES)			REFERENCIA DE SELECCIÓN DE VELOCIDADES
17	18	19	
0(abierto)	0(abierto)	0(abierto)	P.031 ó entrada analógica para activar los valores predeterminados
0(abierto)	0(abierto)	1(cerrado)	P.032
0(abierto)	1(cerrado)	0(abierto)	P.033
0(abierto)	1(cerrado)	1(cerrado)	P.034
1(cerrado)	0(abierto)	0(abierto)	P.035
1(cerrado)	0(abierto)	1(cerrado)	P.036
1(cerrado)	1(cerrado)	0(abierto)	P.037
1(cerrado)	1(cerrado)	1(cerrado)	P.038

Fuente. Creación propia.

Esto es, si la señal en el puerto 17 y 18 es nula (abierta) y se activa la señal en el puerto 19 se activa el valor programado en el parámetro P.032, cada uno de los parámetros puede tener valores de frecuencia diferentes para lograr el cambio de velocidad de rotación de la unidad motriz. El drive GV3000 tiene capacidad para cambiar hasta 7 parámetros de velocidad indicados desde P.032 hasta P.038. Cuando estas señales son nulas o no están habilitadas, el parámetro activado es predeterminado P.031 quien mantiene el valor indicado en el parámetro P.048. Es decir, el drive está en función manual.

Para asignar los valores deseados en los parámetros que serán activados durante la secuencia, es necesario definir el número de parámetros a usar y hacer la conmutación según la programación del PLC, luego introducir los valores programados para su activación. Para el sistema actual existen dos, el primero para arrancar los motores a 60 Hz y el siguiente para velocidad de 30 Hz. La conmutación queda como se indica en la tabla 21.

**Tabla 21.** Conmutación Programada para el Sistema Actual

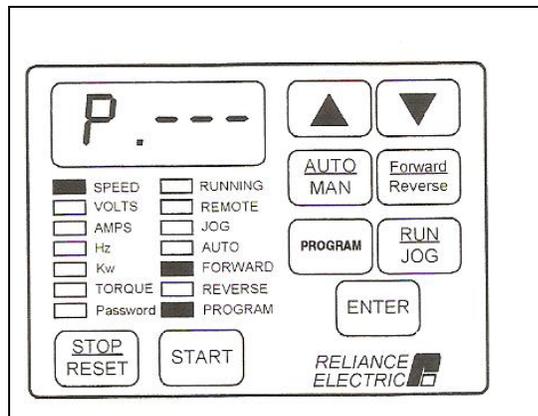
ENTRADAS DIGITALES			SELECCIÓN DE VELOCIDAD DE REFERENCIA
(17)	(18)	(19)	
0(abierto)	0(abierto)	1(cerrado)	P.032 (60 Hz)
0(abierto)	1(cerrado)	0(abierto)	P.033 (30 Hz)

Fuente. Creación propia.

En la primera acción se activa el parámetro P.032 y luego el parámetro P.033. Los valores a introducir en los mismos son 60 Hz y 30 Hz respectivamente.

Para asignar los valores deseados en los parámetros se debe seguir el siguiente procedimiento:

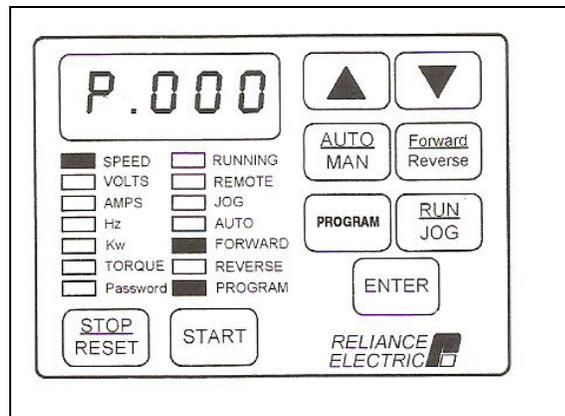
- En el modulo de programación de variador, presionar la tecla “PROGRAM” lo que activa el menú general, la pantalla del modulo muestra la señal “P.---“ primer menú general.

**Figura 4.31.** Introducción de Parámetros del Variador.

Fuente: Manual del Drive GV3000.

- Pulsar la tecla “ENTER” para activar el parámetro “P.000” primer parámetro de ajuste del drive. En este se indica el recurso de funcionamiento del drive, para el caso en cuestión, debe estar activo “rE” que indica el recurso de funcionamiento del

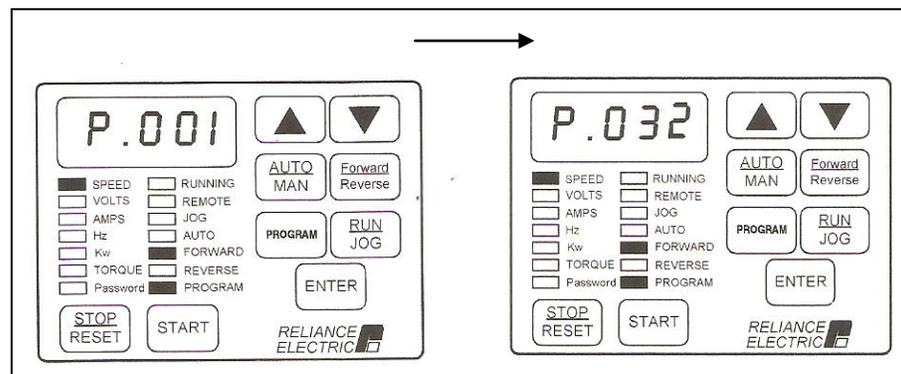
variador, “rE” remoto (el variador es activado con señales externas) y “LOCL” activación manual del variador.



**Figura 4.32.** Introducción de Parámetros del Variador.

Fuente: Manual del Drive GV3000.

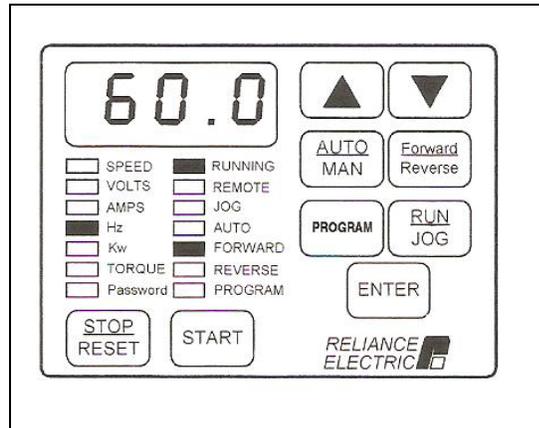
- Pulsar la tecla “▲” para desplazar los parámetros en orden creciente desde P.000 hasta P.032, este es el primer parámetro a ajustar, y su valor se indica según diseño.



**Figura 4.33.** Activación de los parámetros P.001 – P.032.

Fuente: Manual del Drive GV3000.

- Al llegar P.032 pulsar la tecla “ENTER” para entrar en el submenú y ajustar con las teclas “▲” y “▼” el valor a 60 tal como se indica en la figura 4.34



**Figura 4.34.** Activación de parámetro de frecuencia.

Fuente: Manual del Drive GV3000.

- Luego de ajustar el parámetro P.032, se ajusta el siguiente parámetro P.033 de la misma manera pero introduciendo el valor de 30 Hz. Una vez programados los parámetros se presiona la tecla “AUTO” de esta manera queda en forma automática y el variador es capaz de hacer el cambio de señal cuando se activen las señales desde el PLC.

**CAPÍTULO V**  
**EVALUACIÓN ECONÓMICA.**

### **5.1. Evaluación Económica del Proyecto.**

En esta sección se presenta el estudio de la factibilidad económica del proyecto, para ello, se compara la alternativa presentada por una empresa especializada en manejo de materiales a granel y la propuesta del presente trabajo.

Antes de definir los alcances del proyecto, es importante recordar que el objetivo del mismo está fundamentado en la mejora de la condición del ambiente de trabajo, reduciendo la contaminación del microclima laboral y la manipulación del producto por parte del personal. Considerando lo dicho anteriormente, se indica que las propuestas no están orientadas a generar mejoras desde el punto de vista de la disminución de los tiempos de procesamiento del producto, como tampoco, la recuperación de la inversión.

El estudio económico está basado en comparar los costos asociados en la ejecución de un proyecto elaborado por la empresa “FLEXICON” y los generados por el presente trabajo, con la finalidad de evaluar las dos alternativas en relación a la rentabilidad del mismo.

FLEXICON es una empresa perteneciente a Estados Unidos de Norteamérica, ésta se dedica a elaborar proyectos de transporte de materiales a granel. Goodyear de Venezuela solicitó una cotización para la elaboración e instalación de un sistema de transporte para sílica, la respuesta a ésta se encuentra en los Anexos, en la misma se describen los Ítems que suministran, y el valor total de éste servicio que engloba los cuatro mezcladores de la planta.

En la tabla 22 se describe el presupuesto para la instalación del sistema para los 4 mezcladores para la planta y el costo unitario.

**Tabla 22.** Presupuesto de Fabricación e Instalación de la Propuesta Realizada por Flexicon

DESCRIPCIÓN	COSTO(\$)	COSTO(\$)
Bulg Bag sistem for Banbury 1,2,3 and 4.	\$132.640,00	285.170.000
Bulg Bag sistem for Banbury 3	\$33.160,00	71.294.00

Fuente. Creación propia.

A continuación se presentan los datos económicos, considerados para realizar el estudio de costos que origina la elaboración e instalación del sistema de transporte planteado.

**Tabla 23.** Presupuesto de Elaboración e Instalación del Proyecto.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	PROVEEDOR	COSTO(\$)	COSTO(BS)
1	Estructura de big bag	1	Inv. Oshosi	\$7.860,00	16.900.000
2	Instalación mecánica de la estación de bolsas de silica.	1	Inv. Oshosi	\$4.046,00	8.700.000
3	Tornillo helicoidal	6mt	Heliven	\$3.848,94	8.275.221
4	Canoa para sinfines helicoidales	6mt	Heliven	\$3.675,39	7.901.250
5	Tapa para canoas	6mt	Heliven	\$972,56	2.090.000
6	flanches	4	Heliven	\$404,38	869.417
7	soporte para colgantes	1	Heliven	\$14,22	30.573
8	Bocinas poliuretano	1	Heliven	\$14,22	30.573
9	Rodamiento tipo flange 1-1/2"	2	Heliven	\$213,40	457.950
10	Unidad Motriz R17	1	Sew-Eurodrive	\$427,00	918.050
11	Acople Falk <b>1040T</b>	1	MG Industrial	\$185,16	397.750
12	Válvula de apertura rápida con actuador	1	Dinamo	\$4.553,00	9.788.950
<b>Total</b>				\$26.213,82	56.359.734

Fuente. Creación propia.

Ésta información fue suministrada por proveedores nacionales, a quienes se les solicitó cotizar todos los servicios, herramientas, equipos, fabricación de estructuras, ensamblaje, instalación y puesta en marcha del modelo sugerido, con el fin de obtener de forma general un presupuesto estimado, comparando así, el ofrecido por Flexicon evaluando las oportunidades brindadas por ambas opciones.

#### Análisis de Datos:

Las cotizaciones presentadas se estudiaron con la finalidad de proporcionar el máximo beneficio y mínimo costo, con lo cual se evidenció que la propuesta planteada en este proyecto genera un ahorro de 20% con respecto a la ofrecida por el sistema de transporte de la empresa FLEXICON,

## **CAPÍTULO VI CONCLUSIONES.**

## **6.1 Conclusiones.**

En el sistema actual existe el riesgo de exposición directa a la sílica para los trabajadores del área de mezclado, afectando así la salud de los mismos debido a que no cumple con los lineamientos establecidos en la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT).

En el sistema de dosificación actual está presente la probabilidad del error humano, ya que la dosificación se hace manualmente, lo que pone en juego cumplir con las especificaciones estándar del compuesto por lo que puede originar pérdidas de materiales y/o defectos en la calidad del producto final.

El sistema de transporte y dosificación apropiado para la sílica es el tornillo sin fin, ya que este mecanismo puede manejar los volúmenes de materiales requeridos y lo transporta en forma hermética evitando así las dispersiones y contaminación del ambiente de trabajo.

El transportador de tornillo sin fin es capaz de controlar los flujos de materiales, favoreciendo así el proceso de dosificación, ya que el mismo transporta la sílica en forma continua.

La estación de bolsas contenedoras es un sistema que permite el almacenamiento y manejo de materiales disminuyendo en gran medida el riesgo de dispersión.

Como consecuencia de la baja densidad de la sílica, los esfuerzos aplicados al eje motriz del tornillo transportador son relativamente bajos, en comparación con el

esfuerzo de fluencia del material seleccionado para el mismo. Esto se debe a la poca resistencia al desplazamiento de la sílica, por lo que requiere poca potencia de acción.

El diseño de la propuesta está basado siguiendo el modelo del sistema utilizado para el transporte y dosificación del negro humo, lo que propicia un reconocimiento de los procedimientos para realizar las labores de uso, mantenimiento y prevención de fallas del mismo.

El diseño de éste proyecto se apoyó en la aplicación de ingeniería simple, basada en tecnologías poco complejas y de disponibilidad inmediata en el mercado Nacional, en consecuencia esta ventaja facilita el mantenimiento de los equipos y genera menor costo.

De acuerdo al estudio de la factibilidad económica del sistema de transporte presentado en este proyecto, se evidencia un ahorro de 20 % en comparación a la propuesta presentada por una empresa especializada.

## **6.2 Recomendaciones.**

Se debe mantener una línea de repuestos en el almacén para la ejecución de mantenimiento preventivo, donde se requieran cambiar elementos que hayan sufrido desgastes o fallas con el fin de evitar que se generen pérdidas de producción por paradas no programadas.

Se recomienda realizar investigaciones de tecnología actualizada para optimizar el proceso actual, eliminando la manipulación directa del componente químico por parte de los operadores.

Estudiar la aplicabilidad del sistema propuesto en las áreas donde sea necesario mejorar una situación donde haya contacto y manipulación directa de elementos químicos por parte de los operadores.

### Referencias Bibliográficas.

Shigley, J. y Mischke, C. (1999). *Diseño en ingeniería mecánica* (5ª ed.). México: Mc Graw Hill.

Singer, E. y Ferdinand L. (1991). *Resistencia de materiales*. (4ª ed.). México: Mc Graw Hill.

Bezara, R. (1972). *Estudio y diseño de un equipo de transporte neumático para carbonato de sodio*. Trabajo de grado. Universidad de Carabobo, Valencia.

Ramirez, G. y Requena, H. (1997). *Evaluación y rediseño del sistema de transporte de urea de PEQUIVEN Morón*. Trabajo de grado. Universidad de Carabobo, Valencia.

Castro, H. y García F. (2003). *Estudio y diseño de los sistemas de almacenamiento, mezcla y suministro a tolvas de materia prima, para una máquina inyectora*. Trabajo de grado. Universidad de Carabobo, Valencia.

Torres, C. (2002). *Programación del seminario y normas para la elaboración y presentación del trabajo especial de grado*. Valencia: Escuela de Ingeniería Mecánica Universidad de Carabobo.

Prieto, C. *Transportadores y elevadores helicoidales*. Valencia: Universidad de Carabobo.

Díaz, J. *Guía de automatización industrial*. Guacara: UNITEC.

Mont Industria. (2007). [On-line].  
Disponible en: <http://www.montindustria.com>

Grupo Interativa. (2007). [On-line].  
Disponible en: <http://www.Interativa.ind.br>

Sistemas de transporte neumático. (2007). [On-line].  
Disponible en: <http://www.Dynamicair.com>

Goodyear de Venezuela. (2007). [On-line].  
Disponible en: [http://www.goodyear.com.ve/auto/about/new\\_technology.html](http://www.goodyear.com.ve/auto/about/new_technology.html)



TABLA A-15  
Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico  $K_t$  (Cont.)

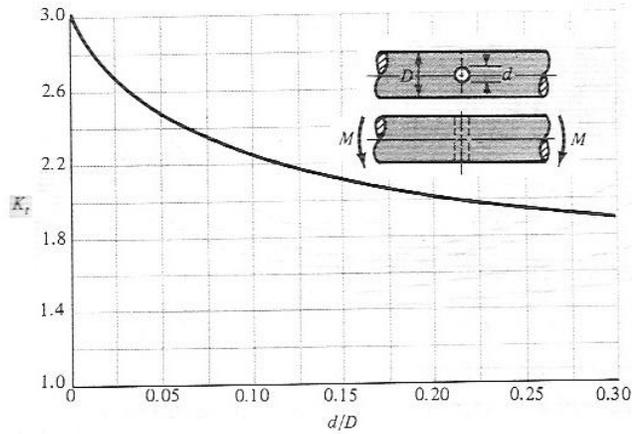


FIGURA A-15-11  
Barra circular con agujero transversal sometida a flexión.  $\sigma_0 = M/[(\pi D^3/32) - (dD^2/6)]$ , aproximadamente.

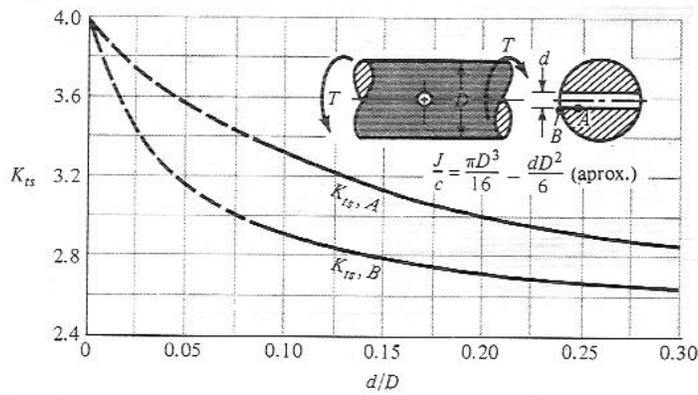


FIGURA A-15-10  
Barra circular con agujero transversal sometida a torsión.

TABLA 7-5

Efecto de la temperatura de operación sobre la resistencia a la tensión del acero. \* ( $S_T$  = resistencia a la tensión a la temperatura de operación;  $S_{RT}$  = resistencia a la tensión a la temperatura del lugar de trabajo;  $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$ )

TEMPERATURA, °C	$S_T/S_{RT}$	TEMPERATURA, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.927	700	0.927
400	0.922	800	0.872
450	0.840	900	0.797
500	0.766	1000	0.698
550	0.670	1100	0.567
600	0.546		

\*Fuente de los datos: Figura 5-11.

TABLA 7-4  
Factores de acabado de superficies

ACABADO DE SUPERFICIE	FACTOR $a$		EXPONENTE $b$
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Forjado	39.9	272.	-0.995

una fórmula para  $k_a$ , se examinó un total de 39 puntos de datos\* para diversos acabados de superficie. Esta fórmula es

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (7-14)$$

donde  $S_{ut}$  es la resistencia mínima a la tensión;  $a$  y  $b$  se encontrarán en la tabla 7-4.

### Factor de tamaño $k_b$

El factor de tamaño se ha evaluado utilizando 133 conjuntos de puntos de datos.† Los resultados en los casos de flexión y torsión se pueden expresar como

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.1133} & \text{in} \quad 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.1133} & \text{mm} \quad 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \end{cases} \quad (7-15)$$

Para tamaños mayores,  $k_b$  varía de 0.60 a 0.75 en flexión y torsión.

En el caso de que se aplique carga axial no existe el efecto de tamaño. Por lo tanto, se utiliza

$$k_b = 1 \quad (7-16)$$

Uno de los problemas que surgen al usar la ecuación (7-15) es qué hacer cuando se utiliza una sección no circular. Es decir, ¿cuál es el factor de tamaño para una barra rectangular con 6 mm de espesor y 40 mm de ancho? El método que se aplicará aquí emplea una *dimensión efectiva*  $d_e$ , obtenida al igualar el volumen del material sometido a un nivel de esfuerzo igual a, o superior a 95% del esfuerzo máximo, con el mismo volumen de probeta de viga rotatoria.‡ Lo anterior da por resultado que, cuando se igualan estos dos volúmenes, las longitudes se cancelan y

\*Fuente de los datos: C. G. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. III, no. 2, 1946, pág. 49.

†Mischke, op. cit., tabla 3.

‡Véase R. Kuguel, "A Relation between Theoretical Stress Concentration Factor and Fatigue Notch Factor Deduced from the Concept of Highly Stressed Volume", *Proc. ASTM*, vol. 61, 1961, págs. 732-748.

Prevención de fallas

$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \text{eje 1-1} \\ 0.052xa + 0.1t_f(b - x) & \text{eje 2-2} \end{cases} \quad (7-20)$$

El área de 95% de esfuerzo de la viga I de patín ancho es

$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{eje 1-1} \\ 0.05ba & t_f > 0.025a \quad \text{eje 2-2} \end{cases} \quad (7-21)$$

### Factor de carga $k_c$

El factor de carga está dado por la ecuación

$$k_c = \begin{cases} 0.923 & \text{carga axial} & S_{ut} \leq 220 \text{ kpsi (1520 MPa)} \\ 1 & \text{carga axial} & S_{ut} > 220 \text{ kpsi (1520 MPa)} \\ 1 & \text{flexión} & \\ 0.577 & \text{torsión y cortante} & \end{cases} \quad (7-22)$$

Aunque aparentemente no hay efecto de tamaño en las probetas ensayadas en fatiga axial o con inversión, existe una diferencia definitiva entre el límite de fatiga axial y el de flexión invertida. R. W. Landgraf, quien trabaja ahora en la Ford Motor Company, ha formado una extensa colección de datos acerca de la fatiga axial.\* Estos resultados fueron analizados, lo que dio origen a los valores que se muestran en la ecuación (7-22) en el caso de carga axial.

Un conjunto de 52 puntos de datos†, que comparan el límite de fatiga torsional con el límite de fatiga flexionante, produjeron un factor de carga en torsión de 0.565. Mediante el uso de un conjunto de puntos de datos diferente, Mischke‡ obtuvo el resultado  $k_c = 0.585$ . Estos dos resultados están muy próximos al valor de 0.577 que se observa en la ecuación (7-22), que se puede obtener a partir de la teoría de la energía de distorsión.

### Factor de temperatura $k_d$

Cuando las temperaturas de operación son menores que la temperatura del lugar de trabajo, la fractura por fragilidad de los materiales es una posibilidad latente y debe investigarse antes de empezar a trabajar. Cuando las temperaturas de operación son mayores que la del lugar de trabajo, antes debe investigarse la fluencia porque la resistencia de fluencia disminuye muy rápido con la temperatura; véase la figura 5-11. Cualquier esfuerzo inducirá flujo plástico en un material que opere con altas temperaturas; así que también debe tomarse en cuenta este factor. Por último, quizá resulte cierto que no existe límite de fatiga en materiales que operan con altas temperaturas. Debido a la reducción en la resistencia a la fatiga, el proceso de falla depende del tiempo hasta cierto punto.

\*Landgraf, *op. cit.*, y por comunicación personal.

†Fuente: Thomas J. Dolan, "Physical Properties", en Oscar J. Horger (comp.), *ASME Handbook-Metals Engineering Design*, McGraw-Hill, Nueva York, 1953, p. 97.

‡Op. cit., tabla 6.

TABLA 7-2  
Relación de límite de fatiga  $S'_e/S_{ut}$  para diversas microestructuras en acero

	FERRITA		PERLITA		MARTENSITA	
	INTERVALO	PROMEDIO	INTERVALO	PROMEDIO	INTERVALO	PROMEDIO
Acero al carbono	0.57–0.63	0.60	0.38–0.41	0.40	...	0.25
Acero de aleación	...	...	...	...	0.23–0.47	0.35

Fuente: Adaptado de L. Sors, *Fatigue Design of Machine Components*, Pergamon Press, Oxford, Inglaterra, 1971.

beta. Este efecto ocurrirá aun cuando las resistencias a la tensión de un número considerable de probetas se conserven exactamente iguales. Téngase esto en mente cuando se elijan factores de seguridad.

Ahora se presentará un método para determinar límites de resistencia a la fatiga. Obsérvese que las estimaciones obtenidas a partir de cantidades de datos adquiridos de muchas fuentes, tienen probablemente una amplia dispersión y podrían apartarse en forma significativa de los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio reales, de las propiedades mecánicas de probetas obtenidas a través de estrictas especificaciones en órdenes de compra. Como el área de incertidumbre es mayor, debe hacerse una compensación mediante el empleo de factores de diseño mayores que los que se utilizarían en el diseño estático.

Mischke\* ha analizado muchos datos de pruebas reales provenientes de varias fuentes y concluyó que el límite de resistencia a la fatiga, o de fatiga, puede estar relacionado en realidad con la resistencia a la tensión. En el caso de aceros, la relación es

$$S'_e = \begin{cases} 0.504S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases} \quad (7-4)$$

donde  $S_{ut}$  es la resistencia mínima a la tensión. La marca de prima en  $S'_e$  en esta ecuación indica probeta de viga rotatoria, porque el símbolo  $S_e$  se reservará para el límite de fatiga de un elemento de máquina particular sujeto a cualquier clase de carga. Pronto se verá que estas dos resistencias pueden ser totalmente distintas.

Los datos de la tabla 7-2 destacan la dificultad que presenta el intento de proporcionar una regla única para deducir el límite de fatiga a partir de la resistencia a la tensión; asimismo muestra una parte del origen de esta dificultad. Dicha tabla indica que aceros con diferente tratamiento tienen diferente microestructura y relaciones  $S'_e/S_{ut}$ . En general, las microestructuras más dúctiles tienen las relaciones más altas. La martensita es muy quebradiza y altamente susceptible al agrietamiento inducido por fatiga; así que el valor de la relación es bajo. Cuando en el diseño se dan especificaciones detalladas para tratamiento térmico a fin de obtener microestructuras determinadas, puede utilizarse una mejor estimación del límite de fatiga basada en los datos de prueba. Tales estimaciones son mucho más confiables y realmente deben utilizarse.

\*Charles R. Mischke, "Prediction of Stochastic Endurance Strength", *Trans. of ASME, J. Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*, vol. 109, no. 1, págs. 113-122, enero 1987.

TABLA A-21

Propiedades mecánicas a la tensión de algunos aceros con tratamiento térmico. [Son propiedades comunes de materiales normalizados y recocidos. Las propiedades para aceros templados y revenidos (*Quenched and Tempered*, Q & T) corresponden a un solo calor o grado. Debido al gran número de variables, las propiedades enunciadas podrían considerarse obtenibles pero no deben tomarse como valores medios o mínimos. En todos los casos, los datos proceden de probetas con diámetro igual o 0.505 in, maquinadas a partir de barras redondas de 1 in; la longitud de calibración es 2 in. A menos que se indique otra cosa, todas las probetas o muestras de ensayo se templaron en aceite.]

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI NÚM.	TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C (°F)	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa (kpsi)	ELONGACIÓN %	REDUCCIÓN DE ÁREA, %	DUREZA BRINELL
1030	Q&T*	205 (400)	848 (123)	648 (94)	17	47	495
	Q&T*	315 (600)	800 (116)	621 (90)	19	53	401
	Q&T*	425 (800)	731 (106)	579 (84)	23	60	302
	Q&T*	540 (1000)	669 (97)	517 (75)	28	65	255
	Q&T*	650 (1200)	586 (85)	441 (64)	32	70	207
	Normalizado	925 (1700)	521 (75)	345 (50)	32	61	149
	Recocido	870 (1600)	430 (62)	317 (46)	35	64	137
1040	Q&T	205 (400)	779 (113)	593 (86)	19	48	262
	Q&T	425 (800)	758 (110)	552 (80)	21	54	241
	Q&T	650 (1200)	634 (92)	434 (63)	29	65	192
	Normalizado	900 (1650)	590 (86)	374 (54)	28	55	170
	Recocido	790 (1450)	519 (75)	353 (51)	30	57	149
1050	Q&T*	205 (400)	1120 (163)	807 (117)	9	27	514
	Q&T*	425 (800)	1090 (158)	793 (115)	13	36	444
	Q&T*	650 (1200)	717 (104)	538 (78)	28	65	235
	Normalizado	900 (1650)	748 (108)	427 (62)	20	39	217
	Recocido	790 (1450)	636 (92)	365 (53)	24	40	187
1060	Q&T	425 (800)	1080 (156)	765 (111)	14	41	311
	Q&T	540 (1000)	965 (140)	669 (97)	17	45	277
	Q&T	650 (1200)	800 (116)	524 (76)	23	54	229
	Normalizado	900 (1650)	776 (112)	421 (61)	18	37	229
	Recocido	790 (1450)	626 (91)	372 (54)	22	38	179
1095	Q&T	315 (600)	1260 (183)	813 (118)	10	30	375
	Q&T	425 (800)	1210 (176)	772 (112)	12	32	363
	Q&T	540 (1000)	1090 (158)	676 (98)	15	37	321
	Q&T	650 (1200)	896 (130)	552 (80)	21	47	269
	Normalizado	900 (1650)	1010 (147)	500 (72)	9	13	293
	Recocido	790 (1450)	658 (95)	380 (55)	13	21	192
1141	Q&T	315 (600)	1460 (212)	1280 (186)	9	32	415
	Q&T	540 (1000)	896 (130)	765 (111)	18	57	262
4130	Q&T*	205 (400)	1630 (236)	1460 (212)	10	41	467
	Q&T*	315 (600)	1500 (217)	1380 (200)	11	43	435
	Q&T*	425 (800)	1280 (186)	1190 (173)	13	49	380
	Q&T*	540 (1000)	1030 (150)	910 (132)	17	57	315
	Q&T*	650 (1200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalizado	870 (1600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Recocido	865 (1585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
4140	Q&T	205 (400)	1770 (257)	1640 (238)	8	38	510
	Q&T	315 (600)	1550 (225)	1430 (208)	9	43	445

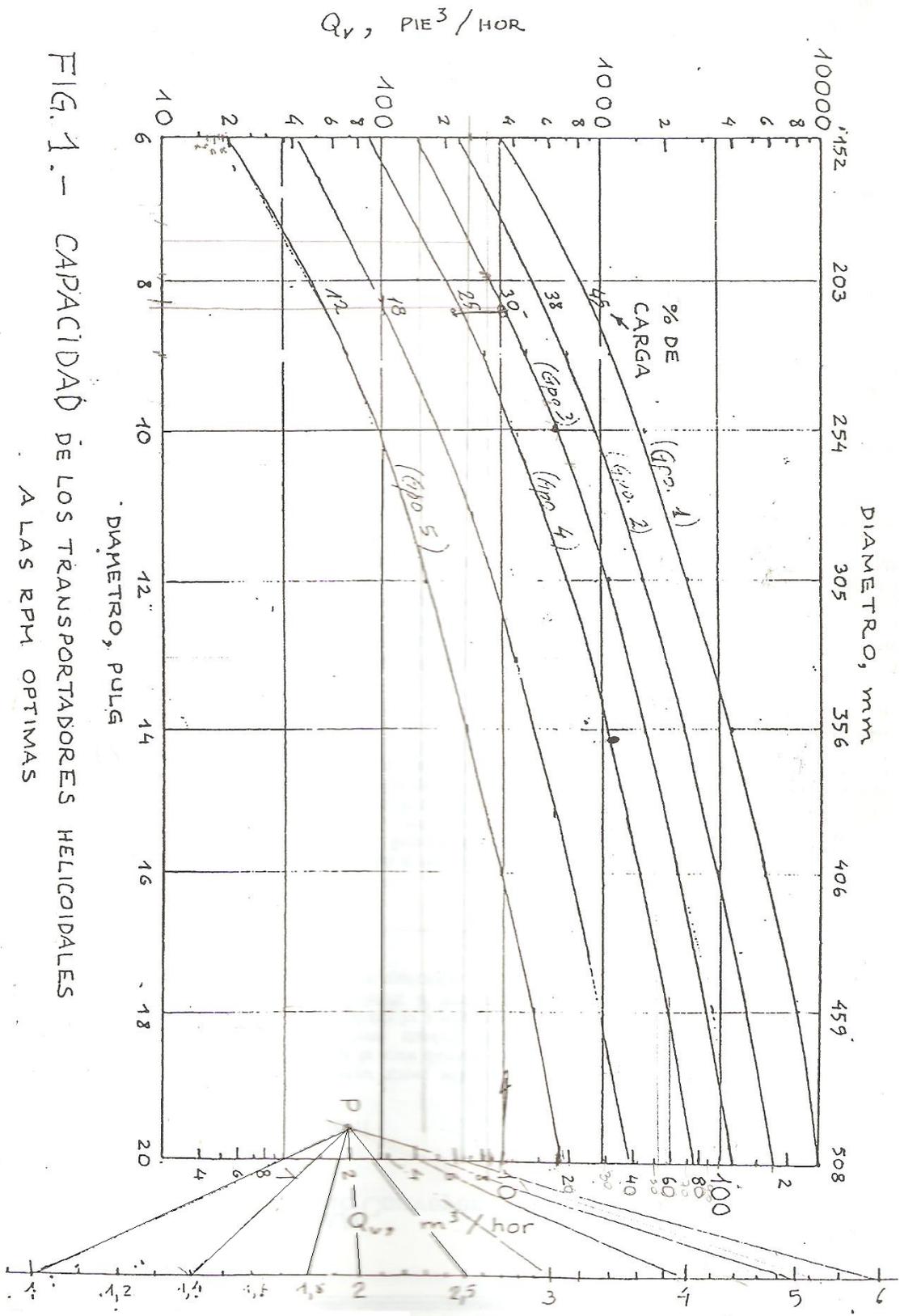
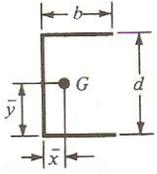
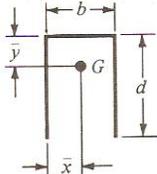
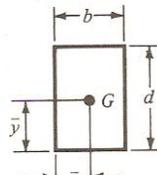
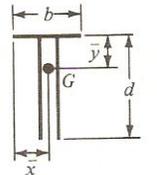
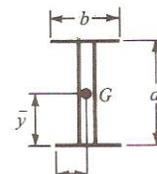


FIG. 1.- CAPACIDAD DE LOS TRANSPORTADORES HELICOIDALES A LAS RPM OPTIMAS

Fuente. Manual de Transporte y Elevadores Helicoidales, Autor: Ing. César Prieto

## 9-3 (Cont.)

FORMA DE UNIÓN	ÁREA DE GARGANTA	UBICACIÓN DE G	SEGUNDO MOMENTO DE ÁREA UNITARIO
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

\* $I_u$ , el segundo momento de área unitario, se toma con respecto a un eje que pasa por G, el centroide del grupo de juntas soldadas;  $h$  es el tamaño de junta; el plano del par flexionante es normal al de la página y paralelo al eje  $y$ ; todas las juntas de soldadura son del mismo tamaño.

FIGURA 2  
RPM OPTIMAS

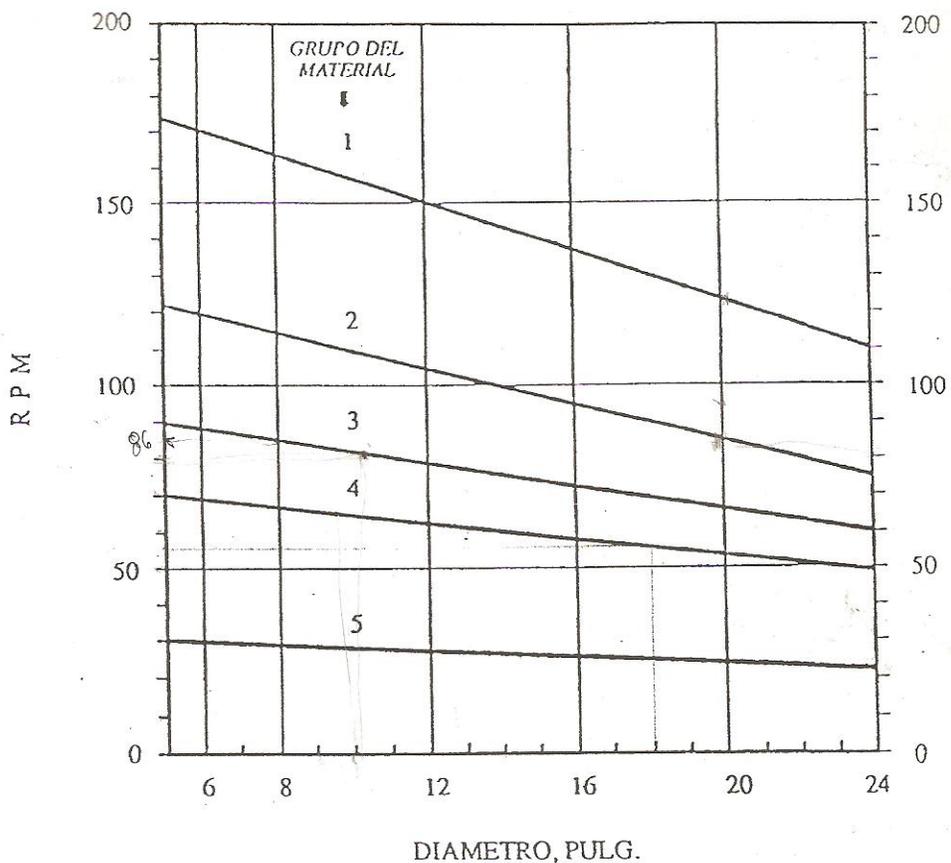


FIGURA 3  
Transportadores helicoidales de banda  
Factor  $f_H$  de capacidad

