



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE UN MECANISMO DE TRANSICIÓN QUE  
DISMINUYA LA PÉRDIDA DE MATERIAL DESDE LA  
CINTA TRANSPORTADORA TR1 A LA CINTA  
TRANSPORTADORA TR2, EN LA EMPRESA VOPAK  
VENEZUELA, ESTADO CARABOBO**

**Autora:** Ynfante Arianny

**C.I:** 20.247.098

Urb. Yuma II, calle Nª 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN MECANISMO DE TRANSICIÓN QUE DISMINUYA LA  
PÉRDIDA DE MATERIAL DESDE LA CINTA TRANSPORTADORA TR1 A  
LA CINTA TRANSPORTADORA TR2, EN LA EMPRESA VOPAK  
VENEZUELA, ESTADO CARABOBO**

**Trabajo de pasantía presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Autora:** Ynfante Arianny  
C.I: 20.247.098  
**Tutor:** Ing. Giovanni Pizzella

San Diego, Febrero de 2020



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN MECANISMO DE TRANSICIÓN QUE DISMINUYA LA  
PÉRDIDA DE MATERIAL DESDE LA CINTA TRANSPORTADORA TR1 A LA  
CINTA TRANSPORTADORA TR2, EN LA EMPRESA VOPAK VENEZUELA,  
ESTADO CARABOBO

Empresa: Vopak Venezuela S.A.

  
Juan Guampa  
TUTOR EMPRESARIAL



  
Giovanni Pizzella  
TUTOR ACADÉMICO

Autora  
Ynfante Arianny



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE MECÁNICA

#### ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Profesor, Giovanni Pizzella , portador de la cédula de identidad N° , 4455859, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por la ciudadana: Ynfante Arianny, portador de la cédula de identidad N° 20.247.098 titulado, **DISEÑO DE UN MECANISMO DE TRANSICIÓN QUE DISMINUYA LA PÉRDIDA DE MATERIAL DESDE LA CINTA TRANSPORTADORA TR1 A LA CINTA TRANSPORTADORA TR2, EN LA EMPRESA VOPAK VENEZUELA, ESTADO CARABOBO**, presentado como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO**, y acepta la tutoría del mencionado Proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes Reglamentos.

En San Diego, a los 28 días del mes de Febrero del año dos mil veinte.

  
Ing. Giovanni Pizzella  
C.I.:4455859



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ING. MECÁNICA  
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

San Diego, Febrero 2020

**ACTA DE REVISIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO**

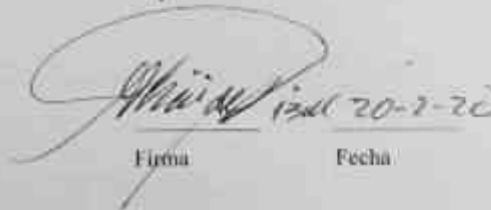
Quiénes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **DISEÑO DE UN MECANISMO DE TRANSICIÓN QUE DISMINUYA LA PÉRDIDA DE MATERIAL DESDE LA CINTA TRANSPORTADORA TR1 A LA CINTA TRANSPORTADORA TR2, EN LA EMPRESA VOPAK VENEZUELA, ESTADO CARABOBO.** Ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Prof. Ing. Giovanni Pizzella  
Tutor Académico

  
Firma

27/02/2020  
Fecha

Prof. Ing. Alicia de Pizzella  
Tutor Metodológico

  
Firma

20-2-20  
Fecha

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE CUADRO</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I LA EMPRESA</b>	
1.1 Descripción de la empresa.....	2
1.2 Organigrama General de la Empresa.....	4
1.3 Misión. ....	4
1.4 Visión .....	5
1.5 Políticas .....	6
1.6 Objetivos .....	6
1.7 Alcance .....	6
1.8 Descripción Del Departamento	8
<b>II EL PROBLEMA</b>	
2.1 Planteamiento del problema.....	10
2.2 Formulación del problema.....	12
2.3 Objetivos de la Investigación.....	12
2.3.1 Objetivo General.....	12
2.3.2 Objetivos Específicos.....	13
2.4 Justificación de la Investigación.....	13
2.5 Limitaciones.....	14
2.6 Alcance.....	14
<b>III MARCO TEÓRICO</b>	
3.1 Antecedentes.....	15
3.2 Bases Teóricas.....	17
3.2.1 Cinta transportadora.....	17
3.2.2 Clasificación de las cintas transportadora.....	18
3.2.2.1 Materiales a transportar, tamaños y temperatura.	18
3.2.2.2 Empleos de las Cintas Transportadoras.....	19
3.2.2.3 Capacidades a transportar y longitudes.....	20
3.2.2.4 Ventajas ambientales y de seguridad.....	21
3.2.2.5 Facilidad de carga y descarga.....	21
3.2.3 Factores de diseño.....	21
3.2.3.1 Factor de diseño.....	22
3.2.3.2 Esfuerzos.....	23

3.2.3.3	Esfuerzos Uniformemente Distribuidos.....	23
3.2.3.4	Esfuerzos Normales por Flexión.....	25
3.2.4	Análisis de piezas largas sometidas a compresión.....	26
3.2.5	Esfuerzos Combinados.....	33
3.2.6	Teorías de Falla.....	38
3.2.7	Diseño de árboles o ejes de transmisión.....	41
3.2.7.1	Potencia transmitida.....	41
3.2.7.2	Fuerzas internas en un eje.....	42
3.2.7.3	Variable de diseño.....	42
3.2.8	Procedimiento de diseño de ejes.....	42
3.2.9	Fuerzas que ejercen elementos de máquina sobre los ejes.....	42
3.2.9.1	Ruedas dentadas.....	43
3.2.9.2	Engranajes helicoidales.....	43
3.2.9.3	Ruedas catalinas o poleas de cadena.....	43
3.2.10	Concentraciones de tensiones en flechas o ejes.....	44
3.2.11	Valores preliminares de diseño para Kt.....	44
3.2.11.1	Cuñero.....	45
3.2.11.2	Chaflanes de hombros.....	45
3.2.11.3	Ranuras para anillos de sujeción.....	47
3.2.12	Tensiones de diseño para ejes.....	48
3.2.12.1	Tensión por esfuerzo de corte.....	49
3.2.12.2	Tensión normal de diseño, carga que genera fatiga.....	49
3.2.13	Factor de seguridad N.....	51
3.2.14	Diámetro del eje.....	51
3.2.15	Rodamientos.....	51
3.2.16	Tipos de rodamientos.....	52
3.2.17	Motores Eléctricos.....	55
3.2.17.1	Tipos de motores eléctricos.....	56
3.2.17.2	Usos.....	58
3.2.17.3	Clasificación por tipo de engranajes.....	60
3.2.18	Sensores.....	63
3.3	Definición de términos básicos.....	64

#### **IV FASES METODOLÓGICAS**

4.1	Fases metodológicas.....	65
-----	--------------------------	----

#### **V RESULTADOS**

5.1	Condiciones Actuales.....	77
5.2	Matriz FODA.....	80
5.3	Propuesta de diseño.....	92
5.4	Propuesta seleccionada.....	109
5.5	Factibilidad económica.....	121

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>124</b>
-----------------------------------	------------

### ÍNDICE DE FIGURA

<b>FIGURAS</b>	<b>Pag</b>	
1	Vista General I Vopak Venezuela, S.A.....	2
2	Organigrama General Vopak Venezuela, S.A.....	4
3	Estructura Organizativa de la Coordinación de Operaciones Secos.....	9
4	Cintas transportadoras de más de 10000 T/hora.....	20
5	Cintas de más de 3m de ancho.....	20
6	Cintas transportadoras tubulares.....	21
7	Paralelepípedo sometido a un momento flector MF puro; (b) paralelepípedo afectado por el momento flector y (c) ampliación de un corte en el medio del paralelepípedo.....	25
8	Elementos de Máquina de igual sección transversal, e idénticos sistemas de carga; difieren únicamente en cuanto a las correspondientes longitudes.....	27
9	Representación de elementos de máquina largos, sometidos a la carga axial de compresión P; (a) elemento con ambos extremos empotrados; (b) elemento con un extremo empotrado y el otro guiado.....	29
10	Representación de elementos de máquina largos, sometidos a la carga axial de compresión P; (a) elemento con ambos extremos empotrados; (b) elemento con un extremo empotrado y el otro guiado.....	29
11	Representación de elementos de máquina largos, sometidos a la carga axial de compresión P; (a) elemento con ambos extremos empotrados; (b) elemento con un extremo empotrado y el otro guiado.....	30
12	Representación gráfica de los criterios de Euler y de Johnson para elementos de máquina largos sometidos a cargas de compresión.....	32
13	Eje o árbol sometido a la acción de tensiones de corte, de compresión y de tracción simultáneamente.....	34
14	(a) Volumen Elemental de una pieza cualquiera, sometida a un estado bidimensional de tensiones, (b) análisis de cuerpo libre del mismo Volumen Elemental.....	36
15	Diagrama del círculo de Mohr.....	37

16	Construcción del Círculo de Mohr “resultante”, para un elemento de máquina sometido a un estado tridimensional de tensiones.....	38
17	Construcción del Círculo de Mohr “resultante”, para un elemento de máquina sometido a un estado tridimensional de tensiones.....	44
18	Tipos de cuñeros.....	46
19	Tipos de chaflanes.....	48
20	Tipos de chaflanes.....	50
21	Valores de B para el cálculo de Cr.....	50
22	Tipos de rodamientos.....	52
23	Comparación entre rodamientos.....	54
24	Vida útil de diseño.....	55
25	Vista del Sistema de Descarga de Productos Secos.....	
26	Condiciones del sistema de transferencia.....	
27	Condiciones del sistema de transferencia.....	
28	Condiciones del sistema de transferencia.....	
29	Diagrama de Flujo Sistema de seco Vopak Venezuela, S.A.....	
30	Fotografía TT-1 Vopak Venezuela, S.A.....	
31	Modelado Referencia de torre de transferencia TT-1.....	
32	Esquema Banda tipo tubo.....	
33	Componentes principales de un tornillo sin fin.....	
34	Distintos tipos de hélices, según el tipo de material a transportar.....	
35	Velocidad de giro recomendada para un transportador de tornillo.....	
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		

54	Selección de rodillo de impacto.....	108
55	Posibles materiales para los rodillos.....	109
56	Modelado Referencial. Nuevo sistema de transición. ....	110

## ÍNDICE DE TABLA

<b>TABLA</b>		<b>Pag</b>
1	Factores de seguridad.....	24
2	Matriz FODA (paso 7 y 8) .....	68
3	Matriz FODA (paso 9) .....	69
4	Matriz de Análisis Interno.....	76
5	Matriz de Análisis Externo.....	77
6	Matriz FODA (paso 9 al 12) .....	78
7	Matriz Cuantitativa De Planificación Estratégica.....	80
8	Presupuesto de consumibles.....	111

## ÍNDICE DE GRAFICO

<b>GRAFICO</b>		<b>Pag</b>
1	Total, Puntaje Ponderado Matriz Cuantitativa De Planificación Estratégica.....	81



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN MECANISMO DE TRANSICIÓN QUE DISMINUYA LA  
PÉRDIDA DE MATERIAL DESDE LA CINTA TRANSPORTADORA TR1 A  
LA CINTA TRANSPORTADORA TR2, EN LA EMPRESA VOPAK  
VENEZUELA, ESTADO CARABOBO**

**Autor:** Ynfante Arianny

**Tutor:** Ing. Giovanni Pizzella

**Fecha:** Abril 2019

**RESUMEN INFORMATIVO**

La empresa Vopak Venezuela, S.A perteneciente al Grupo Royal Vopak ubicada en la avenida Salom, urbanización La Belisa, estado Carabobo. Establecida como terminal marítimo, dedicada principalmente a la recepción, manejo, almacenaje y despacho de productos líquidos y secos a granel tanto en camiones como en buques tanqueros. Vopak es el terminal marítimo privado más grande para uso público en el país con 47 años de servicio ininterrumpido. Considerándose el mayor operador logístico en manejo de productos a granel tanto líquidos como secos, pues cuenta con tanques para almacenaje con capacidad desde 170 hasta 5000 metros cúbicos seccionados en parques. Sin embargo, presenta problemas para transportar los materiales desde los buques hasta los silos, debido a que se desperdicia mucho material, siendo muchos de estos productos muy corrosivos. Es por ello que la presente investigación pretende diseñar un mecanismo de transición que disminuya la pérdida de material desde la cinta transportadora tr1 a la cinta transportadora tr2, en la empresa Vopak Venezuela, estado Carabobo.

**Descriptor:** Mecanismos de transición, correas, volquetas, cintas transportadoras.

## INTRODUCCIÓN

La empresa Vopak Venezuela, S.A perteneciente al Grupo Royal Vopak ubicada en la avenida Salom, urbanización La Belisa. Establecida como terminal marítimo, dedicado principalmente a la recepción, manejo, almacenaje y despacho de productos líquidos y secos a granel tanto en camiones como en buques tanqueros. Vopak es el terminal marítimo privado más grande para uso público en el país con 47 años de servicio ininterrumpido. Considerándose el mayor operador logístico en manejo de productos a granel tanto líquidos como secos, pues cuenta con tanques para almacenaje con capacidad desde 170 hasta 5000 metros cúbicos seccionados en parques.

En el caso del área de químicos secos, tiene a su disposición un muelle propio de aproximadamente un kilómetro (1 Km) con capacidad para descargar dos buques simultáneamente; dependiendo de las operaciones, una grúa Kone que descarga los buques y mueve el material a través de un sistema de cinta transportadora que distribuye el producto a los diferentes almacenes. Pero últimamente se ha presentado un desperdicio de materiales por lo que la presente investigación tienen como objetivo pretende diseñar un mecanismo de transición que disminuya la pérdida de material desde la cinta transportadora tr1 a la cinta transportadora tr2, en la empresa Vopak Venezuela, estado Carabobo.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos, I la empresa, II el problema, con los objetivos formulación, justificación y alcance, capítulo III marco teórico, con los antecedentes, bases teóricas y definición de términos, Capítulo IV fases metodológicas y capítulo V los recursos.

# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### 1.1 Descripción de la empresa

Vopak Venezuela S.A. una compañía del Grupo Royal Vopak

#### Ubicación

Avenida Salom, Urb. La Belisa Puerto Cabello, Estado Carabobo. (Ver figura 1)



**Figura 1** Vista General l Vopak Venezuela, S.A.

**Fuente:** Tomada de Google Mapas.

#### Reseña Histórica

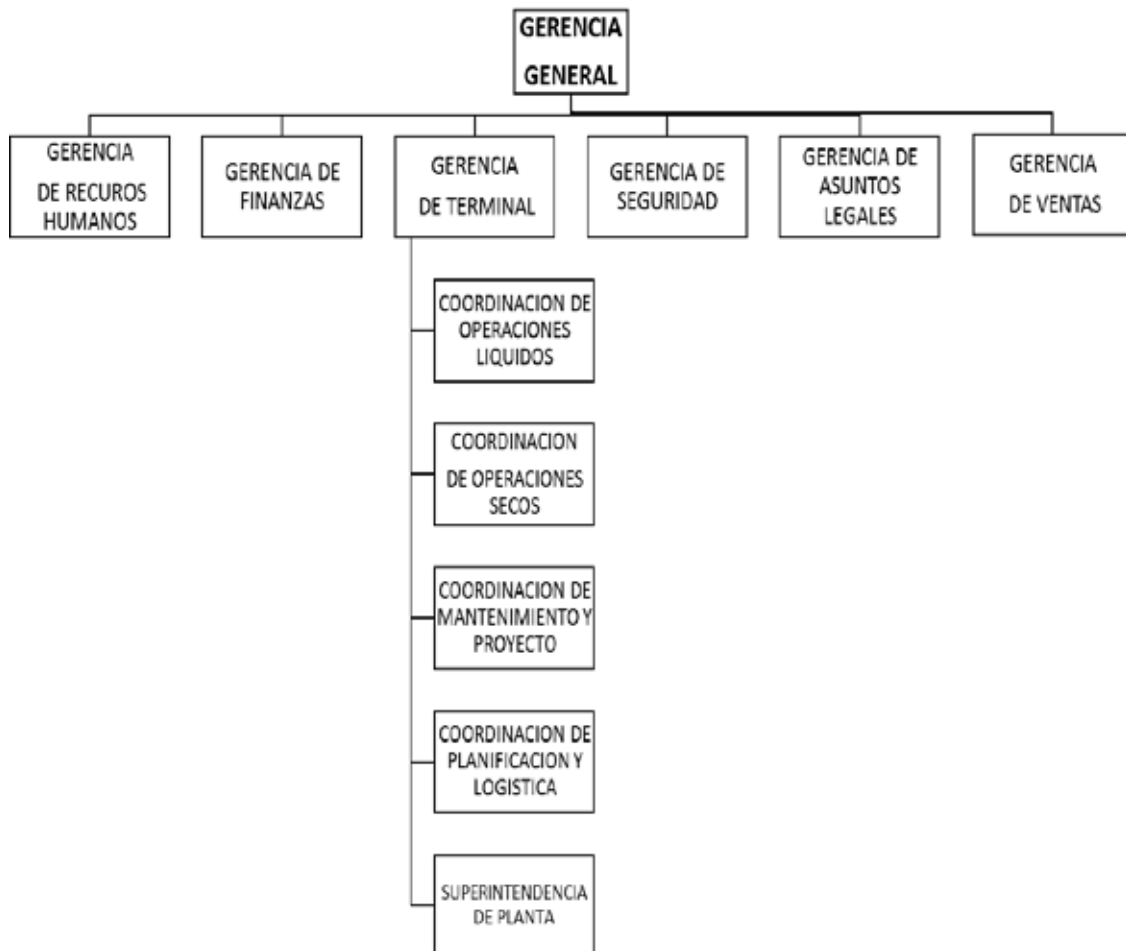
Esta empresa tiene sus raíces en Rotterdam, el centro petroquímico más grande en el mundo. Royal Vopak Group es el resultado de una fusión entre Royal Van Ommeren y Royal Pakhoed. Ambas compañías tienen una larga historia proporcionando alternativas logísticas para la industria química y de aceites. Según la historia la fecha clave en la historia de Royal Vopak Group es en 1616 cuando se establece en Amsterdam la Compañía Blauwhoed.

En 1818 se establece en Rotterdam la compañía Pakhuismeesteren. Esta se especializó principalmente en la carga, descarga y almacenamiento de productos de las colonias holandesas, como el té, el café y especias. Después empezó a ofrecer alternativas de almacenamiento para el aceite y productos de aceite, inicialmente en barriles, pero a partir de 1888 también a granel en tanques. En el año 1839 Van Ommeren empezó sus actividades como un fletador marítimo y también como agente aduanal. En 1967 Pakhoed se creó a través de la fusión de Pakhuismeesteren y Blauwhoed teniendo como actividades principales portuarias, agencias navieras y almacenamiento de químicos y aceites.

En 1986 Pakhoed adquirió un 28% de participación en la compañía americana Corporación Univar, compañía subsidiaria de Van der Water & Rogers, el distribuidor de químicos más grande en América de Norte. En el año 1990 Van Ommeren decidió concentrarse en dos actividades principales: transporte marítimo y almacenamiento a granel. En el año 1999 Royal Vopak se formó a través de la fusión entre Pakhoed y Van Ommeren. Y finalmente en el año 2002 Royal Vopak decide dejar el negocio de distribución de químicos para concentrar esfuerzos en su core business; almacenamiento en tanques y alternativas logísticas.

El 14 de Agosto de 1972 Vopak de Venezuela recibe autorización del ministerio de Transporte y Comunicaciones de Venezuela (MTC), para establecer un terminal marítimo de Almacenamiento en la localidad de Puerto Cabello Edo. Carabobo, Venezuela. La Compañía pasa a cubrir la demanda de la empresa privada al crear una infraestructura que se dedica a la recepción, manejo, almacenaje y despacho de productos líquidos y secos a granel tanto en camiones como barcos tanqueros, desarrollándose en el tiempo gracias a la colaboración de empresas multinacionales que nos guiaron para mejorar el manejo de los productos. Para esa época la compañía formaba parte del grupo Holandés Holland Chemical Internacional (HCI).

## **1.2 Organigrama General de la Empresa**



**Figura 2** Organigrama General Vopak Venezuela, S.A.  
Fuente: Vopak 2020

### 1.3 Misión.

La misión de Vopak es hacer una contribución sostenible para garantizar los procesos logísticos más eficientes al ser el proveedor líder de una infraestructura independiente de terminales de tanques óptima en lugares que son críticos para los clientes de Vopak en todas las regiones del mundo. Para lograr nuestra misión, vamos a seguir invirtiendo en el crecimiento de nuestra red global, en nuestro servicio al

cliente y en mejoras operativas continuas. Vopak ha desarrollado una estrategia para realizar esa misión. Esta estrategia se apoya en tres pilares:

Liderazgo Crecimiento: Nuestra capacidad para identificar y asegurar los lugares adecuados para nuestros terminales.

Excelencia Operacional: Nuestra capacidad de construir, operar y mantener nuestros terminales para ofrecer nuestro servicio a costos competitivos.

Liderazgo al cliente: Nuestra capacidad de crear una relación sostenible con nuestros clientes.

#### **1.4 Visión**

En Vopak, hemos pensado cuidadosamente acerca de nuestras actividades de sostenibilidad y queremos poner en práctica nuestros planes en el momento adecuado y en la forma correcta. Por esta razón, hemos creado la Estrategia de Sostenibilidad Vopak que se divide en tres fases:

##### **Fase 1:** Definición de procesos básicos (terminado en 2009)

Que se establecen Política de Sostenibilidad de Vopak en un comunicado Visión y Misión y un documento de Política incluyendo metas a corto plazo.

Preparación de un manual de presentación de informes.

Preparación de informes externos de acuerdo con GRI nivel C.

Desarrollar un plan de implementación paso a paso.

Elaborar el calendario de la fase 2.

##### **Fase 2:** Políticas de integración (2009-2011)

La implementación de la Política de Sostenibilidad Vopak y nuestros sistemas de medición.

Extensión a la presentación de informes GRI Nivel B en 2011 Informe de Sostenibilidad.

Elaborar el calendario de la fase 3.

##### **Fase 3:** Al darse cuenta de nuestras ambiciones (2011 en adelante):

Final de puesta en marcha de la estrategia de sostenibilidad.

La implementación de un sistema de monitoreo para el cumplimiento y la evaluación de los resultados.

La mejora continua de la presentación de informes basados en las directrices del GRI.

### **1.5 Políticas**

Ser el más confiable, competitivo y eficiente proveedor de servicios de logística de productos líquidos y secos a granel. Para lograrlo deben ser capaces de proporcionar servicios eficientes y de alta calidad de valor agregado, combinados con las normas más altas de ética, de seguridad y protección al medio ambiente, tanto local como mundialmente.

Ser líderes en el mercado satisfaciendo las necesidades de los clientes en el servicio logístico y almacenamiento de productos a granel, aumentando la participación en la industria química y petrolera, mediante el desarrollo del capital intelectual, la mejora continua de los estándares de calidad, seguridad protección al ambiente a nivel local y global en procura de una alta rentabilidad para los accionistas.

### **1.6 Objetivos**

Para continuar con los principales objetivos corporativos de Excelencia y Crecimiento, y como miembro de la División Latinoamericana, Vopak Venezuela continuará avocada a su misión de mejora continua, aplicando los más altos estándares de seguridad, higiene, medio ambiente y calidad, a la vez que mantendrá sus esfuerzos enfocados a la expansión de su capacidad y servicio a todos los clientes en la región, sin olvidarse del recurso más importante con el que contamos: nuestro recurso humano.

### **1.7 Alcance**

**Espacial:** El departamento donde se realizaron las actividades de pasantía; corresponde a la Coordinación de Operaciones Secos; encargado de las actividades operativas de traslado de productos secos a granel por medios

de banda transportadora desde el muelle hasta su descarga en el silo de almacenamiento temporal.

**Temporal:** El tiempo de ejecución de las actividades basado en un cronograma de actividades previsto es de 8 semanas desde el 05/11/2018 hasta el 25/01/2018.

## **1.8 Descripción Del Departamento.**

### **Funciones de la Coordinación de Operaciones Secos:**

Planificar y controlar las operaciones de los buques estableciendo las prioridades de descarga de productos, con el fin de que la descarga se realice de una manera segura y eficiente.

Planificar y organizar las operaciones con los transportes, envasado de producto (básicamente ensacado de fertilizantes), servicios adicionales que demande el cliente, con la finalidad de garantizar que el personal que lo realice cumpla con las normas y procedimientos documentados.

Coordinar con la gerencia del terminal, el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo necesarios, con el objeto de mantener la operatividad de los equipos.

Manejar información confidencial de servicios al cliente, de reporte a autoridades de la organización.

Diseñar sistemas operacionales (para trabajos concretos) con el objeto de que las operaciones se realicen con mayor seguridad y eficiencia.

Mantener la responsabilidad de la seguridad de las operaciones, equipos, e instalaciones de la planta.

Controlar y verificar los inventarios de los productos almacenados y descargados en planta.

Participar en el diseño de programas de entrenamiento al personal, con el fin de determinar las debilidades y fortalecerlas.

Participar en charlas y cursos al personal operario, de seguridad, contratistas, conductores de cisternas y comunidades.

Elaborar diferentes análisis sobre la gestión que se realiza y toma de decisiones aplicadas a los resultados de los análisis.

Evaluar los requerimientos y factibilidad de los nuevos servicios solicitados por la Gerencia de Ventas.

Suministrar información a la Gerencia de Ventas, para la facturación de los servicios prestados al cliente.

Manejar conjuntamente con atención al cliente los casos en que existan reclamos por parte del cliente para ayudar a mejorar la calidad del servicio prestado.

Planificar la solicitud y aprobación de permisos de trabajo de acuerdo a los procedimientos y permisologías establecidas.

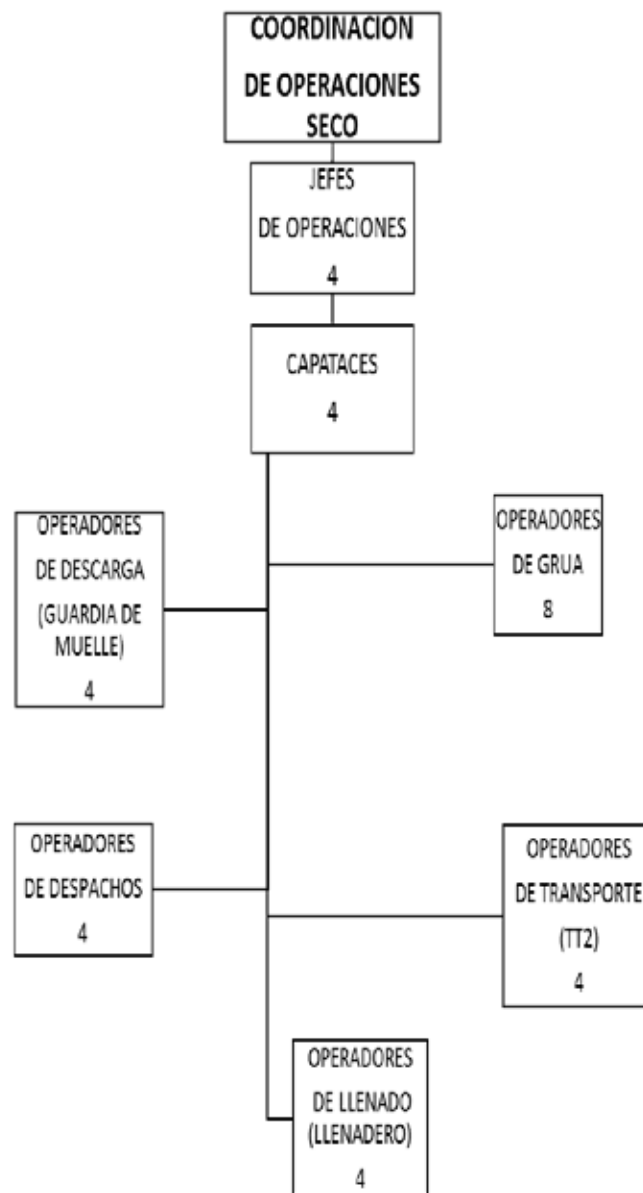
Supervisar el trabajo de las empresas contratistas y medir la efectividad de los mismos.

Fomentar, cumplir y hacer cumplir los procesos de mejora continua, manejando los productos de manera responsable, a fin de proteger la seguridad de las personas, de la comunidad y del medio ambiente.

Mantener la disposición de servir al cliente, realizando las actividades necesarias para lograr que este reciba el servicio en el momento y lugar adecuado, cumpliendo con los compromisos adquiridos con el cliente.

Participar en el sistema de gestión de continuidad del negocio, ayudando a crear, actualizar y poner en práctica los planes de continuidad.

Hacer uso responsable de los recursos disponibles, a fin de evitar la generación de desechos, en caso de generarlos, manejarlos acorde a las políticas y procedimientos Vopak. A continuación, la figura 3 muestra el Organigrama General de la Coordinación de Operaciones Secos.



**Figura 3.** Estructura Organizativa de la Coordinación de Operaciones Secos.  
Fuente: Vopak 2020.

## **CAPÍTULO II**

### **EL PROBLEMA**

#### **2.1 Planteamiento del problema**

La empresa Vopak Venezuela, S.A perteneciente al Grupo Royal Vopak ubicada en la avenida Salom, urbanización La Belisa. Establecida como terminal marítimo, dedicado principalmente a la recepción, manejo, almacenaje y despacho de productos líquidos y secos a granel tanto en camiones como en buques tanqueros. Vopak es el terminal marítimo privado más grande para uso público en el país con 47 años de servicio ininterrumpido. Considerándose el mayor operador logístico en manejo de productos a granel tanto líquidos como secos, pues cuenta con tanques para almacenaje con capacidad desde 170 hasta 5000 metros cúbicos seccionados en parques.

En el caso del área de químicos secos, tiene a su disposición un muelle propio de aproximadamente un kilómetro (1 Km) con capacidad para descargar dos buques simultáneamente; dependiendo de las operaciones, una grúa Kone que descarga los buques y mueve el material a través de un sistema de cinta transportadora que distribuye el producto a los diferentes almacenes (AQV4 / AQV5 / AQV6 / AQV7 / AQV8); y, que está unido directamente a un silo con capacidad de almacenamiento de 463 toneladas métricas (TM) desde donde se realizan los despachos directos a los clientes.

El sistema de cintas transportadoras donde son movidos los diferentes productos secos a granel cuenta para su descarga con tolvas en forma de pirámide invertida y además con 4 torres de transferencia las cuales se denominan TT1, TT2, TT3 y TT4. En la torre de transferencia TT1 se encuentran tres cintas de transferencias una de ellas es la banda TR1 la cual tiene 800 m de longitud y va desde las tolvas de descargas hasta la TT1, una vez allí el producto cae a una cinta horizontal de 6 m que se llama TR1-A una vez allí pasa a la banda TR2 que tiene 153 m de longitud, la misma llega a la torre de transferencia TT2, es allí donde se

encuentra el silo para descarga directa y a su vez la cinta TR3, el cambio se direcciona dentro de la torre de transferencia TT2. Si el producto transportado sigue por la cinta TR3 el mismo llega hasta la caseta TT3 donde se hace la transferencia a la cinta TR4, de la cinta TR4 pasa a la caseta de transferencia TT4 donde se distribuye hacia la cinta TR5A o TR5B respectivamente.

Dada la antigüedad del sistema de manejo de materiales de productos químicos secos y a modificaciones que se hicieron en su momento, la organización en los últimos años se ha visto afectada por la gran cantidad de producto no conforme que se genera durante la transferencia de material en la torre de transferencia TT1 entre las cintas TR1, TR1-A y TR2; presentándose el inconveniente en la cinta horizontal intermedia de 6 m de longitud llamada TR1-A.

Es de vital importancia que el producto sea manejado de forma segura para ofrecerle al cliente un servicio óptimo, sin contratiempos y de calidad. Actualmente en la Empresa Vopak Venezuela el servicio de secos a granel se ha visto afectado, ya que su sistema transportador por el tiempo, la abrasividad de los diferentes materiales y la corrosión por el ambiente en el que se encuentra, han provocado deficiencias al momento de descargar y transportar el producto hacia los diferentes galpones.

En consecuencia, Vopak pierde alrededor del 5 % en sus facturaciones, por fallas en el sistema, paradas no programadas, entre otras, siendo esta una cantidad de dinero no percibida que se traduce en pérdida de utilidad y de posibilidad de inversiones, por ejemplo: mejoras en las instalaciones, equipos para el manejo de materiales, mejoras laborales en los trabajadores, etc.

En la actualidad la empresa ya no cuenta con grúa propia debido a que a la misma se le averió el motor principal y fue necesario reducir la altura de las tolvas que están en el extremo norte del muelle de descarga para utilizar la grúa que trae el buque y así poder realizar la descarga desde las bodegas del barco hasta las tolvas; una vez que el producto está en las tolvas se vierte en la primera cinta transportadora (TR1), esta hace un recorrido de 821,17 m con una altura de 13,217m, en este punto se eleva con una pendiente de aproximadamente 3° hasta la torre de transferencia TT-

1 a los 887m su longitud final. A partir de la TT-1 inicia su recorrido la banda TR-2 con una pendiente ascendente de 13° en sus primeros 50 m, luego vuelve a disminuir su pendiente a 6° para un recorrido de 25 m, luego a 3° para un recorrido de 23 m y, finalmente, la pendiente se hace horizontal hasta completar los 158 m de recorrido del transportador TR-2, manteniéndose a una elevación final de 28,90 m de altura donde se encuentra la torre de transferencia TT-2.

Dentro de la torre de transferencia TT-1, entre TR-1 arriba y TR-2 abajo, se encuentra el transportador TR-1A en posición horizontal. Este pequeño transportador de 4,50 m, tiene como fin transferir el producto proveniente de TR-1 hacia TR-2. Es justo en este tramo del sistema el que presenta el problema ya que la velocidad de esta banda intermedia supera en velocidad a las otras 2 antes mencionadas ocasionando un derrame de material a 13 m de altura y en los costados de la cinta, esto trae como consecuencia mano de obra adicional ya que el producto derramado debe ser recogido, entre otras cosas.

Inicialmente esta banda fue construida con la finalidad de descargar directamente desde TT-1, es decir una vez el producto sobre la TR-1 no sería necesaria la transferencia a TR-2 ya que al caer sobre TR-1A esta iba a girar en sentido contrario a la TR-1 para descargar el producto directamente a la volqueta situada debajo de TT-1, con esa finalidad se construyó la cinta TR-1A. Este proyecto no fue factible y es la principal causa probable de paradas en el sistema transportador lo que ocasiona molestias a los clientes por la pérdida de tiempo al momento de iniciar la descarga.

## **2.2 Formulación del problema**

¿Cómo se puede disminuir la pérdida de producto durante la transferencia de material de la cinta TR1 a TR2 en la empresa Vopak Venezuela?

## **2.3 Objetivos de la Investigación**

### **2.3.1 Objetivo General**

Diseñar un mecanismo de transición que disminuya la pérdida de material desde la cinta transportadora TR1 a la cinta transportadora TR2 en la empresa Vopak Venezuela, Estado Carabobo

### **2.3.2 Objetivos específicos**

Evaluar el funcionamiento actual de las cintas transportadoras TR-1, TR-1A y TR2 en la empresa Vopak Venezuela.

Establecer las debilidades y fortalezas del mecanismo actual

Analizar las diferentes alternativas de solución al problema planteado

Presentar la propuesta en cuanto al diseño de la maquina más ajustada a los requerimientos de la empresa Vopak Venezuela

Efectuar el diseño de la propuesta seleccionada en la empresa Vopak Venezuela S.A.

Realizar un estudio de la factibilidad económica

### **2.4 Justificación de la Investigación**

La implementación de un mecanismo que reduzca el derrame del material transportado dentro de la caseta TT1 específicamente en las cintas TR1 y TR2, se hace indispensable, ya que en las condiciones actuales se derrama material a granel ocasionando una condición directa de riesgo para los operadores además se pierden horas hombre para remover el producto derramado. Se debe destacar que la mayoría de los químicos secos que maneja la empresa Vopak Venezuela son productos controlados esto implica que la merma y los derrames deben ser notificados a las autoridades pertinentes; dicho derrame ocasiona a su vez una mala imagen para la empresa ya que el material se apila abajo y a los lados de la cinta y termina cayendo a tierra ya que la TT1 se encuentra a 13,217 m de altura.

Así mismo la empresa no puede cumplir con las actividades de planificación de almacenamiento del material, ya que se tiene que detener el proceso para hacer el trabajo de limpieza en la torre de transferencia TT-1.

Por otra parte, se pierde la cantidad que debe llegar al silo y a los galpones debido a la pérdida de material en TR-1A. Por último, la realización de esta

investigación contribuye al avance de la ingeniería mecánica en la especialización de máquinas de elevación y transporte, además es el cumplimiento del último requisito para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

## **2.5 Limitaciones**

Este proyecto está estipulado para un tiempo de ocho meses, sin embargo, en el transcurso del desarrollo de la investigación pueden surgir nuevas variables provenientes de ideas consolidadas y derivadas de la propuesta de solución que se genere a partir del mismo; por consiguiente, este proyecto puede extenderse. Otra de las limitaciones es la parte económica, ya que la empresa ha tratado de solucionar el problema, pero no se llega a una mejoría. Actualmente con la inflación desmedida que vive el país, cualquier alternativa implica gastos aún mayores. Otra limitante es la escasez de materiales con que se cuenta en el país.

## **2.6 Alcance**

Dentro del marco teórico del desarrollo del proyecto es de gran importancia establecer limitaciones que garanticen el cumplimiento de los objetivos del mismo, así como también definir el enfoque de los esfuerzos realizados en miras de alcanzar las metas propuestas a lo largo de este trabajo de grado; en este orden de ideas es necesario acotar que el presente abarcará el tramo más crítico del sistema transportador, siendo este la cinta intermedia entre TR-1 y TR-2 de la empresa Vopak Venezuela.

El proyecto a diseñar consiste en estudiar las fases que conforman la línea en cuestión, evaluando los factores que puedan surgir a medida que avanza dicha investigación por lo que se pudiesen ver afectadas las posibles soluciones.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

La finalidad del marco teórico, es servir de orientación al investigador, tanto en la comprensión del tema, como adaptar criterios hacia una eficaz y eficiente estrategia metodológica para el desarrollo de una determinada investigación. Así lo expresa Hernández, C. Fernández, B. y Baptista, P. (2014), es "un compendio escrito de artículos, libros y otros documentos que describen el estado pasado y actual del conocimiento sobre el problema de estudio. Nos ayuda a documentar cómo nuestra investigación agrega valor a la literatura existente". A continuación, se expondrán los siguientes antecedentes relacionados con el tema en estudio:

#### **3.1 Antecedentes**

Lugo R. Jesús (2017), presentó un trabajo de investigación en la Universidad José Antonio Páez titulado "**Semiautomatizado de la Línea de Producción Número Tres para el Empacado en Cajas de Cartón para Envases de Galón de Producto Terminado de la Empresa Alimentos Berrios ALBECA, C.A.**", para optar al título de Ing. Mecánico. El proyecto se basa en el semiautomatizado de la línea de producción número tres para el empackado en cajas de cartón para envases de galón de producto terminado de la empresa Alimentos Berrios ALBECA, C.A, con la finalidad de mejorar el proceso existente, ya que el mismo es completamente manual, afectando los índices de producción y mermando en la salud laboral de los trabajadores involucrados. Metodológicamente es un proyecto factible donde se desarrolló una propuesta para solucionar un problema en la empresa. El proyecto tuvo la finalidad de diseñar un sistema de transportación de cadenas que es mucho más eficiente y garantiza una mayor estabilidad en el proceso de transportación de los envases de galón. Se diseñó el sistema de transportación más apropiado en las dimensiones del espacio físico disponible actual, el mecanismo de empackado de los envases de galón y su vez, el sistema de cerrado de los empaques de cartón. Este sistema también garantiza disminuir los tiempos de paradas en la producción por

parte de este equipo. Además, se seleccionaron los equipos más idóneos para lograr el semiautomatizado deseado, este trabajo aporta toda la metodología necesaria para rediseñar un sistema de transporte eficiente ya que se sustituye un mecanismo deficiente por una mejora evidente en el proceso involucrado.

Por otro lado, Pérez, H. y García, L. (2016) presentaron un proyecto de grado titulado **Evaluación Preliminar del Impacto Ambiental de la Pavimentación Vía Planadas- Gaitania Tolima**, trabajo de grado realizado para optar al título de Ingeniero Civil En la Universidad Militar de Nueva Granada Colombia. El objetivo general de la investigación fue Evaluar los impactos ambientales negativos y positivos en la pavimentación de la vía Planadas-Gaitania por medio de listas de chequeo, este enfoque ayuda tomar en cuenta el impacto ambiental que genera aplicar nuevos proyectos y que son necesarios para mantener la sustentabilidad de la zona en donde se quiere trabajar, con esta idea al mejorar el sistema de transporte en royal Vopak Venezuela se garantiza que el producto que se está transportando no contamine el ambiente marino al cual está expuesta la empresa.

Por último, Bracho, Jesús (2012), realizó un trabajo de grado en la Universidad José Antonio Páez, para optar al título de Ing. Mecánico, titulado **“Rediseño del Sistema de Transportación del Paletizador de la Línea de Salsas Negras “Merge” de la Empresa Alimentos Heinz C”**, basado en el rediseño del sistema de transportación de la salida del paletizador de la línea de salsa negras de la empresa Alimentos Heinz C.A, ubicada en el municipio de San Joaquín, estado Carabobo. El sistema presentaba una problemática de mucha relevancia, debido a que al momento en que las paletas son transportadas hacia la zona de almacenaje presentaban una inestabilidad y comienzan a balancearse en el proceso, lo que genera en muchas ocasiones que se caigan las cajas de productos al suelo ocasionando pérdidas de productos y pérdida de tiempo en la producción, además que este sistema ya es obsoleto y presenta muchos inconvenientes para su mantenimiento. El presente proyecto tiene como finalidad diseñar un sistema de transportación de cadenas que es mucho más eficiente y garantiza una mayor estabilidad en el proceso de

transportación de las paletas, superando también los medios de mantenimiento con respecto al sistema actual, ya que este sistema es mucho más fácil de lubricar y de realizar su mantenimiento. Este sistema también garantiza disminuir los tiempos de paradas en la producción por parte de este equipo. Este proyecto solo abarca el diseño del sistema mecánico del transportador, el aporte que esta investigación genera a este proyecto es que al igual que en el caso anteriormente nombrado en royal Vopak se busca minimizar las pérdidas de material que causa un mal sistema de transporte, al optimizar éste se logra garantizar la calidad del producto transportado y la mejora en los tiempos de despacho.

### **3.2 Bases Teóricas.**

De acuerdo a Arias, F. (2014) las define como:

Comprenden un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado. Esta sección puede dividirse en función de los tópicos que integran la temática tratada o de las variables que serán analizadas. (p. 14).

Este tópico es el basamento teórico sobre el cual se sustenta la investigación en curso, todas las teorías e investigaciones son consultadas de trabajos de diversos autores ya sean trabajos de grado, tesis de doctorado, publicaciones en revistas científicas, etc.

#### **3.2.1 Cinta transportadora**

Hoy en día se ha creado un especial interés por el transporte mecánico de materiales y productos debido a que la mano de obra cada vez es más cara y en cierto grado peligrosa dependiendo del proceso, utilizando los medios mecánicos para el transporte de los materiales y productos, la seguridad en el hombre es mayor, con menos riesgos de accidentes, efectuando una labor más ardua a la vez que es más rápido y eficiente.

Para los procesos industriales que incluyen líneas de ensamble o de traslado de materiales o productos es indispensable el uso de un sistema de transporte mecánico, en la mayor parte de ellos se recurre a las cintas o bandas transportadoras y esto se debe a varias ventajas que presentan, entre ellas las grandes distancias a las que se efectúa el transporte, facilidad de adaptación al terreno o arquitectura del proceso dentro de la planta, su gran capacidad de transporte, la disponibilidad de transportar diversos materiales y productos, no alteran al producto transportado. Las bandas transportadoras pueden presentar diferentes diseños, construcciones y funcionamientos que dependen del tipo del proceso, del producto y las disponibilidades de la industria.

### **3.2.2 Clasificación de las cintas transportadora**

Pueden llevarse a cabo las siguientes clasificaciones de las bandas:

#### **Según el tipo de tejido:**

- De algodón.
- De tejidos sintéticos.
- De cables de acero.

#### **Según la disposición del tejido:**

- De varias telas o capas.
- De tejido sólido.

#### **Según el aspecto de la superficie portante de la carga:**

- Lisas (aspecto más corriente).
- Rugosas.
- Con nervios
- tacos o bordes laterales vulcanizados

#### **3.2.2.1. Materiales a transportar, tamaños y temperaturas.**

Los primeros materiales que se transportan por cinta y de los que se tiene noticia histórica, fueron los cereales y las harinas y salvados derivados de los mismos. Con posterioridad, el otro producto más transportado fue el carbón.

Las capacidades a transportar y las distancias eran pequeñas desde el punto de vista actual. Las cintas transportadoras Transportan materiales diversos, por ejemplo:

**Materiales empleados en la construcción.**

Arcilla (fina, seca), arena (seca, húmeda), asfalto (para pavimentos), caliza (molida, triturada, agrícola, hidratada), cemento, cenizas, granito, hormigón, grava, tierras, etc.

**Combustibles.**

Antracita, coke (de petróleo calcinado y metalúrgico salido del horno), carbón, hulla, lignito, etc.

**Fertilizantes.**

Fosfato (granulado, pulverizado), guanos, nitratos, sulfatos, sales, urea, etc.

**Minerales.**

Aluminio, alumbre, azufre, cobre, hierro, grafito, magnesio, plomo, yeso, etc.

**Alimentos y Productos de Origen Vegetal.**

Azúcar, aceitunas, algodón, café, cacao, guisantes, harinas, papas, maíz, nueces, remolachas, etc.

**3.2.2.2. Empleos de las Cintas Transportadoras.**

El empleo de las Cintas Transportadoras es muy diverso entre las cuales podemos destacar los siguientes:

Las industrias extractivas (minas subterráneas y a cielo abierto, canteras).

Las Industrias Siderúrgicas (parques de carbón y minerales).

Instalaciones portuarias de almacenamiento, carga y descarga de barcos.

Centrales Térmicas (parques de almacenamiento y transporte a quemadores de carbón, así como la evacuación de las cenizas producidas)

Agroindustrias azucareras (Transporte de bagazo, cachaza).

Industria Automotriz.

Industria Químico - Farmacéutica.

### 3.2.2.3. Capacidades a transportar y longitudes.

Teniendo en cuenta el progreso realizado en la fabricación de bandas, tanto en anchuras (hasta 2m.), como en calidades, es corriente en la actualidad el transporte de hasta 10000 T/Hora, existiendo cintas que trasportan hasta 50000 T/Hora; en lo que respecta a la longitud, existen cintas de hasta 30 Km. (ver figuras 4 y 5)



**Figura 4:** Cintas transportadoras de más de 10000 T/hora  
**Fuente:** Ynfante 2020



**Figura 5:** Cintas de más de 3m de ancho  
**Fuente:** Ynfante 2020

#### **3.2.2.4. Ventajas ambientales y de seguridad.**

Efectuando la cubrición de las cintas, es posible evitar la dispersión del polvo producido durante el transporte, contribuyendo a mantener una atmósfera limpia. En la actualidad es posible reducir por completo la emisión de polvo al exterior mediante la instalación de cintas tubulares, esto es importante si la cinta está próxima a núcleos urbanos.



**Figura 6:** Cintas transportadoras tubulares

Fuente: Vopak 2020

#### **3.2.2.5. Facilidad de carga y descarga.**

Aunque en general las cintas transportadoras se cargan en un extremo de las mismas, es posible efectuar la carga en un punto cualquiera de las mismas, mediante dispositivos diversos (Tolvas, descarga directa desde otra cinta, etc.).

La descarga de las cintas transportadoras se efectúa generalmente en cabeza, pero es posible hacerla también en cualquier punto fijo de las mismas, o de una forma continua, empleando disposiciones constructivas adecuadas, (Carros descargadores, llamados comúnmente T

#### **3.2.3. Factores de diseño**

A veces la resistencia de un elemento en un sistema, es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones de dicho

elemento. En tal caso, se dice que la resistencia es un factor importante de diseño. Cuando se utiliza la expresión: consideración de diseño; se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento, quizá, en todo el sistema. Generalmente se tienen que tomar en cuenta varios de estos factores en un caso de diseño determinado. (Budynas R. y Nisbett J. 2.008).

Algunos de los más importantes son los siguientes: Resistencia, confiabilidad, propiedades térmicas, corrosión, desgaste, fricción (o rozamiento), procesamiento, utilidad, costo, seguridad, peso, duración, ruido, estilización, forma, tamaño, flexibilidad, control, rigidez, acabado de superficies, lubricación, mantenimiento, volumen y responsabilidad legal.

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al procesamiento o proceso de fabricación, o bien a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema.

### **3.2.3.1. Factor de seguridad**

El coeficiente de seguridad también conocido como factor de seguridad  $N$ , es un número que se utiliza en ingeniería para los cálculos de diseño de elementos o componentes de maquinaria, estructuras o dispositivos en general, proporcionando un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias. (Budynas R. y Nisbett J. 2.008). Así, en los cálculos de resistencia mecánica, el factor de seguridad se aplica principalmente de dos maneras:

1. Multiplicando la dimensión del elemento resultante de los cálculos teóricos.
2. Dividiendo las propiedades favorables del material que determinan el diseño.

Es por ello que, en ambos casos, resulta en un dimensionamiento adicional del componente. Este sobredimensionamiento se justifica por variadas causas, como por ejemplo: previsiones de desgaste o corrosión, posibles errores o desviaciones en las propiedades previstas de los materiales que se manejan, diferencias entre las propiedades tabuladas y las obtenibles en la realidad, tolerancias de fabricación o

montaje, tolerancias por incertidumbre en las solicitaciones a que se someterá el elemento, la propia incertidumbre del método de cálculo, etc. Estos factores de seguridad por lo general provienen de la experiencia empírica o práctica, por lo cual están tabulados y contemplados en las normas o la literatura, o bien se aplican según la experiencia personal del diseñador.

En general para el mismo tipo de elemento dependerá del tipo de uso o servicio que se le piense dar. Por ejemplo, para una máquina de uso continuo se usará un factor de seguridad mayor que para una de uso esporádico. Finalmente se puede decir que en resistencia de materiales se aplica un coeficiente de seguridad superior o inferior dependiendo del uso del componente. Así, en el cálculo de dimensionamiento de sección de un cable para tender la ropa se utilizará un coeficiente de seguridad inferior al utilizado para ese mismo cable cuando se estudia su empleo para sustentar un ascensor. En la Tabla 1 se muestran los factores de seguridad dependiendo del tipo de elemento que se va a diseñar.

### **3.2.3.2 Esfuerzos**

Uno de los primeros problemas que enfrenta el ingeniero diseñador es tener la certeza de que la resistencia de la parte que se diseñe siempre sea mayor que el esfuerzo atribuido a cualquier carga que se le pueda aplicar. Por lo tanto se debe diseñar tomando en cuenta este elemento para lograr un dispositivo seguro y confiable.

### **3.2.3.3 Esfuerzos Uniformemente Distribuidos**

Con frecuencia, en diseño se plantea la hipótesis de que hay una distribución uniforme de esfuerzo. Según (Budynas R. y Nisbett J. 2.008), el resultado obtenido con esa suposición se le llama tensión pura, compresión pura o cortante puro, dependiendo de cómo se aplique la carga externa al cuerpo en estudio. A veces se emplea el calificativo simple en vez de puro, para expresar que no hay otros efectos que compliquen la situación. Una barra en tensión es un ejemplo típico.

**Tabla 1 Factores de seguridad**

Información	Calidad de la información	Factor
Datos del material disponibles de pruebas	El material realmente utilizado fue probado	F1 1.3
	Datos representativos del material disponibles a partir de pruebas	2
	Datos suficientemente representativos del material disponibles a partir de pruebas	3
	Datos poco representativos del material disponibles a partir de pruebas	5+
		F2
Condiciones del entorno en el cual se utilizará	Idénticas a las condiciones de prueba del material	1.3
	Esencialmente en un entorno de ambiente de habitación	2
	Entorno moderadamente agresivo	3
	Entorno extremadamente agresivo	5+
Modelos analíticos para carga y esfuerzos		F3
	Los modelos han sido probados contra experimentos	1.3
	Los modelos representan al sistema con precisión	2
	Los modelos representan al sistema aproximadamente	3
	Los modelos son una burda aproximación	5+

**Factores utilizados para determinar un factor de seguridad para materiales dúctiles**

Fuente: Norton R. (1.999).

En este caso, una carga de tensión  $F$  se aplica mediante los pasadores que atraviesan los extremos de la barra. La hipótesis de esfuerzo uniforme significa que si corta la barra en una sección transversal, alejada de ambos extremos, y se separa una de las mitades, es posible sustituir su efecto aplicando una fuerza uniformemente distribuida de magnitud  $F/A$  esta uniformemente distribuido y se calcula por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde  $F$  es la fuerza aplicada y  $A$  es el área de la sección transversal. Para justificar esta hipótesis de distribución uniforme del esfuerzo se requiere que:

1. La barra sea recta y de material homogéneo.

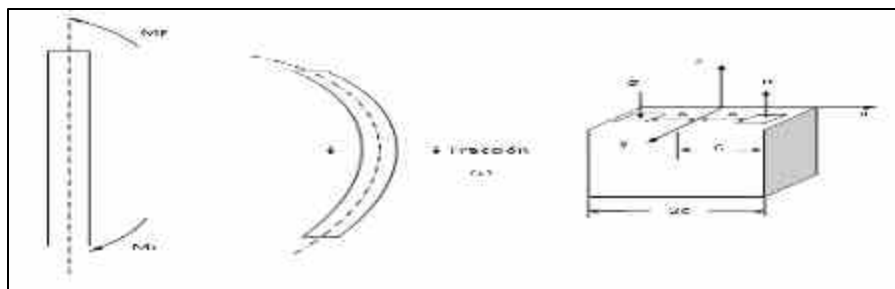
2. La línea de acción de la fuerza pase por el centroide de la sección.
3. La sección esté suficientemente alejada de los extremos y de cualquier discontinuidad o cambio en la sección transversal.

### 3.2.3.4 Esfuerzos Normales por Flexión

Para deducir las relaciones correspondientes a los esfuerzos normales por flexión se harán las siguientes idealizaciones:

1. La viga somete a flexión pura; esto significa que la fuerza cortante es cero y que no hay cargas axiales ni de torsión.
2. El material es isótropo y homogéneo.
3. La viga es inicialmente recta y su sección transversal es constante en toda su longitud.
4. La viga tiene un eje de simetría en el plano de la flexión.
5. Las dimensiones de la viga son tales que solo puede fallar por flexión y no por aplastamiento.
6. Las secciones transversales planas permanecen así durante la flexión.

En la Figura 7-a se observa un cuerpo en forma de paralelepípedo, sometido a flexión, por un momento flector “puro”; la pieza adquiere la forma de la Figura 7-b, permitiendo a sus distintas secciones transversales adyacentes, girar las unas respecto a las otras. La Figura 7-c, representa una vista ampliada de un corte en el medio de



**Figura 7:** (a) Paralelepípedo sometido a un momento flector  $M_F$  puro; (b) paralelepípedo afectado por el momento flector y (c) ampliación de un corte en el medio del paralelepípedo.

**Fuente:** Tassoni D. (2007).

la Figura 7-b (sección A-A); tomamos un diferencial de área para una distancia + x en el cual las fibras están sometidas a tracción y otro diferencial de área a una distancia - x, en donde las fibras de la pieza están sometidas a compresión; para cada

$$\text{Ec. (2)}$$

Existe un:

$$\text{Ec. (3)}$$

Para el que contribuyen los más alejados; el esfuerzo de tracción máximo ocurre en c y el mínimo, de compresión, ocurre en -c y se tiene que:

$$\text{Ec. (4)}$$

En cualquier otra posición, se tiene que:

$$\text{Ec. (5)}$$

Si integramos la expresión (3), tenemos que la reacción interna iguala al efecto externo:

$$M_i = \int_A dM_i = \int_A x dF = \int_A x \sigma dA = \int_A x \frac{\sigma_{\max}}{c} dA = M_r \quad \text{Ec. (6)}$$

Así:

$$M_r = \frac{\sigma_{\max}}{c} \int_A x dA \quad \text{Ec. (7)}$$

Como  $\int_A x dA = I_y$  es el momento de inercia de la sección transversal de la pieza,

alrededor del eje y, que pasa por su centro de gravedad, la expresión (27) es igual a:

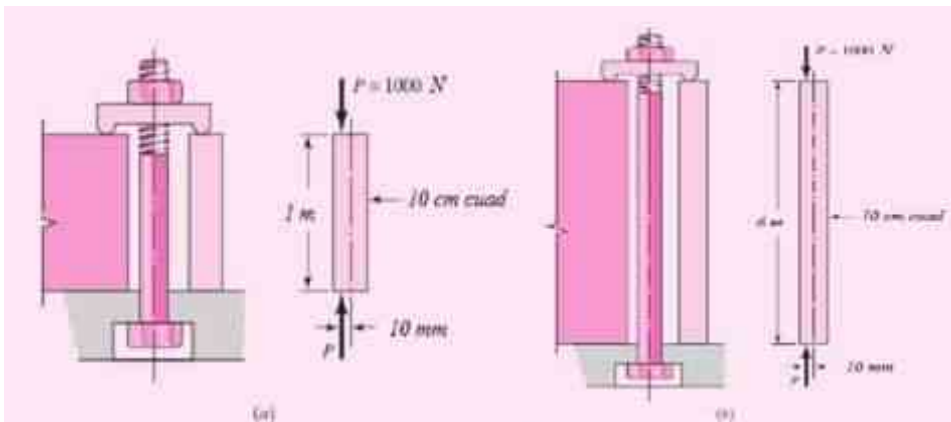
$$\text{Ec. (8)}$$

### 3.2.4 Análisis de piezas largas sometidas a compresión

Existen elementos de máquina, que no fallan cuando la tensión resultante aplicada se acerca a los valores de resistencia del material, sino mucho antes. El

mismo obedece a la existencia de un llamado equilibrio inestable. Un ejemplo típico son las columnas, muchos elementos de máquina se comportan como si fueran columnas, sin serlo. Algunos ejemplos que se pueden citar son: la biela de un motor de combustión interna, el soporte central del tren de aterrizaje de un avión, el vástago del émbolo de un cilindro neumático, etc. Considerando, por ejemplo, los dos elementos que se indican en la Figura 7 ¿Cuál es el más crítico? La respuesta a esta pregunta, resulta demasiado evidente: sin pensar siquiera en la sección, o en la dimensión de la sección transversal del elemento, todos concuerdan en afirmar que el más crítico es el más largo, en este caso el de la figura 7-b.

Para visualizar mejor esta situación, imagine una regla de plástico o la antena de un carro, a la cual se le aplica una carga  $P$  de compresión, se observa que la regla (o la antena) se arquea (dobla) como el paralelepípedo de la Figura 7, es decir, la pieza ha pandeado; el pandeo no es la curvatura sino la falla, sin quitar la carga  $P$ . Si se quita la carga  $P$ , la regla (o la antena) se endereza, un pequeño desplazamiento lateral, producto de la deformación mostrada, genera una reacción interna que se opone a  $P$ , debido a un “momento elástico interno”.



**Figura 8:** Elementos de Máquina de igual sección transversal, e idénticos sistemas de carga; difieren únicamente en cuanto a las correspondientes longitudes.

**Fuente:** Tassoni D. (2007).

Al desaparecer  $P$ , este momento es suficiente para que la pieza recobre su forma

recta, esto se denominó

La primera vez que se escuchó este

término fue en el año 1.744, en un tratado de Leonhard Euler (1.707-1.783), matemático, físico e ingeniero que paso largos años para tratar de explicar este problema, ya que la estabilidad elástica solo explica cuando la pieza se endereza, el verdadero problema es explicar cuando la pieza llegará a la

, es decir, cuando el momento elástico interno ya no es capaz de contrarrestar el efecto de **P**, y cuando esto ocurre la pieza falla (cede) abruptamente y se produce el colapso.

Euler, poco antes de morir, en 1.780, completó su largo trabajo, con la propuesta que lleva su nombre, analizando la forma de una columna sometida a carga axial, como la representada en la Figura 8 desarrolló la ecuación:

$$\text{Ec. (9)}$$

Esta expresión es conocida como la ”, para columnas con extremos libres de girar, en la cual se tienen las siguientes magnitudes:

E = Módulo de Elasticidad del material que conforma la pieza [Pa].

I = Inercia de la sección transversal de la pieza [m<sup>4</sup>].

h = longitud de la pieza [m].

El subíndice **cr** que se asocia a la carga **P**, indica el carácter crítico de la carga de compresión aplicada, la cual es la carga que lleva a la pieza a la inestabilidad elástica, en el instante de la falla. Otra utilización sencilla que permite realizar la ecuación de Euler, consiste en aplicar directamente la LONGITUD DE PANDEO, sustituyéndola en la expresión (9), a la longitud del elemento con extremos libres de girar.

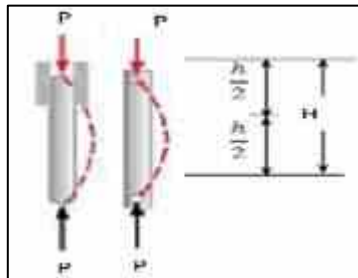
La longitud de pandeo depende de la fijación de los extremos de la columna. Un ejemplo de esta aplicación se presenta a continuación considerando la pieza de la Figura 8, que es la representación de una pieza larga, con un extremo libre y el otro empotrado.

Si observamos la forma que adopta la pieza sometida a compresión, se ve la similitud con la representada en la Figura 8, la pieza de la Figura 9 adopta la forma de

la mitad superior de la indicada en la Figura 24; prolongando idealmente la forma de la pieza con un extremo empotrado y el otro libre, como se indica en trazos negros en la Figura 10.

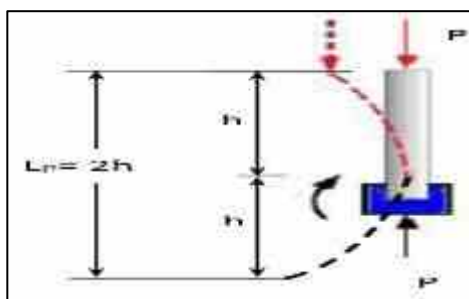
Se obtiene la misma de la pieza con ambos extremos libres; pero esto ocurre para un elemento "ficticio" cuya longitud total es, en este caso, el doble de la altura del original. Para este elemento se tiene entonces que su longitud de pandeo  $L_P$  es  $2h$ . Haciendo esta sustitución en la expresión (30) se obtiene:

$$\text{---} \quad \text{Ec. (10)}$$



**Figura 9:** Representación de elementos de máquina largos, sometidos a la carga axial de compresión  $P$ ; (a) elemento con ambos extremos empotrados; (b) elemento con un extremo empotrado y el otro guiado.

**Fuente:** Tassoni D. (2007).



**Figura 10:** Representación de elementos de máquina largos, sometidos a la carga axial de compresión  $P$ ; (a) elemento con ambos extremos empotrados; (b) elemento con un extremo empotrado y el otro guiado.

**Fuente:** Tassoni D. (2007).

Que para la pieza de la figura 10 es entonces:

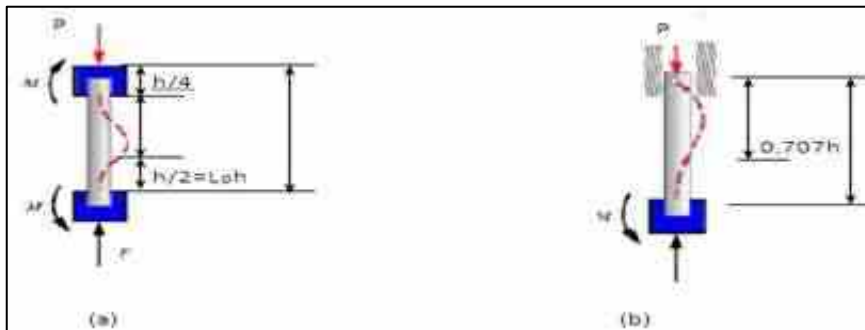
$$\text{Ec. (10-a)}$$

Si se analiza la geometría que adoptan distintas piezas largas, sometidas a compresión, en función de la manera de fijación de sus extremos, se puede tratar de generalizar esta posibilidad que brinda la ecuación de Euler. Observando, para ello, la Figura 11; en 11-a se tiene una pieza con ambos extremos empotrados: geoméricamente se obtiene que su longitud de pandeo  $L_P$  es igual a  $h/2$ ; para esta pieza la expresión (10) resulta:

$$\text{Ec. (10-b)}$$

La pieza representada en la figura 11-b, posee un extremo empotrado y el otro libre de desplazarse verticalmente; nuevamente en forma geométrica se obtiene una longitud de pandeo  $L_P$  igual a  $0,707 h$ ; la expresión (10) es:

$$\text{(10-c)}$$



**Figura 11:** Representación de elementos de máquina largos, sometidos a la carga axial de compresión  $P$ ; (a) elemento con ambos extremos empotrados; (b) elemento con un extremo empotrado y el otro guiado.

**Fuente:** Tassoni D. (2.007).

Considerando las expresiones (9), (10), (10-a), (10-b) y (10-c) y los casos para los cuales son válidas, se puede escribir la ecuación de Euler como:

$$\text{---} \quad \text{Ec. (11)}$$

En la ecuación (11),  $\lambda$ , y para los casos presentados se tienen los siguientes valores:

Con extremos libres de girar (caso de la Figura 11, Ecuación 9).

Con un extremo empotrado y el otro libre (caso de la Figura 11, Ecuación 10).

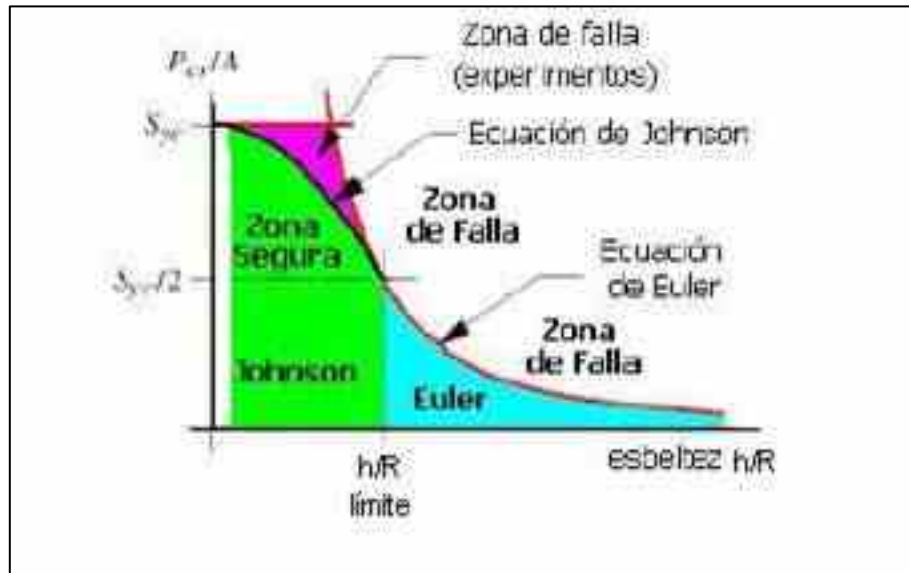
Con un extremo empotrado y el otro libre de desplazarse verticalmente (guiado). (Caso de la Figura. 12-b, Ecuación 10c).

Con extremos empotrados (caso de la Figura 12-a Ecuación 10-b).

Como se debe diseñar elementos de máquina, se considera la falla, es decir, se añade un factor de seguridad  $S_{Ycomp}$ , siendo  $P_{cr}$  la carga que debe soportar la pieza.

Como se observa en la Figura 12, en los alrededores del punto de intersección entre el valor de  $S_y$  y la fórmula de Euler, existe cierta incertidumbre. La misma es eliminada por la parábola de Johnson, la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{P_{cr}}{A} = S_{Ycomp} \left[ \frac{S_{Ycomp}}{nE} - \frac{h}{R} \right] \quad \text{Ec. (12)}$$



**Figura 12:** Representación gráfica de los criterios de Euler y de Johnson para elementos de máquina largos sometidos a cargas de compresión.

Fuente: Tassoni D. (2007).

La ecuación (12), es una expresión parabólica tangente al punto  $\frac{P_{cr}}{A}$   $S_{y\ comp}$  y a la

parábola de Euler en  $\frac{P_{cr}}{A}$   $\frac{S_{y\ comp}}{S_y}$ . Entonces se obtiene:

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{E}{h/R} S_{y\ comp} \left[ \frac{S_{y\ comp}}{S_y} - \frac{h}{nE R} \right]$$

Y realizando los cambios de variables:

$$b \ S_{y\ comp} \ a \ \frac{S_{y\ comp}}{nE} \ x \ \frac{h}{R} \ y \ n \ E \ c$$

Sustituyendo se obtiene:

$$b \ ax \ \frac{c}{x}$$

Es decir, la expresión:

$$\mathbf{ax^2 - bx + c = 0}$$

Ecuación de 2º grado, cuya solución, en la forma  $\mathbf{ax^2 + bx + c = 0}$ , es, si se recuerda:

$$\mathbf{x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-S_{ycomp} \pm \sqrt{S_{ycomp}^2 - \frac{S_{ycomp} nE}{nE}}}{\frac{S_{ycomp}}{nE}} = \frac{nE}{S_{ycomp}}}$$

Finalmente:

$$\mathbf{x = \frac{nE}{S_{ycomp}}}$$

Siendo  $\mathbf{x = \frac{h}{R}}$  se obtiene:

$$\mathbf{\frac{h}{R} \Big|_{\text{Limite}} = \sqrt{x} = \sqrt{\frac{nE}{S_{ycomp}}}} \quad \text{Ec. (13)}$$

Este es el valor del coeficiente de esbeltez para el cual, las parábolas de EULER y de JOHNSON, son tangentes en el punto  $\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{A}} = \frac{\mathbf{S_{ycomp}}}{\mathbf{A}}$ , es decir, ambos criterios son válidos.

La parábola de Johnson es válida hasta los valores de esbeltez que igualan la expresión (33). Para valores mayores a éste, debe utilizarse la fórmula de Euler. Para valores inferiores a una esbeltez de **20**, se utilizará el criterio de falla por fluencia pues se trata de elementos de máquina cortos, sometidos a compresión.

### 3.2.5 Esfuerzos Combinados

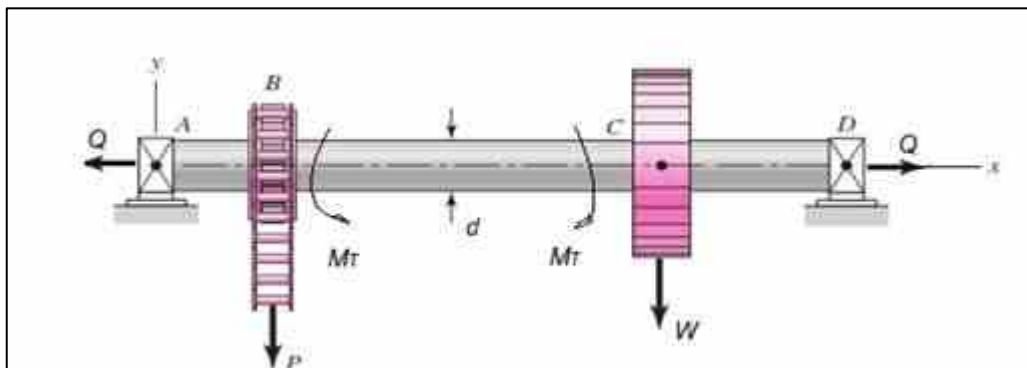
Es muy común en piezas de maquinarias, tener combinaciones de carga que creen esfuerzos normales y cortantes en una misma pieza. Pudiera haber lugares dentro de la pieza donde estos esfuerzos aplicados han de combinarse para poder determinar cuáles son los esfuerzos principales y el esfuerzo cortante máximo. Para

esto, se introducen las teorías de falla las cuales son explicaciones, o ensayos de explicaciones, que tratan de señalar cuando y como falla un elemento de máquina.

La primera de estas teorías, es la teoría de la tensión normal máxima. Señala que se presenta la falla del material y de la pieza, cuando una de las tensiones principales es igual, o superior, al valor de la resistencia de fluencia del material del cual está fabricada la pieza. La importancia real de esta teoría, radica en el poder hacer comparaciones con las verdaderas condiciones de falla.

Si se considera un elemento de máquina sometido a un sistema de carga que induce en él un estado “complejo” pero, “bidimensional” de tensiones. Por ejemplo, un eje o árbol como el de la Figura 13. En él se tienen, tensiones de corte, producto de la acción directa de las cargas  $P$  y  $W$  y del momento torsor  $M_T$ ; tensiones de tracción  $trac$  por acción de la carga axial  $Q$ ; y de tracción  $trac$  y compresión  $comp$  por el efecto de las cargas transversales y de las reacciones en los apoyos.

En alguna parte de esta pieza se encuentra el punto crítico, en ese punto de la pieza, cada elemento infinitesimal experimenta esfuerzos distintos, al mismo tiempo. Por lo cual se deben considerar los esfuerzos como actuando sobre elementos infinitesimalmente pequeños dentro de la pieza. Estos elementos suelen modelarse, cada uno, como un cubo. Las componentes de los esfuerzos actúan en las caras de estos cubos de dos maneras distintas.



**Figura 13:** Eje o árbol sometido a la acción de tensiones de corte, de compresión y de tracción simultáneamente.

**Fuente:** Tassoni D. (2.007).

Los esfuerzos normales (Fuerza/Área) actúan perpendicularmente a la cara del cubo (Normal) y tienen tendencia a tirar de él (Esfuerzo de Tracción Normal) o a empujarlo (Esfuerzo de Compresión Normal). Los esfuerzos cortantes, actúan paralelos a las caras del cubo, en pares sobre caras opuestas, lo que hace que el cubo distorsione a forma romboidal.

Las componentes normales y cortantes del esfuerzo conforman lo que se conoce como tensor; y un volumen elemental en ese punto, resultaría como el indicado en la (Figura 14-a); en él, siempre se podrá utilizar un análisis de cuerpo libre en el cual, para un ángulo cualquiera con los ejes indicados, se obtenga la representación de las tensiones directas máximas (Figura 14-b). Esto significa que se puede ir variando el ángulo de corte  $\theta$ , hasta conseguir el valor de las tensiones principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  máximos. A todas luces un procedimiento como el indicado, resultaría sumamente engorroso y extremadamente largo.

Afortunadamente, el círculo de MOHR saca de apuros (Otto Mohr, en el año 1.880 en sus clases de la Universidad de Berlín explicó por primera vez este método gráfico). En efecto, este método gráfico, denominado círculo de Mohr, se constituye en una herramienta valiosa a la hora de tener que enfrentar a un análisis como el que aquí se ha planteado.

Si se toma el caso del elemento considerado en la figura 15, y suponiendo que en el mismo se tiene que  $\sigma_x > \sigma_y$ ; se puede construir el diagrama del círculo de Mohr para este caso; sobre el eje  $\sigma$  se reporta el valor de  $\sigma_x$ . Sobre el mismo eje se señala la magnitud de  $\tau_{xy}$  correspondiente; sobre el eje  $\tau$  se indican las tensiones de corte,  $\tau_{xy} = -\tau_{yx}$  (por equilibrio).

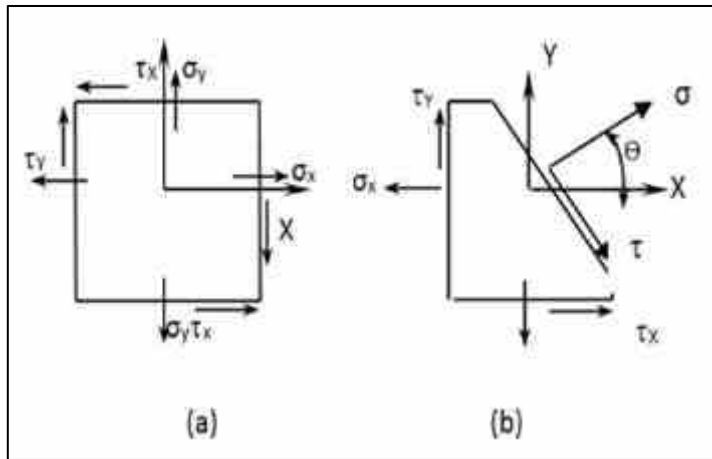
Se unen los puntos obtenidos en las intersecciones de  $\sigma_x$  con  $\sigma_x, \tau_{xy}$ , de  $\tau_{xy}$  con  $\tau_{xy}$ , es decir, se unen los puntos  $(\sigma_x, \tau_{xy})$  y  $(\tau_{xy}, \tau_{xy})$  y se obtiene el diámetro del círculo, el cual corta al eje  $\sigma$  en el punto **c** de la figura 15. Siguiendo la nomenclatura de la Figura 15, se pueden indicar los valores numéricos de las magnitudes utilizadas en dicha figura:

$$A = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$$

El Radio del círculo es igual a:

$$R = \sqrt{A^2 + \tau_{xy}^2}$$

Pero el radio del círculo, del estado bidimensional de tensiones considerado, no es más que la máxima tensión de corte producida, por lo tanto:



**Figura 14:** (a) Volumén Elemental de una pieza cualquiera, sometida a un estado bidimensional de tensiones, (b) análisis de cuerpo libre del mismo Volumén Elemental.

**Fuente:** Tassoni D. (2.007).

$$\max \tau = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (14)}$$

Designando, ahora, al segmento  $\overline{OC}$  de la Figura 15 por la letra **B** se puede escribir:

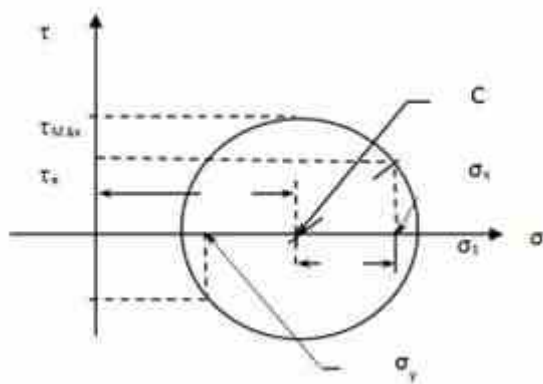
$$B = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$$

De esta última expresión y considerando la geometría de la Figura 14, resulta

y

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (16)}$$



**Figura 15: Diagrama del círculo de Mohr.**

Fuente: Tassoni D. (2007).

Gracias a las expresiones (14), (15) y (16) se pueden obtener valores de las tensiones principales  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ , en el estado bidimensional de tensiones, a partir de las tensiones directas  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  y  $\tau_{xy}$ .

Pero atención con  $\sigma_{\max}$  porque para el estado bidimensional de tensiones (o plano) analizado anteriormente lo que realmente está ocurriendo es lo siguiente:

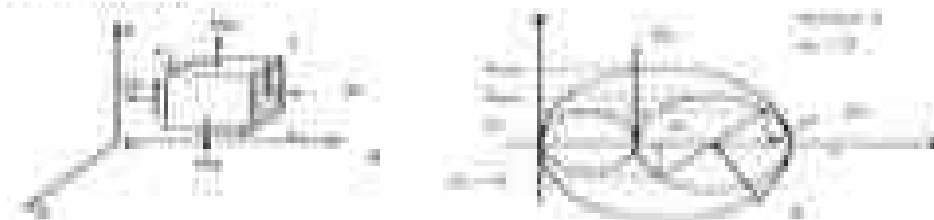
El volumen de control es (con  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z=0$  y  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ) tal y como se observa en la figura 16.

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{2} \left( \sigma_1 + \sigma_3 \right) + \frac{1}{2} \sqrt{\left( \sigma_1 - \sigma_3 \right)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (17)}$$

En un elemento de máquina cualquiera, en el cual se presente un estado genérico tridimensional de tensiones, con  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$ . El círculo de Mohr resultante

es como el representado en la Figura 16, en la cual se indican las tensiones principales que actúan sobre dicho elemento.

Como puede observarse por los valores particulares asignados a las tensiones principales indicadas, la máxima tensión de corte se obtiene relacionando  $\sigma_1$  con  $\sigma_3$ . Cada una de las tensiones principales debe obtenerse a partir de un diagrama en el cual se consideren, dos a dos, las tensiones directas actuantes, de cada uno de ellos, el valor de las tensiones principales, para luego ser analizadas en conjunto tal y como se indica en la Figura 16.



**Figura 16:** Construcción del Círculo de Mohr “resultante”, para un elemento de máquina sometido a un estado tridimensional de tensiones.

**Fuente:** Tassoni D. (2007).

### 3.2.6 Teoría de falla

Ahora que se sabe, como poner en evidencia la existencia de las tensiones máximas, tensiones principales, se deben relacionar con las posibilidades de falla (la pieza no cumpliría con la finalidad requerida para su funcionamiento) del elemento de máquina estudiado, con el objetivo de evitar que la falla se presente.

Para ello se han formulado teorías, distintas a la expuesta al principio (conocida como de tensión normal máxima, la cual se utiliza comparando directamente  $\sigma$  y  $\sigma_{corte}$ , propuesta por W.J.M. Rankine en 1.845), que se acercan definitivamente más a la predicción acertada de las condiciones de falla de un elemento de máquina, que esa primera teoría, quedando está “

. Veamos, a continuación, algunas de las más importantes y más utilizadas en el diseño de piezas.

Se considera que está es la teoría de falla más antigua. Originalmente fue propuesta por el francés C. A. Coulomb (1.736-1.806). Tresca, en 1.864 escribió acerca de la teoría del esfuerzo cortante máximo, y J.J.Guest en Inglaterra realizó ensayos en el año 1.900, que condujeron a la aceptación de la teoría. Así como se puede obtener, para un estado más complejo de tensiones, tal como es el tridimensional, los siguientes valores:

$$\tau_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}, \quad \tau_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \quad \tau_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \text{Ec. (18)}$$

La falla iniciará cuando la tensión mayor de corte entre los tres valores de  $\tau_i$  (sea ésta  $\tau_{iMAX}$ ) representados en las expresiones indicadas en (18), se iguala a la mitad del valor de la resistencia a la fluencia del material de fabricación de la pieza, obtenido en un ensayo de tracción simple. Esto es:

$$\tau_{iMAX} = \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. (19)}$$

La teoría de la tensión de corte máxima, indica igualmente que el límite de fluencia a corte  $S_{ycorte}$  de un material es, a lo sumo, igual a la mitad de su límite de fluencia a tracción  $S_y$ , esto es:

$$S_{ycorte} = \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. (20)}$$

Esta teoría ofrece buenos resultados en el diseño de elementos de máquina, para cuya fabricación se utilizarán materiales dúctiles (latones, bronces, aluminio y aceros laminados y recocidos).

También denominada, teoría de la energía de corte o teoría de la energía de distorsión. En 1.904, en Polonia, M. T. Hueber escribió por primera vez sobre la energía de la máxima distorsión; pero, fueron R. von Mises (Alemania y USA) en 1.913 y H. Hencky (Alemania y USA) en 1.925 quienes más contribuyeron a ella. Recientemente, S. Timoshenko, en su libro "Strength of Materials", McGraw-Hill, Nueva York, 1.953, ha atribuido esta teoría a J. C. Maxwell de Inglaterra, que la

plantea en 1.856. Esta teoría sostiene que cualquier pieza esforzada en forma elástica sufre un (ligero) cambio en forma, volumen o en ambos, pero no en tamaño.

La energía necesaria para producir este cambio se almacena en forma de energía elástica. Por lo tanto, un determinado material tiene una capacidad limitada y definida de energía de distorsión o de corte, y por lo tanto cualquier intento por someter al material a cantidades mayores de energía de distorsión, provocaría la falla del elemento. La forma más corrientemente utilizada para expresar la teoría de la energía de distorsión, es:

$$\left( \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1 \right) \frac{2}{y} \quad \text{Ec. (21)}$$

Interpretando lo indicado en (39), esta teoría establece que el inicio de la condición de falla es, únicamente, función de las diferencias de Tensiones Principales, independientemente de sus valores absolutos particulares.

Para un estado bidimensional de tensiones, condición para la cual  $\sigma_3 = 0$ , la expresión (19) se convierte en:

$$\text{Ec. (22)}$$

O simplemente

---


$$\text{Ec. (23)}$$

La expresión (23) permite aplicar, en el caso de un estado bidimensional de tensiones como el indicado, la teoría de la  $\sigma_1 - \sigma_2$  o  $\sigma_1 - \sigma_3$ , sin necesidad de recurrir al círculo de Mohr, pues en ella se pueden utilizar las tensiones directas,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  y  $\tau_{xy}$  presentes en el estado bidimensional de tensiones aplicado al elemento de máquina.

Según esta teoría, cuando el sistema de carga que actúa sobre el elemento de máquina produce tensiones de torsión pura (tensiones de corte;  $\sigma_x = \sigma_y = 0$ ), de

(Ec.23) se obtiene que la falla del material y por ende de la pieza, se inicia cuando se alcanza

$$\frac{\sigma}{\sigma_{lim}} = \frac{M}{M_{lim}} \quad \text{Ec. (24)}$$

### 3.2.7. Diseño de árboles o ejes de transmisión

Un eje de transmisión es un elemento de máquina rotatorio o no, el cual generalmente es de sección transversal circular y que permite transmitir o soportar elementos para la transmisión de potencia, como, por ejemplo: engranajes, catalinas, poleas y cojinetes.

#### 3.2.7.1 Potencia transmitida

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo y puede representarse por la ecuación:

$$P = M \cdot \omega \quad \text{Ec. (25)}$$

La potencia desarrollada por el par motor viene dada por la siguiente expresión:

$$P = M \cdot \omega \quad \text{Ec. (26)}$$

Siendo  $\omega$  la velocidad angular de giro en  $\text{rad/s}$  del eje de transmisión o eje del cigüeñal.

La potencia del motor se mide, según el Sistema Internacional de Unidades, en vatios

En ocasiones es interesante conocer la potencia en función de las revoluciones por minutos (RPM) a la que gira el motor en vez de la velocidad angular. En efecto, si  $n$  son las revoluciones por minuto a la que gira el motor, entonces la potencia se expresa como sigue,

$$P = M \cdot \omega \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde:

, es la potencia motor, en ;  
, es el par motor, en ;  
, son las revoluciones por minuto de giro del motor (

### **3.2.7.2 Fuerzas internas en un eje**

La carga sobre el eje puede ser simple o combinada. De flexión, la cual con frecuencia fluctúa; de torsión que puede o no fluctuar; de corte y axial.

### **3.2.7.3 Variable de diseño**

Por lo general, de la geometría circular de los ejes de transmisión, el diámetro será la variable que se utilice para satisfacer determinado diseño.

### **3.2.8 Procedimiento de diseño de ejes**

Debido a la aparición simultánea de tensiones por esfuerzo de corte por torsión y tensiones normales que se deben a la flexión, el análisis de un eje virtualmente implica siempre el uso de un enfoque combinado para el aspecto de las tensiones: El método que se sugiere para el diseño de ejes es el de la teoría de la falla por distorsión de la energía. En ocasiones, se presentan también tensiones por esfuerzo de corte vertical y tensiones normales directas que se deben a cargas axiales, sin embargo, su efecto es, por lo regular, mínimo a grado que es válido omitirlas. En ejes extremadamente cortos o en partes de ellos en los que no se generan torsión o flexión, es probable que predominen tales tensiones.

Las actividades específicas que deben realizarse en el diseño y análisis de una flecha o eje dependen del diseño que se haya propuesto, así como de la forma en que se cargue y se soporte.

### **3.2.9 Fuerzas que ejercen elementos de máquina sobre los ejes**

Los engranes, las poleas acanaladas para bandas, y otros elementos que casi siempre son soportados por ejes o flechas, ejercen fuerzas sobre los ejes que dan lugar a momentos de flexión. El siguiente es un análisis de los métodos que se utilizan para calcular estas fuerzas, en algunos casos.

### 3.2.9.1 Ruedas dentadas

Resulta necesario calcular la fuerza que se ejerce sobre los dientes de un engrane mientras se transmite potencia actúa de manera normal, es decir perpendicular, al perfil envolvente de los dientes. En el análisis de ejes, conviene considerar los componentes rectangulares de esta fuerza que ejercen su acción en sentido radial, así como tangencial. Más conveniente aún es calcular la fuerza tangencial, directamente del torque que se conoce, el cual es transmitido por el engrane, según la ecuación 56. vendrá dada por la ecuación 28

Ec. (28)

Siendo:

T: Torque

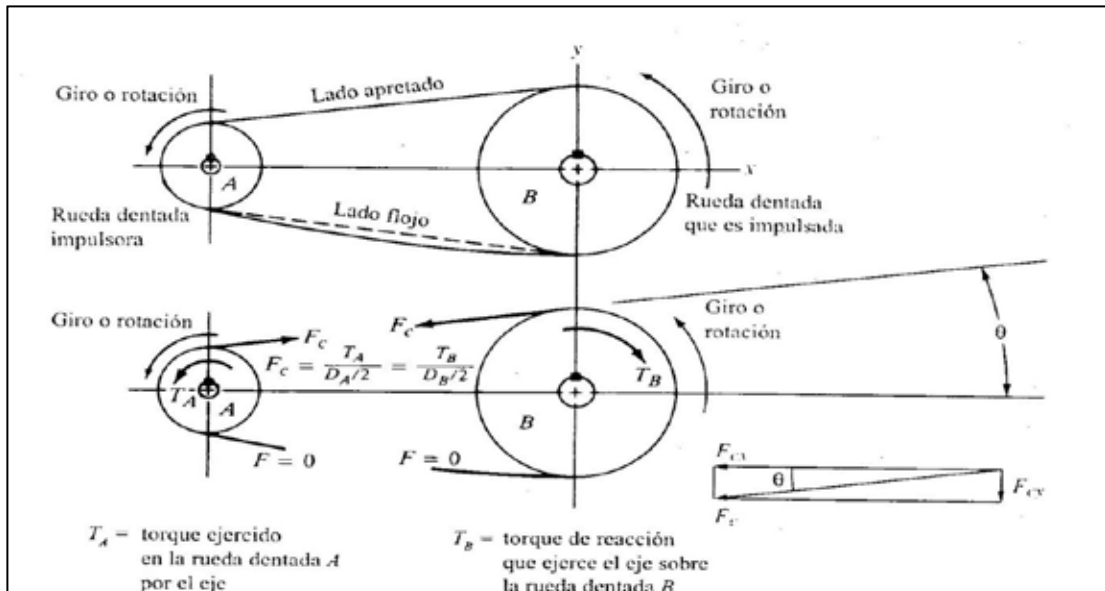
D: Diámetro de la polea

### 3.2.9.2 Engranajes helicoidales

Además de las fuerzas tangencial y radial que se presentan con las ruedas dentadas, los engranajes helicoidales generan una fuerza axial.

### 3.2.9.3 Ruedas catalinas o poleas de cadena

La Figura 17 ilustra un par de ruedas catalinas o poleas de cadena que transmiten potencia. La parte superior de la cadena se somete a una tensión y genera el torque en cualquiera de las ruedas. A la parte inferior de la cadena se le da el nombre de lado flojo, y no ejerce fuerza alguna en ninguna de las ruedas. Por tanto, la fuerza total de flexión en el eje que soporta a la rueda es igual a la tensión en el lado tenso de la cadena. Si se conoce el torque en alguna rueda, la fuerza de la catalina o polea dentada vendrá dada de la misma manera por la ecuación 28.



**Figura 17:** Fuerzas en ruedas dentadas de cadenas.

Fuente: Pizzella. Elementos II. (2017).

### 3.2.10 Concentraciones de tensiones en flechas o ejes

Para montar y ubicar en forma correcta los distintos tipos de elementos mecánicos por lo regular, el diseño final incluye varios diámetros, cuñeros, ranuras para anillos y otras discontinuidades geométricas que dan lugar a concentraciones de tensión o esfuerzo.

Estas concentraciones de tensión deben ser tomadas en cuenta durante el análisis. Sin embargo, se presenta un problema debido a que cuando se inicia el proceso de diseño se desconocen los valores reales de diseño correspondientes a los factores de concentración de tensión. La mayor parte de los valores dependen de los diámetros del eje y de la geometría de los chaflanes y, las ranuras de éstos, son los objetivos del diseño.

### 3.2.11 Valores preliminares de diseño para

Aquí se consideran los tipos de discontinuidades geométricas que se encuentran con más regularidad en ejes que transmiten potencia: cuñeros, chaflanes de hombros y anillos de sujeción. En cada caso, de un valor de diseño que se sugiere

relativamente alto se obtiene un resultado conservador para la primera aproximación hacia el diseño. De nuevo se hace énfasis que en el diseño final debe verificarse la seguridad. Esto es, si el valor final es más bajo que el valor original de diseño, el diseño aún es seguro. Por el contrario, si el valor final es más alto, habrá que analizar otra vez las tensiones para el diseño.

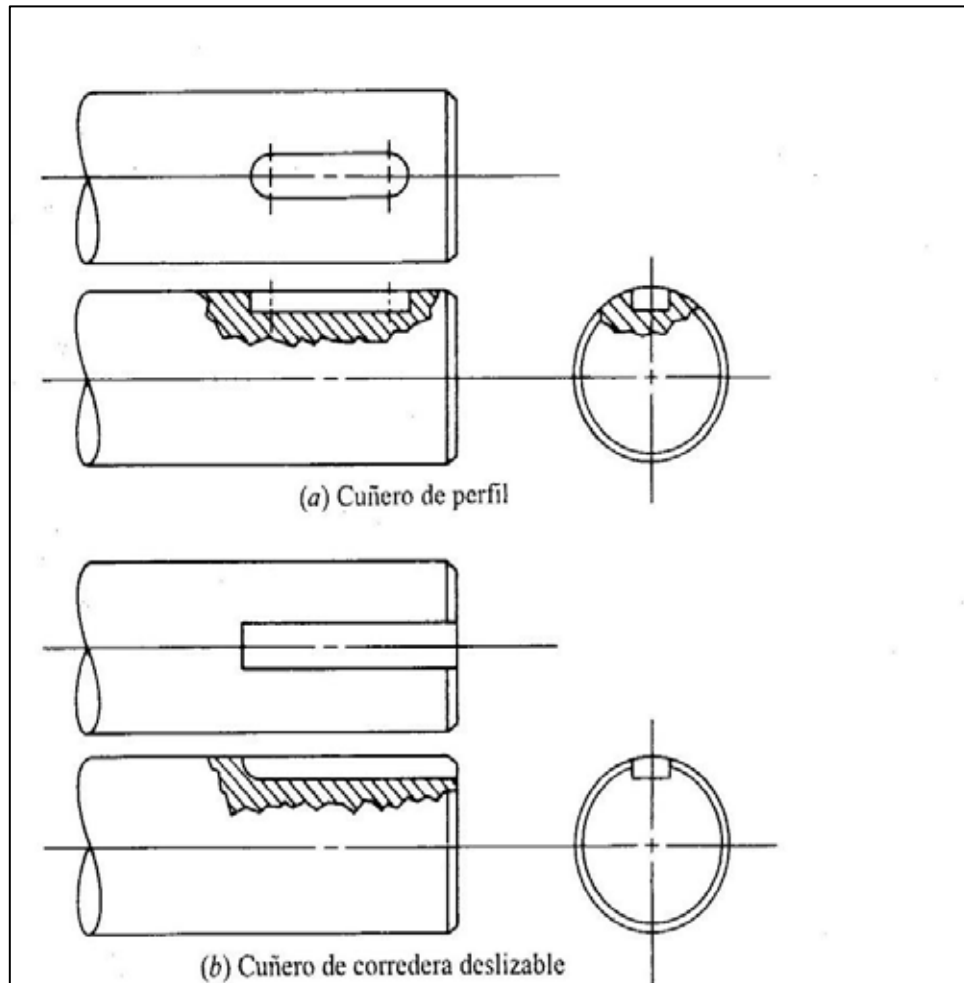
#### **3.2.11.1 Cuñero**

Un cuñero consiste en una ranura longitudinal que se corta en un eje o una flecha para montar una cuña, ello permite transferir torque a partir del eje hacia un elemento que transmite potencia o viceversa. Dos son los tipos de cuñeros que se utilizan con mayor frecuencia: el de perfil y el de corredera o rastra (Figura 18). El cuñero de perfil se fresa en el eje o flecha utilizando una punta en la fresa con diámetro igual al ancho de la cuña. La ranura resultante tiene el fondo plano y en su extremo presenta una esquina aguda a escuadra. El cuñero de corredera o rastra se fabrica con una cortadora circular para fresar con espesor igual al ancho de la cuña. A medida que la cortadora inicia o termina el cuñero, se obtiene un radio continuo. Por este motivo, el factor de concentración de tensión para el cuñero de corredera o rastra es más bajo que el del cuñero de perfil. Los valores de diseño que por lo regular se utilizan son:

(perfil                      de corredera o rastra)

#### **3.2.11.2 Chaflanes de hombros**

Cuando en un eje se presentan cambios de diámetro para producir un hombro contra el cual se coloca un elemento mecánico, se genera una concentración de tensión que depende de la relación entre los dos diámetros y del diámetro del chaflán (véase la Figura 19). Se sugiere que el diámetro del chaflán sea lo más grande posible para minimizar la concentración de tensión; sin embargo, a veces el diseño del engrane, el cojinete u otro elemento afecta el radio que puede utilizarse para fines de diseño



**Figura 18:** Tipos de cuñeros.  
**Fuente:** Pizzella G. Elementos II. (2017).

. Los chaflanes se clasificarán de acuerdo con dos categorías: con bordes cortantes y con bordes redondeados. En este caso, el término con bordes cortantes en realidad no significa eso, es decir, sin ningún radio de chaflán en absoluto. Tal configuración de hombro tendría un factor de concentración de tensión en extremo alto y esto debe evitarse.

Por el contrario, con bordes cortantes describe un hombro con un radio de chaflán relativamente pequeño. Una situación en la que es probable que se presente el caso anterior es donde se va a colocar un cojinete de bola. El canal interno del

cojinete tiene un radio que se produce en la fábrica; no obstante, es pequeño. El radio del chaflán en el eje debe ser aún más pequeño para que el cojinete asiente debidamente contra el hombro. Cuando se coloca un elemento con un chaflán más grande en su diámetro interior que asienta contra el hombro o cuando no se asienta nada que se apoye en el hombro, el radio del chaflán puede ser mucho más grande, bien redondeado, y el factor de concentración de esfuerzo es más pequeño. Para el diseño de flexión utilizaremos los valores siguientes:

= 2,5 (chaflán con bordes cortantes)

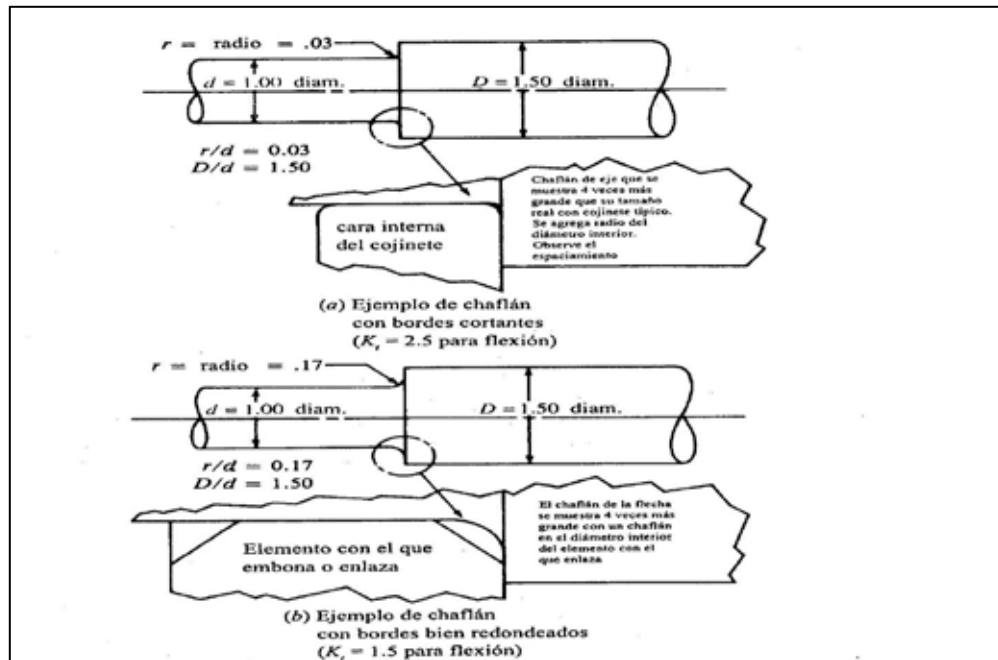
= 1,5 (chaflán bien redondeado)

### **3.2.11.3 Ranuras para anillos de sujeción**

Los anillos de sujeción se utilizan en muchos tipos de aplicaciones en los ejes. Los anillos se colocan en ranuras que se hacen en las flechas o ejes, después que se ubica en su lugar el elemento que se va a sujetar. La geometría de la ranura la establece el fabricante del anillo. Su configuración común es una ranura hueca con los bordes de las paredes rectas al igual que su fondo y un chaflán pequeño en la base de la ranura. Se puede obtener una idea aproximada del comportamiento de la flecha en el área que circunda la ranura si se considera dos hombros con chaflán de bordes cortantes colocados casi juntos. En consecuencia, el factor de concentración de tensión o esfuerzo para una ranura es alto.

Cuando existe flexión, utilizaremos  $K_t = 3,0$  para diseño preliminar como un factor estimado que considera los chaflanes y la reducción en diámetro para calcular el diámetro nominal del eje flecha antes de correr la ranura. Cuando se presenta torsión junto con la flexión o cuando sólo existe torsión en una sección que interesa, el factor de concentración de la tensión no se aplica la tensión por esfuerzo de corte por torsión porque es constante. Sin embargo, para considerar la disminución de diámetro en la ranura aumente el diámetro resultante que calculó en aproximadamente 6%, un valor típico para anillos de sujeción comerciales. Pero después de que haya especificado el diámetro final del eje y la geometría de la ranura,

deberá calcular la tensión o esfuerzo en la ranura con el factor de concentración de tensión adecuado para la geometría de la ranura. (ver figura 19)



**Figura 19:** Tipos de chaflanes.  
Fuente: Pizzella G. Elementos II. (2017).

### 3.2.12 Tensiones de diseño para ejes

En una flecha o eje en particular pueden existir al mismo tiempo condiciones distintas que generan esfuerzo o tensión. Para cualquier parte del eje que transmite potencia, habrá una tensión por esfuerzo de corte por torsión, mientras que la tensión por esfuerzo de flexión se presenta en esas mismas partes. Quizá haya otras partes en las que sólo se genere tensiones por esfuerzos de flexión. Algunos puntos tal vez no se sujeten a flexión, tampoco a torsión, pero experimentarán tensión por esfuerzo de corte vertical. Sobre las otras tensiones o esfuerzos sobreponerse esfuerzos por tracción o por compresión. Entonces habrá algunos puntos en los que no se genere en absoluto tensiones o esfuerzos significativos.

En consecuencia, decidir qué tensión de diseño utilizar depende de la situación del punto que interesa. En muchos proyectos de diseño y análisis de flechas o ejes

deben hacerse cálculos en distintos puntos para considerar en su totalidad la variedad de condiciones de carga y de geometría que existen.

### 3.2.12.1 Tensión por esfuerzo de corte

Se determinó que el método más preciso para prever fallas en materiales dúctiles debido a una tensión constante por esfuerzo de corte era la teoría de la distorsión de la energía, en la cual la tensión por esfuerzo de corte de diseño se calcula a partir de:

Ec. (29)

Donde:

: Límite elástico a la tensión

N: Factor de seguridad

### 3.2.12.2 Tensión normal de diseño, carga que genera fatiga

Para la flexión inversa y sucesiva en un eje provocado por cargas transversales que se aplican en un eje que gira, la tensión de diseño se relaciona con la resistencia por durabilidad del material con que se fabrica el eje. Las condiciones reales bajo las cuales se fabrica y opera el eje deberán tenerse en cuenta cuando se especifique la tensión de diseño.

La resistencia a la fatiga  $S_n$  estará modificada o afectada por los factores que intervienen en las condiciones de trabajo, por lo tanto:

Ec. (30)

Donde:

: Es el límite de fatiga del material. Para aceros dúctiles ,

donde  $S_u$  es el esfuerzo último a la tensión

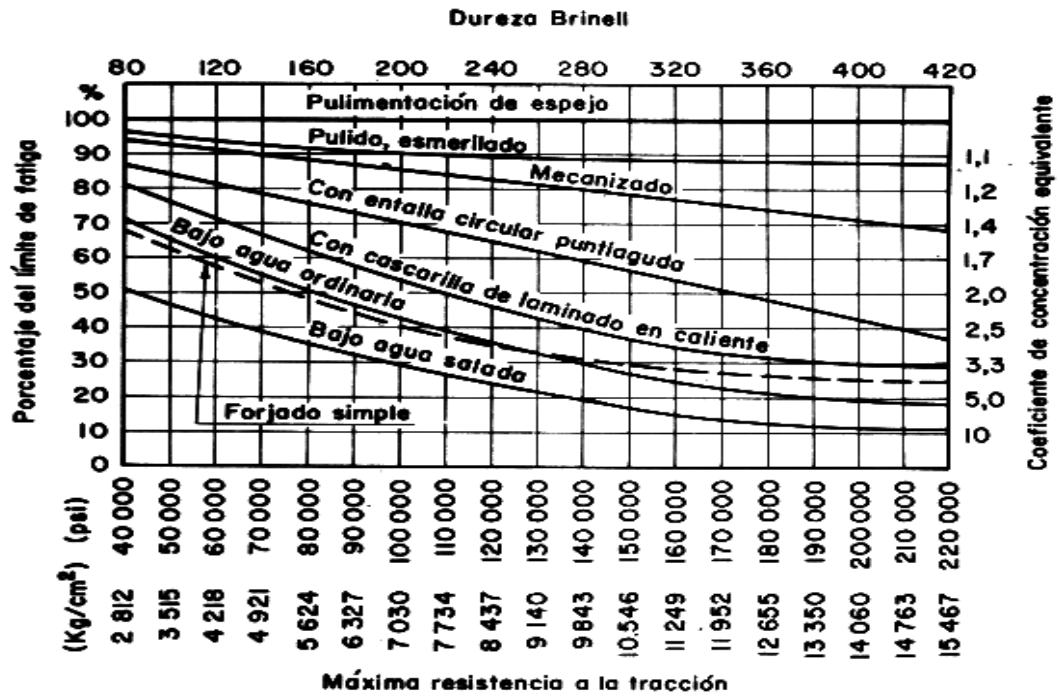
: es el Factor de Corrección por Temperatura

= 1 Para temp. Ambiente.

= 0.8 Para temp. Entre 100 °C y 200 °C

= 0.6 Para temp. > 200 °C.

es el Factor de Corrección por Superficie y depende de cómo será fabricado el eje. (Ver Figura 20).



**Figura 20:** Gráfica para obtener Cs.  
**Fuente:** Bavaresco G. G.A.B.P. Ingeniería (2017).

Para usar el gráfico, se entra con la máxima resistencia a la tracción ( $S_u$ ), se corta la curva de superficie correspondiente y se lee el valor de  $C_s$  a la izquierda (Porcentaje del límite de fatiga).

: Factor de Confiabilidad funcional, viene dado por la ecuación:

$$\text{Ec. (31)}$$

Donde A: 0,076 para u y B (Rata de supervivencia) viene dado por la Fig 21

50%	B = 0	95%	B = 1.6
67%	B = 0.44	99%	B = 2.3
84%	B = 1.0	99.99%	B = 3.7
90%	B = 1.3		

**Figura 21:** Valores de B para el cálculo de  $C_r$   
**Fuente:** Bavaresco G. G.A.B.P. Ingeniería (2017).

Factor de corrección por esfuerzos residuales

= 1.3 (Material laminado o estirado)

= 1 (Materiales con tratamientos térmicos de Normalizado o Recocido)

### 3.2.13 Factor de seguridad N

Bajo condiciones industriales típicas se sugiere el factor . Si la aplicación es en extremo suave, tal vez se justifique un valor tan bajo como . Bajo condiciones de choque o impacto debe emplearse o más alto.

### 3.2.14 Diámetro del eje

De lo anteriormente expuesto, se tiene que el diámetro del eje vendrá dado por la ecuación (61), la cual se puede utilizar sólo en situaciones en las que las cargas son como se supone deben ser, es decir, un par de torsión constante y un momento totalmente alternante, este método es conocido como Método ASME publicado en la norma ANSI/ASME B106.1.M-1985 según Norton R. (1999).

$$\text{Ec. (32)}$$

Donde:

Mf: Momento flector

Mt: Momento Torsor

### 3.2.15 Rodamientos

Los cojinetes de rodadura o rodamientos están constituidos por un anillo interior, vía o pista interior, unido solidariamente al árbol o eje; otro anillo exterior, vía o pista exterior, unido al soporte del cojinete; y un conjunto de elementos rodantes (que pueden ser bolas, rodillos o conos), separados entre sí por medio de una jaula que mantiene cierta distancia entre ellos.

El empleo de rodamientos, aunque encarece el mecanismo, reduce considerablemente el rozamiento, el desgaste y el lubricante necesario. Además, permite mayor velocidad de empleo, y admite mayores cargas, tanto axiales como radiales. Sin embargo, no son muy propicios cuando soportan choques o sobrecargas.

### 3.2.16 Tipos de rodamientos

En los catálogos de las casas de fabricantes de rodamientos se encuentran diferentes modelos adaptados a la magnitud y dirección de las cargas aplicadas. Un resumen de los mismos aparece en la figura 22.



**Figura 22:** Tipos de rodamientos.  
**Fuente:** Pizzella G. Elementos II. (2017).

### **Rodamientos radiales para cargas perpendiculares al eje**

- Rodamiento rígido de bolas, de una o dos hileras. Este tipo de rodamiento no soporta más que empujes radiales.
- Rodamiento rígido de bolas de contacto angular. La carga se transmite de un camino de rodadura al otro, bajo un ángulo de contacto de  $40^\circ$ , con lo que se consigue una elevada capacidad de carga axial. Existen rodamientos de contacto angular con dos hileras de bolas capaces de absorber las cargas axiales en ambos sentidos.
- Rodamiento oscilante de bolas o de rótula. Dispone de dos hileras de bolas con un camino de rodadura común y esférico en el aro exterior. Tiene la propiedad de auto-orientarse, y compensar de este modo posiciones inclinadas del árbol respecto al soporte, así como flexiones del árbol.
- Rodamiento de rodillos cilíndricos. No pueden soportar más que empujes radiales.
- Rodamiento de agujas. Únicamente soportan cargas radiales. Se usan cuando interesa que haya poca diferencia de diámetros y existen cargas bruscas.
- Rodamiento oscilante de rodillos. Contiene dos hileras de rodillos simétricos en forma de tonel, que pueden orientarse libremente en la superficie de rodadura esférica del aro exterior.

### **Rodamientos axiales para cargas paralelas al eje**

– Rodamiento axial de bolas. Pueden ser de simple efecto absorbiendo cargas axiales en un solo sentido, o de doble efecto, absorbiendo cargas axiales en los dos sentidos.

### **Rodamientos para cargas oblicuas**

Los rodamientos cónicos pueden transmitir grandes cargas axiales y radiales. Permiten simplificar considerablemente los montajes, mediante la supresión de combinaciones de rodamientos axiales y radiales, ya que los rodillos cónicos cumplen la finalidad de ambos.

### **Comparaciones de los distintos Rodamientos**

Se puede hacer una comparación entre los diferentes rodamientos para saber qué tipo de rodamiento elegir en función de las cargas radiales y axiales existentes y la desalineación que se nos permite según la figura 23.

### **Vida útil de un rodamiento**

La duración de un rodamiento para una carga cualquiera es:

$$\frac{L_d}{10^6} = \left( \frac{F_d}{C} \right)^{\frac{10}{3}} \quad \text{Ec. (33)}$$

Dónde:

C: es la capacidad básica de carga. Es la carga radial constante que puede soportar un rodamiento hasta una duración nominal de un millón de revoluciones

Ld: es la vida útil del diseño

Fd: es la carga de diseño

a: vale 3 para rodamientos de bolas y 10/3 para rodamientos de rodillos.

La carga necesaria C para una carga y una vida útil de diseño específicas será

$$C = F_d \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}} \quad \text{Ec. (34)}$$

Tipo de cojinete	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineación
Bola de hilera única	Buena	Aceptable	Aceptable
Bola de doble hilera	Excelente	Buena	Aceptable
Contacto angular	Buena	Excelente	Pobre
Rodamiento cilíndrico	Excelente	Pobre	Aceptable
Aguja	Excelente	Pobre	Pobre
Rodamiento esférico	Excelente	Aceptable/buena	Excelente
Rodamiento ahusado	Excelente	Excelente	Pobre

**Figura 23:** Comparación entre rodamientos

**Fuente:** Pizzella G. Elementos II. (2017).

Es habitual también que el fabricante proporcione la capacidad de carga para una vida útil a una velocidad especificada. Así,  $L_d$  (Número de revoluciones de diseño) se calcularía de la forma:

$$\text{Ec. (35)}$$

Donde:

$h$ : es la vida útil de diseño en horas, tomada de la figura 24.

Así se puede escoger un rodamiento de algún catálogo resolviendo la ecuación (35), encontrando la capacidad básica de carga, y con el diámetro del eje se puede hacer la escogencia del rodamiento.

<i>Uso</i>	<i>Vida útil de diseño <math>L_{10}, h</math></i>
Aparatos domésticos	1 000–2 000
Motores para aviones	1 000–4 000
Automotriz	1 500–5 000
Equipo agrícola	3 000–6 000
Elevadores, ventiladores industriales, engranes de uso múltiple	8 000–15 000
Motores eléctricos, ventiladores industriales con tolva, máquinas industriales en general	20 000–30 000
Bombas y compresoras	40 000–60 000
Equipo crítico en operación continua las 24 horas	100 000–200 000

**Figura 24:** Vida útil de diseño.

**Fuente:** Avallone- Baumister (1986)

### **3.2.17 Motores Eléctricos**

#### **Definición y funcionamiento**

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas dentro de las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de su funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte. Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio, desde arrancar, acelerar, mover o frenar, hasta sostener y detener una carga. Estos motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción de caballos hasta varios miles, y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

Los motores eléctricos tienen el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el cual circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, este tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor. Partiendo del hecho de que cuando la corriente eléctrica pasa por un conductor se produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un conductor magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha.

Un motor eléctrico contiene un número de partes mucho más pequeño de piezas que un motor de combustión interna o uno de una máquina de vapor, por lo que es menos propenso a los fallos. Los motores eléctricos son los más ágiles de todos los que respecta a variación de potencia y pueden pasar instantáneamente desde la posición de reposo a la de funcionamiento al máximo.

## **Ventajas**

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.

Se pueden construir de cualquier tamaño.

Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.

Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).

Este tipo de motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica de la mayoría de las redes de suministro si emiten contaminantes.

### **3.2.17.1 Tipos de motores eléctricos**

#### **Motores de corriente continúa**

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

Motor serie

Motor compound

Motor shunt

Motor eléctrico sin escobillas

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

Motor paso a paso

Servomotor

Motor sin núcleo

#### **Motores de corriente alterna**

Los motores de C.A. se clasifican de la siguiente manera:

### **a. Asíncrono o de inducción**

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

### **b. Jaula de ardilla**

Un rotor de jaula de ardilla es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas).

### **c. Monofásicos**

Motor de arranque a resistencia. Posee dos bobinas una de arranque y una bobina de trabajo.

Motor de arranque a condensador. Posee un condensador electrolítico en serie con la bobina de arranque la cual proporciona más fuerza al momento de la marcha y se puede colocar otra en paralelo la cual mejora la reactancia del motor permitiendo que entregue toda la potencia.

Motor de marcha.

Motor de doble condensador.

Motor de polos sombreados o polo sombra.

### **d. Trifásicos**

#### **d.1. A tres fases**

La mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo.

Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V.

#### **d.2. Rotor Devanado**

El rotor devanado o bobinado, como su nombre lo indica, lleva unas bobinas que se conectan a unos anillos deslizantes colocados en el eje; por medio de unas escobillas se conecta el rotor a unas resistencias que se pueden variar hasta poner el rotor en corto circuito al igual que el eje de jaula de ardilla.

#### **d.3. Síncrono**

En este tipo de motores y en condiciones normales, el rotor gira a las mismas revoluciones que lo hace el campo magnético del estator.

#### **3.2.17.2 Usos**

Los motores eléctricos se utilizan en la gran mayoría de las máquinas modernas. Su reducido tamaño permite introducir motores potentes en máquinas de pequeño tamaño, por ejemplo, taladros o batidoras.

#### **Cambio de sentido de giro**

Para efectuar el cambio de sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna se siguen unos simples pasos tales como:

Para motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque, esto se puede realizar manualmente o con unos relevadores

Para motores trifásicos únicamente es necesario invertir dos de las conexiones de alimentación correspondientes a dos fases de acuerdo a la secuencia de trifases.

Para motores de a.c. es necesario invertir los contactos del par de arranque.

#### **Regulación de velocidad**

En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico especial y la otra es

variando la polaridad gracias al diseño del motor. Esto último es posible en los motores de devanado separado, o los motores de conexión Dahlander.

### **Reductores de velocidad**

Toda máquina cuyo movimiento sea generado por un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro) necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos).

Esta adaptación se realiza generalmente con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y potencia mecánica montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad, aunque en algunos países hispanos parlantes también se le denomina caja reductora.

### **Tipos de reductores de velocidad**

Los reductores de velocidad se suelen clasificar de un modo bastante anárquico, solapándose en algunos casos las definiciones de modo intrínseco y en otros casos hay que usar diversas clasificaciones para definirlos.

#### **3.2.17.3 Clasificación por tipo de engranajes**

Los reductores se pueden clasificar por la tipología de sus engranajes, las clasificaciones más usuales son: Sin fin-Corona, engranajes y planetarios.

#### **Reductores de velocidad de Sin fin-Corona**

Es quizás el tipo de reductor de velocidad más sencillo, se compone de una corona dentada, normalmente de bronce en cuyo centro se ha embutido un eje de acero (eje lento), esta corona está en contacto permanente con un husillo de acero en forma de tornillo sin-fin. Una vuelta del tornillo sin fin provoca el avance de un diente de la corona y en consecuencia la reducción de velocidad. La reducción de velocidad de una corona sin fin se calcula con el producto del número de dientes de la corona por el número de entradas del tornillo sin fin.

Paradójicamente es el tipo de reductor de velocidad más usado y comercializado a la par que todas las tendencias de ingeniería lo consideran obsoleto por sus grandes defectos que son, el bajo rendimiento energético y la pérdida de tiempo entre ciclos.

### **Reductores de velocidad de engranajes**

Los reductores de engranajes son aquellos en que toda la transmisión mecánica se realiza por pares de engranajes de cualquier tipo excepto los basados en tornillo sin fin. Sus ventajas son el mayor rendimiento energético, menor mantenimiento y menor tamaño.

### **Reductores Cicloidales**

El sistema de reducción de velocidad de Cicloidal se basa en un principio ingeniosamente simple.

El reductor de velocidad sólo tiene tres partes móviles:

El eje de entrada de alta velocidad con una leva excéntrica integral y un conjunto de cojinete de rodillo

El disco cicloidal y el conjunto del eje de salida de baja velocidad. La acción de rodamiento progresiva y pareja de los discos cicloidales eliminan la fricción y los puntos de presión de los engranajes convencionales.

Todos los componentes que transmiten el par de torsión de Cicloidal ruedan y están dispuestos en forma simétrica alrededor del eje para una operación equilibrada, pareja y silenciosa.

### **Reductores de velocidad Planetarios**

Son reductores de engranaje con la particularidad de que no están compuestos de pares de sino de una disposición algo distinta, y sirve para diferentes tipos de variaciones de velocidad. Hay dos tipos de engranajes planetarios para reducir la velocidad de la hélice con respecto a la del cigüeñal.

Un sistema tiene el engranaje principal sol fijado rígidamente a la sección delantera del motor, y una corona interna es impulsada por el cigüeñal. El piñón está unido al eje de lo que quiere mover. Y montado en ella y son una serie de piñones que

cuando el cigüeñal gira, los piñones giran en torno al principal fijo, en compañía de la hélice en la misma dirección, pero a una velocidad reducida.

Los reductores de velocidad de engranajes planetarios, interiores o anulares son variaciones del engranaje recto en los que los dientes están tallados en la parte interior de un anillo o de una rueda con reborde, en vez de en el exterior. Los engranajes interiores suelen ser impulsados por un piñón, (también llamado piñón Sol, que es un engranaje pequeño con pocos dientes). Este tipo de engrane mantiene el sentido de la velocidad angular. El tallado de estos engranajes se realiza mediante talladoras mortajadoras de generación.

La eficiencia de este sistema de reductores planetarios es igual a  $98^{(\#etapas)}$ ; es decir si tiene 5 etapas de reducción la eficiencia de este reductor sería 0,904 o 90,4%. Debido a que tienen más dientes en contacto que los otros tipos de reductores, son capaces de transferir / soportar más torque; por lo que su uso en la industria cada vez es más difundido. Ya que generalmente un reductor convencional de flechas paralelas en aplicaciones de alto torque debe recurrir a arreglos de corona / cadenas lo cual vuelve no solo requiere de más tamaño, sino que también implicara el uso de lubricantes para el arreglo corona / cadena.

La selección de reductores planetarios se hace como la de cualquier reductor, en función del torque Newton-metro. Como cualquier reductor tienen engranajes y rodamientos, los engranajes también son afectos a la fricción y agotamiento de los dientes.

Debido a que los fabricantes utilizan diferentes formas de presentación del tiempo de operación para sus engranajes y del torque máximo que soportan, la ISO tiene estándares para regular esto:

ISO 6636 para los engranajes

ISO 281 para los rodamientos e

UNI 7670 para los ejes

De esta forma se pueden comparar realmente las especificaciones técnicas de los reductores y se puede proyectar un tiempo de operación antes de fallo de cualquiera de los componentes principales del reductor, (ya sea planetario o flechas paralelas).

### **Clasificación por disposición de los ejes lento y rápido**

Los reductores se pueden clasificar por la posición relativa del eje lento del reductor con respecto al eje rápido del mismo, las clasificaciones más usuales son; paralelos, ortogonales y coaxiales.

### **Clasificación por sistema de fijación**

Los reductores se pueden clasificar por su sistema de fijación, fijo o pendular.

### **Características de los reductores de velocidad**

La fabricación o selección de un reductor de velocidad es algo sumamente complejo en algunas ocasiones dada la gran cantidad de parámetros a tener en cuenta. Los principales son: El par motor, es la potencia que puede transmitir un motor en cada giro. También llamado "Torque"

### **3.2.18. Sensores**

Un sensor es un dispositivo para detectar y señalar una condición de cambio. ¿Y qué es esta "condición de cambio"? Con frecuencia se trata de la presencia o ausencia de un objeto o material (detección discreta). También puede ser una cantidad capaz de medirse, como un cambio de distancia, tamaño o color (detección analógica). Esta información, o salida del sensor, es la base del proceso de monitoreo y control de un proceso de fabricación.

### **Sensores de contacto y sin contacto**

Los sensores de contacto son dispositivos electromecánicos que detectan cambios a través del contacto físico directo con el objeto en cuestión. Los sensores de contacto: generalmente no requieren de energía eléctrica;

pueden soportar más corriente y tolerar mejor las alteraciones de la línea eléctrica;

generalmente son más fáciles de entender y diagnosticar.

Los encoders, los interruptores de final de carrera y los interruptores de seguridad son sensores de contacto. Los encoders transforman el movimiento de las máquinas en señales y datos. Los interruptores de final de carrera se utilizan cuando es posible un contacto físico con el objeto. Los interruptores de seguridad ofrecen resistencia a posibles interpolaciones y contactos de apertura directa, lo cual permite utilizarlos como protectores de máquinas y paradas de emergencia.

Los sensores sin contacto son dispositivos electrónicos de estado sólido que crean un campo de energía o haz y reaccionan ante una alteración en ese campo. Algunas características de los sensores sin contacto son:

no se requiere contacto físico;

no tienen componentes móviles que puedan atascarse, desgastarse o romperse (por lo tanto, necesitan menos mantenimiento);

generalmente operan más rápido;

son más flexibles en cuanto a su aplicación.

Los sensores fotoeléctricos, inductivos, capacitivos y ultrasónicos corresponden a sensores sin contacto. Al no haber contacto físico, se elimina la posibilidad de desgaste; sin embargo, en raras ocasiones podría haber una interacción entre el sensor y el objeto. Los sensores sin contacto también son susceptibles a la energía emitida por otros dispositivos o procesos.

### **3.3 Definición de términos básicos**

**Abrasión:** Acción de quitar o arrancar algo mediante fricción

**Ambiente:** Atmósfera o aire que rodea a un cuerpo o circula a su alrededor

**Corrosión:** La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma de

mayor estabilidad o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión.

**Cinta transportadora:** Es un sistema de transporte continuo formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores

**Granel:** Es un conjunto de materiales que se transportan sin empaquetar, ni embalar, en grandes cantidades. Esta carga se divide principalmente en carga a granel sólida o seca y carga a granel líquida.

**Grúa:** Máquina destinada a subir y distribuir cargas en el espacio suspendido de un gancho.

**Máquina:** Objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado, generalmente transformando una forma de energía en movimiento o trabajo.

**Mecanismo:** Conjunto de piezas o elementos que ajustados entre sí y empleando energía mecánica hacen un trabajo o cumplen una función.

**Tolvas:** Dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados

## **CAPÍTULO IV**

### **FASES METODOLÓGICO**

#### **4.1 Fases de la investigación**

##### **FASE I: Evaluar el funcionamiento actual de las cintas transportadoras TR-1, TR-1A y TR2 en la empresa Vopak Venezuela.**

Para desarrollar esta fase se hará mediante el método de observación directa, el cual consiste en revisar cómo se están realizando los procesos, el estado de los componentes de la cinta, yendo regularmente al muelle.

##### **FASE II: Establecer las debilidades y fortalezas del mecanismo actual**

Después de realizar el diagnóstico de la situación actual de los componentes del sistema transportador mediante el análisis de una matriz FODA, para las cuales las fortalezas serán aquellos equipos que están en buen estado tanto en su mantenimiento como en su funcionamiento; oportunidad, se refiere a los equipos que pueden ser reparados, o tomados como repuestos base para otros equipos; las debilidades, serán los equipos que deben ser sustituidos, o que han alcanzado su tiempo de vida útil, y las amenazas, se refiere a los factores externos que afectan a los equipos tanto en su parte interior y exterior, como su funcionamiento.

A continuación, se explicará la metodología seguida para realizar la matriz FODA con la cual se realizará un análisis cualitativo y cuantitativo para seleccionar la mejor estrategia posible con el fin de solucionar el problema ya mencionado. Hay que determinar 4 características para conformar la matriz y se detallaran en dos categorías.

(F) Fortaleza (O) Oportunidades (D) Debilidades (A) Amenazas

##### **Fortalezas y Debilidades.**

Están relacionadas con la parte interna de la empresa sobre las cuales puede tenerse control o influirse directamente.

Se tienen en cuenta cuatro áreas: Capacidad de proceso (equipos, edificios y sistemas), Productos y Servicios, Recursos Financieros.

Se consideran áreas como las siguientes:

Análisis de Recursos, capital, activos fijos, activos no tangibles, análisis de riesgos con relación a los recursos y a las actividades de la empresa. En general todos los equipos involucrados en el proceso.

Se deben hacer preguntas como éstas:

¿Cuáles son aquellos aspectos donde usted cree que puede mejorar el proceso?

¿Cuáles son aquellos aspectos donde usted cree que no puede aprovechar los recursos actuales?

### **Oportunidades y Amenazas**

Relacionadas con el entorno de la empresa, y tienen lugar en lo externo, son influenciadas, pero no controlables. Pueden tener un efecto positivo o negativo en el futuro de la empresa. Las oportunidades organizacionales se encuentran en aquellas áreas que podrían generar muy altos desempeños. Las amenazas organizacionales están en aquellas áreas donde la empresa encuentra dificultad para alcanzar altos niveles de desempeño. Para encontrarlas en este caso en particular se tomarán en cuenta los equipos que pueden ser reparados o usados como repuesto para otros equipos, además los factores externos serán aquellos que afectan directamente a los equipos involucrados en el proceso.

Se deben hacer preguntas como éstas:

¿Cuáles son realmente las mayores amenazas que enfrentamos en el entorno?

¿Cuáles son las mejores oportunidades que tenemos?

### **Pasos para construir una matriz F.O.D.A**

Los pasos para construir una matriz FODA son los siguientes:

Para la construcción de una matriz FODA no importa para que área se esté realizando el Análisis estratégico, se deben conformar equipos multidisciplinarios, donde profesionales de diferentes sectores del área a evaluar establezcan sus

impresiones de los puntos a identificar, para que realmente el análisis tenga un sentido y una visión integral del área.

**1.** Hacer una lista indeterminada de las fortalezas internas claves. (Ver Tabla 4).

**2.** Hacer una lista indeterminada de las debilidades internas decisivas.

(Ver Tabla 4).

**3.** Hacer una lista indeterminada de las oportunidades externas importantes.

(Ver Tabla 5).

**4.** Hacer una lista indeterminada de las amenazas externas claves.

(Ver Tabla 5).

**5.** Una vez listadas, se someten a cada una a la evaluación de los criterios del equipo de trabajo, con el fin de definir su posición adecuada en la matriz mediante un sistema de ponderación y clasificación.

**6.** Se deben seleccionar un número equilibrado de cada una de ellas, para que el análisis tenga equilibrio real.

**7.** Se comienza a construir la matriz en base a los resultados obtenidos en las tablas de resultados ponderados. (Ver Tabla 2 y 3).

**8.** Se rellena las 4 características de la matriz FODA. (Ver Tabla 2).

**9.** A continuación, compare las fortalezas internas con las oportunidades externas y registre las estrategias FO resultantes en la casilla apropiada.

**10.** Compare las debilidades internas con las oportunidades externas y registre las estrategias DO resultantes.

**11.** Compare las fortalezas internas con las amenazas externas y registre las estrategias FA resultantes.

**12.** Compare las debilidades internas con las amenazas externas y registre las estrategias DA resultantes.

De esta forma se armará la matriz con todas las consideraciones anteriormente nombradas (Ver Tabla 6), con la finalidad de seleccionar una estrategia que cumpla los objetivos planteados. Con esta información, posteriormente se realizará un

análisis cuantitativo para evaluar cuál de las estrategias seleccionadas será la más recomendable.

**Tabla 2:** Matriz FODA (paso 7 y 8).

<p><b>Objetivo:</b> Disminuir la pérdida de material desde la cinta transportadora TR1 a la cinta transportadora TR2 en la empresa Vopak Venezuela, Estado Carabobo</p>	<p><b>FORTALEZAS:</b>  <b>F1:</b> Variedad de Motores para diferentes configuraciones  <b>F2:</b> Torre de transferencia en buenas condiciones  <b>F3:</b> TR-2 operativa</p>	<p><b>DEBILIDADES:</b>  <b>D1:</b> Transportador TR-1A el cual tiene deficiencia de diseño  <b>D2:</b> Caseta TT-1 instalada para el sistema transportador actual  <b>D3:</b> Sistema de carga auxiliar instalado en TT-1</p>
<p><b>OPORTUNIDADES:</b>  <b>O1:</b> Rodillos almacenados  <b>O2:</b> Cinta transportadora TR1  <b>O3:</b> Alto stock de materiales que pueden ser utilizados</p>		
<p><b>AMENAZAS:</b>  <b>A1:</b> Ambiente altamente corrosivo  <b>A2:</b> Estructuras expuestas al aire libre  <b>A3:</b> Equipos en contacto con sustancias abrasivas por derrames de material</p>		

Fuente: Ynfante 2020.

**Tabla 3:** Matriz FODA. (Paso 9)

<p><b>Objetivo:</b> Disminuir la pérdida de material desde la cinta transportadora TR1 a la cinta transportadora TR2 en la empresa Vopak Venezuela, Estado Carabobo</p>	<p><b>FORTALEZAS:</b>  <b>F1:</b> Variedad de Motores para diferentes configuraciones  <b>F2:</b> Torre de transferencia en buenas condiciones  <b>F3:</b> TR-2 operativa</p>	<p><b>DEBILIDADES:</b>  <b>D1:</b> Transportador TR-1A el cual tiene deficiencia de diseño  <b>D2:</b> Caseta TT-1 instalada para el sistema transportador actual  <b>D3:</b> Sistema de carga auxiliar instalado en TT-1</p>
<p><b>OPORTUNIDADES:</b>  <b>O1:</b> Rodillos almacenados  <b>O2:</b> Cinta transportadora TR1  <b>O3:</b> Alto stock de materiales que pueden ser utilizados</p>	<p>Construir una estrategia que con la fortaleza pueda aprovechar la oportunidad</p>	<p>Construir una estrategia que permita eliminar la debilidad en provecho de la oportunidad</p>
<p><b>AMENAZAS:</b>  <b>A1:</b> Ambiente altamente corrosivo  <b>A2:</b> Estructuras expuestas al aire libre  <b>A3:</b> Equipos en contacto con sustancias abrasivas por derrames de material</p>	<p>Construir una estrategia que usando la fortaleza nos proteja de la amenaza</p>	<p>Construir una estrategia que permita eliminar la debilidad para protegernos de la amenaza</p>

Fuente: Ynfante 2020.

**FASE III: Presentar la propuesta en cuanto al diseño de la maquina más ajustada a los requerimientos de la empresa Vopak Venezuela.**

Para realizar esta fase después de haber medido las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de los equipos existentes, se tomarán en cuenta las variables que determinarán los diferentes criterios para la solución del problema. Algunas de las variables seleccionadas serán:

**Velocidad:** primeramente, se debe hacer el cálculo de la cantidad de material transportada en (TN/H), se miden la longitud y el ancho de la cinta para saber la velocidad ideal. Como criterio de diseño, se tomará que las tres cintas deben llevar la misma velocidad. Para lograr esto, en caso de que alguna velocidad sea mayor o menor, se debe aplicar dos alternativas: un variador de frecuencia a los motores ya existentes, o un motor reductor el cual puede ser por correa o cambiar el diámetro de las poleas. Es importante aplicar un medidor de velocidad para conocer los rpm reales del sistema.

**Sistema de transferencia:** La propuesta para este sistema de transferencia sería un mecanismo consistente en cangilón invertido. Se habla de este término ya que consiste en que normalmente los cangilones se utilizan para descarga de planos inclinados de pendiente positiva, pero en este caso TR-1A baja a TR-2, lo que impide el vaciado normal, o un tornillo sin fin.

**Cubierta protectora de la cinta transportadora:** esta propuesta consiste en colocar una cubierta en el borde la cinta que impidan el derramamiento del material.

#### **FASE IV: Efectuar el diseño de la propuesta seleccionada en la empresa Vopak Venezuela S.A.**

En esta fase se hará el diseño y la selección de los componentes mediante el uso de las ecuaciones matemáticas que definen mejor el fenómeno físico, así como los catálogos de equipos o componentes pertinentes a la selección de la propuesta más conveniente para la empresa de todas las presentadas en la fase anterior.

#### **FASE V: Realizar un estudio de la factibilidad económica**

Se solicitarán los presupuestos actualizados para el estudio de la factibilidad económica.

## CAPÍTULO V RESULTADOS

En este capítulo se desarrollan las fases de la investigación planteadas anteriormente, con la finalidad de cumplir con el objetivo general de la misma, el cual consiste en diseñar un mecanismo de transición que disminuya la pérdida de material desde la cinta transportadora TR1 a la cinta transportadora TR2 en la empresa Vopak Venezuela, Estado Carabobo

### **5.1 Evaluar el funcionamiento actual de las cintas transportadoras TR-1, TR-1A y TR2 en la empresa Vopak Venezuela.**

El manejo de productos secos a granel se realiza a través de una grúa con capacidad de hasta 12 toneladas, utilizada para transferir el producto del buque a un sistema de bandas transportadoras interconectadas entre sí, mediante torres de transferencias. Este sistema de bandas transportadora está conectada a un silo transitorio, con una capacidad de trescientas toneladas métricas desde el cual se distribuye el producto directamente a los tres galpones de almacenamiento, (ver figura 25).



**Figura 25:** Vista del Sistema de Descarga de Productos Secos.  
**Fuente:** Vopak 2020

En la figura 25, se muestra la grúa de descarga, las tolvas receptoras, las distintas bandas transportadoras con sus respectivas torres de transferencias y también se muestran los diferentes almacenes de materiales de productos secos, entre los principales productos secos que se manejan en la empresa, se tienen: a) Carbonato de sodio, b) sulfato de sodio, c) fertilizantes granulados, y d) materias primas para la elaboración de fertilizantes. El sistema de descarga de productos secos, está constituido por una grúa tipo pórtico con capacidad de doce toneladas, dos tolvas de veinte metros cúbicos, siete cintas transportadoras de diferentes dimensiones y especificaciones, seis casetas de transferencias, un silo con capacidad para trescientos metros cúbicos de productos y cinco silos galpones, con un almacenamiento total de cincuenta mil toneladas.

En este sentido, este sistema de descarga de productos secos, se inicia desde el extremo norte del muelle con la cinta transportadora (TR-1), siendo su longitud aproximada es de ochocientos veintiuno metros comprendida en dos tramos el primero con una longitud de seiscientos ochenta metros con altura de un metro con respecto al muelle, y el siguiente con una longitud de ciento cuarenta y uno metros hasta llegar al punto de descarga o torre de transición (TT-1) a una altura de 13,27 metros, a los ochocientos metros del punto inicial está ubicado el tensor de la cinta transportadora. En esta torre de transición existe una banda de cuatro metros y medio de longitud que permite la transferencia del material hacia la próxima cinta transportadora, la cual tiene una longitud total de ciento cincuenta y ocho metros (TR-2)

Es en este punto del sistema de descarga en donde interactúan TR-1 TR-2 y TT-1 en donde se ven los efectos del derrame de productos a granel que degradan el estado de las instalaciones y ocasionan perdidas de producto en la figura 26 a la 28 se puede apreciar el estado de las instalaciones.



**Figura 26:** Condiciones del sistema de transferencia  
**Fuente:** Ynfante 2019.



**Figura 27:** Condiciones del sistema de transferencia  
**Fuente:** Ynfante 2019.



**Figura 28:** Condiciones del sistema de transferencia

**Fuente:** Ynfante 2019.

## **5.2 Establecer las debilidades y fortalezas del mecanismo actual**

Como se mostró en la Fase II al realizar el análisis de la matriz se obtienen los siguientes resultados.

**La Matriz de Evaluación de Factor INTERNO (paso 1 y 2):** Resume y Evalúa las Debilidades y Fortalezas importantes de Gerencia, Mercadeo, Finanzas, Investigación y Desarrollo, Producción y Logística.

- 1.- Identificar fortalezas y debilidades claves.
- 2.-Asignarle ponderación desde **0,0** hasta **1,0**.
- 3.-Asignar una clasificación de **1** a **4** a cada factor.

Debilidad importante **1**

Debilidad menor **2**

Fortaleza menor **3**

Fortaleza importante **4**

4.- Multiplicar la ponderación de cada factor por su clasificación para establecer resultado ponderado.

5.- Sumar los resultados ponderados.

**La Matriz de Evaluación de Factor EXTERNO (Paso 3 y 4):** Resume y Evalúa las Oportunidades y Amenazas importantes entre las variables del entorno de la organización.

1.- Identificar Oportunidades y Amenazas claves.

2.-Asignarle ponderación desde **0,0** hasta **1,0**.

3.-Asignar una clasificación de **1** a **4** a cada factor.

Amenaza importante      **1**

Amenaza menor            **2**

Oportunidad menor        **3**

Oportunidad importante **4**

4.- Multiplicar la ponderación de cada factor por su clasificación para establecer resultado ponderado.

5.- Sumar los resultados ponderados

**Tabla 4:** Matriz de Análisis Interno.

<b>Factores Internos</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Resultados Ponderados</b>
Variedad de Motores para diferentes configuraciones	0,30	4	1,20
Torre de transferencia en buenas condiciones	0,15	3	0,45
TR-2 operativa	0,30	4	1,20
Transportador TR-1A el cual tiene deficiencia de diseño	0,10	1	0,10
Caseta TT-1 instalada para el sistema transportador actual	0,10	2	0,20
Sistema de carga auxiliar instalado en TT-1	0,05	2	0,10
<b>TOTAL</b>	<b>1,00</b>		<b>3,25</b>

Fuente: Ynfante 2020.

**Tabla 5:** Matriz de Análisis Externo.

<b>Factores Externos</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Resultados Ponderados</b>
Equipos en contacto con sustancias abrasivas por derrames de material	0,15	1	0,15
Ambiente altamente corrosivo	0,05	1	0,05
Estructuras expuestas al aire libre	0,05	2	0,10
Alto stock de materiales que pueden ser utilizados	0,15	3	0,45
Cinta transportadora TR1	0,35	4	1,40
Rodillos almacenados	0,25	3	0,75
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>		<b>2,9</b>

Fuente: Ynfante 2020.

**Tabla 6:** Matriz FODA (paso 9 al 12).

<p><b>Objetivo:</b> Disminuir la pérdida de material desde la cinta transportadora TR1 a la cinta transportadora TR2 en la empresa Vopak Venezuela, Estado Carabobo</p>	<p><b>FORTALEZAS:</b>  <b>F1:</b> Variedad de Motores para diferentes configuraciones  <b>F2:</b> Torre de transferencia en buenas condiciones  <b>F3:</b> TR-2 operativa</p>	<p><b>DEBILIDADES:</b>  <b>D1:</b> Transportador TR-1A el cual tiene deficiencia de diseño  <b>D2:</b> Caseta TT-1 instalada para el sistema transportador actual  <b>D3:</b> Sistema de carga auxiliar instalado en TT-1</p>
<p><b>OPORTUNIDADES:</b>  <b>O1:</b> Rodillos almacenados  <b>O2:</b> Cinta transportadora TR1  <b>O3:</b> Alto stock de materiales que pueden ser utilizados</p>	<p><b>ESTRATEGIA FO:</b>  Utilizar la infraestructura actual para modificar el sistema a los requerimientos actuales. <b>F2 F3 O2.</b>  Rediseñar el modelo actual aprovechando los recursos disponibles. <b>F1 F2 O1 O3.</b></p>	<p><b>ESTRATEGIA DO:</b>  Actualizar el diseño del transportador TR-1A. <b>D1 O1 O3.</b>  Activar el funcionamiento del sistema auxiliar de carga. <b>D3 O3.</b></p>
<p><b>AMENAZAS:</b>  <b>A1:</b> Ambiente altamente corrosivo  <b>A2:</b> Estructuras expuestas al aire libre  <b>A3:</b> Equipos en contacto con sustancias abrasivas por derrames de material</p>	<p><b>ESTRATEGIA FA:</b>  Mejorar los sistemas de protección contra agentes externos en las torres. <b>F2 F3 A1 A2.</b>  Ajustar las velocidades de las cintas transportadoras para evitar derrames. <b>F1 A3.</b></p>	<p><b>ESTRATEGIA DA:</b>  Rediseñar todo el sistema evitando desde un principio derrames o deterioros por agentes externos. <b>D1 A1 A3.</b></p>

Fuente: Ynfante 2020.

**Estrategia Seleccionada:**

**Estrategia 1:** Rediseñar el modelo actual aprovechando los recursos disponibles.

**Estrategia 2:** Actualizar el diseño del transportador TR-1A.

**Estrategia 3:** Rediseñar todo el sistema evitando desde un principio derrames o deterioros por agentes externos.

En vista de que ya se tienen varias estrategias seleccionadas las cuales fueron escogidas en base a criterios cualitativos y por lo evaluado ya en la empresa se realizará un análisis cuantitativo para observar cual sería la estrategia más favorable para lograr el objetivo. Se usará el siguiente criterio para construir la Tabla 7.

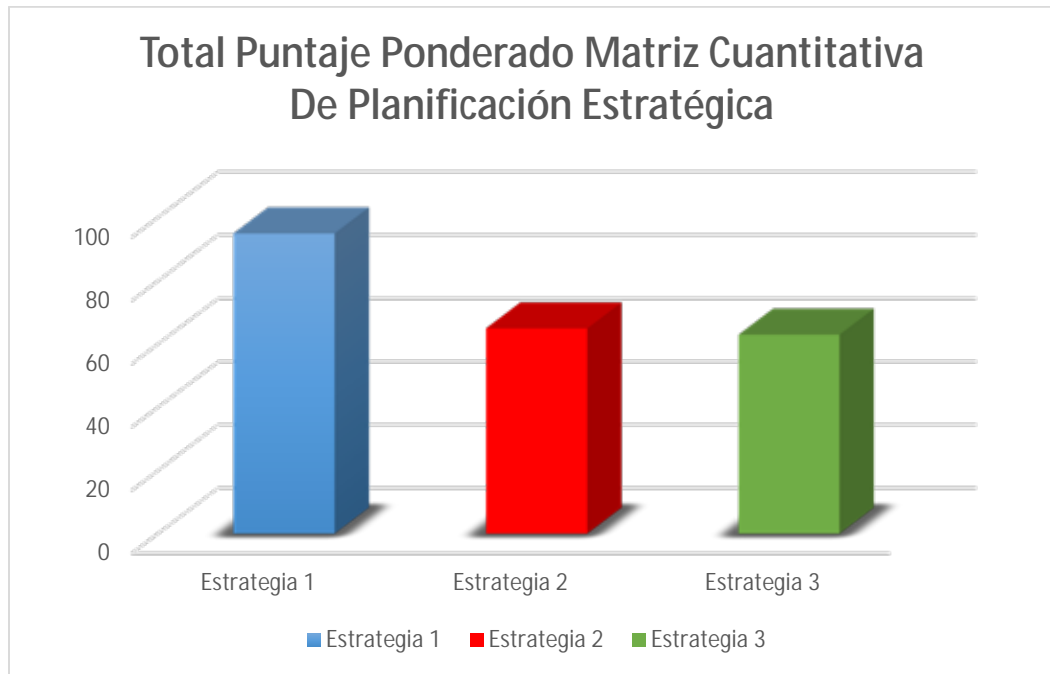
Puntaje de atracción	<b>PA</b>
Total, de Puntaje de Atracción	<b>TPA</b>
No es aceptable	1
Posiblemente aceptable	2
Probablemente aceptable	3
Muy aceptable	4

**Tabla 7:** Matriz Cuantitativa De Planificación Estratégica.

FACTORES CLAVES	Clasificación	ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS					
		Estrategia 1		Estrategia 2		Estrategia 3	
		PA	TPA	PA	TPA	PA	TPA
<b>FACTORES INTERNOS</b>							
Variedad de Motores para diferentes configuraciones	4	4	16	3	12	2	8
Torre de transferencia en buenas condiciones	3	3	9	3	9	2	6
TR-2 operativa	4	3	12	3	12	4	16
Transportador TR-1A el cual tiene deficiencia de diseño	1	1	1	1	1	1	1
Caseta TT-1 instalada para el sistema transportador actual	2	2	4	1	2	1	2
Sistema de carga auxiliar instalado en TT-1	2	2	4	3	6	1	2
<b>FACTORES EXTERNOS</b>							
Equipos en contacto con sustancias abrasivas por derrames de material	1	1	1	1	1	1	1
Ambiente altamente corrosivo	1	2	2	2	2	2	2
Estructuras expuestas al aire libre	2	3	6	1	2	3	6
Alto stock de materiales que pueden ser utilizados	3	4	12	1	3	4	12
Cinta transportadora TR1	4	4	16	3	12	1	4
Rodillos almacenados	3	4	12	1	3	1	3
<b>TOTAL PUNTAJE PONDERADO</b>		<b>95</b>		<b>65</b>		<b>63</b>	

Fuente: Ynfante 2020.

Según la tabla 7 matriz cuantitativa de planificación estratégica los resultados obtenidos fueron los siguientes. Ver gráfico 1.

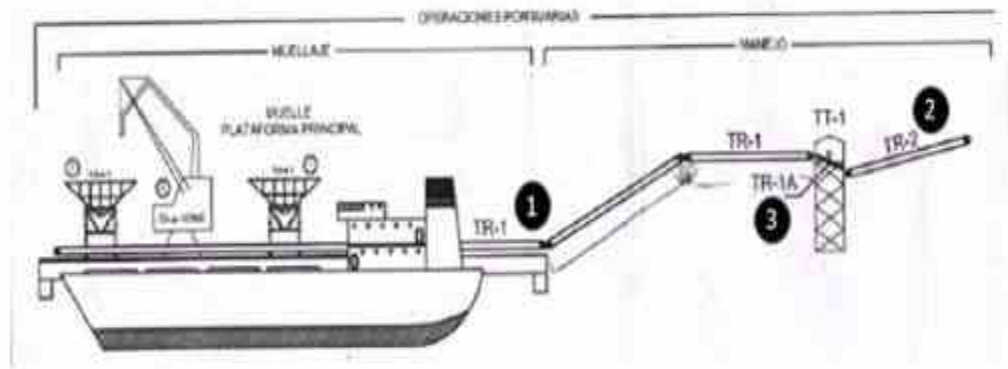


**Grafico 1:** Total Puntaje Ponderado Matriz Cuantitativa De Planificación Estratégica  
**Fuente:** Ynfante 2020.

Para concluir el análisis de la matriz FODA tanto Cualitativo como cuantitativo se consideran los siguientes resultados. Como se puede apreciar la estrategia maestra a seguir será la Estrategia 1 la cual establece “Rediseñar el modelo actual aprovechando los recursos disponibles”. Además, analizando las tablas 4 y 5 se considera que los agentes internos son más críticos ya que el análisis de resultados ponderados es mayor que el de agentes externos por lo que se tienen que atacar con prioridad los factores internos de la empresa que agravan el problema existente.

### 5.3 Presentar la propuesta en cuanto al diseño de la maquina más ajustada a los requerimientos de la empresa Vopak Venezuela.

En esta etapa se evaluarán los posibles diseños que se pueden aplicar para cumplir con las propuestas planteadas de disminuir la pérdida de producto durante la transferencia de material de la cinta TR1 a TR2 en la empresa Vopak Venezuela, para cumplir con este objetivo primero se analizará de la estructura que conforman TR1 y TR2 es decir TT1 como se muestra a continuación en la figura 29.



**Figura 29:** Diagrama de Flujo Sistema de seco Vopak Venezuela, S.A.

Fuente: Vopak 2020.

Leyenda:

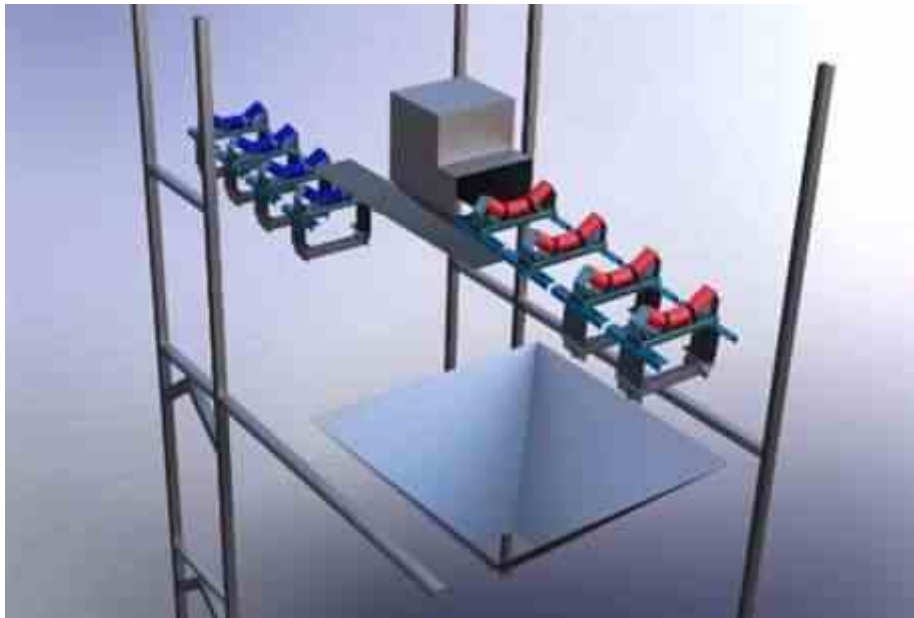
1. Transportador TR-1
2. Transportador TR-2
3. Caseta TT-1

Para facilitar el análisis de esta estructura por medio de la herramienta solidworks y con ayuda de las imágenes recolectadas en la empresa Vopak se modelaron elementos claves con la finalidad de rediseñar y evaluar la estructura (ver figura 27), la ventaja de usar el programa solidworks es poder modificar con libertad las geometrías actuales del diseño cumpliendo así con la estrategia 1 de la matriz FODA la cual demostró de manera cuantitativa y cualitativa que la mejor estrategia para solucionar el problema actual es redefinir el diseño presente, que se muestra en

la figura 30, aprovechando los recursos disponibles para evitar el derrame de material que se presenta en la caseta TT-1. Además, se evaluarán los siguientes diseños que podrían reemplazar la configuración actual como alternativa para la mejora continua.



**Figura 30:** Fotografía TT-1 Vopak Venezuela, S.A.  
**Fuente:** Ynfante 2019.



**Figura 31:** Modelado Referencia de torre de transferencia TT-1  
**Fuente:** Ynfante 2020.

### 5.3.1 Banda tipo tubo:

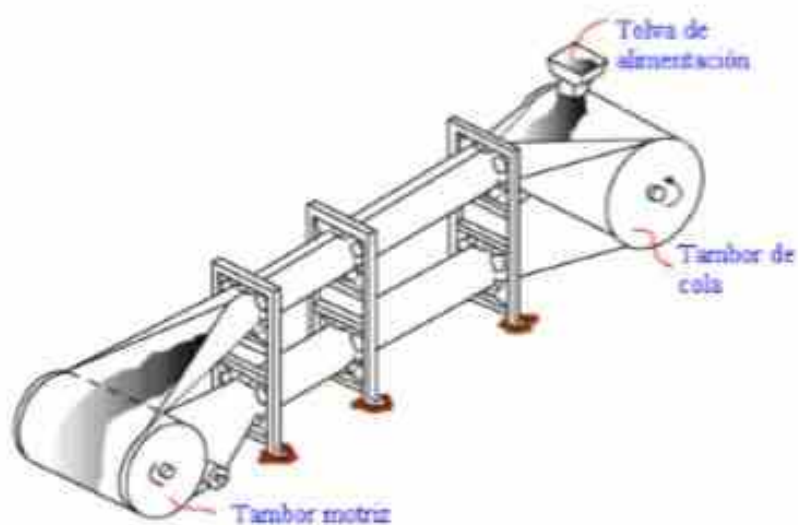
Cuando se requiere de un ambiente de trabajo impecablemente limpio, lo más conveniente es emplear un sistema de sellado para la banda transportadora. La banda tipo tubo permite transportar materiales sin derramamiento, incluso en el retorno de la banda. También permite sistemas inclinados y con curvas que ayudan a disminuir espacio en el equipo. Por otra parte, simplifica el transportador y asegura un ambiente libre de contaminación. Las principales características de las bandas tipo tubo son:

Evita derramamientos de material y que el producto transportado sea contaminado con sustancias que puedan caer sobre él.

Permite curvas inclinadas simplificando el sistema y disminuyendo espacio.

Se logra un nivel más bajo de ruido y vibración.

Para diseñar este tipo de banda como se ve en la siguiente figura 32 se necesita conocer el tipo de banda que se va a usar y el diámetro de los tambores motrices, la selección de la banda es similar para una banda plana.



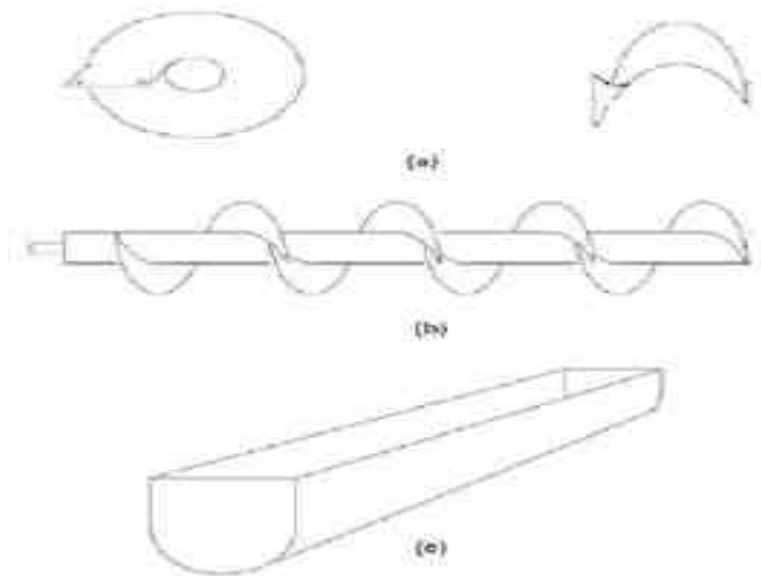
**Figura 32:** Esquema Banda tipo tubo.

**Fuente:** Rodríguez Galbarro. 2019.

### 5.3.2 Sistema de transición con tornillo sin fin:

El transporte por tornillos se utiliza para manejar material muy fino, materiales muy calientes o químicamente muy activos. Consisten en un tornillo que gira dentro de una carcasa, en la figura 33 se muestran los principales componentes de este tipo de transporte. Los tornillos también pueden funcionar con algún grado de inclinación, si el transporte es horizontal la carcasa puede tener una sección transversal con forma de U, sin embargo, en transporte inclinado la carcasa es cilíndrica para proteger el material y en este caso en particular para evitar esparcir el material a transportar en la torre TT-1.

La potencia requerida para el movimiento del tornillo y el consecuente transporte depende obviamente de las dimensiones del sistema y de la calidad del material, por lo que se necesitaría el motor que ya usaba anteriormente la cinta transportadora anterior. Antes de conocer las expresiones matemáticas que permiten obtener el flujo de material que puede desplazar un transportador de tornillo, es necesario definir los siguientes conceptos:



**Figura 33:** Componentes principales de un tornillo sin fin.

**Fuente:** Transporte mecánico de Sólidos. Criba 2013.

### La hélice:

Para el manejo de materiales y productos normales, la hélice de un transportador de tornillo está normalmente fabricada en chapa de acero al carbono de 3 a 4 mm de espesor. Su diámetro suele ser inferior en unos 2 cm al de la carcasa, ya que no deberá rozar las paredes de la misma cuando el eje del tornillo gire. El tipo de hélice varía en relación al producto a transportar y de su función y se puede seleccionar según los siguientes criterios, (ver figura 34). Debido a que los materiales a transportar poseen un coeficiente de roce muy bajo se seccionara una hélice de gran paso para materiales que fluyen muy bien

Tipo de Hélice	Tipo de Material para Transportar / Aplicación	Figura
Hélice continua. de paso igual al diámetro	Tipo de hélice normal para transporte de sólidos	
Hélice de gran paso, de 1,5 a 2 veces el diámetro	Se utiliza para productos que fluyen muy bien	
Hélice de pequeño paso, normalmente la mitad del diámetro	Se utiliza en tornillos sin fin inclinados hasta unos 20-25° o cuando se quiere un prolongado tiempo de permanencia del producto en el transportador con el objeto de enfriarlo, secarlo, etc.	
Hélice de paso variable	Utilizado para compresión de productos, como es el caso de las prensas de tornillo.	
Hélice de diámetro variable	Se utiliza como extractor dosificador de sólidos de tolvas.	
Hélice de cinta	Tipo de hélice adecuada para productos que producen atascamiento.	

**Figura 34:** Distintos tipos de hélices, según el tipo de material a transportar.

Fuente: Rodríguez Galbarro. 2019.

### Velocidad de giro del tornillo:

La velocidad de giro (n) de los transportadores de tornillo depende, entre otros factores, de la naturaleza del material a transportar. En este sentido y según el tipo de material a desplazar, la velocidad de giro del tornillo suele estar comprendida, con buena aproximación, entre los siguientes rangos:

- Para

En la figura 35 se indica la velocidad de giro recomendada para un transportador de tornillo en función de la clase de material y del diámetro del tornillo:

Diámetro del tornillo (mm.)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*)				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	160	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

**Figura 35:** Velocidad de giro recomendada para un transportador de tornillo.

**Fuente:** Rodríguez Galbarro. 2019.

Los materiales de Clase III son materiales semi-abrasivos de pequeño tamaño, mezclados con polvos, con peso específico que se sitúa entre 0,6 - 1,2 t/m<sup>3</sup>. Como el material que representa un problema mayor es la Urea se usará la misma como referencia para los cálculos cuya densidad es de 0.77 t/m<sup>3</sup>. Se usará un diámetro de tornillo de 600 por las dimensiones que se encuentran en la TT-1

Al determinar el diámetro a trabajar y con la recomendación del paso de la hélice se puede determinar que el paso será 1.5xDiámetro hélice por lo que quedaría la siguiente expresión.

Paso=  $1.5 \times (600\text{m.m}) = 900\text{m.m}$

Ahora se determinará el Área de relleno del canalón (S):

\_\_\_\_\_

Ec. (36)

Donde:

S: Es el área de relleno del transportador, en m<sup>2</sup>

D: Es el diámetro del canalón del transportador, en m

abrasivos

Desarrollando la ecuación:

\_\_\_\_\_

Velocidad de desplazamiento del transportador (v):

\_\_\_\_\_

Ec. (37)

Donde,

Es la velocidad de desplazamiento del transportador, en

Es el paso del tornillo o paso de hélice, en

Es la velocidad de giro del eje del tornillo, en

Desarrollando:

\_\_\_\_\_

Determinación del flujo de material (Q):

Ec. (38)

Donde:

: Es el flujo de material transportado, en

: Es el área de relleno del transportador, en , visto anteriormente

Es la velocidad de desplazamiento del transportador, en ,

Es la densidad del material transportado para la urea 0.77

: Es el coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador. Que para 10° es 0.8

Sustituyendo en la ecuación:

Potencia de accionamiento:

La potencia de accionamiento ( ) de un transportador de tornillo sin fin se compone de la suma de tres componentes principales, según se refleja en la siguiente expresión:

Ec. (39)

Donde:

: Es la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material

: Es la potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío

: Es la potencia necesaria para el caso de un tornillo sin fin inclinado

Se desarrolla cada potencia por separado y se determinara de la siguiente manera:

\_\_\_\_\_

Ec. (40)

Donde:

Es el flujo de material transportado, en

Es la longitud del transportador, en

Es el coeficiente de resistencia del material transportado. Para el conocer el valor de este coeficiente, se puede emplear la figura 36 obtenida empíricamente a partir del ensayo con materiales de distinta naturaleza:

Tipo de material	Valor de $c_D$
Harina, serrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, saí de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

**Figura 36:** Coeficiente de  
transporta el tornillo.

**Fuente:** Rodríguez Galbarro. 2019.

Se utilizará el valor de  $C_o=4$  por la naturaleza de los materiales a transportar, quedando la expresión de la siguiente manera.

\_\_\_\_\_

Luego PN seria.

—

Ec. (41)

Donde,

: Es el diámetro de la sección del canalón de la carcasa del transportador, en

: Es la longitud del transportador, en

Quedaría de la siguiente manera.

\_\_\_\_\_

Por último.

---

Ec. (42)

Donde,

: Es el flujo de material transportado, en

Es la altura de la instalación, en

Sustituyendo.

---

Para determinar la Potencia Requerida se suman todas las potencias anteriores dando como resultado la siguiente expresión:

Lo que sería equivalente a 3.8 4 HP

### **5.3.3 Transición tubular:**

También se tiene una propuesta para el remplazo de la banda actual por un tubo continuo de acero, liso y continuo de 2mm de espesor, 4.5m aproximadamente de longitud y con una inclinación de 20° a 30° entre TR-1 y TR-2 que permita el flujo constante de material sin ningún elemento de por medio que pueda interrumpir su paso. Este sistema sería una transición netamente mecánica y que es posible gracias al grado de inclinación que permite la instalación y las propiedades del material que le permite deslizarse con facilidad en este tramo corto del recorrido.

Las consideraciones para esta configuración residen en la banda TR-2 ya que esta recibiría todo el impacto que lleva el material por la inercia del movimiento que gana al deslizarse por el tubo, por lo que tiene que ser tomado en cuenta el diseño de un rodillo de impacto para soportar la carga que representa el material.

### **5.3.4 Elementos de optimización asociados a la transferencia TT-1**

Colector de polvo:

En todo sistema de transporte donde se trabaja con materiales granulares y en polvo ocurren generalmente en transiciones levantamiento de polvos que son dispersados al ambiente alterando el equilibrio del ecosistema, tal es el caso que ocurre en la empresa Vopak, el cual en la transición TT-1 por no tener funcionando los colectores de polvo por desperfectos, la falta de hermetizar la zona de transición y por no tener estaciones capotes necesarios para evitar el derrame de material. La emisión de material al ambiente y zonas adyacentes, ocurre en la caseta TT1 que se muestra a continuación en las siguientes figuras 37 y 38:



**Figura 37:** Polvos emitidos al ambiente desde la caseta TT1.

**Fuente:** Ynfante 2019.



**Figura 38:** Polvos emitidos al ambiente transición TT1-TT2.  
**Fuente:** Ynfante 2019.

La emisión de polvo al ambiente puede causar enfermedades crónicas a los empleados directos de la empresa y al personal que hacen vida laboral a través de contratistas, por esto es de gran necesidad poner en funcionamiento los colectores de polvos del sistema que están fuera de servicio por falta de mantenimiento a motores de los extractores, ductos rotos fugas en los ductos por corrosión, sensores y válvulas dañadas, huecos en puertas de servicio de colectores, falta de capotes en la estructura, y barandas del sistema TR1-A rotas, a continuación en la figura 39 y 40 se muestran imágenes que sustentan la información dada.



**Figura 39:** Extractor y motor trancados.  
Fuente: Ynfante 2019.



**Figura 40:** Ductos con fugas por Corrosión  
Fuente: Ynfante 2019.

### **Hermetizado de sistema de transición:**

Es necesario contar con un sistema hermético para que el colector de polvo mencionado anteriormente pueda realizar su trabajo de manera eficiente, las instalaciones al encontrarse al aire libre son vulnerables a los agentes externos como por ejemplo las fuertes brisas que chocan contra los materiales a granel que son transportados hacia la TT-1, para disminuir este efecto se instala un capote que impide a dichos agentes externos agitar el material y contenerlo hasta que llegan a la zona de transición, este capote se muestra en la figura 41 además los efectos de no poseer capotes en todas las zona de traslado se muestran en la figura 42 donde se puede apreciar los fuertes síntomas de corrosión, efecto de la falta de mantenimiento y hermetizado, la agresividad del material y la exposición al ambiente costero.



**Figura 41:** Capotes instalados en serie a lo largo del recorrido de la cinta  
**Fuente:** Ynfante 2019.



**Figura 42:** Falta de hermetizar el sistema de transición.

Fuente: Ynfante 2019.

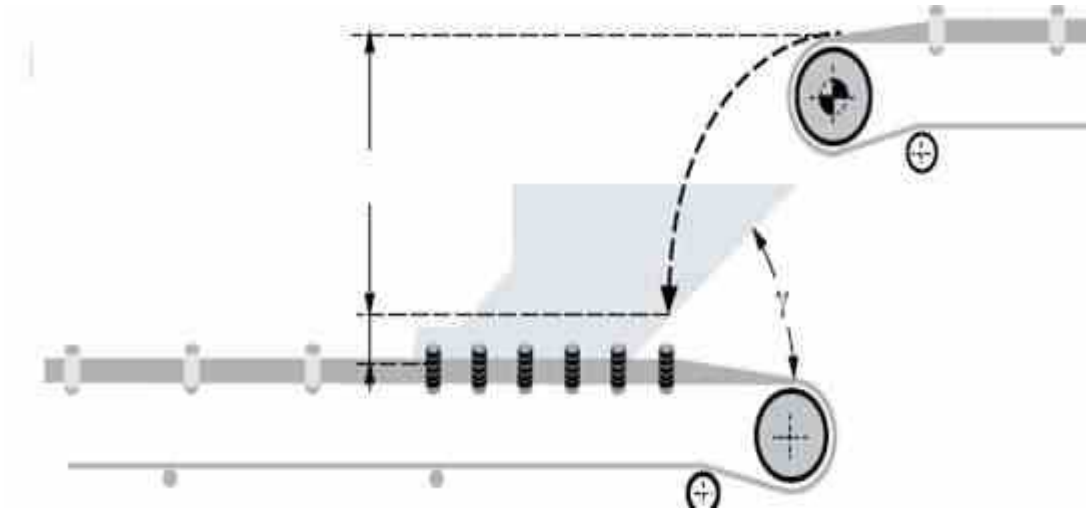
En las figuras 41 y 42 mostradas anteriormente se puede observar como el hermetizado afecta directamente al sistema, generando pérdidas de material importantes. Esto sucede ya que en las transiciones del sistema no existe colectores de polvos funcionando, los extractores están dañados totalmente, y las paredes de hermetizado de las transiciones tienen huecos como muestra de los daños ocurridos por la fuerte corrosión presentada en el sistema transportador, la cinta de transición tiene las barandas rotas causando derrame de material por el lateral, estos polvos

generados son esparcidos al ambiente provocando suciedad y acentuándose en tanques, válvulas, tuberías, acelerando el proceso de corrosión de los mismo.

Tolva de TT-1:

Por último, el elemento más crítico de este sistema es la cinta transportadora de 4.5m que se encuentra ubicada en TT-1 ya que hay varios factores que promueven el derrame de material en esta zona en particular como la diferencia de velocidad que tiene la cinta de 4.5m con la cinta que viene desde el muelle de descarga, al ser más rápida la cinta de la TT-1 y por el ángulo de impacto de la transición se genera un impacto en el material a granel lo que trae como consecuencia un derrame en el material.

Al enfocar esa idea de impacto es conveniente buscar una forma de suavizar la transición del material por lo que el remplazo de la cinta es conveniente, al no ser utilizada con los fines que se le diseño resulta perjudicial para el proceso seguir usando este método de transición, es por esto que se diseñó una nueva forma de trasladar el material desde TR-1 hasta TR-2 con los elementos ya presentes en TT-1 en este sentido la tolva puede ser utilizada como parte de la transición desde una cinta a otra. La idea surge de los criterios de diseño de las cintas transportadoras del bulk handling “Rodillos y componentes para el transporte de material a granel” por Rulmecca como se puede observar en la figura 43 y 44 se aprecia el concepto en el cual se basará el uso de la tolva como elemento de transición.



**Figura 43:** Sistema de alimentación para materiales a granel en cintas transportadoras.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).



**Figura 44:** Tolva ubicada en TT-1.

**Fuente:** Ynfante 2019.

#### **5.4 Efectuar el diseño de la propuesta seleccionada en la empresa Vopak Venezuela S.A.**

Luego de analizar las distintas posibilidades se seleccionará el diseño que mejor se adapte a las condiciones actuales y que a su vez sea más económicamente factible.

Como se vio en el apartado anterior existen distintas posibilidades de configuración para adaptarlas al nuevo sistema, no solo en la reestructuración, también se contempla la mejora continua de los elementos que aumentan la pérdida de material en la zona, se habla de la optimización del sistema de hermetizado y los capotes que son necesarios para el óptimo funcionamiento de la zona de trabajo.

Al analizar las distintas propuestas que son:

Banda tipo tubo

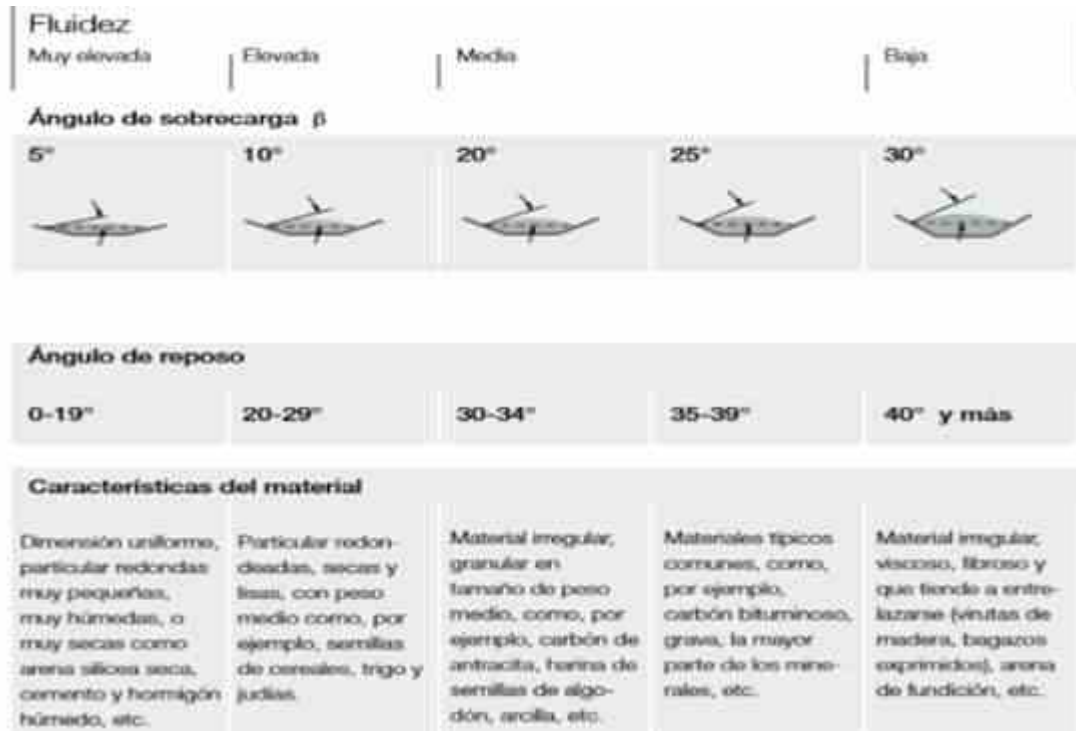
Tornillo sin fin

Transición tubular

Se llega a la conclusión que la transición tubular permite una fluidez del material a granel mayor y necesaria para impedir que el material se atasque en la transición y genere pérdidas. La banda tipo tubo puede ser una opción factible pero los costos que genera son mucho mayores y le quita factibilidad al proyecto, por otra parte el tornillo sin fin cuenta con una ventaja debido a que ya se cuenta con el motor necesario para poder mover la hélice del tornillo, la desventaja en este caso es que la cantidad de T/h que maneja actualmente la planta Vopak Venezuela, Estado Carabobo es de aproximadamente 80 T/h por lo que el elemento que se encuentre ubicado en TT-1 debe manejar este volumen de material, el tornillo sin fin que se analizó maneja hasta 60 T/h por lo que no cumple con las especificaciones necesarias para ubicar un tornillo sin fin en esta área.

Un sistema tubular como un ducto simple que se explica en el apartado **5.3.3 Transición tubular** permite trabajar con una fluidez de material que tolera las T/h que necesita Vopak Venezuela. Como se ve en la figura 45 el ángulo de reposo y fluidez de materiales que se encuentra en el manual de Rulmecca de diseño de cintas transportadoras nos indica que el material como la urea posee una fluidez muy elevada debido a las características de este material (ver Anexo B). Por consiguiente,

se asegura que el material fluirá libremente por el ducto el cual poseerá unas medidas que evitaran los cuellos de botellas que se puedan generar.



**Figura 45:** Fluidez de los materiales.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmeca. pag 53. (2010).

En dicho caso de remplazar el sistema actual por el ya mencionado de forma tubular es necesario realizar un rediseño en la parte receptora del material la cual sería TR-2 debido a que los rodillos que reciben la carga estarán sometidos a otro tipo de impacto, para redefinir los rodillos se realizaran los siguientes pasos:

Para la elección del rodillo es necesario ir a la Tab. 16 “Diámetros de los rodillos aconsejado” del manual de Rulmeca “Rodillos y componentes para el transporte por banda de material a granel” la cual se aprecia en la figura 46, con esto se determina que para una banda de 1000 mm la cual es el modelo que se encuentra

actualmente en Vopak y con una velocidad requerida de 4 m/s (dicha velocidad es para la condición más exigente). Se elige el rodillo con un diámetro de 133 mm.

Ahora se determina la carga que gravita sobre los rodillos. Suponiendo que se utiliza una banda con clase de resistencia igual a 315 N/mm, con revestimiento de espesor 4 + 2 que genera un valor de qb de 9,9 Kg/m se tiene que:

**Tab. 16 - Diámetro de los rodillos aconsejado**

Ancho banda mm	Para velocidad ≤ 2 m/s			2 + 4 m/s			≥ 4 m/s		
	Ø rodillos mm			Ø rodillos mm			Ø rodillos mm		
500	89			89					
650	89			89	108				
800	89	108		89	108	133	133		
1000	108	133		108	133		133	159	
1200	108	133		108	133	159	133	159	
1400	133	159		133	159		133	159	
1600	133	159		133	159	194	133	159	194
1800	159	159	194	159	194				
2000	159	194		159	194		159	194	
2200 y superior	194			194			194		

**Figura 46:** Diámetro de los rodillos aconsejado.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca, pag 53. (2010).

La carga estática para los rodillos viene dada por:

—

Ec. (43)

Donde:

Iv = capacidad de transporte de la banda t/h = **100 t/h**

v = velocidad de la banda m/s = **4 m/s**

= paso de las estaciones m = **1,35 m** (ver figura 47)

qb = peso de la banda por metro lineal Kg/m = **9,9 Kg/m**

Fd = factor de choque véase Tab.20 (dependiente del tamaño del material) = **1**  
(ver figura 48)

Fs = factor de servicio véase Tab.18 = **1,2** (ver figura 49)

Fm = factor ambiental véase Tab.19 = **1,1** (ver figura 50)

**Tab. 6 - Paso máximo aconsejable de las estaciones**

Ancho banda m	Paso de las estaciones ida peso específico del material a transportar t/m <sup>3</sup>			retorno m
	< 1.2 m	1.2 ÷ 2.0 m	> 2.0 m	
300	1.65	1.50	1.40	3.0
400				
500				
650				
800	1.50	1.35	1.25	3.0
1000	1.35	1.20	1.10	3.0
1200	1.20	1.00	0.80	3.0
1400				
1600				
1800				

**Figura 47:** Paso máximo aconsejable.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmeca. pag 53. (2010).

Tab. 20 - Factor de choque Fd

Tamaño del material	Velocidad de la banda m/s						
	2	2.5	3	3.5	4	5	6
0 ÷ 100 mm	1	1	1	1	1	1	1
100 ÷ 150 mm	1.02	1.03	1.05	1.07	1.09	1.13	1.18
150 ÷ 300 mm en estrato de material fino	1.04	1.06	1.09	1.12	1.16	1.24	1.33
150 ÷ 300 mm sine estrato de material	1.06	1.09	1.12	1.16	1.21	1.35	1.50
300 ÷ 450 mm	1.20	1.32	1.50	1.70	1.90	2.30	2.80

**Figura 48:** Factor de choque Fd.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).

Tab. 18 - Factor de servicio

Duración	Fs
Menos de 6 horas al día	0.8
De 6 a 9 horas al día	1.0
De 10 a 16 horas al día	1.1
Más de 16 horas al día	1.2

**Figura 49:** Factor de servicio.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).

**Tab. 19 - Factor ambiental**

Condiciones	Fm
Limpio y con mantenimiento regular	0.9
Con presencia de material abrasivo o muy corrosivo	1.0
Con presencia de material muy abrasivo o corrosivo	1.1

**Figura 50:** Factor ambiental.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).

Reemplazando quedaría:

—

Luego para la carga dinámica Ca' seria:

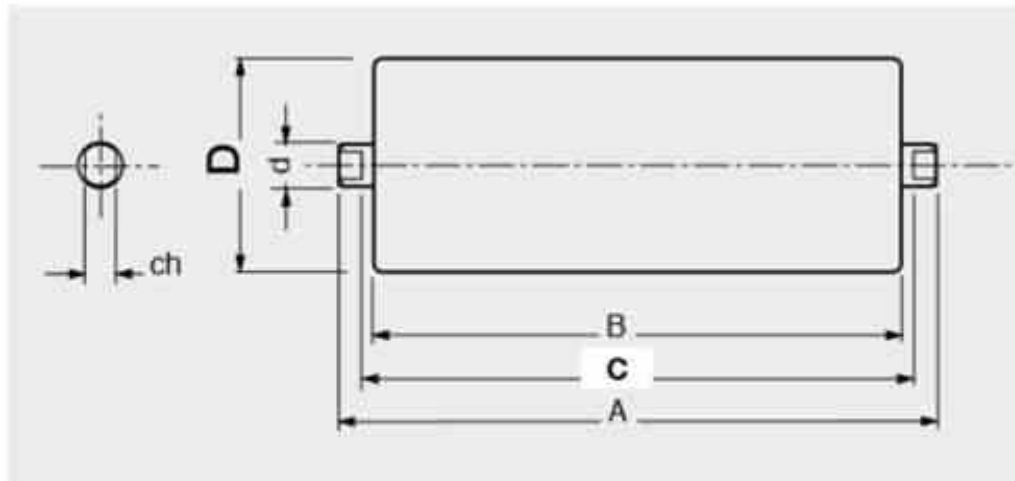
Ec. (44)

Reemplazando:

Aplicando un factor de seguridad de **3**, es decir  $F_s = 3$  quedaría de la siguiente manera:

Siendo esta la carga requerida se buscará en el catálogo de Rulmecca “Rodillos y componentes para el transporte por banda de material a granel” el rodillo que se

adapte a la carga requerida, además para ello es necesario conocer lo siguiente. Como se ve en la figura 51 se establecen las medidas y la forma de representar el rodillo para su pedido.



**Ejemplo:**

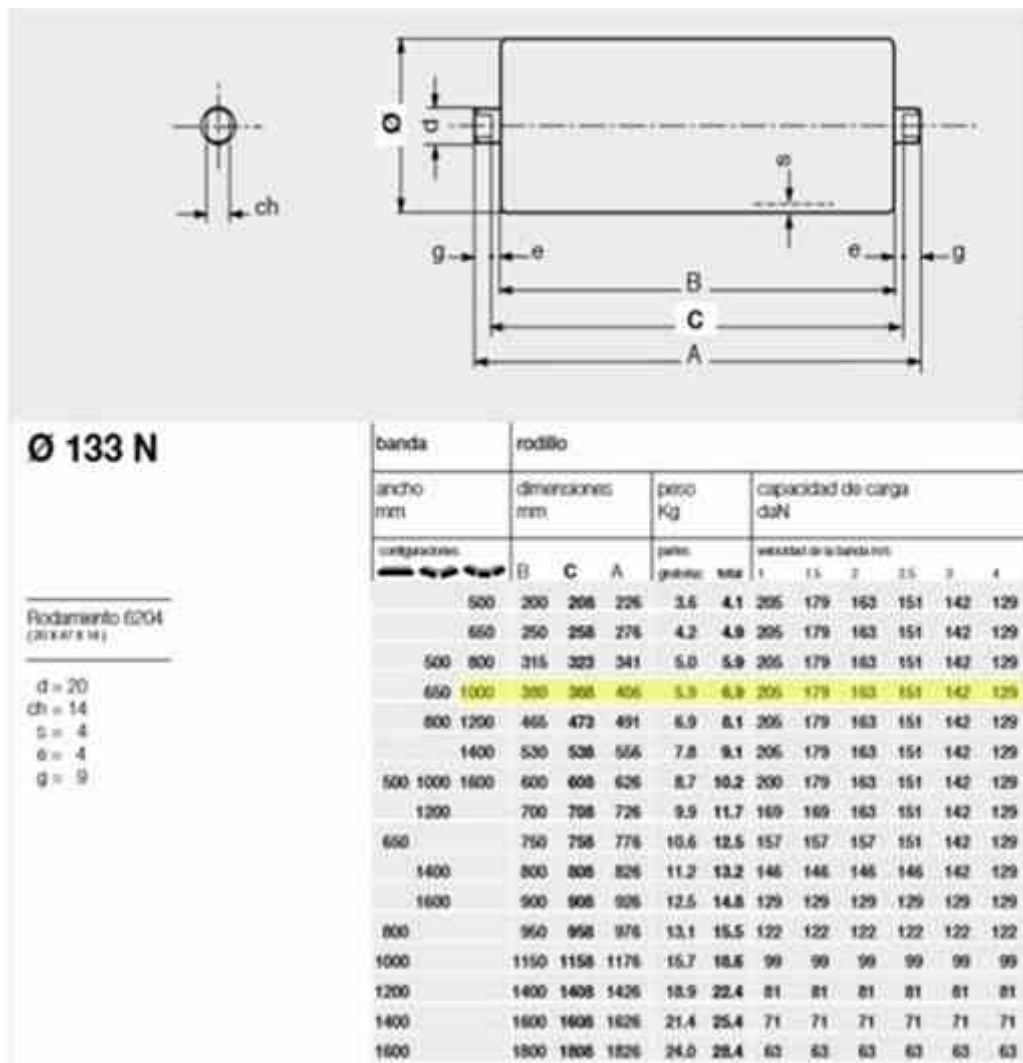
	PSV	1	20	F*	108	N	323
Serie	_____						
Tipo	_____						
Diámetro eje	_____						
Ejecución eje	_____						
Ejecución suplementaria eje	_____						
Diámetro rodillo	_____						
Ejecución base tubo	_____						
Ejecución suplementaria tubo	_____						
Longitud <b>C</b>	_____						

\* Nota: Especificar el valor de "ch" si es diferente del estándar.

**Figura 51:** Medidas para la selección de rodillo.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).

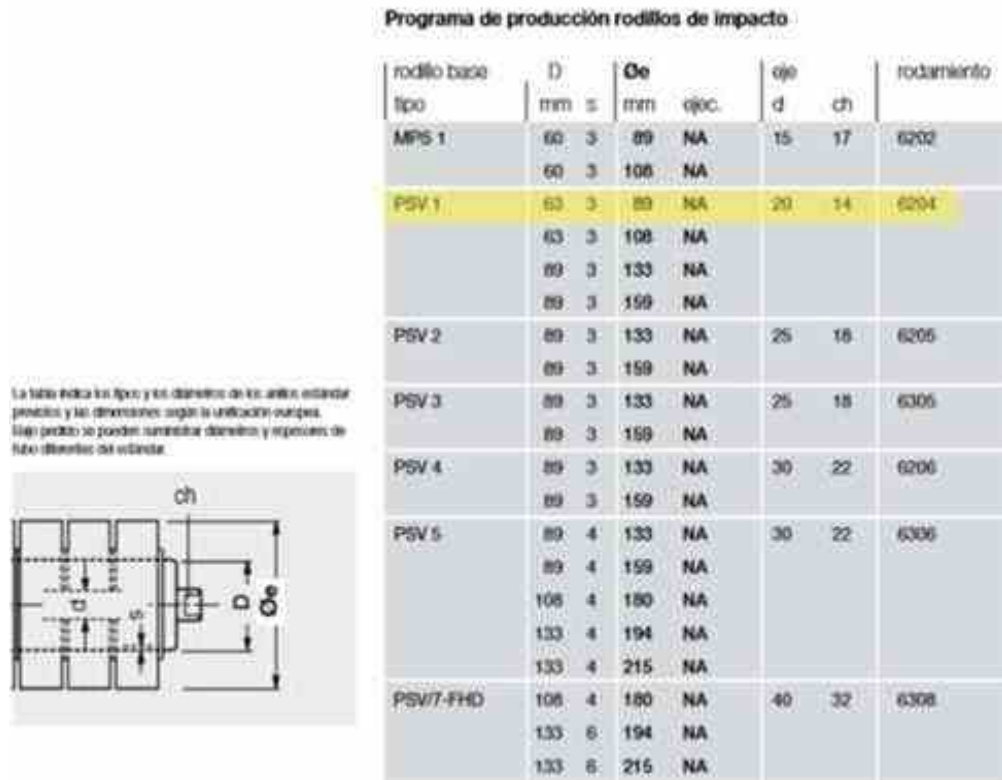
Como se observa en la figura 52 se puede seleccionar un rodillo tipo PSV1 portante de con rodamiento 6204 de longitud C= 388 mm con una capacidad de carga de 129 daN que cumple con la capacidad de transporte requerida de 90 daN. Por otra parte tambien es necesario describir como seran las características del rodillo en este caso en particular se establecio que los rodillos iniciales seran de impacto.



**Figura 52:** Selección de rodillo PSV1.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).

Para que el rodillo sea de impacto se establecen las siguientes medidas al igual que la selección anterior, en este caso se seleccionó un PSV1 el cual se describe en la figura 53



**Figura 53:** Tipos de rodillo de impacto.

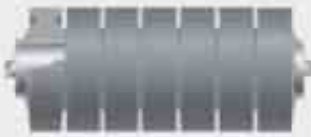
**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).

Por último, se establece el nombre del rodillo para su pedido, la selección final para las condiciones de carga requerida y con rodillo de impacto sería un **PSV1 89F**

**133NA388 6206** el cual se encuentra en el catálogo de Rulmecca y se ve en la figura 54. Otro apartado es la selección del material del rodillo la cual podría ser también tipo I o tipo V para un material de acero inoxidable AISI 304 o un rodillo de PVC rígido respectivamente, esto se aprecia en la figura 55. La selección del material

dependerá del presupuesto que se apruebe al proyecto y de los requerimientos de la empresa.

serie  
**Impacto**



**Øe 133 NA**

Rodillo tipo:

<b>PSV 1</b> D = 89; eje 20; di = 20 rodamiento 6204 ch = 14	<b>PSV 4</b> D = 89; eje 30; di = 30 rodamiento 6206 ch = 22
<b>PSV 2</b> D = 89; eje 25; di = 25 rodamiento 6205 ch = 16	<b>PSV 5</b> D = 89 x 4"; eje 30; di = 30 rodamiento 6306 ch = 22
<b>PSV 3</b> D = 89; eje 25; di = 25 rodamiento 6305 ch = 18	

\* grueso superior al estándar

banda ancho mm	rodillo			peso Kg					anillos E = 30
	dimensiones mm			Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Hv5	
500	300	308	*	3.7					
800	250	258	*	4.5	5.1				
500	800	315	323	*	5.8	6.2	6.5	7.2	7.9
450	1000	380	388	*	6.6	7.3	7.7	8.6	9.1
800	1200	465	473	*	7.8	8.6	8.9	9.9	10.5
	1400	520	530	*	8.8	9.7	10.1	11.2	11.8
500	1000	600	608	*	10.1	11.1	11.4	12.7	13.3
	1800	670	678	*	12.2	12.6	12.9	14.5	14.5
	1200	700	708	*	11.4	12.6	12.9	14.3	14.9
600	2000	750	758	*	12.3	13.5	13.9	15.3	15.9
	1400	800	808	*	12.9	14.2	14.6	16.2	16.4
	1600	900	908	*	14.5	15.9	16.3	18.0	18.6
800		950	958	*	14.6	17.1	17.5	19.3	19.9
	1800	1000	1008	*	16.2	16.4	20.1	20.7	
	2000	1100	1108	*		19.8	21.7	22.3	
1000		1150	1158	*	18.7	20.5	20.8	23.0	23.6
1200		1400	1408	*	22.4	24.6	24.9	27.5	28.1
1400		1500	1508	*	25.5	27.9	28.3	31.2	31.8
1600		1800	1808	*	28.0	30.7	31.0	34.3	34.9
1800		2000	2008	*		34.0	34.4	38.0	38.6
2000		2200	2208	*			37.5	41.5	42.1

**Figura 54:** Selección de rodillo de impacto.

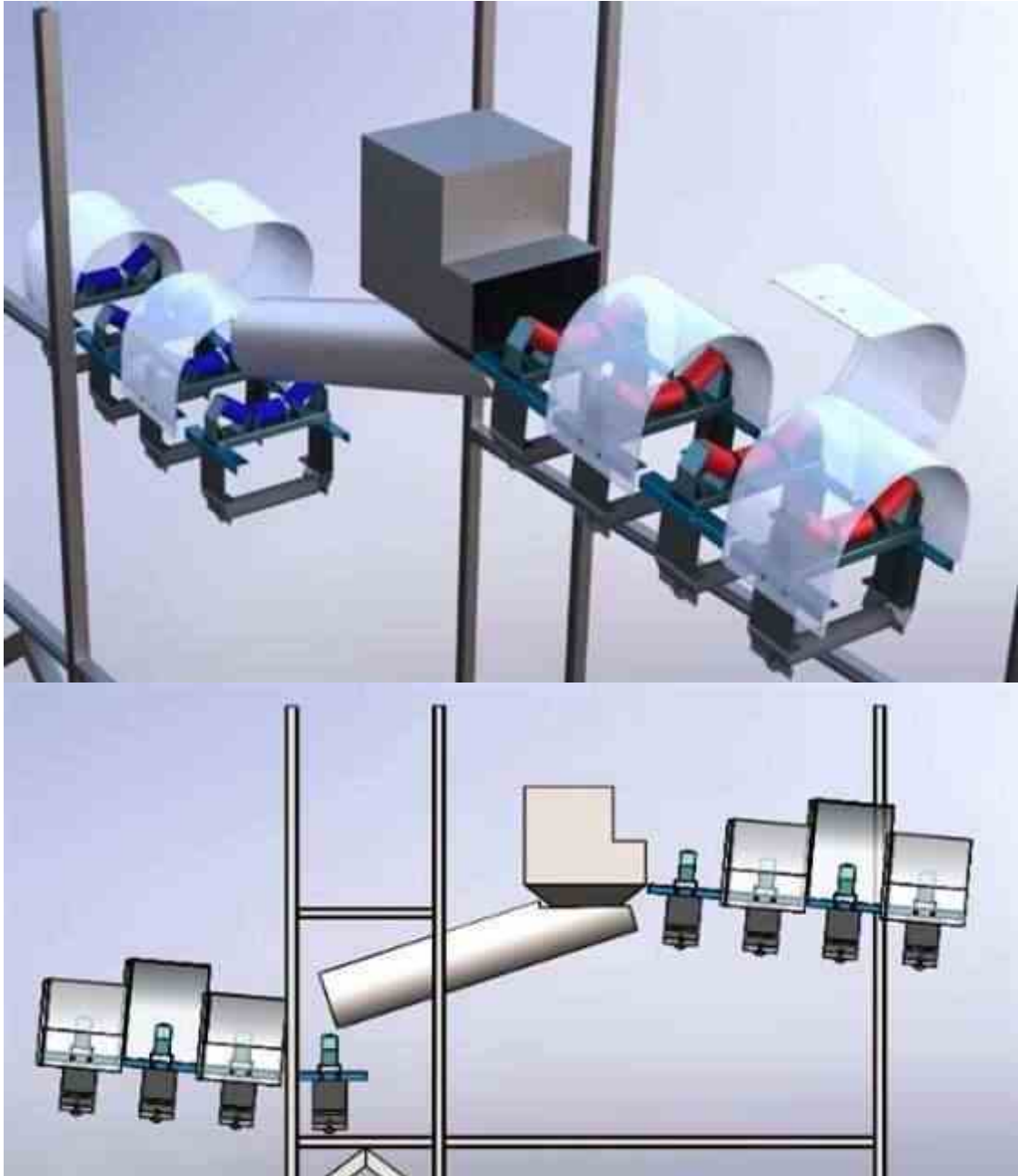
**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmecca. pag 53. (2010).

Ejecución tubo		Descripción	Notas
Sigla Ejeon	Suplementaria		
N		acero S235JR (EN 10027-1), ex Fe360 (EN 10025), St37 (DIN 17100)	Estándar
I		acero inoxidable AISI 304	Opcional
V		PVC rígido - color gris - RAL 7011	Estándar
S		jaula de espiral metálica	Estándar
J		galvanizado electrolítico - color gris - espesor 10 micras	Estándar
T		resalinización - color gris PA 11 - espesor 100/150 micras	Opcional
Y		desengrasado y pintado con 40-70 micras de epoxy poliester	Opcional
	A	anillos de goma para rodillos de impacto	Estándar

**Figura 55:** Posible materiales para los rodillos.

**Fuente:** Rodillos y componentes para el transporte de material a granel Rulmeca, pag 53. (2010).

Para terminar el resultado de la instalación del ducto permitirá un flujo constante de material hacia la cinta transportadora TR2, por otra parte, se ahorran costos si se toma en cuenta que la tolva que se encuentra en TT-1 puede ser usada como parte del material del tubo, en este orden de ideas esta opción es económicamente más factible que otras disponibles en el mercado. La estructura se vería de la siguiente manera en la figura 56.



**Figura 56:** Modelado Referencial. Nuevo sistema de transición.  
**Fuente:** Ynfante 2020.

### 5.5 Realizar un estudio de la factibilidad económica.

En la siguiente tabla se enlistarán los materiales necesarios para la puesta en marcha del proyecto, el costo se tomará en dólares americanos (\$) debido a que la mayoría de las contratistas externas presupuestan en dicha moneda, como norma general se recomienda buscar 3 presupuestos para analizar la relación calidad costo, pero en esta tabla solo se mostrara un aproximado de la lista de materiales requeridos.

**Tabla 8:** Presupuesto de consumibles

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad – metros (m)</b>	<b>precio</b>
<b>Rodillos de Impacto PSV1 89F 133NA388 6206</b>	9	225\$
<b>Lamina Acero Inoxidable 304 De 1.22 X 2.44 Metros De 1.5 Mm</b>	2	540\$
<b>Tubo 3 X 1 1/2 X 6m</b>	4	21\$
	<b>Inversión:</b>	<b>786\$</b>

Fuente: Ynfante 2020.

Considerando que el levantamiento y ejecución sea por parte de una contratista la cual brindaría los servicios de soldadura he instalación al prepuesto final se le sumarian unos 1000\$ aproximadamente para cubrir estos gastos. A su vez hay que considerar que la factibilidad económica no solo viene dada por la cantidad de dinero

que requiere el proyecto o porque fue la propuesta más económica entre las planteadas en los capítulos anteriores, también, para demostrar que es económicamente viable se evalúan los siguientes criterios:

### **Retorno de la inversión:**

Para el mes de Enero del 2020 el precio de la tonelada de urea se ubica entre los doscientos cincuenta dólares americano por tonelada, considerando que el caudal requerido en la torre de transferencia es de 100 T/h y en promedio hay perdidas de un 4% del producto se habla entonces que la cantidad de urea perdida en un día con una jornada de seis horas de trabajo serian de aproximadamente de 24 kilos de urea.

Si llevamos está perdida constante a un mes serian setecientos veinte dólares al mes, pero el problema de la urea no es solo el costo que representa su perdida sino también el daño que genera en los equipos ya que deteriora el acero atasca los rodillos y si por esta razón genera una parada no programada por más de 1 hora las perdidas por detener el sistema ascienden al orden de los veinte mil dólares la hora. Por lo que en un mes si se invierte en la ejecución del proyecto cinco mil dólares ya se justificaría la inversión.

### **Mantenibilidad:**

Otra razón por la cual se puede garantizar que la inversión es factible es por la mantenibilidad del sistema, debido a que la cantidad de esfuerzo que requiere mantener este tipo de sistema es mucho menor que al tener un sistema complejo de cintas trasportadoras, a su vez los tiempos en los que el sistema permanece en stop por la frecuencia de las embarcaciones que descargan en el área de secos, son suficientes como para aplicar cómodamente un plan de mantenimiento preventivo que minimice las paradas no programadas durante el tiempo de operación en el área de secos en la empresa Vopak Venezuela.

## CONCLUSIÓN

Luego de haber cumplido con las fases de la investigación, las cuales se plantearon para llevar a cabo el presente trabajo de grado que tiene como objetivo general “Diseñar un mecanismo de transición que disminuya la pérdida de material desde la cinta transportadora TR1 a la cinta transportadora TR2 en la empresa Vopak Venezuela, Estado Carabobo”, debido a que se notó una considerable pérdida de material en la transición de las cintas TR-1 y TR-2. Se realizó un estudio para determinar las causas que promueven las pérdidas de material y diseñar un mecanismo que permita solucionar la problemática actual en la banda TT-1, por ello se decidió en base a unos criterios de diseño buscar la solución más factible, la cual consistió en un sistema tubular entre TR-1 y TR-2 que facilita el transporte de material y evita considerablemente las pérdidas actuales, esto a su vez trae como resultado los siguientes beneficios que se clasifican en varias áreas tales como:

En lo económico, la empresa al aplicar este proyecto mejorara el manejo de productos secos, evitará el deterioro de los equipos y estructura, y por consiguiente disminuirá los costos por pérdida de materia y asociados al reemplazo de elementos móviles, así como también aumentara la motivación del personal, debido a que laborarán en condiciones óptimas de operatividad y de seguridad.

Siguiendo el mismo orden de ideas, al implementar este sistema en el proceso de transferencia de la torre TT-1 de productos secos evitará el derrame de producto en el suelo, mar, y la emisión de polvos al ambiente mejorando la calidad laboral a trabajadores que están expuestos a estos polvos; de igual forma el sistema podrá manejar mayor cantidad de T/h de producto ya que se cuenta con los parámetros necesarios para manejar un volumen mayor de producto.

Así mismo, este trabajo que se realizó en la torre de transferencia TT-1 e involucro elementos de la cinta TR-1 y TR2, permite a futuros investigadores obtener soporte como antecedentes de proyectos, así como también el desarrollo de nuevos proyectos que tengan referencia con la mejora del sistemas de transferencia o

descarga de productos secos, facilitando a futuros profesionales conocer métodos y procedimientos utilizados en la investigación y les ayuden a obtener una visión para el desarrollo de sus proyectos; desde el punto de vista metodológico y así poner en práctica diversas herramientas aprendidas durante el periodo de formación en la carrera de Ingeniería mecánica, además, permite adquirir y desarrollar nuevos conocimientos acerca de la Mejora Continua.

## **RECOMENDACIONES**

Para este trabajo de pasantía se presentan una serie de recomendaciones la cuales pueden ser aplicada en un futuro o en otro tipo de investigación.

Analizar otras alternativas para el sistema de transición entre TR-1 y TR-2.

Tomar en cuenta otros factores internos y externos que impidan el correcto flujo del material a trasportar.

Relacionar este tipo de trabajos con otras áreas de la empresa para fomentar la mejora continua del proceso.

Realizar una inspección en todas las líneas de distribución del área de secos para reducir las pérdidas de material ocasionadas por problemas similares.

## ANEXOS

### Anexo A

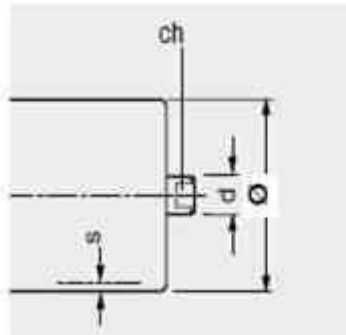
#### Programa de producción serie PSV

La tabla indica los tipos y los diámetros de los rodillos estándares en producción según la unificación europea mediante norma DIN 15207-ISO 1537.

Bajo pedido se pueden suministrar rodillos con medidas, espesores tubo y diámetros diferentes según normas CEMA, BS, JIS, AFNOR y FEM.



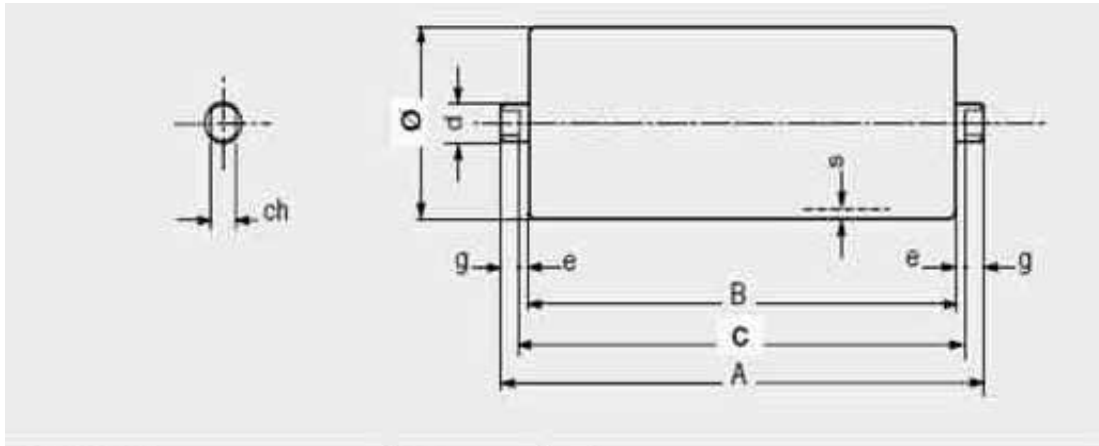
Rodillos certificados de acuerdo a la norma ATEX000500.  
 Grupo 0 categoría 1, categoría MD para minas.  
 Grupo 0 categoría 1, categoría 2D para gas y 2E para polvo.  
 Grupo 0 categoría 1, categoría 2D para gas y 2E para polvo.  
 Grupo 1, 2 para gas, 2D para 2E, 2E para polvo.



Programa de producción serie PSV

rodillo tipo	Ø mm	ejec. base	s	eje d	ch	rodamiento	notas
PSV 1	63	N	3	20	14	6204	con tubo y eje de acero S235JR (EN 10027-1) ax Fe300 (EN 10025), S37 (DIN 17100)
	89	N	3				
	108	N	3,5				
	133	N	4				
PSV 2	89	N	3	25	18	6205	
	108	N	3,5				
	133	N	4				
	159	N	4,5				
PSV 3	89	N	3	25	18	6305	
	108	N	3,5				
	133	N	4				
	159	N	4,5				
PSV 4	89	N	3	30	22	6206	
	108	N	3,5				
	133	N	4				
	159	N	4,5				
PSV 5	89	N	3	30	22	6306	
	108	N	3,5				
	133	N	4				
	159	N	4,5				
PSV7-FHD	108	N	4	40	22	6308	
	133	N	4				
	159	N	4,5				
	194	N	6,3				
	219	N	6,3				


Catalogo de selección para rodillo psv1



**Ø 133 N**

Rodamiento 6204  
(20.8 47 X 14)

d = 20  
ch = 14  
s = 4  
e = 4  
g = 9

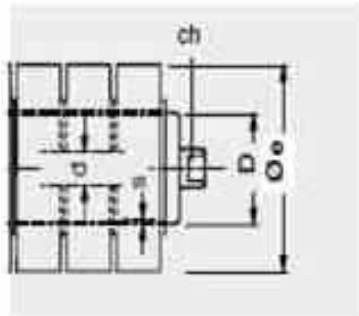
banda ancho mm	rodillo			peso Kg		capacidad de carga daN					
	dimensiones mm			para: gramos		velocidad de la banda m/s					
configuración: 	B	C	A	1	total	1	1.0	2	2.5	3	4
500	200	208	226	3.6	4.1	205	179	163	151	142	129
	550	250	276	4.2	4.9	205	179	163	151	142	129
500	800	315	341	5.0	5.9	205	179	163	151	142	129
650	1000	380	406	5.9	6.9	205	179	163	151	142	129
800	1200	465	491	6.9	8.1	205	179	163	151	142	129
1400	530	638	556	7.8	9.1	205	179	163	151	142	129
500	1000	600	606	6.7	10.2	200	179	163	151	142	129
1200	700	708	726	9.9	11.7	169	169	163	151	142	129
650	750	758	776	10.6	12.5	157	157	157	151	142	129
1400	800	808	826	11.2	13.2	146	146	146	146	142	129
1600	900	908	926	12.5	14.8	129	129	129	129	129	129
800	950	958	976	13.1	15.5	122	122	122	122	122	122
1000	1150	1158	1176	15.7	18.6	99	99	99	99	99	99
1200	1400	1408	1426	18.9	22.4	81	81	81	81	81	81
1400	1600	1608	1626	21.4	25.4	71	71	71	71	71	71
1600	1800	1808	1826	24.0	28.4	63	63	63	63	63	63

## Catálogo de selección para rodillos de impacto

### Programa de producción rodillos de impacto

rodillo base tipo	D		Ge		eje		rodamiento
	mm	s	mm	sec.	d	ch	
MPS 1	60	3	89	NA	15	17	6202
	60	3	106	NA			
PSV 1	63	3	89	NA	20	14	6204
	63	3	106	NA			
	89	3	133	NA			
	89	3	159	NA			
PSV 2	84	3	133	NA	25	18	6205
	89	3	159	NA			
PSV 3	88	3	133	NA	25	18	6305
	89	3	159	NA			
PSV 4	89	3	133	NA	30	22	6306
	89	3	159	NA			
PSV 5	89	4	133	NA	30	22	6306
	89	4	159	NA			
	106	4	180	NA			
	133	4	194	NA			
	133	4	215	NA			
PSV7-FHD	106	4	180	NA	40	32	6308
	133	6	194	NA			
	133	6	215	NA			

La tabla indica los tipos y las dimensiones de los rodillos estándar  
positivos y las dimensiones según la unificación europea.  
Si se piden se pueden suministrar alternativos y específicos de  
tubo dimensionales estándar.



## Catálogo de selección para serie de impacto

### serie Impacto



### Øe 133 NA

Rodillo base:

#### PSV 1

D = 89;  
eje 20; di = 20  
rodamiento 6204  
ch = 14

#### PSV 4

D = 89;  
eje 30; di = 30  
rodamiento 6206  
ch = 22

#### PSV 2

D = 89;  
eje 25; di = 25  
rodamiento 6205  
ch = 18

#### PSV 5

D = 89 x 4;  
eje 30; di = 30  
rodamiento 6306  
ch = 22

#### PSV 3

D = 89;  
eje 25; di = 25  
rodamiento 6305  
ch = 18

\* grueso superior al estándar

banda		rodillo					anillo				
ancho mm		dimensiones mm			peso Kg					anillo	
configuración		B	C	A	rol 1	rol 2	rol 3	rol 4	rol 5	E = 35	
		500	200	208	*	3.7					
		650	250	258	*	4.5	5.1				
		500 800	315	323	*	5.6	6.2	6.5	7.3	7.9	
		650 1000	380	388	*	6.6	7.3	7.7	8.5	9.1	
		800 1200	465	473	*	7.6	8.6	8.9	9.9	10.5	
		1400	530	538	*	8.8	9.7	10.1	11.2	11.8	
		500 1000 1600	600	608	*	10.1	11.1	11.4	12.7	13.3	
		1800	670	678	*		12.2	12.6	13.9	14.5	
		1200	700	708	*	11.4	12.6	12.9	14.3	14.9	
		650 2000	750	758	*	12.3	13.5	13.9	15.3	15.9	
		1400	800	808	*	12.9	14.2	14.6	16.2	16.4	
		1600	900	908	*	14.5	15.9	16.3	18.0	18.6	
		800	950	958	*	14.6	17.1	17.5	19.3	19.9	
		1800	1000	1008	*		18.2	18.4	20.1	20.7	
		2000	1100	1108	*			19.8	21.7	22.3	
		1000	1150	1158	*	18.7	20.5	20.8	23.0	23.6	
		1200	1400	1408	*	22.4	24.6	24.9	27.5	28.1	
		1400	1600	1608	*	25.5	27.8	28.3	31.2	31.8	
		1600	1800	1808	*	28.0	30.7	31.0	34.3	34.9	
		1800	2000	2008	*		34.0	34.4	38.0	38.6	
		2000	2200	2208	*			37.5	41.5	42.1	

## **Anexo B**

Propiedades de la Urea

### **PROPIEDADES FÍSICAS Y/O QUÍMICAS**

Fórmula química:  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$

Peso Molecular (g/mol): 60.06

Nombre químico: Urea, carbamida, carbonildiamida, ácido carbamídico

Color y forma: Blanco, forma esférica o granular

Densidad a granel (Kg/m<sup>3</sup>): Entre: 720-820

Angulo de reposo: 27-38 °

Materia Soluble: 100% en agua a 30°C

Humedad critica relativa (30°C): 70%

pH (unidades) en solución al 10%: Entre 8 y 10 unidades

### **APLICACIÓN**

Fertilizante simple nitrogenado para aplicación al suelo

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexandrov, M. **Aparatos de elevación y transporte**. (1.976). Ed. Mir. Moscú.
- Asmad, A (2016) “**Diseño de dosificadora industrial de resina para la empresa Affinia Venezuela C.A**”. Planta Zona Industrial Sur II”.
- Atlas Copco. (2015). **Compressed Air Manual** (8va edición). Wilrijk, Bélgica: Atlas Copco Airpower NV.
- Avallone Eugene A. y Theodore Baumeister III (1986) **Manual del Ingeniero Mecánico del Marks** 9na. Edición. Editorial Mcgraw Hill Interamericana S.A.
- Bavaresco G. (2017). G.A.B.P. **Ingeniería**.
- Bracho, J. (2010). “**Rediseño del sistema de transportación de la salida del paletizador de la línea de salsas negras o merge de la empresa alimentos Heinz C.A**”. Informe de pasantías. Universidad José Antonio Páez.
- Budynas Richard G. y J. Keith Nisbett. (2008). **Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley**. Octava edición. Editorial Mcgraw Hill Interamericana S.A.
- Cadersa. (2017). **Catálogo de cadenas transportadoras**.
- Creus, A. (2011). **Neumatica e Hidraulica**, (2da edición). Barcelona, España: MARCOMBO S.A.
- Ernst. (1.970). **Aparatos de elevación y transporte**. Tomo II. Ed. Blume.
- Universidad Nacional Abierta (U.N.A). (2003).**Manual de Técnicas de Documentación e Investigación II**
- Martínez, J. (2006). “**Rediseño de sistema de transmisión de las cadenas de descarga de paletas llenas, en el paletizador de la línea de ketchup, en la empresa alimentos Heinz**”.
- Molina, M. (1970). **Elementos de Máquina I**. Facultad de Ingeniería. Escuela de Mecánica. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Norton Robert L. (1999). **Diseño de máquinas**. Primera edición en español. Editorial Prentice Hall. Mexico.

- Pizzella, G (2013). **Máquinas de elevación y transporte**. Ediciones Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Pizzella G. (2010). **Apuntes de Elementos de máquina II**. Ediciones de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Ramírez, J. (2006). **“Problemas y soluciones en el depaletizador, de la empresa alimentos Heinz”**.
- Renold. (2017). **Conveyor Chain Designer Guide**
- Ruiz, C (2004). **“Propuesta de diseño de un sistema para la automatización del paletizador para la empresa Mampa”**.
- Targehetta Arriola-López Roa (1970). **Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica**. Tomo II Ed. Blume.
- Tassoni, D. (2007). **Elementos de Máquina**. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Carabobo. Valencia.
- Wikipedia (04 de marzo de 2014). Recuperado el 26 de diciembre de 2016, de:  
[http://es.wikipedia.org:http:// wikipedia.cintas.sistemasdetransportacion.com](http://es.wikipedia.org:http://wikipedia.cintas.sistemasdetransportacion.com).
- Wikipedia (15 de junio de 2012). Recuperado el 26 de diciembre de 2016, de:  
<http://es.wikipedia.org:http://wikipedia.cadenas.com>