



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN SISTEMA
DE TRANSPORTE AUTOMÁTICO
PARA EL MANEJO DE ENVASES
DE UNA LÍNEA DE ENVASADO**

.

Autor:
Velásquez Carlos

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE
AUTOMÁTICO PARA EL MANEJO DE
ENVASES DE UNA LÍNEA DE ENVASADO**

**Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Autor: Carlos Velázquez
C.I. No. 17.516.839
Tutor: Ing. Giovanni Pizzella Pierro

San Diego, junio 2020



FI-M -005-2020-1CR (TG)

Valencia, 08 de junio de 2020

Ciudadano:

Velásquez C., Carlos E.

17.516.839

Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2020 de fecha 11-02-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE AUTOMÁTICO PARA EL MANEJO DE ENVASES DE UNA LINEA DE ENVASADO*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Giovanni Pizzella C.I: 4.455.859 como Tutor Académico que lo asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



Prof. Luis Lira

Decano de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

Ll/a.a.



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

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Giovanni Pizzella Pierro, portador de la cédula de identidad N° 4.455.859, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Velásquez Cabrera, Carlos Enrique portador de la cédula de identidad N° 17.516.839, titulado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE AUTOMÁTICO PARA EL MANEJO DE ENVASES DE UNA LÍNEA DE ENVASADO”**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, junio del 2.020.

Ing. Giovanni Pizzella Pierro
C.I.: V- 4.455.859
Tutor Académico

AGRADECIMIENTO

Ante que todo le doy un agradecimiento a Dios por escuchar mis oraciones en los momentos difíciles. A mi madre Rosa, mi padre Norberto que no está presente en el plano terrenal pero si en el cielo de Dios, siempre guio mis pasos dándome valiosos consejos y mi hermana Liliana, a todos ellos que siempre me brindaron el apoyo que necesitaba, con todo su esfuerzo estuvieron guiándome para seguir adelante.

Y a mis tíos Francisco y Martín, que aunque no está presente en el plano terrenal, apoyaron para la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero agradecer a **Dios** por haberme dado la vida, salud y acompañarme día tras día, y haber escogido a dos personas tan invaluable y maravillosas para que sean mis padres.

A mi Padre, **Norberto Velásquez**, por haber confiado en mí, por su enorme sacrificio y paciencia a lo largo de todos estos años, por haberme dado el apoyo no solo financiero sino también moral, intelectual, y amoroso que se requiere para culminar con éxitos la carrera la cual emprendí.

A mi madre **Rosa Cabrera** por seguir creyendo en mí, por acompañarme no solo en las buenas, sino que también en los momentos difíciles que se, hemos pasado en los últimos años, gracias por tu apoyo incondicional.

A mi hermana **Liliana** la cual sin ella no podría haber llegado hasta aquí, gracias por confiar en mi y estar ahí en los momentos en el cual más lo necesitaba, y a mis demás hermanos: **Jhon, Sandra y James**, los cuales no se encuentran en el país, pero con sus oraciones y buenos deseos ayudaron para mi éxito académico.

A mis **tios, tias** los cuales me ayudaron a seguir adelante en momentos difíciles.

A mis **compañeros de estudio**, los cuales agradezco por haberme brindado sus conocimientos y regalado minutos de su tiempo por aclarar las dudas las cuales me enfrentaba en diferentes oportunidades.

A mis **profesores** de la UJAP por los conocimientos otorgados, con lo cual me servirán para enfrentar con éxito cualquier situación profesional que me depare.

A mi tutor académico el **Ing. Giovanni Pizzella** quien, por sus amplios conocimientos, capacidades docentes y profesionales considero fue el mejor apoyo con el que pude contar durante este trabajo.

Agradezco, a cada una de las personas que de una u otra manera aportaron un granito de arena para que yo pudiera alcanzar esta meta, por sus buenos sentimientos, y muestras de apoyo, a los que siempre estuvieron para ayudarme en esta tarea.

Solo puedo decir una palabra:
GRACIAS!!!

CARLOS E. VELASQUEZ C.

ÍNDICE

	Pág
CONTENIDO	
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación.....	5
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Alcance.....	6
II MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	11
2.2.1 Banda transportadora.....	11
2.2.2 Clasificación de una banda transportadora.....	12
2.2.3 Cálculo de una banda transportadora.....	19
2.2.3.1 Soporte de deslizamiento de la banda transportadora.....	19
2.2.3.2 Estación impulsora.....	20
2.2.3.3 Banda transportadora.....	21
2.2.4 Cálculos para el diseño de la banda transportadora modular	25
2.2.4.1 Velocidad de la banda.....	25
2.2.4.2 Tensión de la banda	26
2.2.4.3 Tensión de la banda ajustada a las condiciones de servicio	26
2.2.4.4 Resistencia permitida de la banda.....	27
2.2.4.5 Disposiciones de los engranajes del eje motriz y separación máxima entre los engranajes en el eje motriz y número mínimo recomendado de engranajes del eje.....	27
2.2.4.6 Deflexión del eje motriz.....	28
2.2.4.7 Par motor del eje motriz.....	28
2.2.4.8 Potencia para accionar la banda.....	29
2.2.4.9 Potencia motriz del motor.....	29
2.2.4.10 Rodamientos.....	29

2.2.4.11	Consideraciones de temperatura en la banda y la guía de desgaste debido a la expansión térmica.....	31
2.2.4.12	Transmisión por Cadenas.....	31
2.2.5	La banda transportadora como pulmón de acumulación.....	33
2.2.6	Sistema de control.....	35
2.2.6.1	Elementos de un sistema de control.....	35
2.2.6.2	Controlador lógico programable (PLC).....	37
2.2.6.3	Partes de un PLC.....	37
2.2.6.4	Tipos de PLC.....	38
2.2.7	Sensores ópticos de presencia (fotoeléctrico).....	40
2.2.7.1	Partes de un sensor óptico.....	41
2.2.7.2	Tipos de sensores ópticos.....	42
2.3	Definición de Términos Básicos.....	44
III MARCO METODOLÓGICO		46
3.1	Tipo de investigación.....	46
3.2	Nivel de investigación.....	47
3.3	Diseño de investigación.....	47
3.4	Población y muestra	48
3.4.1	Población.....	48
3.4.2	Muestra.....	48
3.5	Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.6	Fases de la Investigación.....	49
IV RESULTADOS		53
4.1	Diagnosticar condiciones actuales del sistema de transporte de envases.....	53
4.1.1	Área de estudio.....	53
4.1.2	Geometría del pulmón de envases actual.....	55
4.1.3	Número de cintas transportadoras por línea entre el buffer y la llenadora.....	56
4.1.4	Tipo de banda transportadora modular.....	57
4.1.4.1	Tipo de banda transportadora y la aplicación de trabajo...	57
4.1.4.2	Especificaciones del eslabón que conforma la banda.....	57
4.1.4.3	El material.....	59
4.1.5	Velocidad, cargas y rieles-guías de la banda transportadora.....	60
4.1.5.1	Velocidades lineales de las bandas transportadoras.....	60
4.1.5.2	Carga Actual de transporte.....	63
4.1.6	Descripción de la situación actual del proceso en condiciones normales.....	67
4.1.7	Descripción del problema.....	71
4.1.7.1	Análisis causa-efecto del problema.....	74
4.2	Proponer las diversas alternativas de solución para el transporte de envases..	77
4.2.1	Planteamiento de soluciones para el transporte de envases.....	77

4.2.2	Selección de la mejor solución para el transporte de envases.....	81
4.2.2.1	Restricciones de las posibles soluciones	81
4.2.2.2	Criterios de diseño	82
4.2.2.3	Ponderación de cada solución respecto a cada criterio y ponderación final	83
4.3	Diseñar en detalle los componentes mecánicos para el transporte de envases, caso estudio	84
4.3.1	Sistema de banda	84
4.3.2	Material de la cinta transportadora	84
4.3.3	Superficie (estilo) de la banda	85
4.3.4	Paso de la banda transportadora	86
4.3.5	Diseño del sistema de alimentación por banda transportadora modular.....	87
4.3.6	Velocidad de la banda transportadora	88
4.3.6.1	Línea de envasado 2	88
4.3.6.2	Línea de envasado 3... ..	92
4.3.6.3	Distancia entre ejes (conducido y conductor).....	93
4.3.6.4	Ancho de la cinta.....	94
4.3.6.5	Tipo de impulsión	98
4.3.6.6	Ángulo de inclinación de la superficie de transporte	98
4.3.6.7	Cálculo de tracción de la banda o carga de tensión	98
4.3.6.8	Ajuste de la tracción calculada de la banda a las condiciones reales de servicio.	101
4.3.6.9	Cálculo de la resistencia	102
4.3.6.10	Separación máxima entre los engranajes en el eje motriz y número mínimo recomendado de engranajes del eje.	103
4.3.6.11	Confirmación de la resistencia del eje	104
4.3.6.12	Deflexión del eje para ejes apoyados por dos cojinetes	104
4.3.6.13	Par de torsión del eje motriz	106
4.3.6.14	Determinación de la potencia necesaria para accionar la banda	107
4.3.7	Selección de componentes	108
4.3.7.1	Eje motriz y conducido	108
4.3.7.2	Rodamientos	108
4.3.7.3	Obturaciones	109
4.3.7.4	Soporte	109
4.3.7.5	Anillo de retención (Segers)	109
4.3.7.6	Sistema de transmisión Sprocket (Catarina)-motor eléctrico	110
4.3.7.7	Sistema de transmisión piñón (Sprocket)-banda transportadora.....	110

4.3.7.8	Cadena de transmisión.....	110
4.4	Diseñar en detalle el sistema de control para el transporte de envases, caso estudio	111
4.4.1	Descripción general	111
4.4.2	Requerimiento de funcionamiento del sistema de control	112
4.4.2.1	Detectar de forma temprana los bloqueos en la línea	112
4.4.2.2	Detectar ausencia de envases en la línea	112
4.4.2.3	Generar una alerta que sea visible de forma inmediata por el operario.....	112
4.4.2.4	Detener la cinta transportadora al detectar un bloqueo.....	113
4.4.2.5	Detener la llenadora al detectar un bloqueo	113
4.4.2.6	Reiniciar la cinta transportadora al solucionar el problema.....	114
4.4.3	Consideraciones de implementación para el diseño	114
4.4.3.1	Puesto de trabajo del operario	114
4.4.3.2	Sistema de control actual	114
4.4.4	Componentes principales del sistema de detección... ..	116
4.4.4.1	Flujo de envases.	116
4.4.4.2	Sensor “Flujo de envases”	117
4.4.4.3	Señal “Flujo de envases”	118
4.4.4.4	Dispositivo lógico de control	118
4.4.4.5	Señal de control “Línea de envasado”	118
4.4.4.6	Control línea de envasado	118
4.4.4.7	Espera reinicio manual	119
4.4.4.8	Señal de reinicio manual	119
4.4.4.9	Señal de estado	119
4.4.4.10	Visualización estado de la línea	119
4.4.5	Selección de los componentes del sistema de control	119
4.4.5.1	Sensor utilizado	119
4.4.5.2	Controlador Lógico Programable	122
4.4.6	Arquitectura del sistema	125
4.5	Relación Costo-Beneficio (Factibilidad Económica)	126
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
5.1	Conclusiones.	133
5.2	Recomendaciones	136
	BIBLIOGRAFÍA	137
	Anexos	140
A	Tablas y gráficos empleados, para los cálculos de los diversos elementos que conforman el dispositivo.	141
B	Ajuste de potencia en motor por pérdidas mecánicas y Rodamientos.....	154
C	Cadenas: Secuencia de cálculo de la cadena, ecuaciones, condiciones de diseño, gráficos de selección y potencia transmitida.....	160

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág
1	Representación de una banda transportadora.....	
2	Elementos que componen la superficie de una banda transportadora.....	12
3	Clasificación de las bandas según su posición.....	13
4	Banda têxtil de goma.....	14
5	Materiales empleados en bandas termoplásticas.....	15
6	Representación de una banda metálica	15
7	Materiales empleados en bandas metálicas según temperatura de trabajo.....	16
8	Representación esquemática de una banda modular.....	17
9	Materiales comunes en bandas modulares.....	18
10	Aplicaciones de cada tipo de banda transportadora.....	18
11	Deslizamiento de banda sobre arreglo de rodillos.....	19
12	Deslizamiento de banda sobre placa plana continua.....	20
13	Estación impulsora de una banda modular Intralox.....	21
14	Representación del paso nominal (p) y ancho (w) de un módulo.....	24
15	Número de dientes del engranaje respecto a la acción poliédrica.....	25
16	Orientación de las guías de desgaste sobre un transporte de carga moderada.....	31
17	Impulsor de cadena de rodamientos.....	32
18	Representación de un sistema de bandas modulares para acumulamiento de envases.....	34
19	Representación de un sistema de control.....	35
20	Representación estándar de un PLC.....	37
21	Representación estándar de un PLC nano.....	39
22	Representación estándar de un PLC compacto.....	39
23	Representación estándar de un PLC modular.....	39
24	Dinámica del sensor con el objeto de detección.....	40
25	Variación de la resistencia vs Luz.	41
26	Diagrama emisor, receptor y haz infrarojo.....	41
27	Partes de un sensor óptico.....	42
28	Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo barrera.....	43
29	Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo reflectivo.....	43

30	Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo difuso.....	43
31	Sensor óptico (fotoeléctrico) con sensor de brillo.....	44
32	Fases de la investigación.....	50
33	Vista de planta del área de envasado de mayonesa.....	54
34	Vista del lugar de estudio en área de envasado de mayonesa.....	54
35	Representación geométrica del área de estudio (pulmones hacia llenadoras).....	55
36	Disposición geométrica de las bandas transportadoras formando el pulmón 2.....	56
37	Disposición geométrica de las bandas transportadoras formando el pulmón 3.....	57
38	Desarrollo de la banda compuesta por la unión de sucesivos módulos conectados entre sí (Foto real).....	58
39	Módulos de conexión.....	59
40	Medición de velocidades de la banda mediante un tacómetro.....	61
41	Velocidades lineales actuales de las bandas, línea 2.....	62
42	Velocidades lineales actuales de las bandas, línea 3.....	62
43	Área total de cada segmento de ambos pulmones de envases.....	63
44	Modelado del número de envases PET sobre un área específica.....	64
45	Modelado del número de envases de vidrio sobre un área específica..	64
46	Distribución de envases sobre cada pulmón de banda transportadora..	65
47	Distribución de envases sobre cada pulmón de banda transportadora..	67
48	Punto de contacto envase-correas laterales para producir empuje.....	69
49	El empuje se crea para mover los envases en el higienizador (Imagen real).....	70
50	El empuje se crea para mover los envases en el higienizador (Modelado).....	70
51	Transporte sin presión de envases en condiciones de acumulamiento..	71
52	Paradas no programadas en ambas líneas de envasado por envases trancados.....	72
53	Trancamiento de envases interrumpiendo el tránsito.....	73
54	Tramo donde finaliza el higienizador tipo twister e inicia la banda de ingreso a la llenadora.....	74
55	Diagrama de Ishikawa causa-efecto del mal transporte de envases y consiguiente detención de la llenadora.....	75
56	Posible solución 1 (PS1).....	78
57	Posible solución 2 (PS2).....	79
58	Posible solución 3 (PS3).....	80
59	Materiales usados por Intralox y su aplicación.....	85
60	Estilos de superficie en bandas transportadoras modulares.....	86

61	Un paso nominal del inserto de 25,4 mm mitiga las constantes pulsaciones ocurrida en el acople engranaje-banda.....	87
62	Representación esquemática del pulmón de la línea 2.....	88
63	Perfil de velocidades ideal obtenido vs actual, línea 2.....	91
64	Perfil de velocidades ideal obtenido vs actual, línea 3.....	92
65	Distancia más larga (crítica) entre ejes.....	95
66	Paradas no programadas de la despaletizadora, día 1.....	95
67	Paradas no programadas de la despaletizadora, día 2.....	96
68	Paradas no programadas de la despaletizadora, día 3.....	97
69	Distribución de envases en banda.....	98
70	Ubicación del sensor instalado.....	113
71	Un operador se ubica frente a cada llenadora, siendo éste su puesto de trabajo.....	115
72	Izquierda: Brecha de envases. Derecha: Transporte continuo de envases.....	115
73	Vista del panel de la llenadora.....	116
74	Diagrama de flujo del sistema de detección actual.....	117
75	Diagrama de flujo del sistema de detección actual esperado.....	120
76	Ubicación del tablero y señal lumínica (alarma).....	125
77	Parte física del sistema relacionada con el aspecto funcional del mismo.....	126
78	Paradas no programadas en ambas líneas de envasado por envases trancados.....	128
79	Tasa de cambio del Banco Central de Venezuela para el 06/06/2020...	130

LISTA DE TABLAS

TABLA		Pág
1	Densidad del inserto.....	60
2	Distribución de envases y carga por banda transportadora.....	66
3	Posibles soluciones vs restricciones.....	81
4	Ponderación de criterios.....	82
5	Ponderación de cada solución respecto al criterio 1.....	83
6	Ponderación final de soluciones.....	83
7	Arquitectura del sistema.....	125
8	Productos dejados de producir en el tiempo de parada en las líneas 2 y 3.....	129
9	Costos relacionados con el sistema diseñado.....	129
10	Ahorro anual según implementación del proyecto.....	131
11	Resumen de las variables relacionadas con la recuperación de la inversión.....	131



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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE AUTOMÁTICO PARA EL MANEJO DE ENVASES DE UNA LÍNEA DE ENVASADO

Autor Velásquez C. Carlos E.

Tutor Ing. Giovanni Pizzella

Fecha Junio 2020

RESUMEN

Este trabajo aborda el proceso de diseño de un sistema acumulativo de envases sobre una banda transportadora de tipo modular en una línea de envasado, el cual está ejecutando actualmente un incorrecto transporte de los envases y por ende afectando el desempeño de dicha línea y el deterioro de las bandas. Se aplica una metodología que arroja un conjunto de alternativas de solución que resultan en la selección de una propuesta de diseño de acuerdo a los criterios y requerimientos del sistema de estudio. Dicha propuesta de diseño se realiza tomando en consideración los criterios que deben tomarse en el transporte de envases, así como las recomendaciones ofrecidas por el fabricante, a fin de garantizar un diseño óptimo para el correcto funcionamiento de una banda transportadora en condiciones de acumulación. El estudio del sistema actual concluye que la utilización de una banda incorrecta y sometida a velocidades por encima del necesario contribuye a un acelerado desgaste de estas y un estancamiento de envases, razón por la que es recomendado ajustar los parámetros de operación sobre los cuales el diseño es efectuado. Metodológicamente, está enmarcado en un proyecto factible, sustentado en un diseño de campo con un nivel descriptivo.

Palabras claves: bandas transportadoras, manejo de envases

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las bandas transportadoras cumplen un rol muy importante en la industria, ya que representan un medio a través del cual se puede desplazar materia prima o productos terminados que se encuentran en diferentes condiciones de trabajo y proceso de elaboración, este manejo de productos puede ser en subidas, bajadas, con cambios de dirección, diferentes velocidades, ambientes agresivos, entre otros, y que comparado con otros métodos para transportar productos, ésta resulta la más versátil y económica.

Existe en el mercado un tipo de banda transportadora que cumple las exigencias antes descritas, éstas vienen siendo las bandas transportadoras modulares, las cuales vienen diseñadas en módulos plásticos unidas por varillas de articulación las cuales son accionadas y orientadas por engranajes plásticos acoplados habitualmente a ejes cuadrados. Este tipo de banda transportadora ofrece características y propiedades en sus productos que son requeridas al momento de realizar un diseño, tales como: la resistencia al desgaste por ambientes corrosivos y abrasivos, accionamientos positivos, alta y bajos coeficientes de fricción, altas tracciones, deslizamiento continuo entre producto-banda por acumulación, entre otros. Adicionalmente, estas bandas transportadoras promueven una rápida limpieza debido a su configuración, lo que reduce considerablemente los tiempos por mantenimiento preventivo, debido a su rapidez y sencillez.

En virtud de la problemática relacionada con el mal transporte de envases que ocurre al inicio de las líneas 2 y 3 de envasado de mayonesa, en la planta de Alimentos Berrios ALBECA, C.A., ubicada en la urbanización Zona Agro Industrial El Recreo, Valencia Edo. Carabobo, se realiza un estudio de las condiciones actuales del proceso, a través de inspecciones visuales y mediciones de parámetros como: la velocidad lineal de las bandas, envases y llenadoras; determinación de la densidad del material mediante la obtención del volumen y masa de una muestra; información recopilada de los

especialistas de área, entre otros, que permitirán generar la causa raíz que está produciendo el fenómeno no deseado. De esta manera, se selecciona una propuesta de diseño mediante bandas transportadoras modulares que permita cumplir con las condiciones de operación para una acumulación de envases donde estos fluyan adecuadamente sobre la misma desde su ingreso hasta su salida mientras se mantiene un constante monitoreo de aquellos posibles envases que eventualmente se vuelquen y tranquen a través de un sistema de detección automática de recipientes. Adicionalmente, el diseño de la banda tomara en consideración vitales aspectos como el desgaste por deslizamiento, la carga de transporte y la tensión, los cuales son relevantes a fin de mantener la integridad de ésta, cumpliendo así con las necesidades y metas establecidas por la empresa.

Este trabajo está dividido en 4 capítulos, como se detalla a continuación:

El primer capítulo, explica el objeto de estudio, describiendo ampliamente la situación estudiada, los objetivos generales y específicos de la investigación. El segundo capítulo, describe el marco teórico en el cual se sustentó la investigación, conformado por tres elementos, los cuales son: los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos. En el capítulo III, se establecerá la metodología de trabajo estableciendo una serie de fases que ayudarán a obtener la solución que mejor satisfaga la situación problemática. Mientras que en el cuarto capítulo, primeramente se expondrán los recursos a utilizar para la realización del proyecto de grado y posteriormente se estará realizando el diseño mecánico y automático del sistema partiendo de las condiciones del proceso y los conceptos de transporte de envase. La realización del sistema diseñado será objeto de un estudio de factibilidad económica para determinar la sustentabilidad del mismo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

Las plantas productoras de alimentos trabajan con procesos productivos que moldean la materia prima e insumos a través de la intervención de máquinas y personas para ofrecer un producto determinado a la población.

Estos procesos productivos se dividen en un área de formulación, la cual se enfoca principalmente en obtener el producto de consumo mediante la mezcla de ingredientes en condiciones controladas de temperatura, agitación, concentraciones, entre otros. Por otra, el proceso de envasado, constituye el área que recibe la emulsión, mezcla o polvo en condiciones terminadas y lo introduce dentro de envases, botellas, bolsas, cajas, entre otros, para su correcta protección, almacenamiento y transporte. En este sentido, el área de envasado de recipientes como envases o botellas, se compone de un envasado primario, que llena, tapa y etiqueta los recipientes para obtener productos unitarios adecuadamente sellados e identificados, los cuales ingresarán a un envasado secundario el cual recibe estos recipientes y los agrupa en empaques, fardos o cajas que a su vez se disponen sobre paletas, permitiendo así, una contabilización, almacenamiento y transporte de estos en condiciones apropiadas.

En virtud de esto, la planta Alimentos Berrios ALBECA, C.A., cuenta con diversas áreas productivas dedicadas a la fabricación de mayonesa “ALBECA”, salsa de soya, inglesa, ajo, picante, guasacaca criolla y salsa a base de tomate “Tomatesa”, así como margarina para uso industrial “Lecremont”.

El área de estudio corresponde al proceso de envasado de mayonesa, en las líneas 2 y 3, de las cinco (5) que tiene dicho proceso productivo. Ambas líneas de envasado se componen de un arreglo en serie de máquinas, donde un despaletizador en común entrega camadas de envases a una banda transportadora, la cual se bifurca y distribuye

al inicio de ambas líneas. Estas camadas se encausan hacia envases en fila por medio de rieles guías sobre la banda transportadora para ingresar a cada llenadora respectivamente. Posteriormente, ambas líneas siguen en paralelo las mismas etapas, donde los envases llenos son tapados, para luego ser etiquetados, codificados y empacados en arreglos de 4x3 envases, que finalmente son paletizados y enfardados para su almacenamiento.

No obstante, se han registrado numerosas paradas no programadas de forma repetitiva en ambas líneas de envasado, en las áreas de despaletizado de envases, específicamente en el entorno donde las camadas intentan alinearse en fila para ingresar a las llenadoras. Estas paradas se han acrecentado al punto de detener cada línea un promedio de 20 horas mensuales, durante los años 2018 y 2019. Así mismo, estas paradas mensuales han reflejado en promedio una disminución en la producción de 50.000 kg potenciales de mayonesa, lo que afecta productiva y económicamente a la empresa.

En este sentido, la situación problemática de las paradas no programadas en el entorno mencionado, se atribuye a que los envases se estancan y trancan al intentar encausarse en fila sobre la banda de transporte, lo que deja sin suministro de envases a las llenadoras y las mismas se detienen. Dichas detenciones dependerán del tiempo que requiere el operador para destrabar los envases y levantar los que se han volteado, para permitir el flujo continuo de estos nuevamente, siendo en algunos casos necesaria la intervención del personal de mantenimiento cuando es requerido ajustar o lubricar las guías de encause de forma improvisada. En virtud de esto, la acumulación de envases que genera las detenciones, puede venir dado por factores que están vinculados al sistema, como velocidades incorrectas de las bandas transportadoras y tipo de material del mismo, encause de los rieles guías bruscos, o bien, trabajadores que realizan el proceso de forma lenta y sin los protocolos correctos ante detenciones de línea, como también uso de material bajo condiciones de calidad deficientes, es decir, una excesiva rugosidad superficial de los envases.

Es por ello, que se pretende establecer las condiciones del sistema de transporte de envases comprendidas en el mencionado tramo que están afectando el transporte dinámico de los envases y ocasionando por ende paradas continuas en la línea de envasado.

1.2 Formulación del problema.

¿Cómo se podrían mitigar las paradas continuas en la línea de envasado tras la correcta identificación de las variables que rigen el comportamiento de una banda transportadora?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar un sistema de transporte automático para el manejo de envases de una línea de envasado de una planta productora de alimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Diagnosticar condiciones actuales del sistema de transporte de envases, caso estudio.
2. Proponer las diversas alternativas de solución para el transporte de envases.
3. Diseñar en detalle los componentes mecánicos para el transporte de envases, caso estudio.
4. Diseñar en detalle el sistema de control para el transporte de envases, caso estudio.
5. Elaborar la relación costo – beneficio del proyecto.

1.4 Justificación de la investigación.

La elección del presente proyecto, se ha tenido en cuenta tanto por parte del estudiante como del especialista de envasado en la empresa debido a los siguientes aspectos:

Se trata de un proyecto que abarca un campo de la ingeniería interesante por el hecho del rediseño de un sistema de transporte que actualmente no cumple con las

características de diseño que son requeridas para el transporte de los envases de forma continua y eficiente.

La realización de una optimización con parámetros correctos de funcionamiento conlleva a la disminución del tiempo de paradas no programadas sobre las líneas 2 y 3 de envasado lo que aumenta el número de toneladas de producción de mayonesa, por turnos de operación y disminución asociada a gastos operativos de funcionamiento de los equipos del área.

La modificación de las variables o parámetros críticos que condicionan el proceso actual están regidas por el estudio de los principios ideales de diseño para este tipo de sistema de transporte, aplicación de teoría de máquinas, basamento de proyectos de ingeniería, utilización ingeniería gráfica, estructuras industriales entre otros.

1.5 Limitaciones de la investigación.

Tiempo disponible y en ejecución de las líneas de envasado de estudio: El tiempo para realizar las mediciones, análisis, toma de data, evidencia fotográfica y pruebas en las líneas 2 y 3 de envasado comprendida en el tramo desde el despaletizado hasta el llenado de envases. Todo esto, se encuentra sujeto a limitaciones de horario por parte del tesista dentro de la empresa, turnos y días de producción.

Dificultad para acceder a las instalaciones de la empresa: Los controles y protocolos para acceder a la empresa pueden ocasionar dificultad en el acceso a las instalaciones para el estudio dinámico y continuo en el área. Por otra parte, los accesos estarán dados en calidad de visitante por un tiempo corto diario, lo cual puede generar retraso en la recolección de información.

Uso de información de carácter confidencial para la empresa: En la ejecución del proyecto puede ser utilizada información sensible para Alimentos Berrios ALBECA, C.A. que dificulte su visualización en el trabajo final de grado.

Información existente y suficiente del entorno de estudio: Algunos equipos comprendidos en el área de estudio y las bandas transportadoras en sí, suelen carecer de manuales, instructivos, planos, esquemas e información en general que facilite la identificación de los mismos.

1.6 Alcance de la investigación.

La investigación solo abarcará el diseño de aquellos parámetros críticos que no están permitiendo el correcto desempeño de las bandas transportadoras Intralox que transportan los envases en el tramo mencionado de la línea de envasado. El diseño incluye el diagnóstico de los problemas asociados al proceso a través de un estudio causa-efecto, producto de las variables más relevantes las cuales no se encuentran bajo los parámetros ideales de diseño y que están generando un desgaste apresurado de las bandas transportadoras y caída constante de los envases. En adición, el diseño se realizará utilizando el mismo tipo y fabricante de bandas transportadoras, puesto que son las utilizadas por defecto en líneas de envasado para fabricación de productos alimenticios y farmacéuticos.

El diseño de las bandas transportadoras consta de detectar aquellos parámetros o características del proceso real entre banda-envase mal configurados y realizar el análisis y estudio de estos parámetros mal establecidos, basándose en los principios ideales de diseño para transportar envases plásticos tipo PET y vidrio, considerando al mismo tiempo las condiciones del proceso real. Así mismo, a través del proyecto de investigación se pretende dejar evidenciado cuales son los efectos que están produciendo un mal transporte de envases y las modificaciones o cambios que deben realizarse para mitigar el efecto, donde al mismo tiempo, el estudio puede servir para análisis futuros que involucren transporte de envases inadecuados en una banda transportadora en procesos de envasado de alimentos. La implementación de este proyecto queda por parte de la empresa Alimentos Berrios ALBECA, C.A.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Toda investigación permite aclarar, juzgar e interpretar la situación planteada teniendo presente que debe estar sustentada en una base sólida. Los antecedentes sirven para una síntesis conceptual a través del proyecto o trabajos realizados de la misma índole, para determinar el enfoque metodológico de la misma y poder indicar una conclusión existente al problema planteado, de manera que, los siguientes trabajos citados sirvieron de referencia y plataforma en la realización

Muñoz y Lagos (2016), en su trabajo especial de grado, titulado **“Diseño de una Cinta Transportadora Intralox para Pesquera Bahía Caldera S.A.”**, realizan un análisis y diseño de la utilización de bandas transportadoras modulares en una línea de envasado de pescado, puesto que las bandas transportadoras que utiliza dicha línea de producción son metálicas y dado la aplicación del lugar éstas no son rentables, debido a que requieren de constantes mantenimientos correctivos y paradas no programadas que afectan el desempeño del área productiva, producto del transporte inadecuado del pescado. En tal sentido, los autores proponen la implementación de bandas transportadoras tipo modular la cual son las utilizadas para este tipo de proceso, que es la ideal para líneas de envasado tipo alimenticio y farmacéutico.

Siendo así, los autores fundamentan su propuesta diseñando un prototipo de banda transportadora modular de plástico marca Intralox con el fin de aumentar su factor de operación y así con ello poder cumplir de manera eficiente las necesidades y metas establecidas por la empresa, lo cual efectúan analizando y calculando los criterios y parámetros de los componentes principales de la instalación que rigen el comportamiento de una banda transportadora aplicado al proceso de estudio, lo que

ofrece un prototipo que mitiga el mal transporte del pescado visto desde la banda transportadora como elemento de desplazamiento.

En tal sentido, el proyecto de investigación se relaciona con la investigación del autor, al poder aprovecharse la información recopilada referente a las consideraciones más relevantes que afectan el funcionamiento de una banda de transporte y comparar cual de aquellas no ha sido optimizado en el caso de estudio.

Así mismo, Grimes (2006) en su proyecto de grado titulado “**Design of a Bottling Line Mechanism**”, realiza un diseño del sistema de transporte de una línea de embotellado haciendo foco en el comportamiento de los rieles que encausan los envases desde el pulmón de la banda transportadora hacia la disposición de las botellas en serie. El autor replantea la orientación de los rieles por consecuencia de sucesivas botellas caídas que ocasionan truncamiento de la línea y por ende repetitivas paradas no programadas. En este sentido, Grimes, hace énfasis en el comportamiento de los envases durante su traslado a través de las bandas en paralelo que son movidas a velocidades tangenciales diferentes, la fricción de las botellas con la banda transportadora y el centro de gravedad de los mismos, permitiéndole proponer la implementación de un sistema rechazador de envases caídos que en conjunción a la modificación del encausamiento de los rieles sobre las botellas produce que al equipo de llenado ingresen envases en la posición correcta y un acumulamiento de los mismos en el pulmón de la banda sin vibraciones, choque y caída de estos respectivamente.

De esta manera, dicha investigación sirve de apoyo para el análisis del comportamiento de los envases PET y vidrio sobre los rieles de encausamiento desde el área de despaletizado hacia el proceso de llenado, sitio donde se está produciendo la constante volcadura de envases que origina un transporte no fluido de los envases puesto que estos sirven de obstáculos en el avance de los otros cuando intentan posicionarse en fila a través del encausamiento de los rieles.

Por otra parte, Barona (2014) en su proyecto de grado “**Mejoramiento de la producción de una Planta Embotelladora de Cerveza Súper Línea de Cervecería**”, propone la implementación de un plan preventivo a una línea de

envasado de cerveza como una estrategia para el mejoramiento de la producción mediante un incremento de la eficiencia de la línea mencionada. El autor se enfoca en brindar un análisis estructurado que involucra la identificación y recopilación de fallas de los equipos para determinar oportunidades de mejoras y las medidas más efectivas que pueden incluirse en el plan preventivo a fin de eliminar o mitigar las continuas averías que están generando paradas no programadas y por ende, planes de producción no alcanzados y costos de mantenimiento por encima del valor esperado, atribuido a equipos funcionando en las condiciones no adecuadas por la identificación incorrecta de las fallas existentes que han originado planes de mantenimiento en las direcciones incorrectas.

En este sentido, esta investigación resulta de interés porque permite establecer el análisis causa-efecto que siguió el autor para identificar y diagnosticar los problemas implícitos en el proceso a través de una metodología que recopiló todos los aspectos o variables que afectan el desenvolvimiento de un proceso o máquina y en base a este diagnóstico, desarrollar la forma o metodología de optimización que conlleva a una mejora del proceso en estudio.

Finalmente, Lugo (2017), en su informe de pasantías que tiene por título **“Semiautomatizado de la línea de producción número tres para el empaclado en cajas de cartón para envases de galón de producto terminado de la empresa Alimentos Berrios ALBECA, C.A.”**, fundamenta el proyecto en el semiautomatizado de la línea de producción número 5 para el empaclado 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 empaqueo 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.

El aporte a la investigación radica en la situación problemática debida al esfuerzo repetitivo que debe realizar el operario al momento de liberar los envases atascados, ya que además de estar de pie dicho esfuerzo implica una merma en las condiciones físicas y psicológicas del mismo, afectando considerablemente la producción, porque el rendimiento de la misma estaría sujeto al desempeño del operario.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Bandas Transportadoras

Según Rodríguez H. (2016), las bandas transportadoras representan una superficie en movimiento que se encarga de soportar directamente un conglomerado de objetos y desplazarlos desde un punto de carga hasta un punto de descarga. Intuitivamente se puede definir, como cinta transportadora, el elemento móvil del transportador, con una superficie continua, diseñada para el traslado de una carga sobre sí misma (Figura 1), en un recorrido prefijado, y con suficiente resistencia a la tracción para soportar dicho esfuerzo. Éstas se componen de varias telas, que pueden ser de nylon o algodón, ligadas entre sí por un pegamento base y recubiertas en la parte superior, inferior y costados, por caucho, aunque actualmente se ha masificado el uso de cintas de diferentes tipos de materiales, los que se comportan satisfactoriamente en distintos tipos de solicitudes, en general deben poder soportar la carga que transporta, tener resistencia mecánica a la tracción, cizalle, abrasión, soportar ciertos niveles de temperatura y tener resistencia química adecuada a la condición de transporte.

En toda cinta se distinguen tres partes fundamentales que se ilustran en la Figura 2, estas son: cara de transporte o cubierta de carga, elemento tractor o zona de resistencia, y cara de circulación o cubierta de rodado.

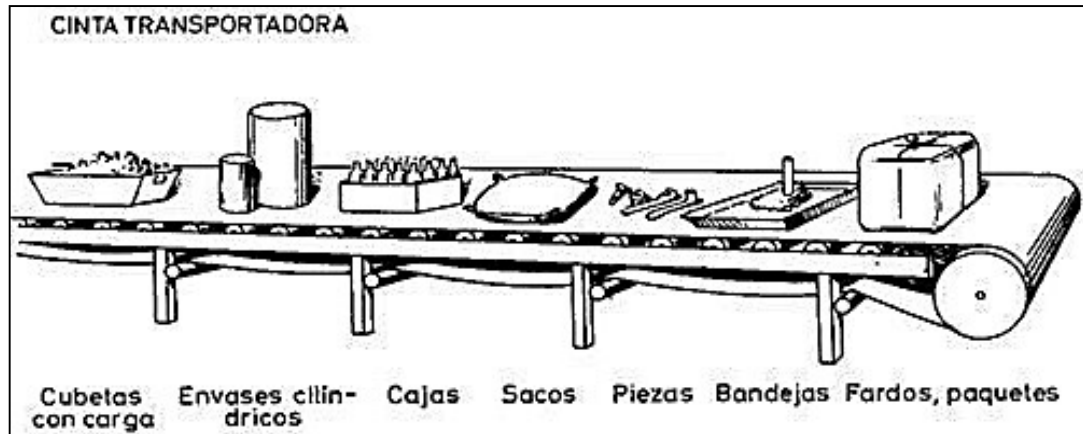


Figura 1: Representación de una banda transportadora.
Fuente: Rodríguez H. (2016)

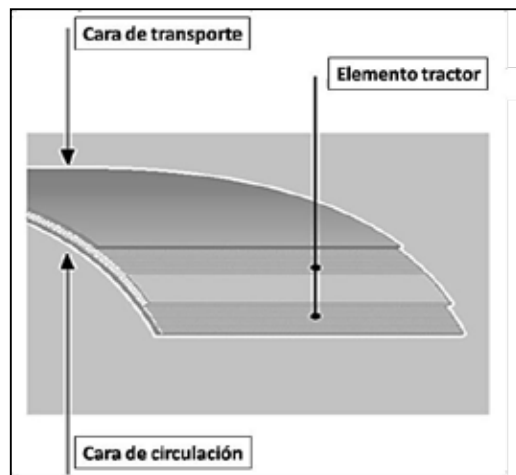


Figura 2: Elementos que componen la superficie de una banda transportadora.
Fuente: Rodríguez H. (2016)

2.2.2 Clasificación de las bandas transportadoras

Dependiendo de la movilidad

Se denominan cintas fijas aquéllas cuyo emplazamiento no puede cambiarse. Por el contrario, las bandas móviles están provistas de ruedas u otros sistemas que permiten un cambio fácil de ubicación. Generalmente se construyen con altura regulable mediante un sistema que permite variar la inclinación de transporte.

Dependiendo de la posición

En función de la posición en la que se encuentre la banda o las posiciones que ocupen sus diferentes módulos o partes, las cintas transportadoras se clasifican según muestra la Figura 3.

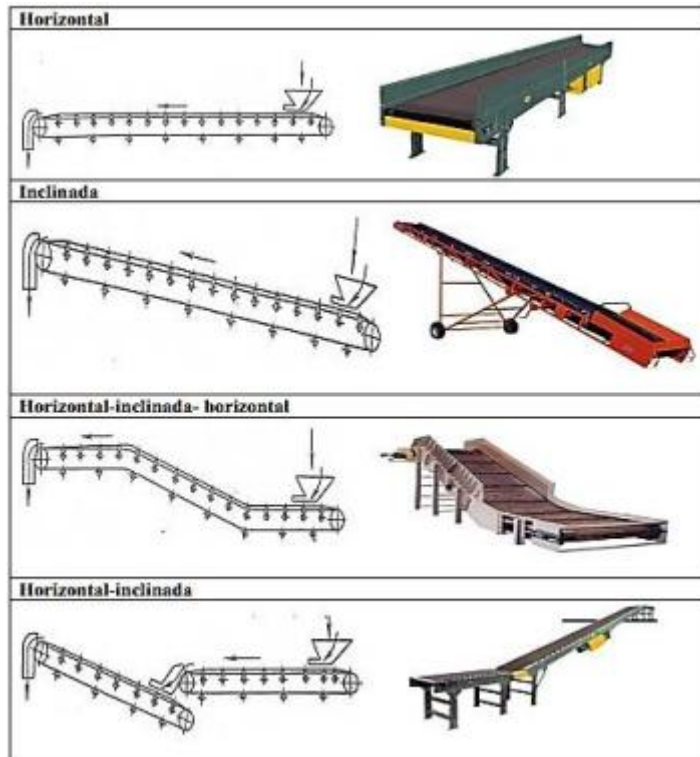


Figura 3: Clasificación de las bandas según su posición.
Fuente: Rodríguez H. (2016)

Dependiendo del tipo de banda y material a transportar

Cintas textiles o de caucho

Este tipo de bandas se utilizan para el transporte, tanto exterior como interior, de productos y/o materiales a granel, en condiciones desde ligeras hasta muy duras (Figura 4). Las áreas típicas de trabajo para estas bandas son: canteras y movimiento de tierras, minería, puertos de carga y descarga, cerámica y vidrio, cemento y hormigón, piensos y cereales, entre otros. Según Rodríguez H. (2016) existen varios tipos de bandas de caucho:

- **Lisa:** para transporte horizontal o de poca inclinación.
- **Nervada:** para instalaciones de ángulos elevados de transporte.
- **Rugosa:** para el transporte de productos manufacturados generalmente o trabajos al interior de las empresas, en el movimiento de piezas, cajas.
- **De caucho botones:** fabricadas para el transporte inclinado de material empacado capaz de incrementar el rozamiento entre la banda y el producto todo el tiempo.



Figura 4: Banda têxtil de goma.
Fuente: Rodríguez H. (2016)

Bandas termoplásticas

Este tipo de bandas son destinadas al transporte interior de productos o materiales no abrasivos en infinidad de aplicaciones, gran parte de ellas en la rama de la alimentación. Por la gran variedad existente, se utilizan en la mayoría de los sectores industriales: hortofrutícola, alimentación, manutención, cerámico, metalúrgico, madera, plástico, farmacéutico, artes gráficas, reciclaje, entre otros. La principal distinción que se puede hacer dentro de esta familia de cintas viene dada por el material empleado en la cobertura, el cual le otorga gran parte de sus cualidades. En función del material de la banda que se utilice se tendrán unas cualidades y rangos de temperaturas permitidos tal como se muestra en la Figura 5.

Bandas metálicas

Se trata de un conjunto formado básicamente por un entramado metálico articulado,

que actúa como elemento transportador continuo de materiales muy diversos, en altas, medias o bajas temperaturas, en presencia de cualquier tipo de atmósfera o ambiente de trabajo.

Material	Temperatura	Cualidades
PVC	-5 + 80 °C	Transporte general sin grandes condicionantes
	-15 + 80 °C	Aceites vegetales
	-15 + 80 °C	Aceites vegetales
	-10 + 80 °C	Antiestático. Suele ser anti-llama
Poliuretano	-10 + 80 °C	Bajo coef. fricción. Abrasión. Aceites minerales
	-10 + 90 °C	Bajo coef. fricción. Abrasión. Aceites de tipo vegetal
	-10 + 90 °C	Bajo coef. fricción. Abrasión. Aceites de tipo vegetal
Poliéster	-20 + 100 °C	Tabaco. Bajo coef. fricción. Abrasión
Polioléfina	-15 + 35 °C	Tabaco. Bajo coef. fricción.
Silicona	-15 + 80 °C	Alto coef. de fricción y poca adherencia producto

Figura 5: Materiales empleados en bandas termoplásticas.

Fuente: Walker T. (2015)

Están construidas por espirales planas de alambres en sentido transversal (Figura 6), y ensambladas por varillas rectas u onduladas en el mismo sentido, con una terminación de orillas soldadas o enlazadas normalmente.

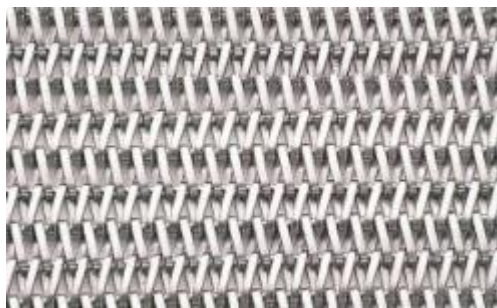


Figura 6: Representación de una banda metálica.

Fuente: Walker T. (2015)

En este tipo de bandas transportadoras se utilizan diversas aleaciones metálicas dependiendo el entorno de trabajo y temperatura a la cual estará sometida durante su operación, como se observa en la Figura 7.

Materiales empleados y temperaturas máximas recomendables	
Acero al manganeso (hierro)	350°C
Acero galvanizado	180°C
Acero al cromo – AISI 502	<600°C
Acero inoxidable 18/8 – 14307 – AISI 304	750°C
Acero inoxidable 18/8/2 – 14401 – AISI 316	800°C
Acero refractario 25/20 – 14841 – AISI 314	1150°C
Acero refractario 37/18 – 14864 – AISI 330	1150°C
Acero refractario 80/20 - 24869	1150°C

Figura 7: Materiales empleados en bandas metálicas según temperatura de trabajo.

Fuente: Walker T. (2015)

Bandas modulares (Intralox)

La banda modular, según Muñoz y Lagos (2016), es un conjunto de módulos de plástico individuales moldeados por inyección de alta precisión y unidos entre sí mediante varillas. Su robusto diseño está optimizado para garantizar procesos efectivos de transporte y de fácil limpieza.

Las bandas modulares de plástico, según Alvarado P. (2012), se utilizan ampliamente en las industrias de diversos rubros, puesto que entre sus ventajas, este tipo de banda transportadora es capaz de transportar diferentes tipos de productos, desde envases hasta productos alimenticios como carnes, discos de harina pre-cocidos para pizza entre otros.

Las bandas modulares están fabricadas con módulos técnicos formando una estructura de piezas de inyección entrelazadas en un diseño cuya configuración hace que el transporte del producto alimenticio sea idóneo. Para realizar la unión entre las

filas de módulos, éstos están provistos de unos agujeros pasantes, transversales donde se introduce la varilla de articulación anterior mencionadas. Las bandas modulares tienen múltiples ventajas y características especiales como:

- Son de bajo peso por lo que requieren de una estructura liviana.
- Fácil manejo, menor consumo de potencia.
- Mínimo coeficiente de fricción que evita los rociados de lubricación tradicionales.
- Coste de mantenimiento es mínimo así como paradas de producción, gracias a que si se estropea cualquier módulo simplemente con quitar una varilla de articulación quitar el modulo dañado y meter el nuevo sería suficiente para volver a trabajar.
- En cuanto a la limpieza se puede quitarla sin ningún problema de la cinta, echarla en el suelo y limpiarla con una máquina de presión de agua.
- Tracción eficaz, siendo utilizados unos engranajes plásticos con piñones que atacan directamente a la base de la banda evitando así resbalamientos en los tambores y desplazamientos laterales. Además la utilización de ejes cuadrados evita la realización de chaveteros absorbiendo las dilataciones entre el engranaje plástico el eje metálico.

En la Figura 8 se observa una representación esquemática de una banda transportadora modular.

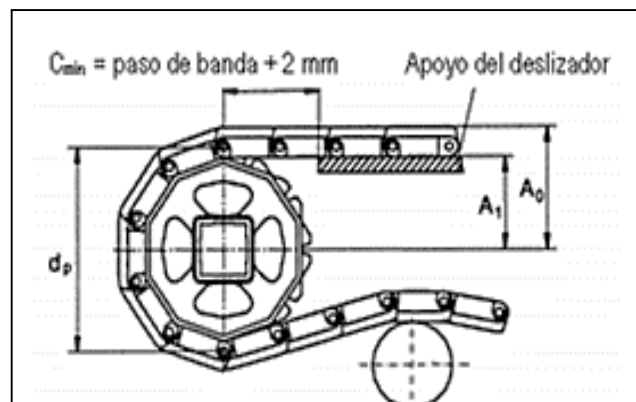


Figura 8: Representación esquemática de una banda modular

Fuente: Grimes E. (2006)

La selección de la banda se hará en base al material, tipo de superficie y distancia entre varillas. Adicionalmente, este tipo de bandas vienen fabricadas en los materiales observados en la Figura 9.

MATERIAL	RANGO TEMP.	PROPIEDADES
PP (Polipropileno)	De +5° a 105 °C	Buena relación coste/prestaciones y resistencia química a ácidos y alcalinos.
PE (Poliéster)	De -70 °C a 60 °C	Material blando resistente a impactos y agentes químicos donde no hay abrasión.
AC (Acetal)	De -40 °C a 60 °C	Elevada resistencia y bajo coef. fricción. Para aplicaciones de transporte exigente.

Figura 9: Materiales comunes en bandas modulares.

Fuente: Walker T. (2015)

Las principales aplicaciones de las bandas transportadoras se dan mayormente en la minería, construcción, industria motriz, industria alimenticia, entre otros. Dentro de la industria alimenticia, las bandas transportadoras se utilizan para transportar materiales de empaque, insumos, alimentos, y productos terminados. En la Figura 10 se muestra los campos de aplicación según el tipo de banda (por material a transportar).

APLICACIÓN	Textil	Modular	Termoplástica	Metálica
Manipulado en alimentación	X	X		
Etiquetadoras de presión	X		X	X
Industrias del cartón	X		X	X
Bultos o cajas	X	X		X
Envasado de productos alimentarios		X		
Alimentadores de piezas cortantes		X	X	X
Glaseado y congelado	X	X		
Transporte piezas general, alto desgaste	X	X		X
Resistencia al ataque químico	X	X		X

Figura 10: Aplicaciones de cada tipo de banda transportadora.

Fuente: Muñoz y Lagos (2016)

2.2.3 Cálculo de una banda transportadora modular

2.2.3.1 Soporte de deslizamiento de la banda transportadora

Representan la superficie sobre la cual se apoyará y deslizará la cara inferior de la banda transportadora. Existen dos grandes grupos sobre la cual puede darse este apoyo:
Deslizamiento sobre rodillo plano

El caso de deslizamiento sobre rodillo plano se utiliza para el transporte de bultos o piezas normalmente de mucho peso y donde la utilización de superficies planas supondría una gran fricción de la banda sobre la misma debido al peso del material transportado.

En este tipo de transporte existen grupos de rodillos que se denominan estaciones. La distancia entre estaciones va a depender de la cantidad de material transportado y sus características, como así también de la inclinación del transportador y del ancho de la banda. Normalmente la distancia entre estaciones oscila entre 1.000 a 1.750 mm. Este tipo de deslizamiento se ilustra en la Figura 11.

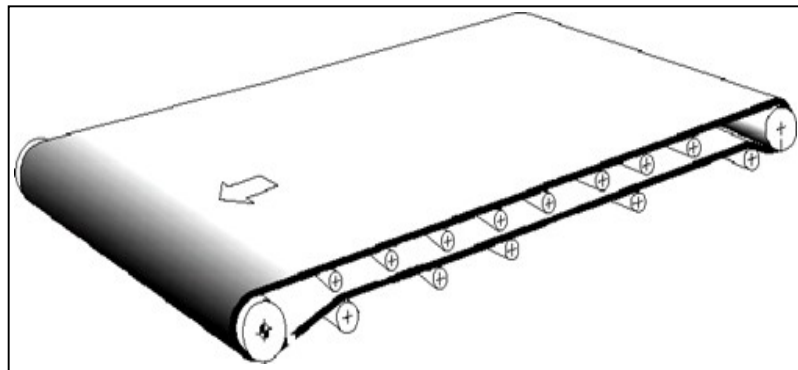


Figura 11: Deslizamiento de banda sobre arreglo de rodillos.

Fuente: Osvaldo C. y Ciro H. (2015)

Deslizamiento sobre placa continua

Este tipo de sustentación de la banda es el más adecuado cuando se trata del transporte de productos elaborados, piezas, cajas, productos unitarios, entre otros, debido a la gran estabilidad que se obtiene con este tipo de deslizamiento. La ventaja

de una banda apoyada por medio de una cama deslizante es sobre todo que las mercancías transportadas poseen una mayor estabilidad sobre la banda. Con la banda y el material de la cama del resbalador correctamente seleccionada, es posible influenciar favorablemente el coeficiente de fricción, el ruido de deslizamiento y la vida de servicio de la banda.

La banda se desliza sobre una superficie continua y lisa que puede ser de diferentes materiales como hojas laminadas de madera dura haya o roble, acero inoxidable usado especialmente en la industria alimentaria, Plásticos duros tal como resina Fenólica, entre otros. La fricción entre la cama deslizante y la banda, es influenciada considerablemente por el tipo del material de la banda y de la superficie de la cama del resbalador, también es influenciada por la humedad, el polvo, eventual suciedad, entre otros. Este tipo de deslizamiento se ilustra en la Figura 12.

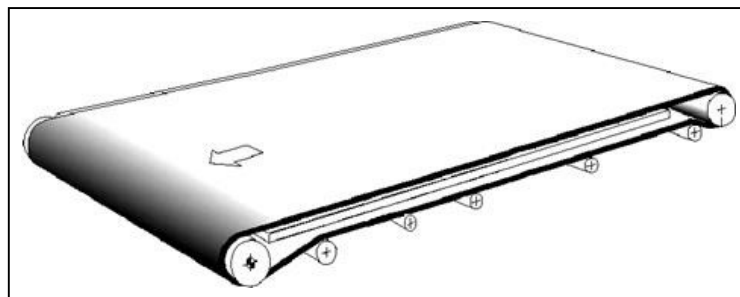


Figura 12: Deslizamiento de banda sobre placa plana continua.
Fuente: Osvaldo C. y Ciro H. (2015)

2.2.3.2 Estación impulsora

Las bandas Intralox son accionadas positivamente por engranajes metálicos o de plástico (Figura 13), no por rodillos de fricción, como en las bandas termoplásticas o textiles. Los engranajes, otra parte del sistema Intralox, disponen de aberturas cuadradas y accionan por ejes cuadrados del mismo tamaño. Los ejes cuadrados no solo transmiten el par de torsión (fuerza rotacional) sin necesidad de usar los problemáticos prisioneros y chaveteros, sino que se adaptan a las diferentes expansiones laterales del material de la banda de plástico y de los ejes de metal. Solo

se fija un engranaje por eje. Los demás quedan flotantes en el eje y se adaptan a la banda, aunque ésta se expanda o contraiga. Por consiguiente, los engranajes están siempre transmitiendo el par de torsión. De todos los sistemas, el eje cuadrado ha demostrado ser el más eficaz, económico, fiable, sencillo y el menos problemático.



Figura 13: Estación impulsora de una banda modular Intralox.
Fuente: Intralox S.A. (2014)

2.2.3.3 Banda transportadora

Para el diseño se requieren los siguientes factores:

- Tipo de recorrido de la banda transportadora: recorrido recto o con flexiones laterales.
- Velocidad de la banda.
- Dimensiones: largo, ancho, elevación de la banda.
- Características del producto: dureza, densidad, temperatura, entre otros.
- Cambio de procesos en el producto: calor, enfriamiento, drenaje, etc.
- Requisitos y condiciones sanitarias de limpieza: Aprobación por el FDA, USDA - FIS, temperaturas severas, limpieza continua.
- Forma de carga y retiro de productos: suave, brusca.
- Características del ambiente operativo: temperatura, humedad, polvo, etc.
- Sistema de transmisión: motores, cadenas, entre otros.

Tipo recorrido de sistema de transportación por banda

El tipo de recorrido de la banda puede ser recto o con flexiones laterales, lo cual dependerá de las condiciones de trabajo, puesto que las de flexión lateral son utilizadas mayormente para lugares de trabajo con poco espacio donde se requiere cambios de dirección abruptos, siendo este tipo de sistema más costoso respecto a las de flexión recta.

Materiales de la banda

El material de la banda depende de su aplicación y las condiciones de servicio. Los materiales estándares para bandas modulares Intralox son:

Polipropileno: Es un material estándar que se usa en aplicaciones donde se requiere de resistencia química. Posee un buen balance al ser un material liviano y al mismo tiempo de resistencia moderada.

Sus características principales son:

- Flota en el agua con una gravedad específica de 0,90.
- Su rango de temperatura varía entre 34 °F (1 °C) y 220 °F (104 °C).
- El polipropileno es un material relativamente resistente en uso normal y demuestra una condición ligeramente quebradiza a bajas temperaturas. No es recomendable para condiciones de alto impacto por debajo de los 45 °F (7 °C).
- Tiene buena resistencia química ante numerosos ácidos, bases, sales y alcoholes.
- Este material cumple con las regulaciones de la Administración de Drogas y Alimentos (FDA, siglas en inglés) para ser utilizado en aplicaciones de procesamiento alimenticio y de empaques. También está aprobado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, siglas en inglés) USDA y por el Servicio de Inocuidad e Inspección de los Alimentos (FSIS, siglas en inglés) para carnes y aves.

Polietileno: es otro termoplástico liviano, caracterizado por su resistencia a las condiciones de alto impacto y su flexibilidad. Sus características principales son:

- Flota en el agua con una gravedad específica de 0,95.
- Presenta excelentes características antiadherentes.

- Su desempeño es sobresaliente a temperaturas mucho más bajas.
- Su rango de temperatura varía entre -100 °F (-73 °C) y 150 °F (66 °C).
- Es resistente a muchos ácidos, bases e hidrocarburos.
- El polietileno negro es recomendable para aplicaciones de bajas temperaturas expuesto a la luz solar directa.
- Este material cumple con las regulaciones de la FDA para ser utilizado en aplicaciones de procesamiento alimenticio y de empaques. También está aprobado por el USDA-FSIS (carnes y aves) [9].

Acetal: es otro material de la familia de los termoplásticos y es considerablemente más resistente que el polipropileno y el polietileno. Entre sus características principales están:

- Poseen un buen equilibrio entre características mecánicas y térmicas.
- Poseen buena elasticidad y resistencia a la fatiga.
- Tienen un bajo coeficiente de fricción, lo que los convierte en una buena opción para la manipulación y transporte de envases.
- Su rango de temperatura varía entre -50 °F (-46 °C) y 200 °F (93 °C).
- Su gravedad específica es de 1,40 y son relativamente resistentes a los impactos.
- Las bandas de acetal presentan bastante dureza por lo que son resistentes a los cortes y ralladuras.
- Este material cumple con las regulaciones de la FDA para ser utilizado en aplicaciones de procesamiento alimenticio y de empaques. También está aprobado por el USDA-FSIS (carnes y aves).

Tipos de superficie, paso y método de tracción de banda transportadora

Tipo de superficie: esta característica de la banda define la forma de la superficie, el cual dependiendo de la aplicación de trabajo puede tener algún relieve para fomentar un mejor transporte o tener áreas abiertas (% de área abierta), permitiendo un menor contacto con el producto y un enfriamiento más rápido.

Paso nominal: corresponde a la distancia entre centros de los agujeros de las varillas de un eslabón o módulo de una banda transportadora modular (Figura 14).

El paso nominal correcto permite más adelante definir el tipo de engranaje a fin de evitar la *acción poliédrica*, que viene siendo la medida en que los módulos de la banda se engranan a su paso sobre los engranajes motores, produciéndose una pulsación en la velocidad lineal de la banda. Esto es lo que se llama acción poliédrica, es decir, la elevación y caída de un módulo al girar alrededor de los engranajes, que produce una variación en el radio de la sección de banda que gira alrededor de la línea central de un eje, siendo esto un factor a tener en consideración cuando se requiere mantener estabilidad en el producto que se transporte, especialmente cuando los productos son propensos a caerse. Todas las bandas y cadenas accionadas por engranajes cuentan con esta característica. La variación en la velocidad es inversamente proporcional al número de dientes del engranaje. Por ejemplo, una banda accionada por un engranaje de seis dientes experimenta una variación de velocidad vibratoria del 13,4%, mientras que en una banda de engranaje de 19dientes es de solo el 1,36%. En aplicaciones en las que debe evitarse que el producto se vuelque o en las que una velocidad suave y uniforme es crítica, es recomendable seleccionar engranajes con el mayor número posible de dientes. En la Figura 15 se observa la relación del número de dientes del engranaje respecto al porcentaje de acción poliédrica. El método de tracción generalmente es mediante ruedas dentadas.

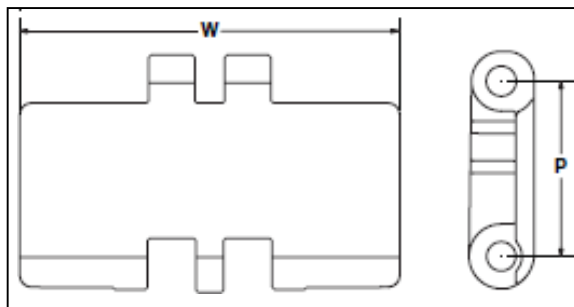


Figura 14: Representación del paso nominal (p) y ancho (w) de un módulo.

Fuente: Intralox S.A. (2014)

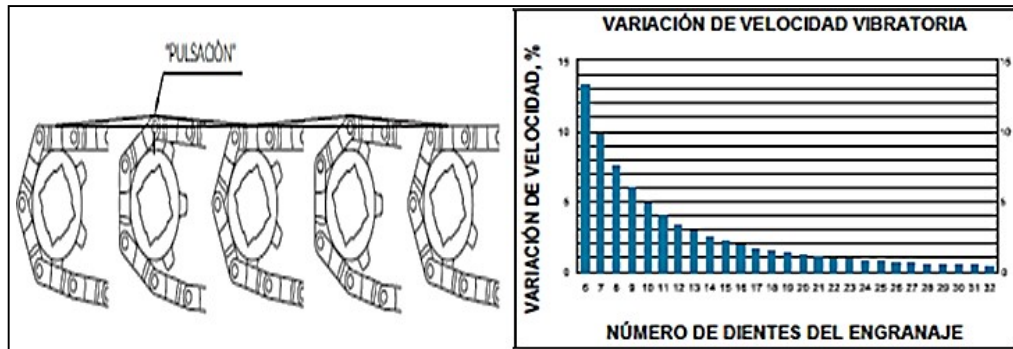


Figura 15: Número de dientes del engranaje respecto a la acción poliédrica.
Fuente: Intralox S.A. (2014)

Tipo de banda de suficiente resistencia para la aplicación

Se determina si la banda que se selecciona satisface los requerimientos de aplicación. Para esto se realizan los cálculos necesarios a partir de la siguiente información:

- Carga del producto aplicado sobre la banda(M)
- Longitud del sistema transportador propuesto.
- Cambio de elevación en el sistema transportador.
- Velocidad máxima de operación.
- Máxima temperatura de operación que experimentará la banda.
- Tipo de material sobre el que se deslizará la banda.
- Funciones deservicio.

2.2.4 Cálculos para el diseño de la banda transportadora modular

Para el estudio y adecuado diseño y selección de una banda transportadora, se deben determinar un conjunto de variables directamente vinculados con el comportamiento de dicha banda sobre su campo de aplicación, estos estudios se explican a continuación.

2.2.4.1 Velocidad de la banda

De acuerdo a McGuire P. (2.010)] en los tramos acumulativos de envases, la banda debe como mínimo desplazarse 20% más rápido que la velocidad del producto a fin de garantizar que los envases no rocen excesivamente entre sí, se mantenga una

estabilidad apropiada en el transporte de estos al no ser una velocidad muy alejada de la velocidad del producto y siempre se garantice una entrega de la cantidad de envases que consume la llenadora considerando pequeñas variaciones en el ritmo de producción del equipo. De allí que la ecuación que define la velocidad de la banda es:

$$\mathbf{Velocidad}_{Banda} = \mathbf{Velocidad}_{producto}$$

El factor de servicio permite obtener la tracción ajustada de la banda ABP , mediante la ecuación:

$$ABP = BP \cdot SF \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

ABP : tracción ajustada de la banda en kg/m

SF : factor de servicio.

2.2.4.4 Resistencia permitida de la banda

La resistencia de la banda permitida estará afectada por factores de temperatura y resistencia.

$$ABS = BS \cdot T \cdot S \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

ABS : resistencia permitida de la banda, en kg/m de ancho.

BS : resistencia nominal de la banda, en kg/m (Catálogo de Intralox, Anexo 6)

T : factor de temperatura, adimensional

S : factor de resistencia, adimensional.

Condiciones de ABP y ABS .

Si ABS excede a ABP , la banda es suficientemente fuerte para la aplicación a la cual estará sometida y el proceso de diseño puede continuar. Si ABS es inferior a ABP se deben cambiar algunos parámetros de la aplicación (por ejemplo, la distribución de la carga de producto o la velocidad de la banda). (Según catálogo de Intralox).

2.2.4.5 Disposiciones de los engranajes del eje motriz y separación máxima entre los engranajes en el eje motriz y número mínimo recomendado de engranajes del eje.

El número de engranajes motrices y sus espaciamentos depende del ancho de banda empleado. Para determinar el número de engranajes necesario, se debe determinar antes la tracción de la banda en relación a la resistencia disponible de la

misma. Se utiliza la fuerza de tracción ajustada y la resistencia permitida de la banda, para calcular la resistencia permitida de la banda se utiliza la siguiente ecuación:

$$ABSU = \left(\frac{ABP}{ABS} \right) 100\% \quad \text{Ec. 7}$$

2.2.4.6 Deflexión del eje motriz

Los ejes motrices deben ser lo suficientemente rígidos para resistir la flexión o deflexión excesivas, originadas por la tracción de la banda y suficientemente fuertes para transmitir el par de torsión requerido. Por lo tanto, se deben determinar la deflexión del eje motriz y el par de torsión para asegurar la selección apropiada del eje.

La carga total sobre el eje a su peso y el de la banda se calcula como sigue:

$$w = (ABP + Q) B \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

w : carga total del eje en kg.

Q : peso del eje como carga distribuida en kg/m.

B : ancho de banda en metros.

Para la deflexión del eje se considera que éste debe ser apoyado por dos soportes, así:

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{5}{384} \times \frac{wL^3_s}{EI} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$Y_{m\acute{a}x}$: deflexión máxima en mm.

L_s : longitud del eje entre apoyos en mm.

E : módulo de elasticidad del material del eje en Kg/mm².

I : momento de inercia en mm⁴.

El límite recomendado para la deflexión es de 2,5 mm.

2.2.4.7 Par motor del eje motriz

La siguiente ecuación permita calcular el par del motor para el eje motriz.

$$T_o = ABP \quad B \quad \frac{P_d}{2} \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

T_o : par motor en kg – mm.

B : ancho de la banda en mm.

P_d : representa el diámetro de paso del engranaje en mm

2.2.4.8 Potencia para accionar la banda

La potencia de accionamiento de la banda se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$P_o = \frac{ABP \quad B \quad V}{6,12} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

P_o : potencia para accionar en vatios.

ABP : fuerza de tracción ajustada, kg/metro de ancho de la banda.

B : ancho de la banda, metros.

V : velocidad de la banda, metros/min.

2.2.4.9 Potencia motriz del motor

Para obtener la potencia requerida por el motor se deberá añadir a la potencia calculada con la Ec.11 las pérdidas de potencia previstas en el tren motriz entre el eje y el motor.

2.2.4.10 Rodamientos

Es importante tener en cuenta los factores que los catálogos de selección señalan, www.skf.com (2.018), para el caso de transporte de elementos sucesivos sobre una mesa continua, el factor a tener en consideración es el peso que deben soportar los rodamientos en forma radial debido a la orientación en el transporte de envases respecto a la ubicación del eje motriz, lo que implica que la carga axial es prácticamente nula. Se selecciona un rodamiento de rodillo a rótula, debido a que este tipo de rodamiento

puede soportar grandes cargas radiales así como cargas axiales de forma combinada, además de ser autoajutable, lo que permite ajustarse a la deflexión que sufre el eje durante la tracción de la banda. Según Mott R. (2.006) se establece la ecuación 12 que permite establecer los criterios fundamentales que deben satisfacerse en la selección de un rodamiento de acuerdo a las condiciones de trabajo a la cual estará sometido el elemento rodante.

$$L = \frac{1000000}{n} \frac{C}{P^a} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

L_{10h} : duración en horas de servicio.

n : velocidad constante de rotación (rpm).

c : carga dinámica (N).

P : carga equivalente (N).

a : exponente, depende del tipo de rodamiento escogido.

Despejando C de la ecuación anterior, se obtiene que:

$$C = \sqrt[a]{\frac{L}{1000000} \frac{n}{P^a}} \quad \text{Ec. 13}$$

También:

$$P = \frac{\text{Tracción de la banda} \cdot \text{Aceleración de la gravedad}}{\text{Anc o de la banda}} \quad \text{Ec. 14}$$

Guías de desgaste

Las guías de desgaste soportan la banda y permiten un deslizamiento suave de la misma durante su fase de operación así como disminuir las fuerzas friccionales que desgastan la banda y generan mayor requerimiento energético en el motor de accionamiento. Existen diseños rectos para aplicaciones de poca carga y del tipo de espina de pescado para cargas pesadas. En la Figura 16 se observa el sistema de desplazamiento recto para la banda transportadora.

2.2.4.11 Consideraciones de temperatura en la banda y la guía de desgaste debido a la expansión térmica

La expansión debida a los cambios de temperatura en las guías de desgaste y la banda pueden ser evaluados a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta L = L_1 (T_2 - T_1) e \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

L_1 : dimensión a la temperatura inicial en m.

T_1 : temperatura inicial en °C.

T_2 : temperatura de operación en °C.

e : coeficiente de expansión térmica en mm/(m/°C).

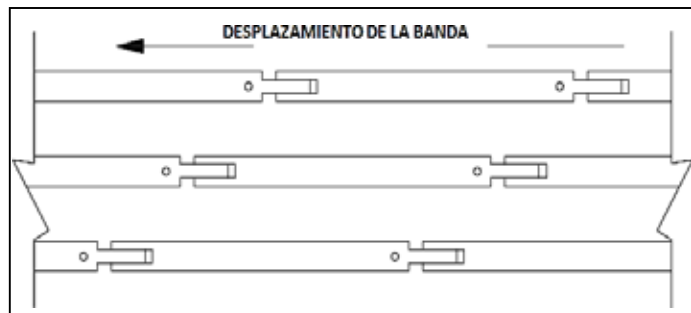


Figura 16: Orientación de las guías de desgaste sobre un transporte de carga moderada.

Fuente: Muñoz y Lagos (2.013)

2.2.4.12 Transmisión por Cadenas

Las correas y las cadenas representan los tipos principales de elementos flexibles para transmitir potencia. A diferencia de los engranajes, que requieren de distancias centrales espaciadas en forma, en alguna medida, reducida y precisa, los impulsores de correa y cadena son capaces de transmitir potencia entre ejes que se encuentran muy separados.

Una cadena es un elemento de transmisión de potencia que se fabrica como una serie de eslabones que se unen mediante pernos. El diseño proporciona flexibilidad mientras permite que la cadena transmita fuerzas de tracción de magnitud considerable.

Cuando transmite potencia entre ejes que giran, la cadena activa ruedas dentadas que se enlazan, se conocen como “*ruedas dentadas o catalinas* “. La pequeña es conocida como “Piñón” y la más grande como “Corona”. La Figura 17 muestra un impulsor de cadena común.



Figura 17: Impulsor de cadena de rodamientos.
Fuente: Pizzella G. (2006).

El tipo más común de cadena es la *cadena de rodamiento*, en la que el rodamiento de cada perno proporciona una fricción excepcionalmente baja entre la cadena y las ruedas dentadas.

Para realizar una selección de un impulsor de cadenas se deben conocer los datos siguientes:

- i) Potencia nominal del motor en HP (se toma de la placa del motor accionador).
En su defecto se utiliza la potencia en HP requerida por la máquina accionada.
- ii) Tipo de motor y de maquinaria movida, tipo de aplicación.
- iii) Velocidad en RPM del eje impulsor y del eje impulsado (para este último, límites: máximo y mínimo).
- iv) Distancia tentativa entre centros de eje.
- v) Por lo menos un diámetro de una de las ruedas dentadas.

La secuencia de cálculo de la cadena, ecuaciones y condiciones de diseño se pueden obtener en el Anexo C.1.

2.2.5 La banda transportadora como pulmón de acumulación

Según, McGuire P. (2.010), son tramos de banda transportadora diseñados para almacenar cantidades o volúmenes altos de unidades transportadas para garantizar un flujo constante y no intermitente del producto a la entrada de un equipo o subproceso (Figura 18). Habitualmente este tipo de transporte se produce en líneas de envasado, donde los equipos dispuestos en serie no cuentan con las mismas velocidades de funcionamiento (envases /minuto) lo que produce que el equipo de mayor velocidad consuma las unidades de producto en proceso y que eventualmente funcione en vacío, lo que produce su detención cuando los sensores que gobiernan el equipo detectan la falta de unidades ingresando al equipo.

La presencia de bandas acumuladoras de envases entre equipos en una línea de envasado permite:

- Procesos de envasados automatizados normalmente corren a altas velocidades, esto requiere la presencia de pulmones de acumulación entre los equipos porque el tiempo de inactividad aumenta proporcionalmente con la cantidad de unidades producidas por minuto. Una línea de envasado que oscile entre 60 unidades/minuto puede no requerir un pulmón intermedio entre equipos porque la falta de unidades puede compensarse de forma manual. No obstante, una línea de envasado a 100 unidades/minuto debe mantener pulmones de acumulación para mitigar los tiempos de inactividad que se traducen en baja eficiencia en los equipos.
- Pulmones de acumulación de envases suavizan ciertos procesos. Pueden requerirse en etapas de un proceso de envasado donde las unidades de un punto a otro son transportadas por lotes con diferencia de tiempo entre ellos o de forma intermitente. Estas etapas pueden ser envases emergiendo de un baño de agua donde se enfriaban a temperatura ambiente, enjuagues de envases antes de su llenado, controles de temperatura entre otros. El pulmón de acumulamiento

permite mantener en funcionamiento los equipos línea abajo mientras la siguiente camada emerge del subproceso.



Figura 18: Representación de un sistema de bandas modulares para acumulamiento de envases.

Fuente: Barona C. (2.014)

- Procesos donde los costos por detenciones de línea son mayores que los costos de dos equipos iguales trabajando en paralelo requiere el uso de un acumulador de envases que proporcione un flujo constante en el tiempo de las unidades. En caso que un equipo falle, el acumulador puede surtir el 100% de la capacidad al equipo funcional.
- Un pulmón de banda en una línea de envasado de alimentos permite mantener el funcionamiento continuo del equipo a quien entrega en caso de producirse una avería temporal línea arriba o línea abajo del proceso, esto permite que algo.
- El pulmón de banda permite tener cierta libertad en la modificación de la velocidad de algunos equipos de acuerdo a los tiempos de producción requeridos en el proceso. Un pulmón de banda correctamente diseñado permite mantener la entrega constante a los equipos pese a la modificación de su velocidad y sin generar cuellos de botella.

2.2.6 Sistema de control

Abarca, P. (2.018), es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. En los sistemas de control de lazo abierto la salida se genera dependiendo de la entrada; mientras que en los sistemas de lazo cerrado la salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación. Un sistema de lazo cerrado es llamado también sistema de control con realimentación.

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

- Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.

2.2.6.1 Elementos de un sistema de control

En todo sistema de control (Figura 19) se utilizan los siguientes dispositivos.

Generador del valor de referencia o consigna: es el sistema que genera la señal encargada de imponer el valor deseado en la salida. La señal de referencia se aplica a un dispositivo llamado detector de error, al objeto de comparar su valor con el de la salida a través del lazo de realimentación.

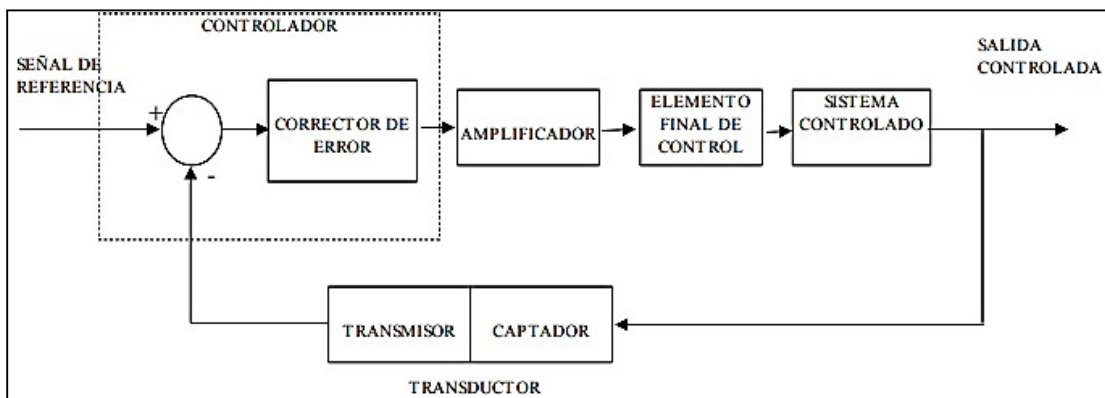


Figura 19: Representación de un sistema de control

Fuente: Barona C. (2.014)

Transductor de la señal de salida: el cual consiste en un dispositivo capaz de medir en cada instante el valor de la magnitud de salida y proveer una señal proporcional a dicho valor, estando formado de dos partes: El captador, llamado también sensor o elemento primario, cuya finalidad es captar directamente la magnitud medida y el transmisor, que es la parte del transductor que tiene por finalidad transformar la magnitud vista por el captador, normalmente la variación de una magnitud eléctrica o neumática [Mecafenix, F. (2.018)].

Comparador o detector de error: es el dispositivo encargado de comparar el valor de referencia con el valor medido de la variable de salida a través del transductor de realimentación.

Corrector de error: es el dispositivo encargado de amplificar y modificar adecuadamente la señal de error que le proporciona el detector de error, con el fin de que la acción de control sobre el sistema sea más eficaz.

Amplificador de control: llamado también amplificador de potencia, tiene como finalidad amplificar la señal vista por el corrector de error al objeto de que alcance un nivel suficiente para accionar el elemento final de control.

Elemento final de control: es el dispositivo situado en un sistema de control cuyo objeto es modificar la variable de salida para que tenga el valor deseado.

Sistema o planta: es el lugar donde se desea realizar una acción de control [Mecafenix, F. (2.018)].

2.2.6.2 Controlador lógico programable (PLC)

Un PLC, también conocido como autómata programable, es básicamente una computadora industrial la cual procesa todos los datos de una máquina como pueden ser sensores, botones, temporizadores y cualquier señal de entrada (Figura 20). Para posteriormente controlar los actuadores como pistones, motores, válvulas, entre otros y así poder controlar cualquier proceso industrial de manera automática. Para que un PLC pueda procesar y controlar cualquier sistema se necesita que este previamente

programado para la tarea que va a realizar. Para poder programarlo se necesita un software que es específico dependiendo la marca y cada programa cuenta con diversos lenguajes de programación en los cual escribes instrucción por instrucción lo que se va a procesar y controlar [Mecafenix, F. (2.018)].



Figura 20: Representación estándar de un PLC
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

2.2.6.3 Partes de un PLC

Se puede dividir en diferentes partes, las cuales pueden estar integradas por módulos:

- Fuente de alimentación.
- Unidad de procesamiento central (CPU).
- Módulos de entradas/salidas.
- Módulo de memorias.
- Unidad de programación.

Fuente de alimentación, La función de la fuente de alimentación, es suministrar la energía eléctrica a la CPU y demás tarjetas del PLC.

CPU, es la unidad central de procesamiento como su nombre lo indica se encarga de interpretar cada una de las instrucciones que tiene programado el PLC.

Módulos, son una de las características prescindibles ya que a través de los módulos de entrada y salida es posible hacer una conexión física entre el CPU y el sistema a controlar. Se dividen en:

- **Módulo de entrada:** A través de este módulo se le manda una retroalimentación al PLC para que este pueda procesar los datos.
- **Módulo de salida:** Una vez que el PLC recibe la retroalimentación y procesa los datos en base a su programa manda una respuesta a los actuadores para controlar al proceso.

Módulos de memorias, En los módulos de memoria es donde se guarda el programa del PLC, las cuales pueden ser de tipo RAM, ROM, PROM, EAROM y NVRAM [Mecafenix, F. (2.018)].

2.2.6.4 Tipos de PLC

Pueden clasificarse, en función de sus características en:

- Nano.
- Compacto.
- Modular.

Nano, generalmente integran la fuente de alimentación, la CPU y las entradas y salidas la diferencia entre el tipo compacto es que maneja un conjunto reducido de entradas y salidas (Figura 21). El tipo nano permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

Compacto, tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos pero no pueden expandir sus modelos (Figura 22), su tamaño es superior a los de tipo Nano.



Figura 21: Representación estándar de un PLC nano.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)



Figura 22: Representación estándar de un PLC compacto.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

Modular, este tipo tiene la ventaja de que pueden ser configurados conforme a las necesidades ya que cada módulo está por separado y es posible armar el PLC según las necesidades del sistema (Figura 23) [Díaz, G. (2.017)].



Figura 23: Representación estándar de un PLC modular.
Fuente: Díaz, G. (2.017)

2.2.7 Sensores ópticos de presencia (fotoeléctrico)

Un sensor óptico o también llamado fotoeléctrico es capaz de detectar una presencia o algún objeto a distancia, a través del cambio de intensidad de luz (Figura 24). Debido a que estos dispositivos se basan en la cantidad de luz detectada o reflectividad de los objetos, es posible detectar casi todos los tipos de materiales, por ejemplo. Vidrio, metal, plástico, madera y líquidos.

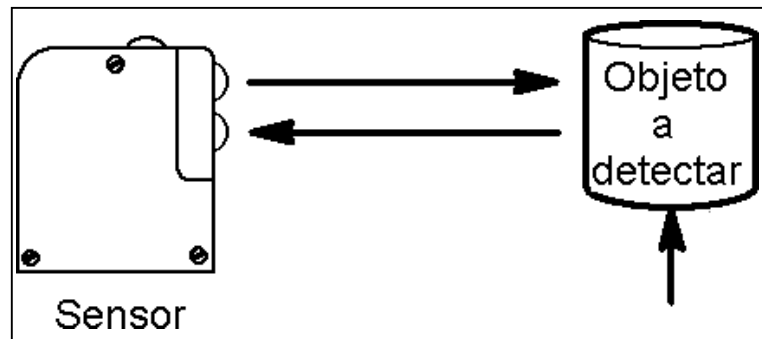


Figura 24: Dinámica del sensor con el objeto de detección.

Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

Estos componentes requieren la participación de un emisor y un receptor, el emisor se encarga de enviar una señal en forma de luz y el receptor está encargado de detectar ese haz de luz enviado por el emisor.

Existen sensores que utilizan como emisor la luz natural y de receptor una fotoresistencia. Pero debido a que en este tipo de sensores es fácil alterar su funcionamiento con alguna fuente de luz distinta a la prevista. Se utilizan principalmente para activar o desactivar lámparas de alumbrado. En la Figura 25 se observa como varía la resistencia recibida por el receptor conforme el incremento de luz en el mismo.

Para poder solucionar el problema que tienen estos sensores, se utiliza un emisor (LED infrarrojo) y un receptor (fototransistor) los cuales están sincronizados a una frecuencia específica para que el receptor esté siempre seguro que la señal que detecta

es la que produce el emisor. En la Figura 26 se muestra el esquema de interacción entre el emisor, receptor y el haz infrarrojo.

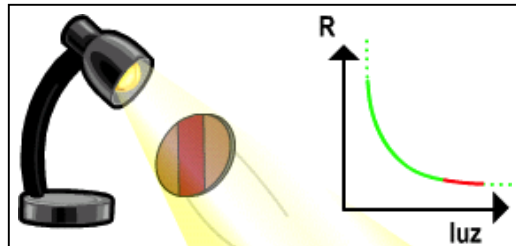


Figura 25: Variación de la resistencia vs Luz.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

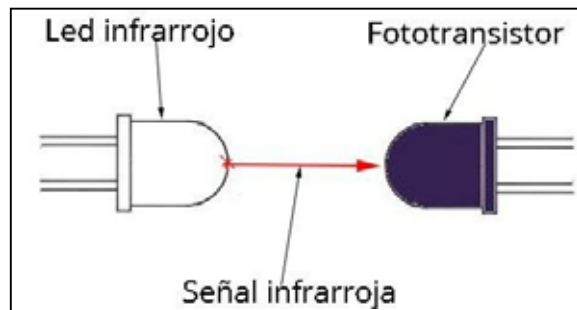


Figura 26: Diagrama emisor, receptor y haz infrarrojo.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

2.2.7.1 Partes de un sensor óptico

Este tipo de sensor se compone de pocas partes que lo convierten en un sistema práctico y entendible, siendo las partes las que siguen a continuación (Figura 27):

- **Emisor:** da origen a un haz luminoso normalmente a través de un LED infrarrojo.
- **Receptor:** está encargado de captar la señal producida por el emisor, generalmente se utiliza un fototransistor, un fotodiodo o un reflector.
- **Lentes:** están diseñados para modificar el campo de visión de los componentes, esto trae como consecuencia el aumento de la distancia de detección.
- **Circuito de salida:** básicamente es el circuito que se encarga de mandar la señal de salida ya sea digital o analógica.

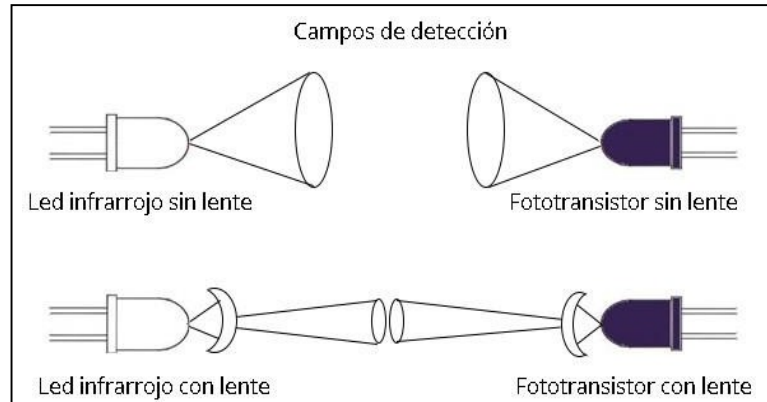


Figura 27: Partes de un sensor óptico.

Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

2.2.7.2 Tipos de sensores ópticos

Estos sensores pueden clasificarse dependiendo de la forma en que detectan los objetos. [Mecafenix, F. (2.018)].

De barrera, el emisor y el receptor están colocados uno frente al otro, lo cual indica que el fototransistor siempre recibe la señal producida por el led infrarrojo. Cuando un objeto se posiciona entre los dos dispositivos éste obstaculiza la señal al receptor, como se observa en la Figura 28.

Retroreflexivo o réflex, el emisor y el receptor están incluidos en un solo lugar, con la diferencia que se utiliza un espejo reflector que logra rebotar la señal producida hacia el mismo lugar de origen. Tiene el mismo funcionamiento que el sensor óptico de tipo barrera, cuando un objeto se posiciona entre el dispositivo de emisor y el espejo reflector éste obstaculiza la señal para no poder retornar, como se visualiza en la Figura 29.



Figura 28: Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo barrera.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

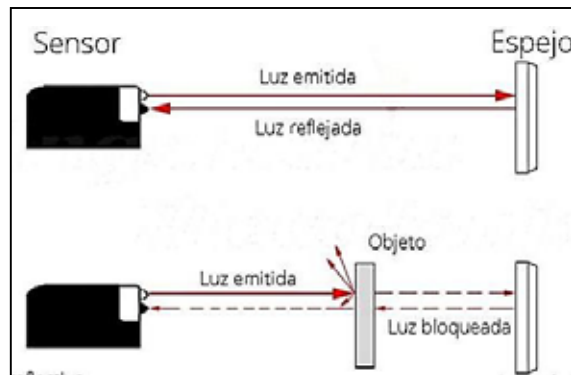


Figura 29: Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo reflectivo.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

Difuso-reflectivo, todos sus componentes están instalados en un mismo cuerpo, y este funciona de tal manera que el haz de luz producido rebota en el objeto a detectar (Figura 30).

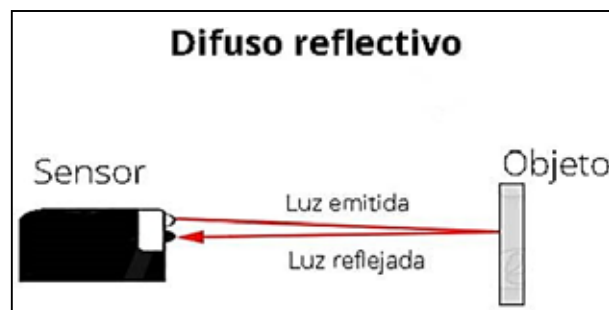


Figura 30: Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo difuso.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

Reconocimiento de brillo, cuando el haz de luz rebota en un objeto, este se refleja de manera diferente según el brillo del cuerpo detectado. Este sensor es capaz de diferenciar el brillo con el que se refleja la señal de luz producida, como se observa en la Figura 31.

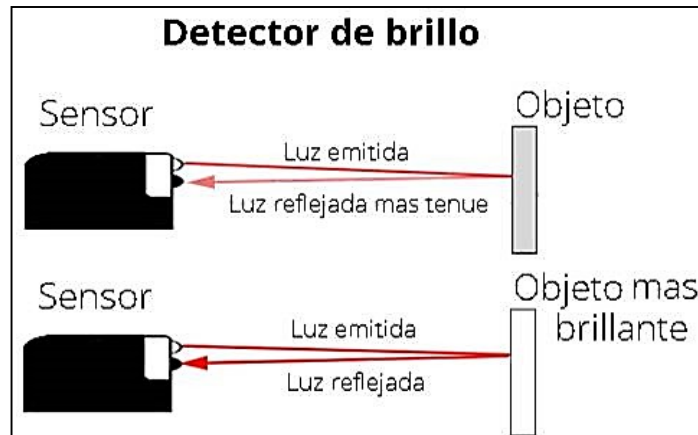


Figura 31: Sensor óptico (fotoeléctrico) con sensor de brillo.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

2.3 Definición de Términos Básicos

Llenadora: equipo industrial que deposita a través de boquillas dosificadoras un producto determinado sobre un envase, botella o empaque.

Envase: es un producto (usualmente de forma cilíndrica) que puede estar fabricado en una gran cantidad de materiales y que sirve para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar un producto en cualquier fase de su proceso productivo, de distribución o de venta.

Despaletizadora: es una máquina que consta de brazos hidráulicos y una base móvil que se encarga de desmontar paletas de un producto determinado, como envases, en arreglos de camadas o capas sobre una superficie móvil para el posterior traslado de estos hacia un proceso productivo.

Encauce de envases: es el proceso en el cual un aglomerado de envases son orientados a una forma lineal de estos, donde cada uno de estos se dispone una detrás del otro.

Rieles-guía: son una estructura dispuesta sobre la banda transportadora que encierra los envases sobre un área específica de la banda y también permite el proceso de encausamiento mediante la convergencia de de estos rieles sobre la banda.

Acumulación de envases: consiste en almacenar una cantidad específica de envases sobre un arreglo de bandas transportadoras con el objetivo de siempre tener un suministro constante de estas unidades hacia el equipo que las consume.

Transporte sin presión: es el modo en el cual los envases bajo acumulación son transportados sobre la banda para conservar su integridad física. En este tipo de transporte se requiere de un bajo coeficiente entre ambas superficies de contacto y el desplazamiento se produce cuando la banda hala el envase y este se detiene (deslizándose) cuando encuentra un obstáculo.

Higienizador twister: consiste en un jaula a través de la cual los envases ingresan y rotan 360 grados, donde la fase en la cual se ha producido la mitad del giro, una inyección de aire a presión elimina partículas de sucio en el interior de los recipientes a fin de mantenerlos inocuos previo al llenado.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación.

En este sentido se comprende, que es un proyecto factible por dar una solución viable a cierta problemática. “Se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (Arias, 2016, p.134).

La naturaleza de la investigación se basa en proponer una mejora a un sistema de transporte de envases en las líneas de envasado 1 y 2 de mayonesa en el entorno del despaletizado de estas hacia el punto de llenado. Esta mejora se realiza como una necesidad ante el número y magnitud de las paradas no programadas registradas en el año fiscal comprendido entre Octubre de 2.018 y Septiembre 2.019. En este sentido, uno de los objetivos específicos de este proyecto de investigación consiste en determinar mediante un análisis causa-efecto cuales son las variables o factores que están interviniendo de forma no adecuada en el proceso y por ende ocasionando las paradas no programadas registradas. Adicionalmente, el estudio de los factores requeridos para el diseño del transporte de envases por acumulamiento sin presión sobre una banda transportadora modular en conjunto con las causas que originan el efecto no deseado sobre el sistema permitirá realizar una propuesta de rediseño sobre el sistema actual que refleje una modificación de los parámetros que no están adecuadamente diseñados en el sistema y que provocan el efecto de desgaste de la banda, trancamiento y caída de envases lo que se traduce en frecuentes paradas no programadas en la llenadora por entrega intermitente y no continua de envases hacia ésta por el fenómeno descrito anteriormente.

3.2 Nivel de investigación.

La presente investigación es en esencia descriptiva, porque se observa y describe el comportamiento de un sujeto u objeto. Arias (2016) afirma:

“Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere”. (p.24).

El objetivo principal de una investigación de tipo descriptivo es describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos. El presente trabajo de grado se basa en un nivel investigativo descriptivo. En este sentido, el nivel de este proyecto de investigación se define como descriptivo y explicativo puesto que se basa en determinar las causas que están ocasionando un efecto de índole no deseado. Donde estas causas obtenidas como producto de una caracterización y diagnóstico del sistema actual en conjunto con los principios teóricos de diseño para este tipo de aplicaciones permitirán generar una propuesta de rediseño que mitigue el impacto encontrado actualmente.

3.3 Diseño de investigación.

Según Arias (2016) “La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”.

De acuerdo a Fernández, C., Lucio, P.B. y Sampieri, R.H. (2006) “El termino diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea. (El plan incluiría procedimientos y actividades tendientes a encontrar la respuesta a la pregunta de investigación)”

En este orden de ideas, se dará una explicación detallada del desglose de cada fase ejecutado durante la ejecución de la investigación, la Figura 32 muestra un diagrama de flujo que resume estas fases.

En este sentido y tomando en cuenta los criterios de Arias, el proyecto de investigación se define de tipo documental y de campo puesto que la naturaleza del mismo se basa en la búsqueda de información que contemple los principios y criterios de diseño que son empleados para el diseño óptimo de un sistema de transporte de envases mediante bandas transportadoras modulares. De igual manera, en el área de estudio se realizó la recopilación y obtención de medidas, datos, tiempos, velocidades, evidencia fotográfica y revisión de manuales con el objetivo de realizar el diagnóstico de la situación actual del área de estudio que en conjunto con la información teórica recopilada permitirá realizar la propuesta de rediseño en el entorno de estudio.

3.4 Población y muestra.

3.4.1 Población.

Según Arias (2016):

“La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuáles serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p.81). La población de esta investigación es el sistema de transporte de envases, esto es, la banda transportadora en las líneas de envasado 1 y 2 de mayonesa en la planta de Alimentos Berrios ALBECA, C.A.

3.4.2 Muestra.

“La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2016, p. 83). Tomando esto de referencia tenemos que la muestra es un grupo que será seleccionado en la zona de estudio del proyecto que representara a la población. La muestra de esta investigación se refiere a las líneas de envasado 1 y 2 de mayonesa en la planta de Alimentos Berrios ALBECA, C.A.

3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos.

Bostwick y Kyte (2.006) señalan que la función del instrumento de medición es establecer una relación entre el mundo real y el mundo conceptual. El primero provee evidencia empírica y el segundo proporciona modelos teóricos para encontrar sentido al segmento del mundo real que se trata de describir.

En la presente investigación, se plantea utilizar técnicas de análisis documental, para conocer, entender y aplicar los conocimientos necesarios para realizar un diseño de un sistema de transporte de acumulación de envases mediante bandas transportadoras.

Dentro de las técnicas de recolección de datos se tiene la observación cuantitativa la cual está comprendida por la observación directa e indirecta de lo observado en el área de estudio. Según Bostwisk y Kyte (2.006) la observación directa, es aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación. Mientras que la observación indirecta es aquella en la cual es investigador corrobora los datos que han sido adquiridos durante el experimento. En virtud de lo mencionado, las técnicas utilizadas para obtener datos fueron:

Técnicas de observación: consiste en la recolección de información en forma de datos, inspección visual del área, anotación y descripción de los procesos y equipos de estudio, para seleccionar, organizar y relacionar los datos presentes.

Técnica de investigación bibliográfica: se basa en obtener, consultar y recopilar datos para el estudio y posterior diseño, seleccionando los aspectos más importantes que resultan útiles para el desarrollo de la investigación.

3.6 Fases de la Investigación.

En este capítulo se describirá el procedimiento ejecutado durante el desarrollo de la investigación la cual fue desplegada en cinco fases las cuales proporcionarán el cumplimiento a los objetivos específicos ya mencionados. En este orden de ideas, se dará una explicación detallada del desglose de cada fase ejecutado durante la ejecución de la investigación, la Figura 32 muestra un diagrama de flujo que resume estas fases.

Fase 1: Diagnosticar condiciones actuales del sistema de transporte de envases, caso estudio.

La revisión bibliográfica de la investigación es un factor clave e importante ejecutado como criterio para la comprensión de cómo son diseñados los sistemas de transporte de envases en una línea de envasado como norma de estudio la interacción entre envases y banda.

La búsqueda de esta información incluye recopilar proyectos investigativos relacionados al tema, libros, artículos, funcionamiento de procesos productivos similares, los cuales serán la base para establecer los criterios de diseño a implementar en la línea 1 y 2 de mayonesa que en conjunto con las causas y efectos obtenidos como parte del diagnóstico del sistema actual permitirán generar una propuesta de diseño. De esta manera, esta base teórica formada por diversos trabajos, bibliografías y artículos de distintos autores permitirá interpretar distintos conceptos, metodologías y procedimientos que se emplean en el estudio de un diseño de bandas transportadoras modulares.

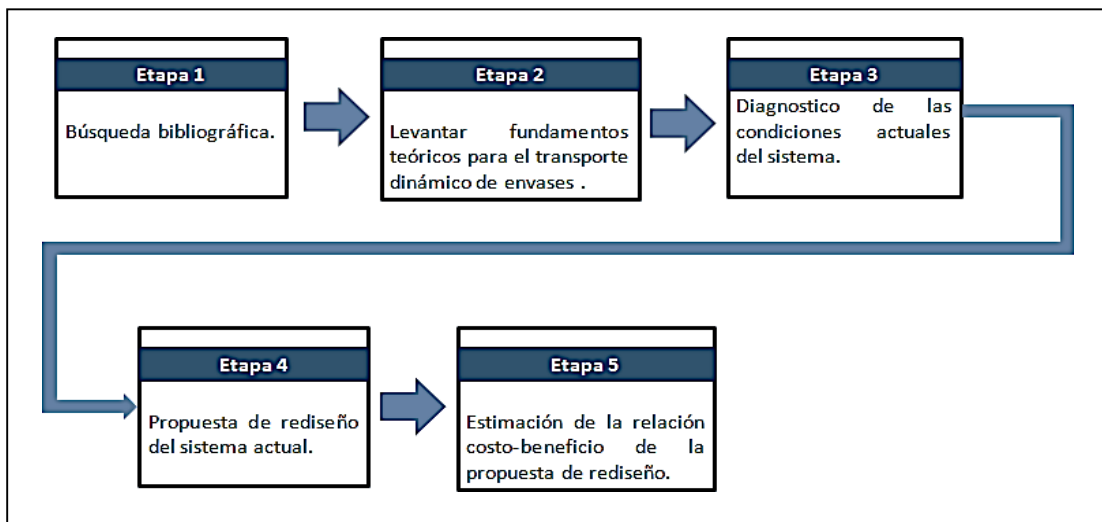


Figura 32: Fases de la investigación.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Una vez hecha la recopilación, el cual hace parte y es necesaria en el estudio para el diseño de un sistema de transporte de envases mediante bandas transportadoras. se realizará un estudio de cómo se comporta el proceso durante su fase de operación, mediante diferentes tomas de recolección de datos, que incluye mediciones de las velocidades lineales con un tacómetro en las diferentes bandas que conforman el pulmón de envases; inspecciones visuales y reconocimiento de las etapas que conforma

el proceso desde su despaletizado hasta el llenado; información obtenida de los especialistas del área sobre el funcionamiento de los equipos y cómo interactúan con los envases, entre otros.

La información recopilada permitirá levantar el diagnóstico acerca del fenómeno no deseado que actualmente se está manifestando en ambas líneas de envasado a través de un estudio causa-efecto, en la cual se evalúan las posibles causas desde un nivel macro a un nivel micro, como una estrategia para dejar en evidencia la causa raíz que está generando el inapropiado transporte de envases y por ende las constantes paradas no programadas de las líneas de envasado. Esta fase representa un preámbulo para determinar los factores que deben ser considerados en el proceso de diseño en la siguiente fase.

Fase 2: Proponer las diversas alternativas de solución para el transporte de envases.

En este ítem se plantean algunas soluciones para luego en base a los criterios y restricciones establecidos y utilizando el método del profesor Vilchez, N. (2002) se selecciona la mejor solución.

Fase 3: Diseñar en detalle los componentes mecánicos para el transporte de envases, caso estudio.

En esta fase se realizará un diseño basado en las condiciones actuales del sistema de transporte, donde, partiendo de los datos de la operación demandada por el proceso se realizará una reestructuración a través de cálculos matemáticos en los factores que intervienen en el transporte de envases, a fin de utilizar estos cálculos para la selección de los debidos componentes que componen el sistema y garantizar un correcto transporte de los recipientes mientras dichos componentes no se ven afectados bajo las condiciones de operación.

Fase 4: Diseñar en detalle el sistema de control para el transporte de envases, caso estudio.

Debido a que se manejan grandes cantidades de unidades de envases en las etapas productivas, estadísticamente (aunque en un bajo porcentaje) existirán envases que se

tranquen y bloqueen el flujo de envases, razón por la que esta fase es dedicada a realizar un diseño automático mediante sensores que permita detectar inmediatamente estos trancamientos y enviar una señal al operador de turno para que realice los protocolos de destrancamiento de envases a fin de anticipar una posible detención de la llenadora o en su defecto, disminuir el tiempo de parada de ésta en virtud que el diseño de automatización detectará el bloqueo de envases y ahorrará minutos valiosos de producción que prolongados en una jornada productiva se traduce en el ahorro de una cantidad importante de tiempo y por ende una mejor productividad de la línea.

Fase 5: Elaborar la relación costo – beneficio del proyecto.

En esta fase se darán a conocer los detalles del presupuesto para la realización del proyecto y estudiar la factibilidad del mismo a través de los kilogramos potenciales que dejaban de producirse a causa de las paradas no programadas producidas por el mal transporte de los envases.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En los capítulos anteriores se establecieron los parámetros técnicos, teóricos y metodológicos que dan sustento a la realización del proyecto, no obstante en las siguientes páginas se presentan los resultados obtenidos durante la ejecución de las fases enunciadas anteriormente.

4.1 Diagnosticar condiciones actuales del sistema de transporte de envases.

4.1.1 Área de estudio

En la Figura 33 se muestra una vista de planta que conforma toda el área de envasado de mayonesa, la cual se divide en 5 líneas en paralelo. Los procesos de envasado inician del lado derecho de cada línea y culminan en el lado izquierdo donde el producto terminado es enviado a los almacenes. Cada línea de envasado recibe el nombre de AMYE01 (línea 1), AMYE02 (línea 2), AMYE03 (línea 3), AMYE04 (línea 4) y línea galón (línea 5). El área enmarcada en rojo viene representando el lugar de estudio, donde se encuentran los pulmones de envases de bandas transportadoras.

En la Figura 34 se observa un enfoque más específico de las áreas en estudio, donde la inspección visual en el área permitió corroborar que las líneas 2 y 3 de mayonesa comparten en común un equipo al inicio del proceso, el cual es la despaletizadora. Este equipo surte a una o ambas líneas al mismo tiempo (según sea los planes de producción) hacia las bandas transportadoras, los cuales fungen como pulmón de almacenamiento y entrega de envases hacia la llenadora.

Por medio de un programa de modelación de diseño asistido por computadora (Computer Aiding Design) CAD, llamado Solidworks se realizará el modelado del área de estudio, el cual permitirá detallar el sistema de estudio a fin de contextualizar todos los problemas latentes que están generando la situación problemática.

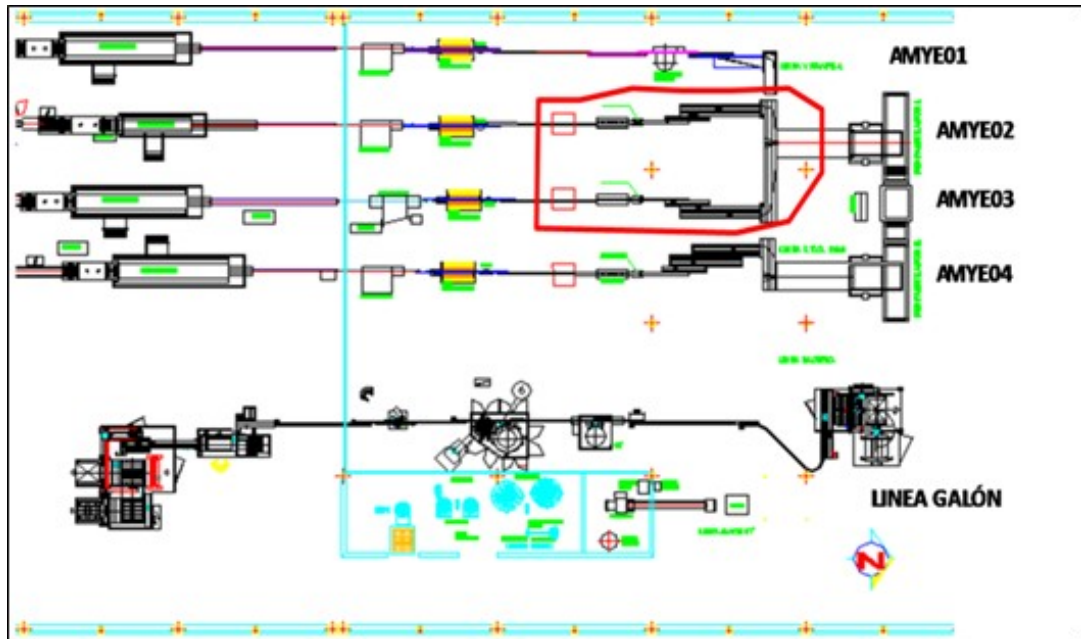


Figura 33: Vista de planta del área de envasado de mayonesa.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

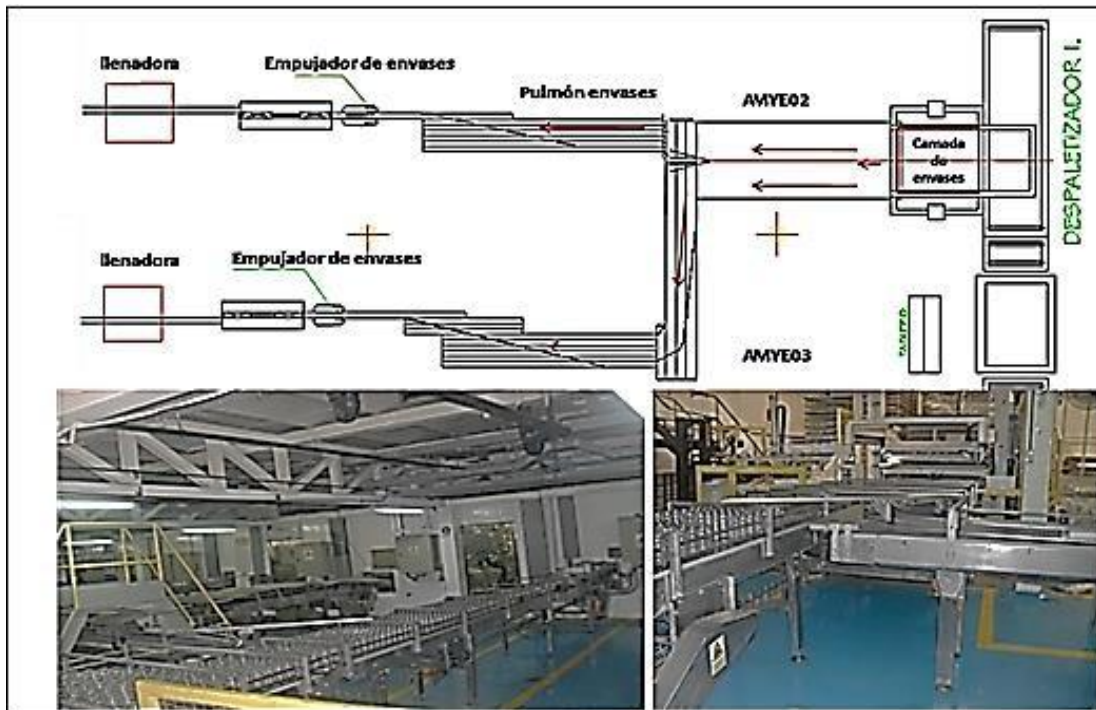


Figura 34: Vista del lugar de estudio en área de envasado de mayonesa.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.1.2 Geometría del pulmón de envases actual.

Las líneas de envasados AMYE02 y AMYE03 inician su proceso desde una despaletizadora en común, que a través de una mesa de transporte entrega continuamente camadas de envases hacia ambos pulmones de envases (segmento de bandas transportadoras dispuestas en paralelo), los cuales en un principio del proceso de producción comienzan a llenarse hasta eventualmente llenar el pulmón de envases que entrega continuamente unidades hacia los respectivos sopladores de envases y posteriormente hacia las llenadoras.

En la Figura 35 se visualiza el modelado de ambas líneas de envasado desde la mesa de transporte de la despaletizadora, en el punto 1, hasta sus respectivas llenadoras y posteriores tapadoras en el punto 2.

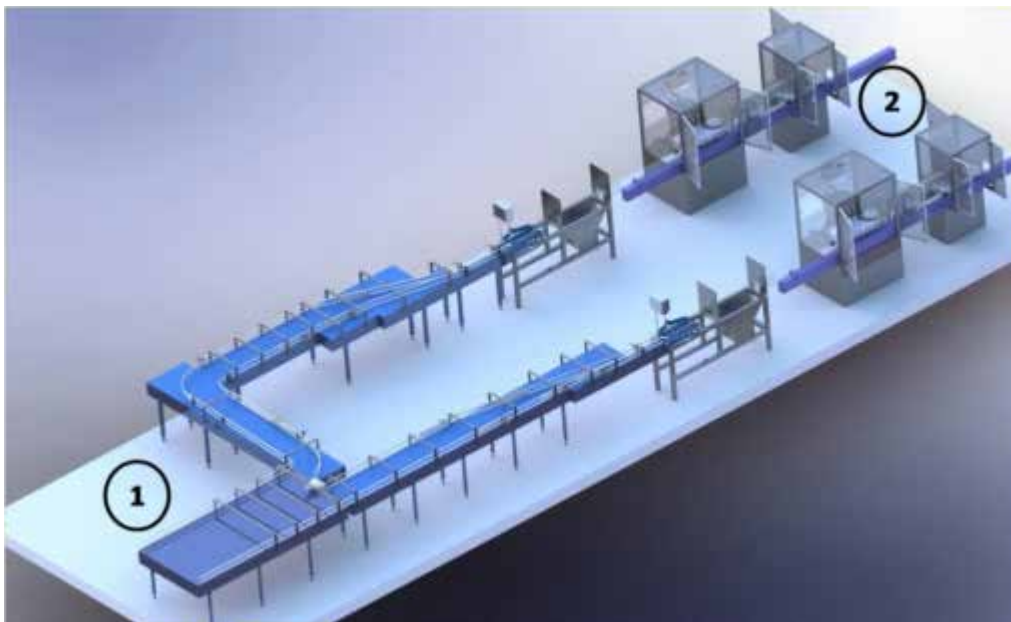


Figura 15: Representación geométrica del área de estudio (pulmones hacia llenadoras).

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.1.3 Número de cintas transportadoras por línea entre el buffer y la llenadora.

Utilizando la herramienta de diseño Solidworks se modela en cada pulmón de envases la orientación, disposición y número de bandas transportadoras que conforman el tamaño y geometría de cada pulmón.

Línea 2 (AMYE02):

La Figura 36 muestra la disposición geométrica de la banda transportadora formando el pulmón 2.

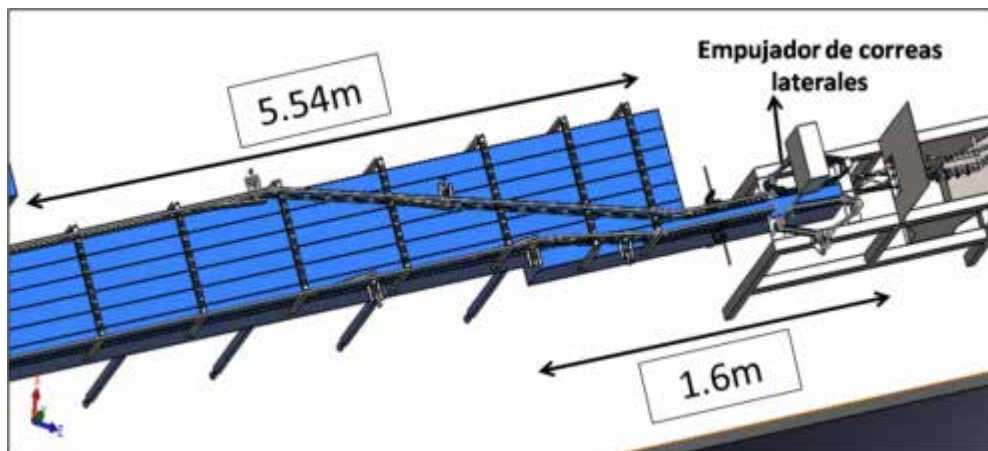


Figura 36: Disposición geométrica de las bandas transportadoras formando el pulmón 2.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Características:

El pulmón de envases se conforma de 6 bandas transportadoras en paralelo de 5,54 m de longitud que desembocan hacia una banda transportadora única de 1,6m que entrega los envases hacia el empujador de correas laterales.

Línea 3 (AMYE03)

Características:

Debido a que la línea 3 no se encuentra alineada con la mesa de transporte de la despaletizadora (ver Figura 37), entonces parte del pulmón de envases de esa línea constituye un arreglo inicial de 6 bandas en paralelo de 4,10 m más una séptima banda

auxiliar que conecta y entrega los envases hacia el pulmón principal también formado por 6 bandas de 3,94 m que se vincula paralelamente hacia 3 bandas de 2,50 m que incrementan la velocidad de los envases antes de vincular hacia la banda transportadora solitaria que entrega envases hacia el empujador de correas laterales.

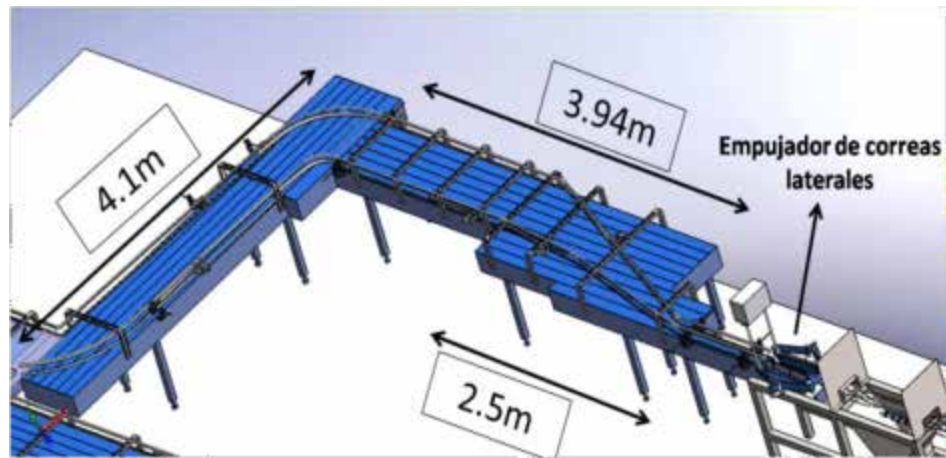


Figura 37: Disposición geométrica de las bandas transportadoras formando el pulmón 3.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.1.4 Tipo de banda transportadora modular

4.1.4.1 Tipo de banda transportadora y la aplicación de trabajo

Banda transportadora modular para envases: como se observa en la Figura 38, cada banda transportadora en la línea se encuentra formada por sucesivos módulos ensamblados por varillas a lo ancho de la cinta trabados entre si y que forman una cama resistente, sobre la cual se desplazan los envases. Las características mecánicas, químicas y de diseño de las bandas modulares permiten que sean utilizadas para aplicaciones donde se requiere la acumulación de producto, transporte y manejo de cargas bajo estricto control de higiene, siendo el transporte de envases una aplicación que requiere estrictamente el uso de bandas modulares.

4.1.4.2 Especificaciones del eslabón que conforma la banda.

La Figura 39 muestra los datos que constituyen las características principales de las bandas transportadoras ubicadas en el área de estudio, la cual se realiza mediante el estudio de un módulo o inserto, el cual es el componente primario de este tipo de transporte. Sabiendo que el fabricante es Intralox y realizando la medida del paso nominal del inserto (distancia entre agujeros) y el ancho de la misma, se buscó en el catálogo de bandas ofrecidas por el fabricante y se constató la serie y el modelo de banda usada actualmente en la línea de envasado.

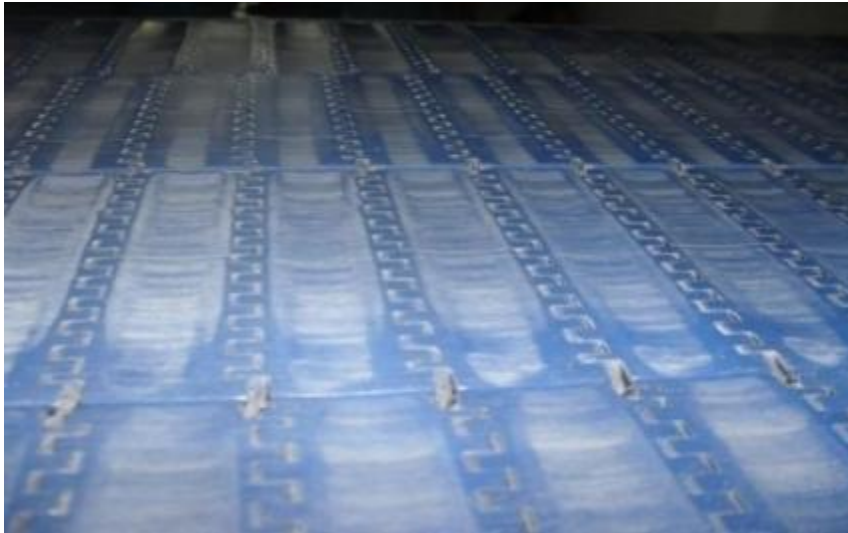


Figura 38: Desarrollo de la banda compuesta por la unión de sucesivos módulos conectados entre sí (Foto real).

Fuente: Velásquez C. (2.020)

El modelo de banda transportadora mostrado en la Figura 38 representa el tipo de superficie óptima para el transporte de envases, ya que debido a su superficie uniforme, libre de estrías, canales o áreas abiertas, permite el transporte suave de envases, los cuales son productos con alto grado de inestabilidad por su baja masa previo al llenado y poca área de contacto respecto a su altura.

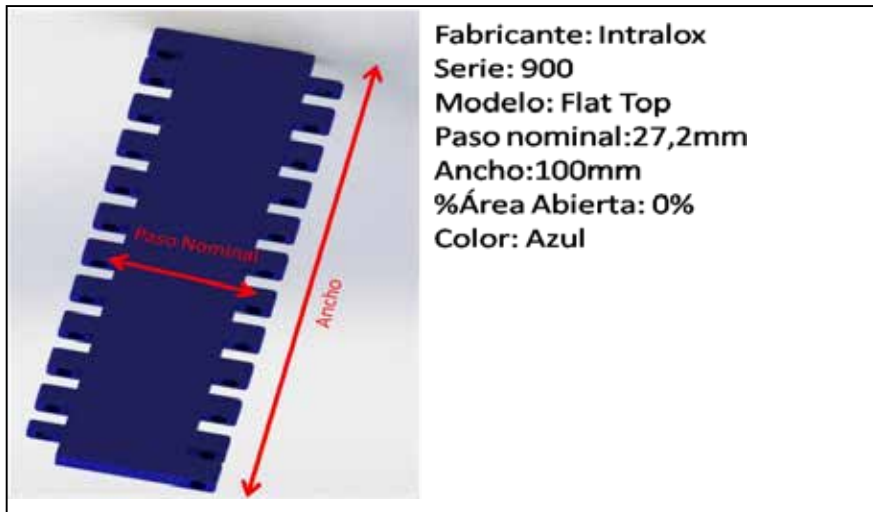


Figura 39: Módulos de conexión.

Fuente: Intralox S.A. (2014)

4.1.4.3 El material.

La determinación de la serie y modelo de la banda transportadora actual está diseñada para trabajar con diferentes materiales, como el polipropileno, el polietileno y el acetal.

Utilizando la norma ASTM D1505-03 [Ver Standars and Publications, (2.014)], para determinar la densidad en plásticos sólidos mediante la inmersión de un espécimen de prueba en una columna de líquido de volumen conocido, se tomó una muestra de un inserto de la cual se obtuvo el peso utilizando una balanza y a través de un tubo de ensayo graduado con agua se midió el volumen del inserto a fin de hallar la densidad el mismo y compararlo con la densidad de los materiales conocidos utilizados por el fabricante.

En la Tabla 1, se tabularon los valores obtenidos del experimento y se observa que la densidad obtenida corresponde a la densidad del polipropileno, lo que indica que las bandas transportadoras están hechas de dicho material.

El polipropileno tiene una resistencia mecánica aceptable así como una resistencia a agentes químicos. No obstante, este material no es el más idóneo para condiciones

agresivas de transporte de unidades que constantemente deslizan respecto a la banda, debido a su coeficiente de fricción elevado respecto a sus semejantes para este tipo de aplicaciones así como una dureza que en condiciones donde existen fuerzas friccionales, se genera un desgaste sobre las mismas.

4.1.5 Velocidad, cargas y rieles-guías de la banda transportadora

Utilizando un tacómetro (Ver Figura 40) se realizó el cálculo de las velocidades tangenciales de cada una de las bandas transportadoras que permitirá obtener un perfil de velocidades que será estudiado para determinar si el perfil obtenido está en concordancia con los principios ideales de diseño que permitan obtener una entrega de envases adecuada hacia el equipo aguas abajo y que al mismo tiempo no produzca un deterioro prematuro de la superficie de la cinta transportadora.

Tabla1: Densidad del inserto

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE UN INSERTO	
Masa-inserto:	5,7 g
$Volumen_{inserto} = \frac{masa}{V_{agua.final} - V_{agua.inicial}}$	38,2 ml - 32ml = 6,2 ml
$Densidad\ inserto = \frac{masa}{volumen}$	910,78kg/m ³
Densidad Polipropileno:	900kg/m ³ (según catálogo, anexo A.1)
Densidad Polietileno:	950kg/m ³ (según catálogo, anexo A.1)
Densidad Acetal:	1400kg/m ³ (según catálogo, anexo A.1)

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.1.5.1 Velocidades lineales de las bandas transportadoras

Las mediciones de velocidades en cada una de las bandas transportadoras se muestran en las Figuras 41 y 42.

Algunos patrones de velocidades obtenidos en las mediciones corresponden a cambios bruscos de velocidades lo que conlleva a la desestabilización de los envases al intentar cambiarse de banda a banda provocando su potencial caída. Así como en

algunos casos, como la banda B3 no forma un patrón de velocidades creciente con respecto a sus bandas contiguas, lo que genera estancamientos de envases en esa zona como consecuencia de que la banda no es capaz de descargar o desplazar los envases que recibe a la misma tasa o velocidad que lo hacen sus bandas contiguas, lo que conlleva a un taponamiento o potencial cuello de botella en su adyacencia.



Figura 40: Medición de velocidades de la banda mediante un tacómetro.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

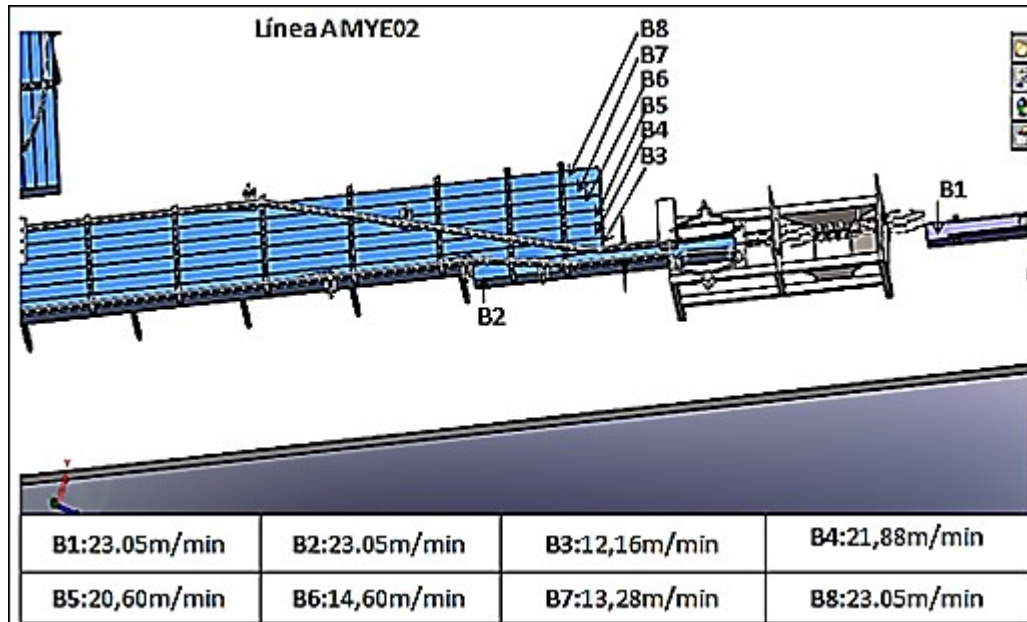


Figura 41: Velocidades lineales actuales de las bandas, línea 2.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

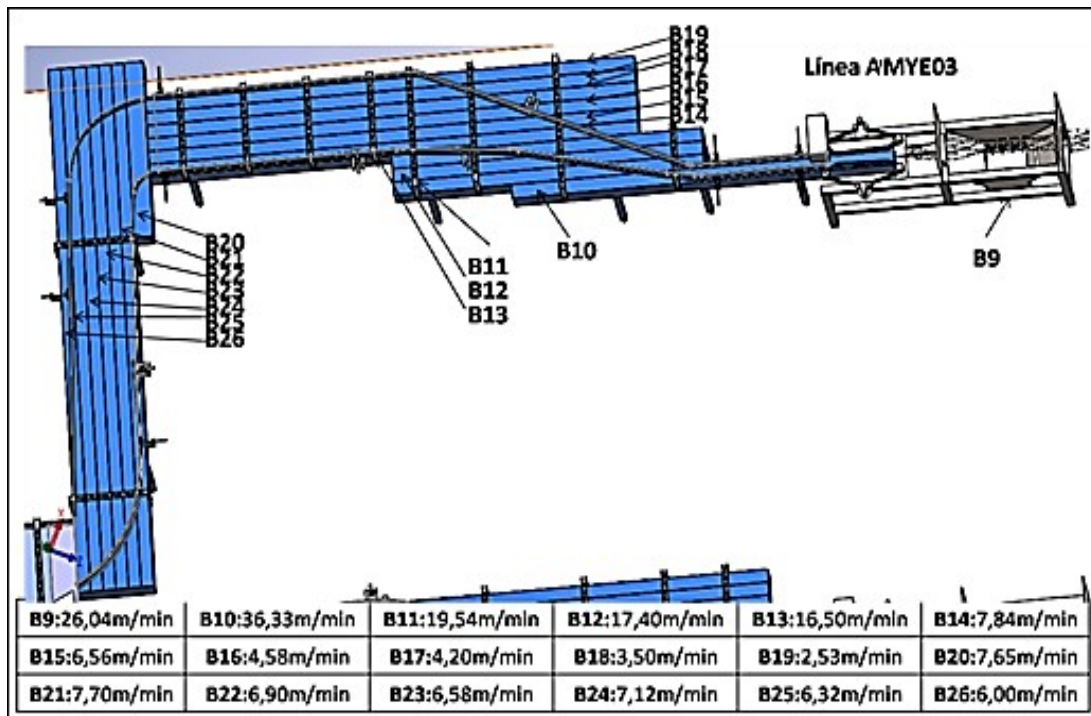


Figura 42: Velocidades lineales actuales de las bandas, línea 3.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.1.5.2 Carga Actual de transporte

A través del modelado a escala real obtenido del pulmón de envases se midió el área total encerrada por los rieles guías sobre la cual se almacenan envases en las bandas transportadoras, como se observa en la Figura 43.

Adicionalmente, se observó que los envases al estar en contacto unos con otros dejan espacios intersticiales entre ellos debido a su sección transversal circular, lo que produce que no ocupen el 100% del área de la banda delimitada por los rieles-guías. Por tal motivo, se realizó una estimación de cuantos envases PET y vidrio caben en un área determinada de un metro cuadrado a fin de realizar una estimación de cuantas unidades reales puede haber sobre el pulmón de banda transportadora.

En las Figuras 44 y 45 se observa la distribución y cantidad de envases sobre un área específica modelada con la herramienta de diseño de Solidworks.

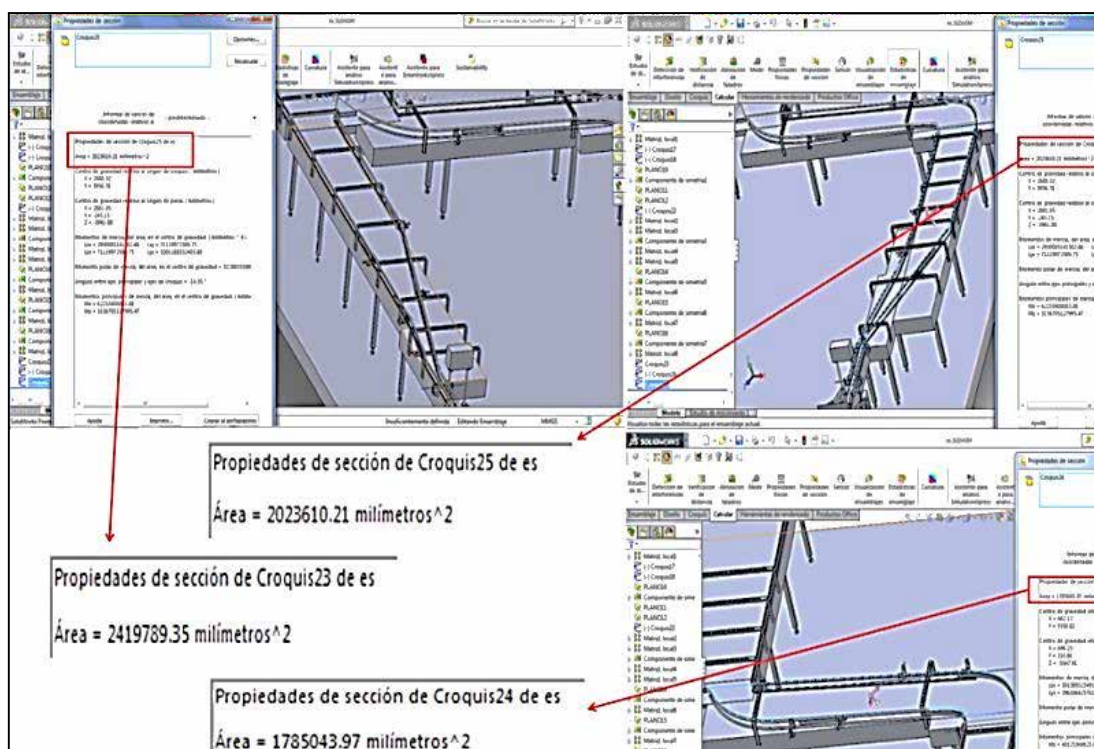


Figura 43: Área total de cada segmento de ambos pulmones de envases.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

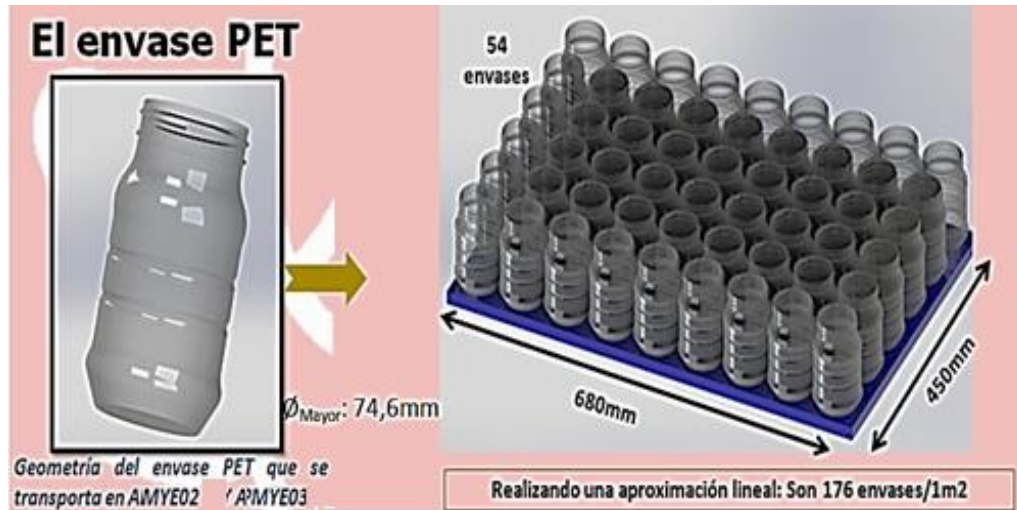


Figura 44: Modelado del número de envases PET sobre un área específica.
Fuente: Velásquez C. (2.020)



Figura 45: Modelado del número de envases de vidrio sobre un área específica.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

En este sentido, ambos análisis permitieron establecer cuantos envases se acumulan sobre el sistema de bandas transportadoras a fin de determinar la carga de la misma, teniendo en cuenta que el peso del envase PET y vidrio es 28 g y 233g respectivamente.

En la Figura 46 se observa la cantidad hallada en cada sección, que corresponde a 390 envases en el pulmón de la línea 2, el cual se compone desde B1 hasta B8. Por otra parte el pulmón de la línea 3 tiene un total de 670 envases distribuidos en 356 unidades desde B9 hasta B19; y 314 unidades desde B20 hasta B26.

Del total de envases mostrado, se estimó que la distribución de envases por banda y por ende la carga que cada una de esta soporta corresponde a los valores mostrados en la Tabla 2. Se obtuvo que la banda B3 en condiciones de transporte de vidrio corresponde a la banda más crítica sobre la cual debe basarse el rediseño por concepto de ser la más larga (5,45 m) y poseer la mayor cantidad de envases que transporta por unidad de tiempo y que a su vez genera un efecto de roce elevado debido al peso que los envases producen y generando por consiguiente, un efecto de desgaste superior respecto a las otras bandas.

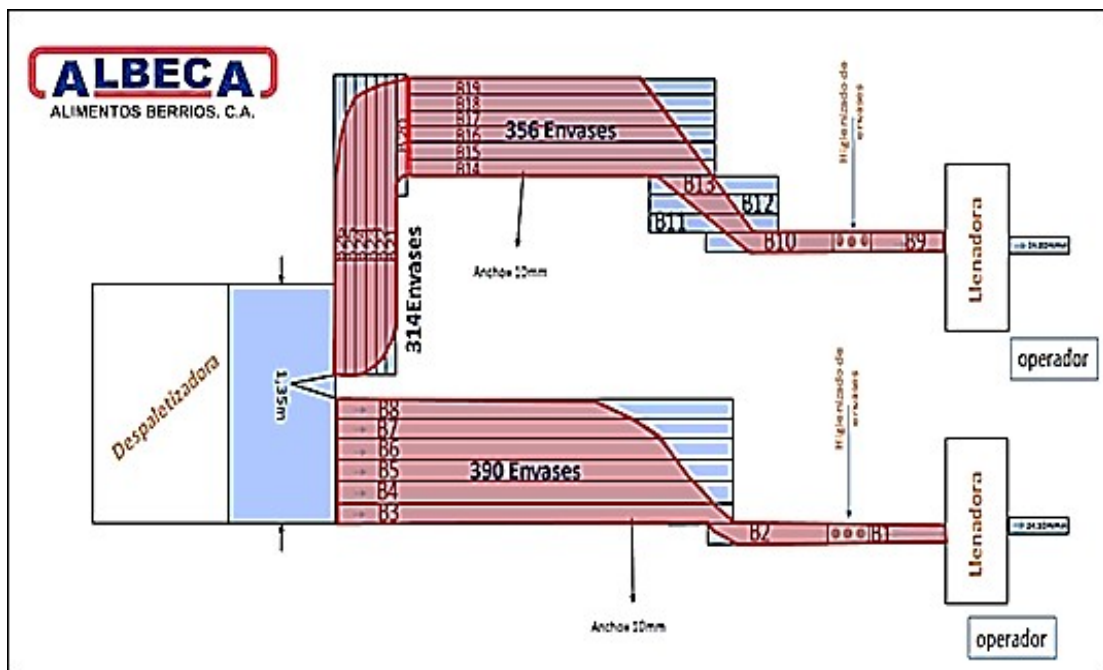


Figura 46: Distribución de envases sobre cada pulmón de banda transportadora.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.1.6 Descripción de la situación actual del proceso en condiciones normales

En condiciones normales de operación, el despaletizador surte a través de la mesa despaletizadora (buffer) camadas de envases que son entregadas a la línea 2 y/o 3 de acuerdo a cual línea se encuentre en operatividad. Los envases, luego de encontrarse sobre el pulmón de banda transportadora inician un proceso de encauzamiento a través del mismo por medio de una guías a los laterales de las bandas que orientan los envases en movimiento desde un estado grupal en masa hasta un estado en línea o en fila, donde un envase va detrás del otro hasta ingresar al empujador de correas laterales (ver Figura 47). Posteriormente que los envases se han encauzado uno detrás del otro, es decir, en fila, estos llegan hacia un sistema de correas laterales que reciben los envases y por acción de una fuerza tangencial de las correas sobre la superficie de los envases empuja los mismos hacia el higienizador.

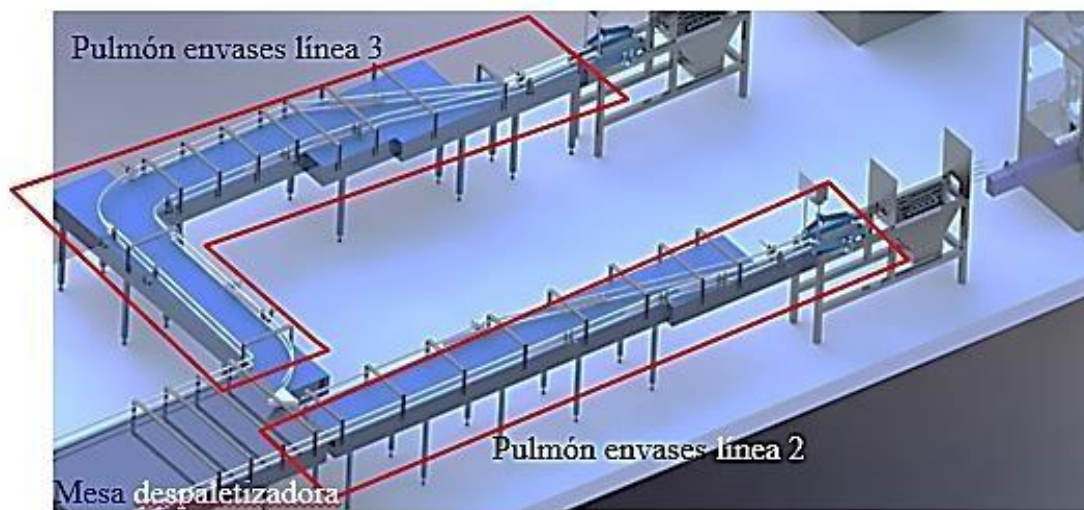


Figura 47: Vista del proceso de acumulación de envases.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

En la Figura 48 se observan los envases saliendo en fila del pulmón de envases e ingresando sistemáticamente hacia las correas laterales. El envase enmarcado en un

ovalo rojo corresponde al único contacto que se produce entre las correas laterales y el envase y es donde dichas correas reciben y empujan el envase, y dado que los envases se encuentran en contacto simple se crea un efecto de empuje donde ese envase empuja el envase siguiente y así sucesivamente desde ese punto hasta la salida del higienizador.

El empujador de correas laterales cumple la función de desplazar los envases por efecto de empuje transmitido entre recipiente y recipiente en el tramo desde el empujador hasta la salida del higienizador puesto que en el mismo no existe banda transportadora que movilice los envases, ya que en este tramo se requiere que no exista una superficie de contacto directa con los envases en virtud de que estos inician un proceso de giro a través de un túnel tipo twister que voltea los envases 180° para que un arreglo de 4 boquillas, que inyecta permanentemente aire a alta presión en sentido vertical hacia arriba, elimine las partículas contaminantes que pudiesen existir dentro de los envases a fin de garantizar recipientes inocuos justo antes del proceso de llenado. Los envases son girados nuevamente 180° por acción del mismo efecto para ingresar en el último tramo de banda transportadora que hala los envases hacia la llenadora.

En las Figuras 49 y 50 se puede ver la etapa de higienizado previo a ingresar a la última banda que entrega envases hacia la llenadora. Durante el tramo de higienizado, los envases son movidos únicamente bajo la acción en cadena del empuje que realizan las correas laterales momentos antes, puesto que este tramo carece de banda transportadora para evitar el obstáculo entre el aire a presión que inyecta las boquillas hacia la boca de los envases.

Así mismo, los envases al salir del proceso de higienizado ingresan a una banda transportadora donde dejan de ser empujados para ser halados en función a la velocidad de la cinta para así ingresar a la llenadora. Durante todo el proceso, en el cual los envases se encuentran en el pulmón de bandas transportadora hasta que ingresan al empujador de correas laterales y este último tramo mencionado, los recipientes se mueven por la acción de halado que generan la banda sobre la cual desliza, lo que produce que estos envases se muevan a la misma velocidad de la banda y tras conseguir una resistencia en su avance, la banda (de bajo coeficiente de fricción, en condiciones

ideales) deslice bajo los envases y no se produzca sobrepresión entre los envases que se acumulan uno tras otro. Este principio se conoce como “transporte sin presión”. En la Figura 51 se observa que los envases transportados sin la aplicación de fuerzas externas (a excepción de la banda transportadora) y que se encuentran en régimen de acumulamiento, las fuerzas friccionales son tan bajas debido al bajo coeficiente de fricción entre envase y banda que no se generan presiones entre los envases en contacto y por ello puede producirse el acumulamiento sin riesgo de deformación de los recipientes.



Figura 48: Punto de contacto envase-correas laterales para producir empuje.
Fuente: Velásquez C. (2.020)



Figura 49: El empuje se crea para mover los envases en el higienizador (Imagen real)
Fuente: Velásquez C. (2.020)

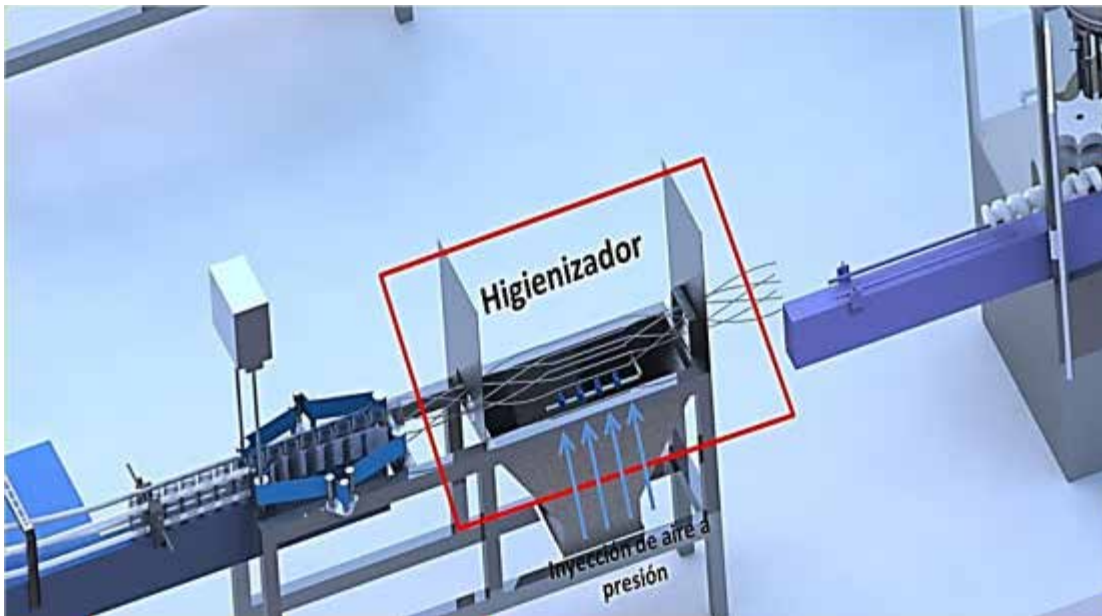


Figura 50: El empuje se crea para mover los envases en el higienizador (Modelado).
Fuente: Velásquez C. (2.020)

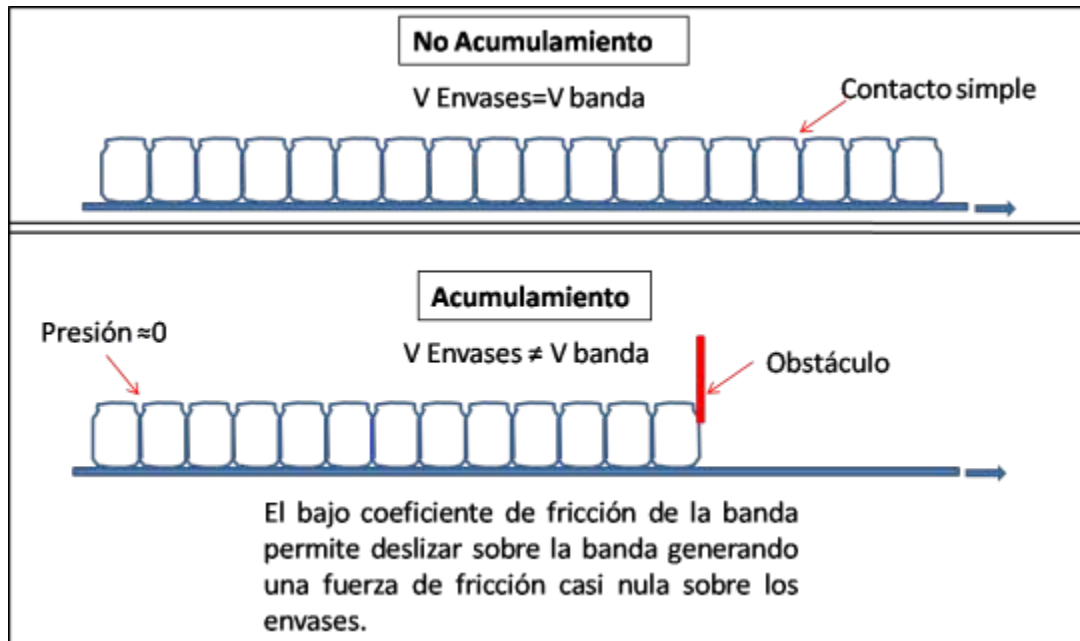


Figura 51: Transporte sin presión de envases en condiciones de acumulación.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.1.7 Descripción del problema

En ambas líneas de envasado se está manifestando una anomalía en el transporte de envases que conlleva a que repetitivamente la llenadora se detenga, lo que ha ido sumando horas de paradas no programadas que han disminuido la capacidad de producción de las líneas de envasado. En la Figura 52 se visualiza la cantidad de horas no programadas y los potenciales kilogramos de producto dejados de producir durante cada mes en el año fiscal del 2018 debido a las constantes detenciones en la llenadora producto del mal transporte de envases.

Además, se observa que en el tramo de encausamiento en el pulmón de las bandas transportadoras, los envases tienden a tambalearse, caer acostados y continuar su recorrido en esa incorrecta posición lo que produce un taponamiento o trancamiento para los envases anteriores a estos que intentan continuar su recorrido a través de las bandas transportadoras como se observa en la Figura 53.

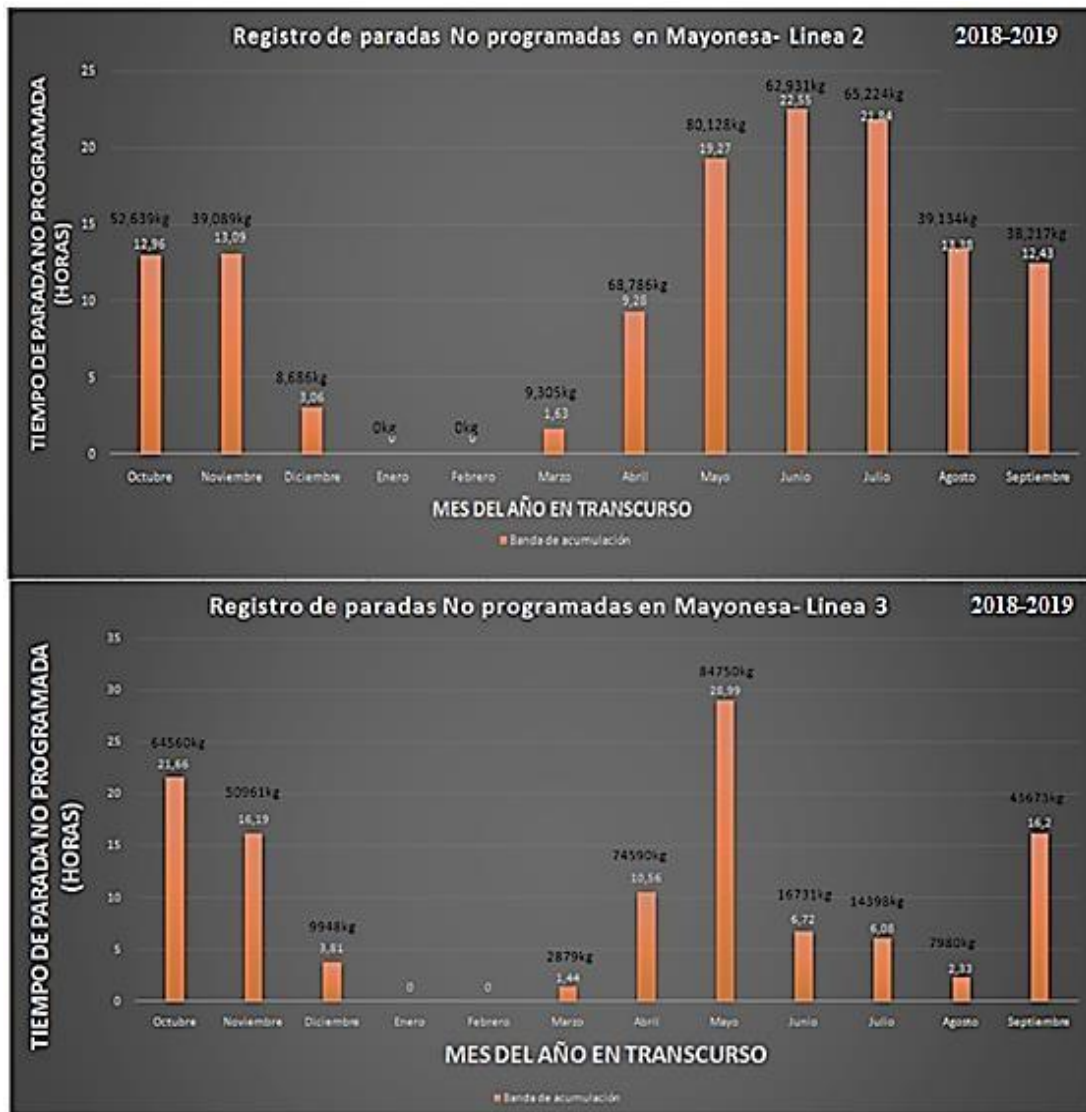


Figura 52: Paradas no programadas en ambas líneas de envasado por envases trancados.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Así mismo, al producirse el taponamiento de envases, producto de un mal transporte de los mismos, eventualmente ese tramo entre la obstrucción y la entrada al empujador de correas laterales, se queda vacío debido a que la banda transportadora siempre se encuentra en movimiento. Por ende, cuando el último envase llega al empujador éste aplica el empuje habitual que a su vez transmite a todos los envases

que se encuentran en el tramo del higienizador hasta que el primer envase en este tramo es empujado hacia la última banda camino a la llenadora, pero debido a que no ingresan más envases hacia el empujador, entonces esta fuerza de empuje cesa y no ingresan recipientes desde el túnel twister del higienizador hacia la banda transportadora de la llenadora como se observa en la Figura 54.

Un sensor fotoeléctrico ubicado justo a la salida del túnel twister del higienizador monitorea constantemente que exista un flujo continuo de envases en ese entorno, es decir, que exista un envase seguido de otro en contacto directo. Cuando el empuje cesa y no ingresan envases en la banda, como se muestra en la Figura 54, entonces se produce una brecha de espacio que lo detecta el sensor fotoeléctrico, quien envía una señal a la llenadora de detenerse a fin de evitar un derramamiento de mayonesa dentro del equipo ante la falta de envases en la entrada del mismo.

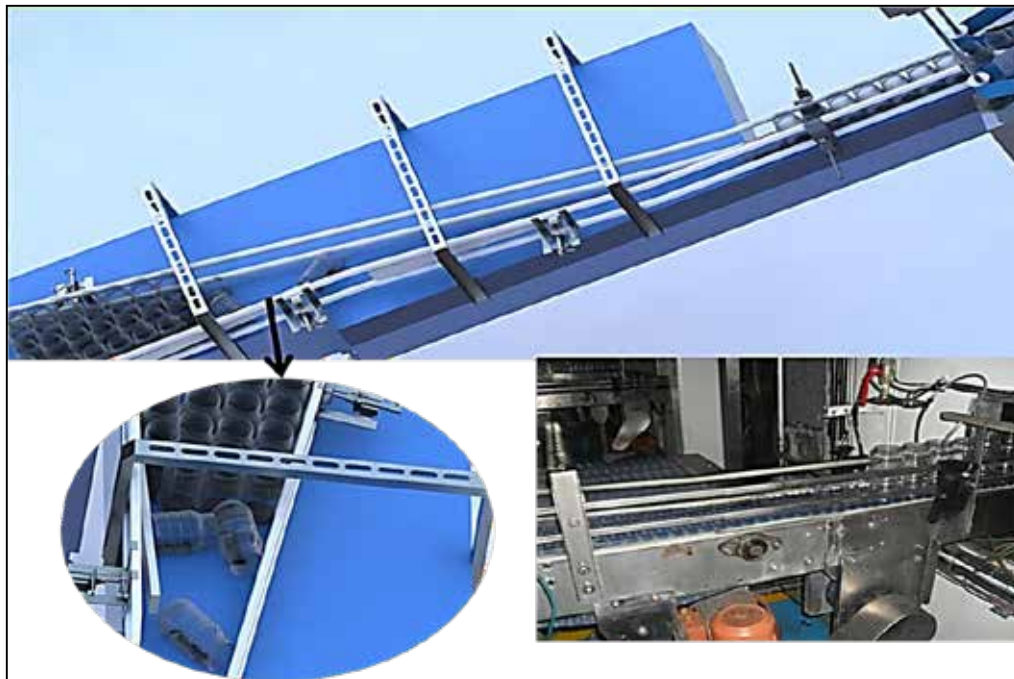


Figura 53: Truncamiento de envases interrumpiendo el tránsito.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

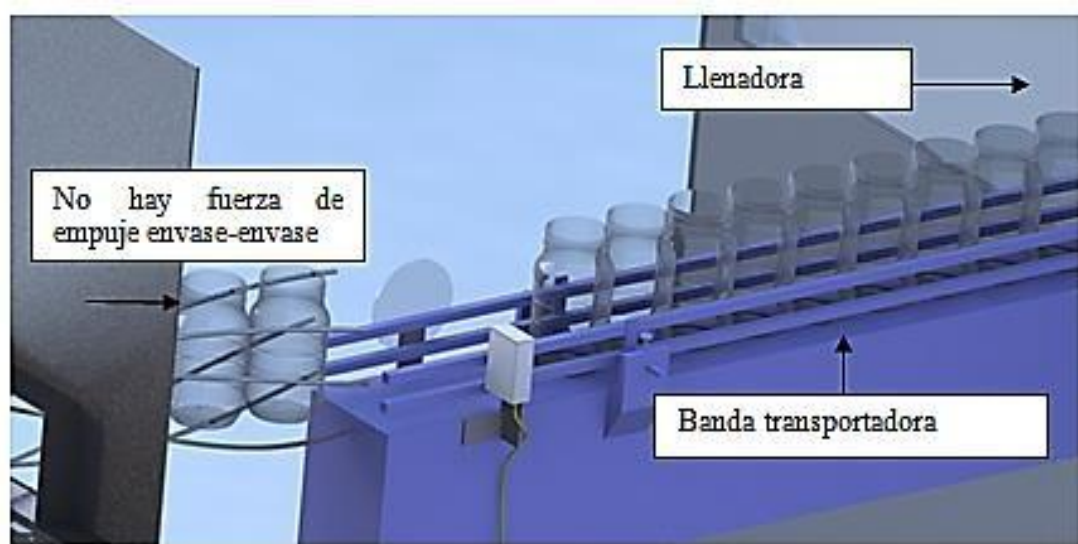


Figura 54: Tramo donde finaliza el higienizador tipo twister e inicia la banda de ingreso a la llenadora.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

En virtud del repetitivo trancamiento o estancamiento de envases, debido a un mal transporte de los recipientes por parte de las bandas transportadoras, se crean las constantes paradas que han detenido constantemente la llenadora y producido una importante pérdida de producción atribuido a las numerosas horas en paradas no programadas por el fenómeno antes descrito.

4.1.7.1 Análisis causa-efecto del problema

Mediante un estudio de las posibles y múltiples causas que están generando el efecto no deseado, se generó un diagrama de Ishikawa [Velázquez, A. (2.017)] que identifica las causas que están produciendo el atascamiento de envases en el encausamiento de estos sobre la banda transportadora. En la Figura 55 se observan los resultados obtenidos.

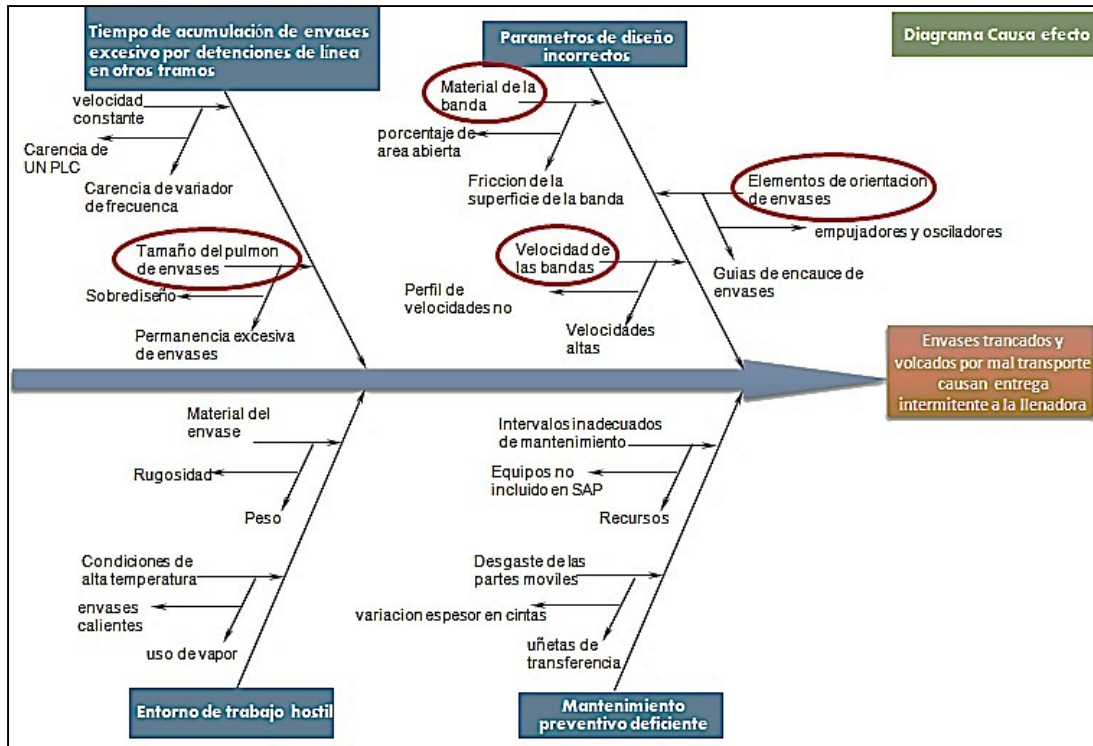


Figura 55: Diagrama de Ishikawa causa-efecto del mal transporte de envases y consiguiente detención de la llenadora.

Fuente: Velásquez C. (2020)

Una vez identificadas las causas y el efecto que producen se describen las mismas a continuación.

Material de la banda: El coeficiente de fricción entre envase y banda es lo suficientemente elevado para producir un desgaste a lo largo del tiempo en la superficie de dicha banda debido al constante deslizamiento entre estos, ya que el transporte de envases es de tipo acumulativo. El desgaste producido genera una superficie no uniforme en la cara superior de la banda transportadora que produce una inestabilidad y vibración sobre los envases al no tener una superficie lisa o uniforme sobre la cual desplazarse. En los tramos de encausamiento la inestabilidad aumenta producto de que en esta etapa los recipientes cambian de banda en banda, las cuales tienen desgaste diferente (atribuidos a velocidades diferentes) y por consiguiente superficies

desgastadas y no uniformes lo que potencializa el riesgo de inestabilidad del envase y eventual volcadura del mismo.

Velocidad de la banda: Las velocidades determinadas en las bandas transportadoras corresponden a valores que son elevados, lo que lleva en consecuencia a que en el periodo en el cual los envases se encuentran atravesando el pulmón de bandas transportadoras, el exceso de velocidad hace que la banda recorra mayor cantidad de metros por debajo de los envases, lo que genera que la superficie de la misma no tenga el suficiente tiempo para expulsar el gradiente de temperatura adquirido producto del roce con los envases cuando se encuentra en el tramo de retorno. Este pequeño gradiente de temperatura vuelve la superficie más dúctil para ser desgastada prematuramente por el roce con los recipientes y por ende generar un desgaste.

Adicionalmente, la excesiva velocidad vuelve los envases más inestables durante la fase de acumulación ya que los pequeños cambios de dirección que ahí se producen pueden generar un potencial trancamiento por envases caídos, especialmente en las fases cuando los envases cambian de banda a banda, donde los mismos experimentan un giro parcial sobre su eje debido al cambio de velocidad que sufren. En algunas bandas no se observó un perfil de velocidades creciente hacia el encauce del pulmón, lo que ocasiona que los envases adquieran movimientos erráticos que producen que disminuyan su velocidad al pasar de una banda rápida a una lenta, la cual debería ir más rápida que la anterior y generando que esos envases se frenen y se tranquilen con otros envases que también intentan encausarse entre los rieles-guías, incluso sin necesidad de que los envases se vuelquen.

Elementos de orientación de envases: Los rieles guías son un par de varillas plásticas dispuestas sobre las bandas transportadoras en paralelo que encierran los envases para formar el pulmón y al mismo tiempo ambos laterales convergen hasta formar una distancia entre ellos del ancho de una banda transportadora de 100mm. Esto permite hacer que los recipientes durante su avance se encausen hasta adquirir una tendencia de envases en fila. Sin embargo, un posible mal encause, producto de un

ángulo agudo por parte de los rieles guías, puede estar provocando que los envases pasen de un estado grupal a un estado en fila de una manera muy brusca por lo cual muchas unidades intentan pasar a través del encausamiento y los mismos se trancan y obstruyen el paso de los envases anteriores.

En adición a esto, las varillas encausadoras de envases cuentan con unas planchas empujadoras insertadas entre éstas que se expanden y contraen hacia el pulmón donde se encuentran los envases en forma de pequeños y pulsados golpes a fin de ayudar a destrabar aquellos envases que temporalmente se traben entre sí, facilitando y promoviendo un encause de envases más óptimo y fluido. No obstante, el correcto trabajo de estos viene dado por la ubicación y la cantidad de estos dispuestos sobre las varillas de encause a fin de contribuir al destrabamiento de envases en los puntos donde se produce usualmente el encausamiento, el cual corresponde desde donde los envases se alinean en fila hasta un metro aguas arriba medido desde ese punto.

4.2 Proponer las diversas alternativas de solución para el transporte de envases.

4.2.1 Planteamiento de soluciones para el transporte de envases.

En este ítem se plantean algunas soluciones para luego en base a los criterios y restricciones establecidos y utilizando el método del profesor Vilchez, N. (2.002) se selecciona la mejor solución.

A continuación se plantean e identifican algunas soluciones posibles, las cuales pasarán a denominarse posible solución (PS#) con el número respectivo:

Banda transportadora (PS1). Utilización de una superficie uniforme que transporte horizontalmente los envases desde el punto del despaletizado hasta el ingreso a la llenadora, siendo un proceso accionado por un motor eléctrico. Los envases se desplazarán por acción del movimiento de transporte que desarrolla la cinta transportadora. Ver Figura 56.

Ventajas

- Permiten el transporte de materiales a gran distancia.
- Se adaptan al terreno.
- Tienen una gran capacidad de transporte.

- Permiten transportar una gran variedad de materiales.
- Es posible la carga y la descarga manual en cualquier punto del recorrido.
- Se puede desplazar.
- No altera el producto transportado.
- Aumenta la cantidad de producción.
- Ausencia de articulaciones de rápido desgaste.

Desventajas

- Debido a que está compuesto de elementos móviles, deben aplicarse planes de mantenimiento preventivo.
- Ocupan largos espacios y bloquean el paso de operadores de un lado al otro.



Figura 56: Posible solución 1 (PS1).

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Plataforma giratoria para transporte de envases (PS2). Transporte de envases en forma descendente describiendo una forma en espiral alrededor de un eje, siendo los

envases desplazados por una correa de deslizamiento desde un punto superior hasta un punto inferior que conecta hacia la llenadora. El almacenamiento de envases se produce en todo el tramo desde el punto superior hasta el inferior, siendo la gravedad un factor que contribuiría a mantener el pulmón lleno mientras el deslizamiento de la correa orienta el transporte fluido y continuo hacia el punto inferior donde una cinta transportadora los recibe y entrega a la llenadora. Ver Figura 57.

Ventajas

- Ocupa poco espacio al estar configurada en forma vertical su almacenamiento.
- La acción de la gravedad contribuye al transporte del producto aun si la correa de deslizamiento no cumple su función.
- Al estar compuesta de pocos elementos móviles respecto a las otras soluciones, lo convierte en un sistema económico con mantenimientos más asequibles y rápidos.

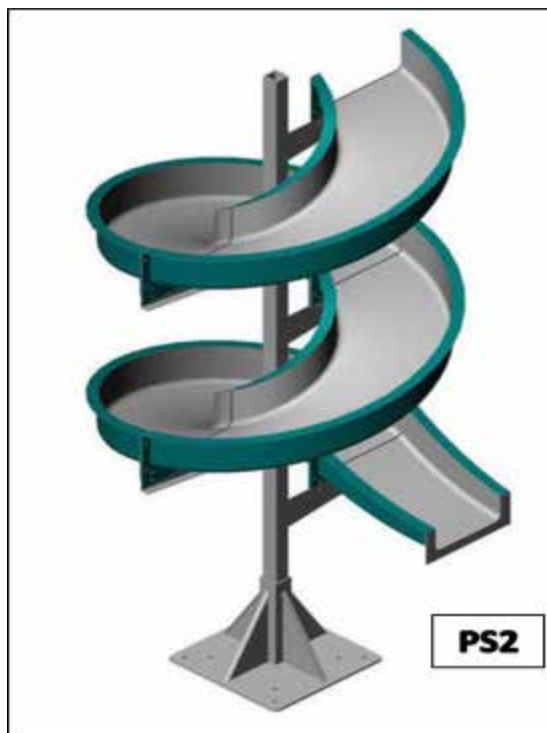


Figura 57: Posible solución 2 (PS2).

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Desventajas

- Poco alcance por parte de los operadores para acceder a sus tramos elevados.
- El manejo de productos pesados o inestables puede comprometer la estructura o dificultar el transporte.

Transporte aéreo de botellas con elevador de agarre lateral (PS3). Transporte de envases mediante un sistema aéreo, donde los envases son tomados por sus cuellos y encausados uno tras otro a través de un sistema motorizado de guiado de envases a un nivel superior respecto del resto de los equipos. La longitud y velocidad de los envases determinará el tamaño del pulmón. Ver Figura 58.

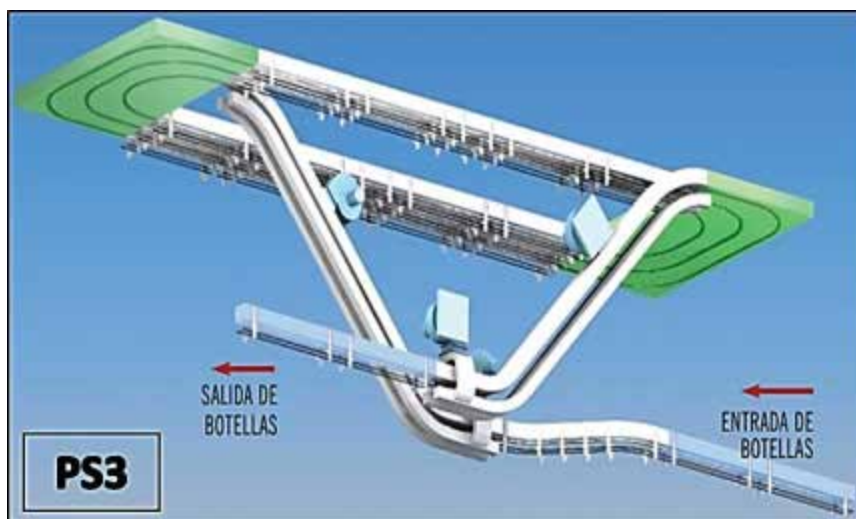


Figura 58: Posible solución 3 (PS3).

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Ventajas

- Ahorro considerable del espacio (suelo) permitiendo ser ocupado por otros procesos o equipos.
- Puede ocupar largos recorridos como pulmón de envases previo a ingresar al equipo siguiente.

- No existe contacto entre envase-envase debido a que es un transporte en línea, lo que elimina los acumulamiento y trancamiento de envases.

Desventajas

- No se pueden transportar cargas pesadas.
- Se encuentra formado por numerosas partes móviles, razón por la cual se requieren de constantes mantenimientos. Puede existir el riesgo de caída del producto y comprometer la integridad de un equipo o persona en el área.
- Elevados costos de instalación.

4.2.2 Selección de la mejor solución para el transporte de envases

4.2.2.1 Restricciones de las posibles soluciones

A continuación se listan las restricciones planteadas para la selección de la mejor solución:

R1: sin presencia de operadores.

R2: envergadura máxima 1 metro x 6 metros.

R3: transporte automático.

R4: flujo de envases continuo.

R5: sirva de pulmón de envases.

La Tabla 3 presenta la verificación de cada restricción con respecto a cada posible solución, luego las posibles soluciones que clasifiquen pasarán a ser alternativa de solución.

Tabla 1: Posibles soluciones vs restricciones.

	(PS) ₁	(PS) ₂	(PS) ₃
R ₁	Si	Su	Si
R ₂	Si	Su	Si
R ₃	Si	Si	Si
R ₄	Si	Si	Si
R ₅	Si	Si	Si

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Ahora, PS1 se convierte en la solución S₁, PS2 se convierte en la solución S₂ y PS3 se convierte en la solución S₃.

4.2.2.2 Criterios de diseño

Los criterios establecidos para seleccionar la mejor solución son:

C1: resistencia al desgaste por deslizamiento para transporte de botellas de vidrio y envases PET (Polietileno Tereftalato).

C2: bajo coeficiente de fricción en el transporte.

C3: lubricación en seco.

C4: vida útil de la superficie de transporte.

C5: resistencia a la tracción.

C6: flexibilidad.

C7: peso del sistema.

C8: aplicabilidad a la industria alimentaria.

C9: resistencia al impacto o golpes.

C10: costo de instalación.

C11: costos de mantenimiento.

Establecidos los criterios, en la Tabla 4 se presenta la ponderación de los mismos.

Tabla 2: Ponderación de criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	#Rep	PCx
C1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11
C2	C1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	10
C3	C1	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3
C4	C1	C2	C4	-	-	-	-	-	-	-	-	7	8
C5	C1	C5	C5	C5	-	-	-	-	-	-	-	8	9
C6	C1	C2	C3	C4	C5	-	-	-	-	-	-	1	2
C7	C1	C2	C7	C4	C5	C7	-	-	-	-	-	6	7
C8	C1	C2	C8	C4	C5	C8	C7	-	-	-	-	5	6
C9	C1	C2	C3	C4	C6	C9	C7	C8	-	-	-	0	1
C10	C1	C2	C10	C4	C10	C10	C7	C8	C10	-	-	4	5
C11	C1	C2	C11	C4	C5	C11	C7	C8	C11	C10	-	3	4
IM PO RT E	1ro	2do	9no	4to	3ro	10mo	5to	6to	11	7mo	8vo		

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.2.2.3 Ponderación de cada solución respecto a cada criterio y ponderación final.

La Tabla 5 presenta la comparación de las alternativas de solución con respecto al criterio 1.

Tabla 3: Ponderación de cada solución respecto al criterio 1.

C1	S1	S2	S3	#Rep	Px1=N
S1	*	*	*	1	2
S2	S1	*	*	0	1
S3	S3	S3	*	2	3

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Realizando un procedimiento similar para cada criterio respecto a las otras dos soluciones y luego efectuando la ponderación final se obtiene la mejor solución (Tabla 6).

Tabla 4: Ponderación final de soluciones.

PCx	P1x	PCx·P1x	P2x	PCx·P2 x	P3x	PCx·P3 x
PC1=11	6	66	5	55	1	11
PC2=10	5	50	3	30	6	60
PC3=3	4	12	8	80	11	33
PC4=8	7	72	6	48	4	32
PC5=9	3	27	4	36	5	45
PC6=2	2	4	7	14	2	4
PC7=7	1	7	2	14	3	18
PC8=6	10	60	1	6	7	42
PC9=1	8	8	8	8	10	10
PC10=5	9	45	10	50	8	40
PC11=4	11	44	9	36	6	24
PCx · Pyx	X ₁ =395		X ₂ =377		X ₃ =319	

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Después del proceso de ponderación final y siendo la solución 1 la de mayor puntaje (X₁=395) se selecciona ésta como la mejor solución, la cual corresponde a la banda transportadora.

4.3 Diseñar en detalle los componentes mecánicos para el transporte de envases, caso estudio.

Teniendo en consideración la Figura 10, la banda transportadora a diseñar corresponde a una de tipo modular, debido a que es la recomendada para procesos de envasados de alimentos, específicamente en el transporte de envases, tomando como fabricante Intralox.

4.3.1 Sistema de banda

El sistema de banda puede ser recto o de flexión lateral, se escoge un sistema de banda recto considerando que:

El recorrido desde la despaletizadora hasta ambas llenadoras no deben sortearse curvas o esquinas pronunciadas para bordear objetos inmóviles.

No se requiere cubrir diferencias de alturas en espacios reducidos, debido a que ambas máquinas se encuentran alineadas sobre una misma altura horizontal.

No se requiere mantener una orientación en específico de los envases sobre las bandas al momento de un cambio de dirección, puesto que al ser envases de tipo cilíndrico su orientación será siempre la misma independientemente de cómo se trasladan.

Las cintas curvas son en promedio siete (7) veces más costosas en fabricación e instalación respecto a las cintas rectas.

4.3.2 Material de la cinta transportadora.

El fabricante de bandas transportadoras Intralox ofrece 3 tipos de materiales de acuerdo a las condiciones de trabajo, ambiente de operación y al producto que va a ser transportado sobre la misma. En la figura 59, se observa que el acetal es un material característico para el transporte de envases, debido a que por su bajo coeficiente de fricción lo vuelve resistente a la fatiga por deslizamiento del producto sobre su superficie, lo cual es una característica común en el acumulamiento de envases. Otra característica que convierte al acetal en la opción más óptima, es que presenta una alta dureza, brindándole así una resistencia a los cortes y ralladuras, lo que atenúa el desgaste de su superficie.

4.3.3 Superficie (estilo) de la banda.

Los estilos o formas de la superficie de la banda transportadora representan un factor importante en el transporte de envases, debido a que la misma determina un apropiado transporte del producto así como prevenir un prematuro desgaste de la misma de acuerdo al tipo de objetos que se transportan sobre ésta.

El fabricante Intralox ofrece diversos estilos de superficie de banda transportadora como se observa en la figura 60, donde especifica cuál es el tipo de superficie más apropiada según el producto y material del producto a ser transportado.

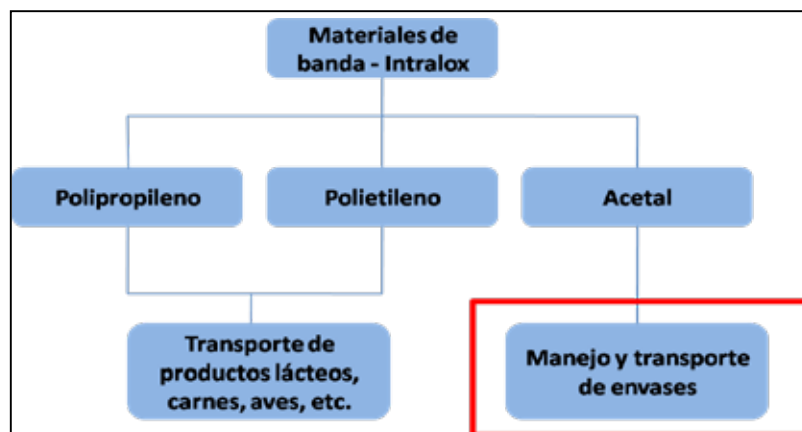


Figura 59: Materiales usados por Intralox y su aplicación.

Fuente: Intralox S.A. (2014)

En la figura 60, se observa que las bandas transportadoras tipo “Flat Top”, son las apropiadas para la aplicación de estudio, debido a que una característica relevante en este tipo de superficie de banda, constituye el hecho que la misma no posee aberturas o áreas abiertas en su interior a diferencia de los otros estilos, es decir posee un 0% de área abierta, lo que permite que la mayor cantidad de área de banda se posicione sobre la cara inferior de los envases, lo que distribuye uniformemente el peso de los envases sobre la banda transportadora y atenúa el desgaste de la misma, lo cual es factor

fundamental considerando que el transporte de envases en acumulación se realiza en grandes capas y bajo efectos de deslizamiento envase-banda, lo que involucra respectivamente un considerable peso que se posiciona sobre la superficie de las bandas y un roce constante entre estos.

Estilos de superficie Intralox		
Agarre a ras (<i>Flush Grip</i>)	Superficie plana (<i>Flat Top</i>)	Superficie plana perforada (<i>Perforated Flat Top</i>)
Nervadura saliente (<i>Raised Rib</i>)	Superficie de fricción (<i>Superficie Friction</i>)	Superficie plana texturizada (<i>Textured Flat Top</i>)
Agarre a ras texturizado (<i>Textured Flush Grip</i>)	Rodillo (<i>Roller</i>)	Agarre Abierto (<i>Open Grip</i>)

Figura 60: Estilos de superficie en bandas transportadoras modulares.
Fuente: Intralox S.A. (2014)

4.3.4 Paso de la banda transportadora

Según McGuire P. (2010) el paso es un factor que está vinculado con la acción poliédrica presente en este tipo de bandas transportadoras. En el transporte de envases, es vital mantener la estabilidad de los mismos, puestos que debido a su geometría son propensos a volcarse y causar embotellamiento. La acción poliédrica se manifiesta en el punto donde la banda engrana con el piñón, punto donde los envases abandonan la banda hacia una placa de transferencia u otra banda transportadora y es esta zona donde puede producirse la volcadura de envases.

En la figura 61 se observa que a medida que el paso del módulo es menor, menor será la acción poliédrica y por ende se obtendrá un transporte de envases más suave en ese entorno del transporte. En el estilo de superficie “Flat Top” se hace uso de un paso estándar mínimo de 25,4 mm, el cual representa el mínimo valor posible para el número máximo de engranes que pueden ubicarse sobre el piñón y que a su vez produce una

acción poliédrica mínima que no desestabiliza el centro de gravedad de los envases en transporte.

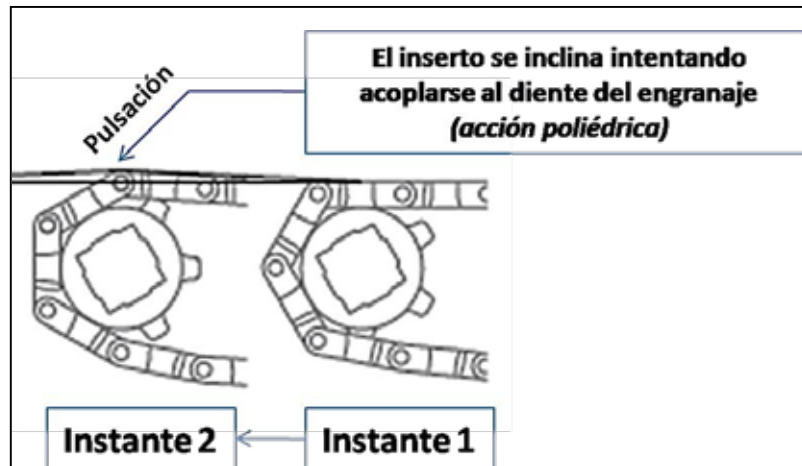


Figura 61: Un paso nominal del inserto de 25,4 mm mitiga las constantes pulsaciones ocurrida en el acople engranaje-banda
Fuente: McGuire P. (2.010)

Considerando lo antes descrito, se elige una banda modular Intralox, de la serie 1400, modelo Flat Top, paso 25,4mm, sin borde a ras, 0% de área abierta y aprobado por la FDA (Food and Drug Administration), cuya ficha técnica se encuentra en el apéndice A.2.

4.3.5 Diseño del sistema de alimentación por banda transportadora modular

Los parámetros de diseño vienen definidos por la metodología empleada en el manual de diseño de bandas transportadoras modular marca Intralox.

En este sentido, el diseño del sistema de transporte conlleva la determinación de un conjunto de parámetros que son calculados para determinar fuerzas, potencias, esfuerzos, diámetros, entre otros, para posteriormente establecer si la cinta seleccionada cumple con los requerimientos de operación y luego seleccionar los elementos que compondrán la banda transportadora.

4.3.6 Velocidad de la banda transportadora

4.3.6.1 Línea de envasado 2

El sistema de transporte constituido por un arreglo de seis bandas y dos bandas en fila que recibe los envases desde el arreglo de seis bandas (pulmón) hasta la llenadora, como se observa en la figura 62.

De acuerdo a la velocidad declarada en los paneles de las llenadoras en las distintas jornadas de trabajo, se sabe que estas tienen un valor de 150 envases/min, lo cual coincide con sus velocidades nominales según la información obtenida de los especialistas, por tanto, estos equipos operan a máxima capacidad y el diseño del sistema estará basado en los máximos requerimientos demandados por las llenadoras.

Las mediciones efectuadas a los dos tipos de recipientes en el envasado de mayonesa “ALBECA” arrojan que el diámetro del envase de vidrio es 78,9 mm y del envase de PET es 74,6 mm, entonces se utiliza el diámetro más crítico el cual es el envase de vidrio, pues éste produce una velocidad de producto mayor.

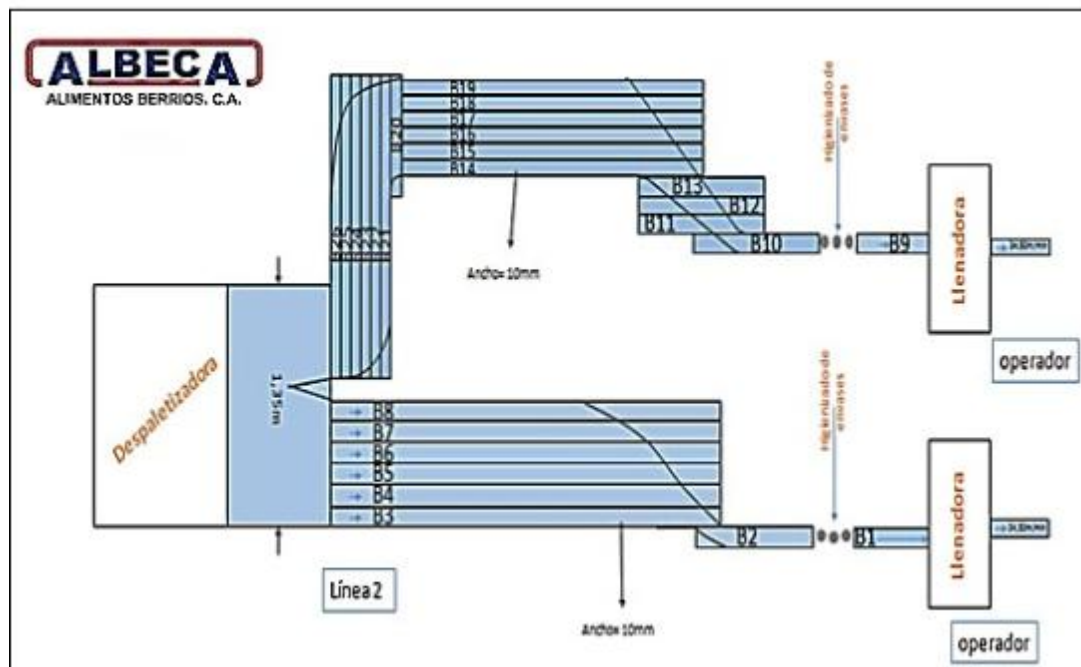


Figura 62: Representación esquemática del pulmón de la línea 2.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Calculando la velocidad del producto, la cual viene definida por la Ec. 1:

$$\mathbf{Velocidad_{producto} \left(\frac{m}{min}\right) = ((150 \text{ env})/minuto) \cdot 0,0789m = 11,835m/min}$$

De acuerdo a Mcguire P. (2/010), en los tramos acumulativos de envases, la banda debe como mínimo desplazarse 20% más rápido que la velocidad del producto a fin de garantizar que los envases no rocen excesivamente entre sí, se mantenga una estabilidad apropiada en el transporte de estos al no ser una velocidad muy alejada de la velocidad del producto y siempre se garantice una entrega de la cantidad de envases que consume la llenadora considerando pequeñas variaciones en el ritmo de producción del equipo. Por esta razón, B1 (ver figura 62) debe tener una velocidad lineal de acuerdo a la Ec.2 igual a:

$$\mathbf{Velocidad_{B1} = 11,835 \left(\frac{m}{min}\right) \cdot 1,20 = 14,202 \left(\frac{m}{min}\right) \approx 15 \left(\frac{m}{min}\right)}$$

Así mismo, la velocidad lineal de las correas laterales de empuje antes del soplador de envases debe ser igual a la velocidad lineal de los productos para garantizar que no se produzcan espacios intersticiales entre los envases en fila (por consecuencia de una velocidad menor) o que estos se compriman al intentar empujar los envases por una velocidad mayor a la que estos se desplazan.

Así mismo, B2 (figura 62) es la banda que abandona el pulmón para conectarse a la entrada del empujador de bandas laterales y ésta debe desplazarse a un 20% más rápido que la velocidad del producto a fin manejar la producción entrante y garantizar que siempre existan envases próximos a ingresar al empujar de correas laterales. Al mismo tiempo, esta velocidad permitirá descargar apropiadamente el pulmón de envases sin producir un congestionamiento por envases frenados o atascados en ese tramo. Por tanto:

$$\mathbf{Velocidad_{B1} = Velocidad_{B2} = 15 \left(\frac{m}{min}\right)}$$

De acuerdo a McGuire P. (2/010) y siguiendo la misma analogía en el pulmón de envases, cada banda transportadora decrementará un 20% su velocidad respecto a la banda anterior, medida desde B2, la cual ingresa al empujador de correas laterales. Por tal razón:

$$\begin{aligned}
 \text{Velocidad}_{B3} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B2} &= 12 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B4} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B3} &= 10 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B5} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B4} &= 8 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B6} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B5} &= 7 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B7} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B6} &= 6 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B8} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B7} &= 5 \left(\frac{m}{\text{min}} \right)
 \end{aligned}$$

En la figura 63 se visualiza que las velocidades de las bandas transportadoras en paralelo generan un perfil decreciente con una pendiente suave, lo que representa un factor clave para que los envases no sufran una aceleración brusca a medida que son desplazados a través de las diferentes bandas, mitigando así, comportamientos erráticos en los envases producto del cambio brusco en su desplazamiento que comprometa su equilibrio y potencial volcadura de los mismos. Adicionalmente, las velocidades ideales requeridas en las bandas para transportar los envases son valores muy por debajo de los valores actuales, lo que aumenta la vida útil de la banda mientras realiza un correcto transporte de estos. La utilización de velocidades menores permite que menor cantidad de metros de banda deslice por cada envase durante su paso a través del pulmón, un menor tiempo de contacto entre la banda y los envases y mayor tiempo de enfriamiento de la superficie de la banda cuando realiza su recorrido de retorno. Los

factores anteriores mencionados conllevan a que el desgaste sobre la superficie de la banda se vea disminuido, alargándose la vida útil de la misma y brindando una superficie de transporte estable y sin irregularidades a los envases.

4.3.6.2 Línea de envasado 3

Considerando que la velocidad nominal y al mismo tiempo velocidad de trabajo de la llenadora de la línea 3 es la misma de la línea 2, 150 envases por minuto y considerado los mismos cálculos anteriores, entonces:

$$Velocidad_{B1} = Velocidad_{B9} = Velocidad_{B10} = 15 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$Velocidad_{B11} = 0,8 \quad Velocidad_{B10} = 12 \left(\frac{m}{min} \right)$$

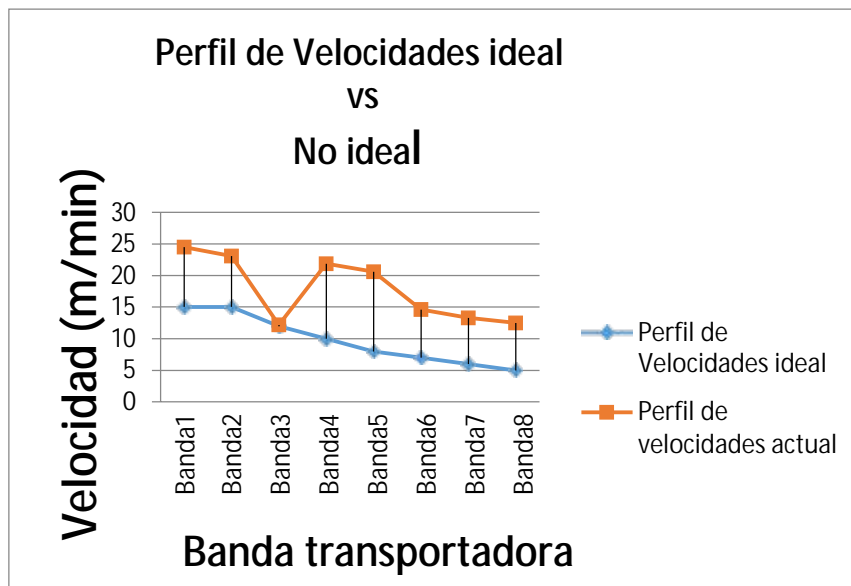


Figura 63: Perfil de velocidades ideal obtenido vs actual, línea 2.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

$$Velocidad_{B12} = 0,8 \quad Velocidad_{B11} = 10 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$Velocidad_{B13} = 0,8 \quad Velocidad_{B12} = 8 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Velocidad}_{B14} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B13} &= 7 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B15} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B14} &= 6 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B16} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B15} &= 5 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 \text{Velocidad}_{B17} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B16} &= 4 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 & & \text{Velocidad}_{B18} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B17} &= 3 \left(\frac{m}{\text{min}} \right) \\
 & & \text{Velocidad}_{B19} &= 0,8 & \text{Velocidad}_{B18} &= 2,5 \left(\frac{m}{\text{min}} \right)
 \end{aligned}$$

Obtenidos los valores se grafica el comportamiento (figura 64), que resultó similar a la línea 2:

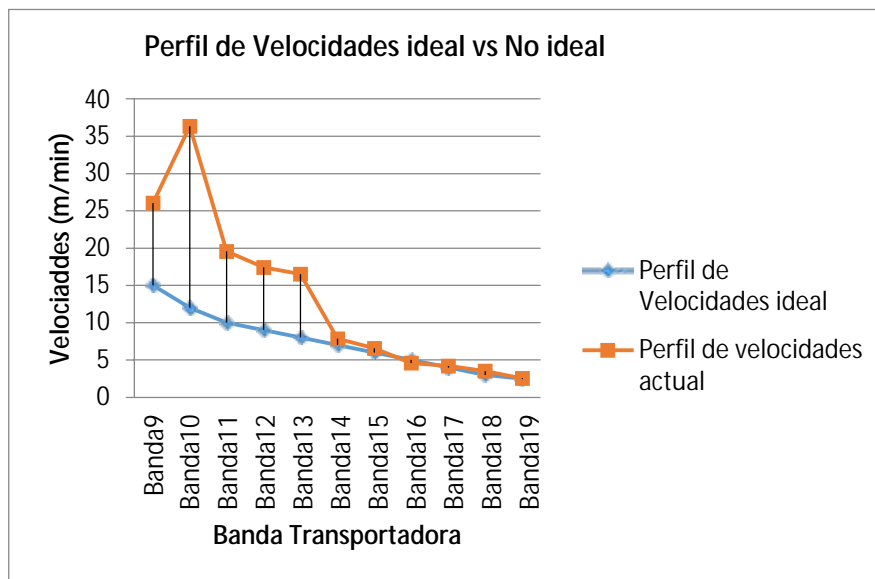


Figura 64: Perfil de velocidades ideal obtenido vs actual, línea 3.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

El segmento que conecta la despaletizadora con el pulmón de envases de la línea 3 vendrá definido, en cuanto a velocidades, de tal forma que los envases no sufran

aceleraciones bruscas a medida que se mueven de banda en banda, puesto que cambios bruscos pueden generar que los envases giren sobre sí mismos produciendo momentos angulares que ocasionan desestabilización en los envases lo cual se traduce en la caída de estos.

Sabiendo que la velocidad de la mesa de la despaletizadora es de 5 m/min y que entrega camadas de envases a una banda transportadora que se mueve en dirección perpendicular a la mesa de la despaletizadora, entonces la velocidad de B26 debe ser la velocidad de la mesa de la despaletizadora más un 15% según Mcguire P. (2/010), de manera que se garantice que los envases no sufran inestabilidad en su transporte por un cambio brusco de velocidad durante el cambio de dirección. Por tal razón, resulta:

$$\mathbf{Velocidad}_{B26} = 1,15 \mathbf{Velocidad}_{despaletizadora} = 2,5 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$\mathbf{Velocidad}_{B26} = 1,15 \cdot 5 \left(\frac{m}{min} \right) = 6 \left(\frac{m}{min} \right)$$

En este sentido, se colocarán bandas transportadoras en paralelo a esta banda, que vayan incrementando la velocidad un 20% según Mcguire P. (2/010), a fin de ir retirando eficazmente las camadas de envases que van ingresando a ese entorno. Así mismo, el número de bandas que se colocará en ese tramo será un número de bandas tal que, la última banda tenga una velocidad 20% mayor a la velocidad más rápida del pulmón de la línea 3, a fin de asegurar que este conjunto de bandas siempre pueda entregar envases a un ritmo constante hacia el pulmón de manera que pueda mantenerlo lleno, cumpliendo así con los requerimientos del sistema y dando uso a toda el área para el cual fue destinado el pulmón de envases.

Por esta razón, seis (6) bandas transportadoras en paralelo con un gradiente de un 20% entre ellas permitirán que la última banda tenga un 20% por encima de la B14 (ver figura 62), por lo que se obtiene:

$$\mathbf{Velocidad}_{B25} = 1,2 \mathbf{Velocidad}_{B26} = 7 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$Velocidad_{B24} = 1,2 \quad Velocidad_{B25} = 8,5 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$Velocidad_{B23} = 1,2 \quad Velocidad_{B24} = 10 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$Velocidad_{B22} = 1,2 \quad Velocidad_{B23} = 12 \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$Velocidad_{B21} = 1,2 \quad Velocidad_{B22} = 14,5 \left(\frac{m}{min} \right)$$

4.3.6.3 Distancia entre ejes (conducido y conductor)

Las 26 bandas que conforman los pulmones de envases en ambas líneas de envasado, se encuentran divididas en varios grupos respecto a las distancias entre sus ejes conductores y conducidos, todo esto debido a la geometría del lugar y las condiciones específicas en que deben operar. Para asegurarse que todas las bandas cumplirán los requerimientos de trabajo, se trabaja sobre la distancia entre ejes más crítica, es decir, la más larga, a fin de asegurarse que todas las demás bandas serán sometidas a condiciones de trabajo apropiada de acuerdo a sus propiedades.

Tal y como se observa en la figura 65 la longitud más crítica corresponde a las seis (6) bandas en paralelo del pulmón de envases de la línea 2 de envasado, que corresponde a 5,45 metros de distancia.

4.3.6.4 Ancho de la cinta

El principio de almacenar envases sobre un pulmón, consiste en garantizar que el mismo pueda suministrar envases hacia el punto de consumo “B” cuando el punto “A” no puede suministrarlos por alguna avería (ver figura 65). Dicho pulmón debe tener un ancho y largo tal que, pueda suministrar de forma independiente y continua los envases durante el tiempo promedio que dura las paradas no programadas en el punto A, es decir la despaletizadora [E. Grimes (2.006)].

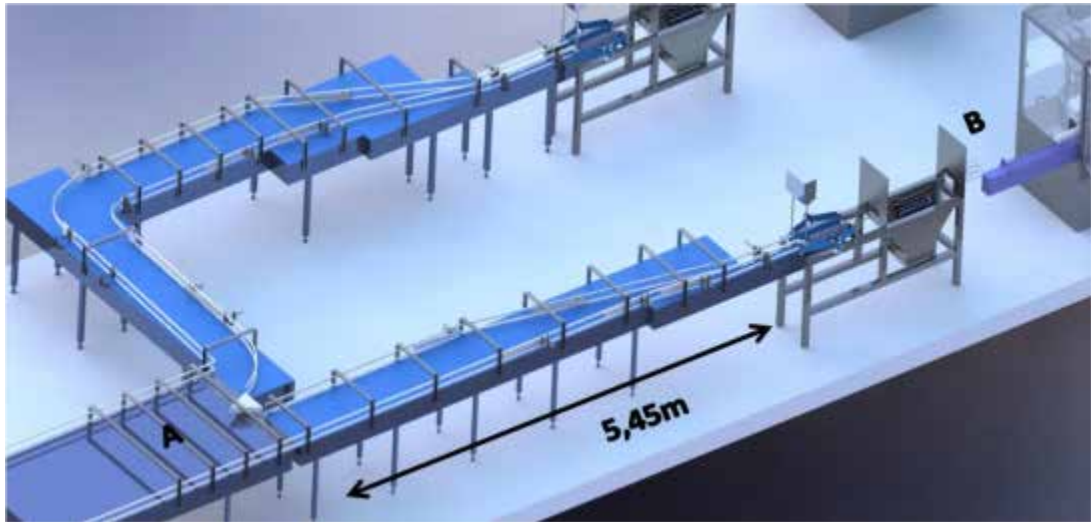


Figura 65: Distancia más larga (crítica) entre ejes.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

En las figuras 66, 67 y 68, se observa un muestreo de los tiempos de paradas no programadas (PNP) en el equipo despaletizador en diferentes días de producción, obteniéndose por día un tiempo promedio de paradas no programadas.

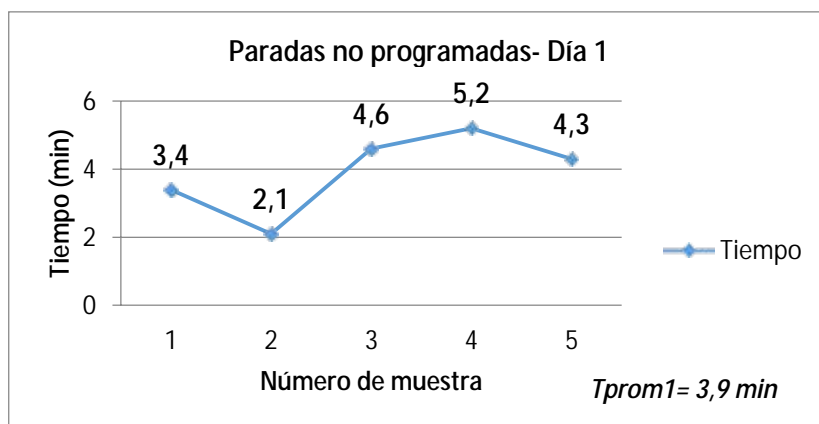


Figura 66: Paradas no programadas de la despaletizadora, día 1.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

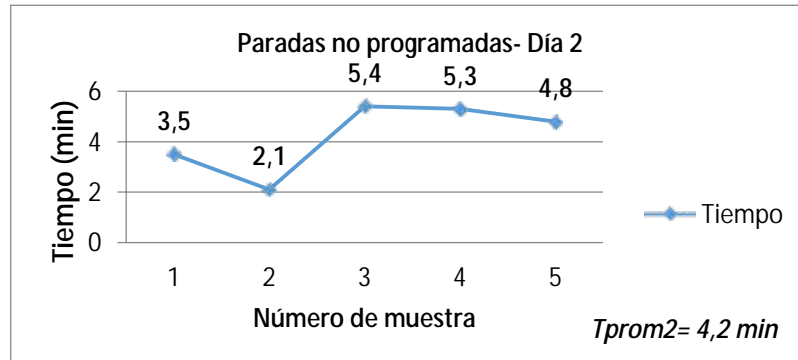


Figura 67: Paradas no programadas de la despaletizadora, día 2.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

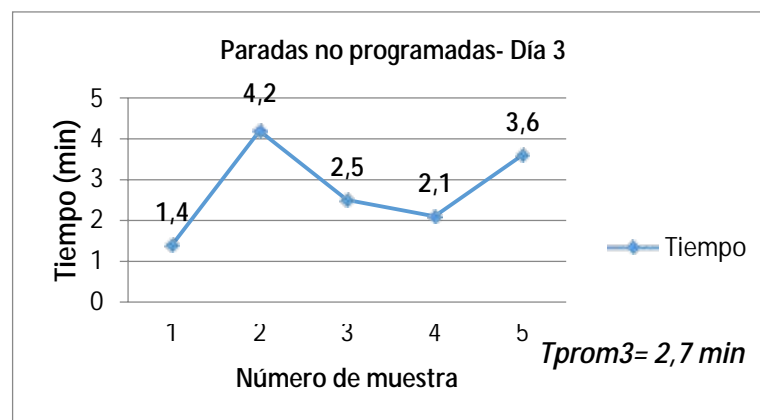


Figura 68: Paradas no programadas de la despaletizadora, día 3.
Fuente: Velásquez C. (2.020)

Con la información obtenida de las figuras 66, 67 y 68, se tiene:

$$T_{tempromPNPdespaletizadora} = T_{prom1} + T_{prom2} + T_{prom3}$$

$$T_{tempromPNPdespaletizadora} = 3,9 \text{ min} + 4,2 \text{ min} + 2,7 \text{ min}$$

$$= 3,6 \text{ min}$$

En este sentido, el pulmón debe garantizar una entrega de envases por al menos 3,6 min, a fin de minimizar los tiempos de parada en la llenadora, el cual es el equipo que define la velocidad de la línea de envasado completa. No obstante, debido a la restricción de espacio en el área, respecto a no poder exceder el ancho o longitud de las bandas actuales, se realiza el diseño del sistema sobre la misma configuración geométrica de bandas transportadoras en ambas líneas de envasado, pero transportando continua y dinámicamente los envases que ésta es capaz de almacenar actualmente.

En la figura 69, se observan las capacidades de ambos pulmones de envases, donde la línea 2 de envasado, puede almacenar un total de 390 envases desde que son entregados por la despaletizadora hasta la entrada a la llenadora. Siendo 150 envases por minuto la velocidad de dicho equipo, el pulmón es capaz de mantener una entrega continua de envases hacia la llenadora por 2,6 minutos, lo que representa un 73% del tiempo promedio de paradas en la despaletizadora, lo que es un porcentaje aceptable considerando que la mayoría del tiempo en el cual la despaletizadora deja de funcionar, el pulmón es capaz de surtir los envases a la llenadora, evitando así, paradas extensas en la línea de envasado.

En el caso de la línea de envasado tres, la misma tiene un tramo adicional de pulmón de banda transportadora, la cual es el segmento que une el inicio de la línea con la despaletizadora. Dicho segmento tiene una capacidad para 314 envases que sumados a los 356 envases ubicados sobre todo el segmento del pulmón, vienen representando un total de 670 envases. Siendo la velocidad de esta llenadora igual a la llenadora de la línea de envasado dos, 150 envases por minuto, entonces dicho pulmón de envases puede mantener alimentada la llenadora por 4,46 minutos, aún con la despaletizadora detenida, superando así, el tiempo promedio de paradas no programadas en la despaletizadora y garantizando que este efecto no produzca ningún atraso en la línea de envasado 3.

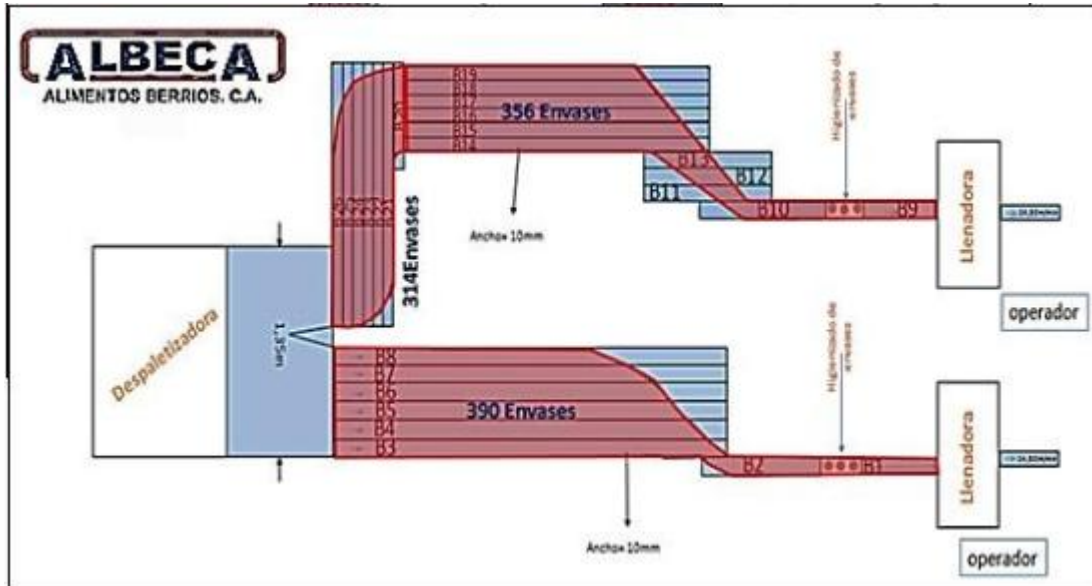


Figura 69: Distribución de envases en banda.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.3.6.5 Tipo de impulsión

La impulsión principal es por motor eléctrico.

4.3.6.6 Ángulo de inclinación de la superficie de transporte

Teniendo en consideración que la mesa de la despaletizadora se encuentra alineada respecto al suelo a la misma altura de la banda transportadora que entrega envases a la llenadora, no existe un ángulo de inclinación asociado a las bandas transportadoras del pulmón de envases que sea requerido para satisfacer las condiciones de transporte de un punto a otro, es decir, la superficie de transporte trabajará en condiciones completamente horizontales.

$$H = 0 \text{ m}$$

4.3.6.7 Cálculo de tracción de la banda o carga de tensión

La resistencia a la tracción en una banda transportadora en funcionamiento se produce por la combinación de las cargas presentes, por la resistencia friccional entre la banda y material de transporte, y por el traslado del producto a una elevación diferente, en caso de haberla.

Las fuerzas friccionales se desarrollan de dos maneras. Primero, los pesos de la banda y del propio producto transportado, ejercidos sobre el recorrido de ida, crean una resistencia, conforme se mueve la banda. Segundo, si el producto se mantiene estacionario mientras la banda sigue desplazándose debajo de la misma, se crea una resistencia adicional entre la banda y el producto.

Cada una de estas fuerzas friccionales es proporcional a un coeficiente de fricción que depende de los materiales concretos, la calidad de sus superficies, la presencia (o ausencia) de lubricante, la limpieza de las superficies y otros factores.

El coeficiente de fricción entre la banda y las guías de desgaste del recorrido de ida se designa como F_w . El coeficiente entre el producto transportado y la banda se representa como F_p .

Para obtener la carga del Producto (M) se verificó el área que ocupan los envases sobre las cintas transportadoras delimitadas por la guías de encause mediante el modelado en el software de diseño SolidWorks y la cantidad de envases por metro cuadrado observado en el sitio. En la figura 69 se observa la cantidad de envases que almacena cada segmento de los pulmones de ambas líneas.

Así mismo, considerando que el peso del envase PET es 28 g y para el vidrio es 233 g, entonces es claro que las fuerzas de tracción serán superiores sobre el transporte de envases de vidrio, lo que resulta necesario el cálculo haciendo uso del peso del envase de vidrio. En la figura 62 se observa que el pulmón de la línea 2 es el que posee la mayor longitud respecto a los otros pulmones, donde a su vez dentro de ese pulmón, la banda B3 es la que posee la mayor longitud dentro del área delimitada por las guías laterales de encause de envases, por ende ésta es la que almacena más envases sobre su superficie y la que es sometida a una mayor tracción.

En este sentido, de acuerdo a la tabla 2, la banda B3 almacena en promedio 69 envases. El área sobre la cual se apoyan esos 69 envases viene siendo el ancho de la banda, es decir, 10 mm, multiplicado por el largo que es 5,45 m:

$$\mathbf{Area_{banda} = ancho \cdot largo = (0,01m) \cdot (5,45m) = 0,545m^2}$$

La carga del producto (M) por metro cuadrado viene representada por el peso de los 69 envases de vidrio más 14 unidades adicionales (5%) como factor de seguridad; entre el área de la banda sobre la cual estos se posicionan viene dada por:

$$M = \frac{73 \times 0,233 \text{kg}}{0,545 \text{m}^2} = 31,20 \text{kg/m}^2$$

La tensión en la banda BP se obtiene empleando la Ec.3, para lo cual se debe calcular la carga con producto acumulado, (M_p) mediante la Ec. 4

$$M_p = M \cdot F_p \left(\frac{\% \text{Acumulacion de la banda}}{100} \right)$$

Teniendo en consideración la acumulación de los envases sobre la banda transportadora y previniendo una futura sobrecarga se estimaron los siguientes valores:

Sobrecarga o acumulación de un 90% considerando que ese porcentaje de área en B3 se encuentra ocupado por envases en condiciones normales.

Coefficiente de fricción entre la cinta y el envase de vidrio $F_p = 0,14$ (ver anexo A.3)

Remplazando los valores respectivos en la Ec.4 se obtiene:

$$M_p = \left(\frac{31,20 \text{kg}}{\text{m}^2} \right) (0,14) \left(\frac{90}{100} \right)$$

$$M_p = 3,93 \text{kg/m}^2$$

Se observa en el anexo A.3 que se proporcionan dos valores de F_w para bandas de acetel: uno para aplicaciones limpias y de operación uniforme y otro para aplicaciones “abrasivas”. En este caso, “abrasivos” se define como pequeñas cantidades o niveles bajos de arenilla, suciedad, fibra o partículas de vidrio, presentes en el recorrido de ida. Hay que tener en cuenta que hay muchos valores que afectan a la fricción. Cualquier pequeña variación de las condiciones puede provocar grandes desviaciones. Por consiguiente, cuando se usen coeficientes de fricción en los cálculos de diseño, estas variaciones se deben tener en cuenta. Después de calcular M_p y encontrar el coeficiente

de fricción F_w , se calcula la tracción de la banda, BP , con la Ec. 3 como se había dicho:

$$BP = [(M + 2W) F_w + M_p L + (M H)]$$

El peso de la banda se obtuvo del anexo A.4, del cual se obtiene:

$$P_{banda} = 13,42 \text{ kg/m}^2$$

H representa el cambio de altura debido a la inclinación de la banda transportadora, la cual es nula, $H = 0 \text{ m}$. L viene siendo la distancia entre ejes más crítica, es decir, 5,45 m. (ver figura 65). Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$BP = [(\quad) 0,19 + 3,93]$$

$$BP = 81,51 \text{ kg/m}$$

4.3.6.8 Ajuste de la tracción calculada de la banda a las condiciones reales de servicio.

Las condiciones de servicio pueden variar considerablemente. La tracción de la banda (BP) calculada debe ser ajustada de acuerdo a ciertos factores. La tracción ajustada de la banda (ABP) se determina al aplicar el factor de servicio adecuado (SF) según las condiciones de trabajo. En transportadores de acumulación donde existen arranques frecuentes con producto, es decir, más de una vez por hora, se considera un factor de servicio sobre la tracción BP calculada para la obtención de un valor más cercano al trabajo real que realiza la banda durante los ciclos de operaciones.

El factor de servicio permite obtener la tracción ajustada de la banda ABP , mediante la ecuación:

$$ABP = BP \cdot SF \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

ABP : tracción ajustada de la banda en kg/m

SF: factor de servicio.

El factor de servicio (*SF*) se puede calcular considerando la información mostrada en el anexo A.5:

$$ABP = \frac{kg}{m} \text{ del anc o de la banda}$$

4.3.6.9 Cálculo de la resistencia

Las bandas Intralox tienen valores de resistencia determinados a temperatura ambiente y a baja velocidad. Debido a que la resistencia de los plásticos generalmente disminuye conforme aumenta su temperatura y a que la proporción de desgaste es directamente proporcional a la velocidad, pero inversamente proporcional a la longitud del transportador, la resistencia nominal de la banda (*BS*) debe ajustarse para obtener una resistencia ajustada (*ABS*) que contempla los factores anteriores mencionados. *ABS* viene dado por la Ec. 6:

$$ABS = BS \cdot T \cdot S \quad \text{Ec.6}$$

La resistencia nominal de la banda (*BS*) se obtiene usando la figura del anexo A.6 para el acetal.

El factor de temperatura (*T*) se estableció teniendo en cuenta una temperatura promedio en el área de operación de 30°C para ingresar a la figura del anexo A.7, de acuerdo al material escogido en el diseño, Acetal.

Para calcular el factor de resistencia (*S*) se consideró la velocidad lineal de la cinta transportadora junto a la distancia entre ejes de la misma. Otro factor considerado fue el número de dientes del engranaje, donde se recomienda según el fabricante un número mínimo de 18 dientes por engranaje, lo que conlleva a un 1,88% del efecto de acción poliédrica, lo cual es un valor aceptable para mantener una estabilidad de los envases durante su paso por el eje accionador de la banda, según Intralox S.A. (2.014).

$$\frac{V}{L} = \frac{15m/min}{5,45m} = 2,75min$$

Con este valor entrando en la gráfica del anexo A.8 se intercepta en línea recta hasta la curva del número de dientes y se proyecta hacia el factor en línea recta obteniendo un valor de 0,91.

Sustituyendo los valores en la Ec. 6 se obtiene:

$$ABS \quad \frac{kg}{m} \text{ del anc o de la banda}$$

4.3.6.10 Separación máxima entre los engranajes en el eje motriz y número mínimo recomendado de engranajes del eje.

Para determinar el número de engranajes necesario, se debe determinar antes la tracción de la banda en relación a la resistencia disponible de la misma. Se utiliza la fuerza de tracción ajustada y la resistencia permitida de la banda para calcular la resistencia permitida de la banda utilizada mediante la siguiente ecuación:

$$ABSU = \left(\frac{...}{ABS} \right) \quad \text{Ec.7}$$

Sustituyendo los respectivos valores se tiene:

$$ABSU = \frac{97,82}{3046,68} \quad 3,20\%$$

Dado que ABS es mayor que ABP , entonces la banda transportadora más crítica es capaz de soportar las condiciones de operación por un margen superior al 90%, lo que representa un factor de seguridad confiable para la banda más crítica del proceso y por ende para las otras también. Con la resistencia permitida $ABSU$ se utiliza para obtener la separación mínima entre engranajes entrando en la figura del anexo A.9. Se obtiene un valor de 75 mm.

4.3.6.11 Confirmación de la resistencia del eje

Se deben analizar dos importantes funciones del eje motriz antes de determinar sus posibilidades de funcionar adecuadamente: (1) su capacidad para absorber la fuerza de flexión de la tracción de la banda con una deflexión aceptable del eje, y (2) su capacidad para transmitir el par de torsión necesario desde el motor, sin falla alguna. Lo primero es hacer una selección preliminar del tamaño del eje apto para el engranaje elegido. El eje se doblará o curvará bajo las cargas combinadas de la fuerza de tracción de la banda (ABP) y su propio peso. Se utilizarán dos ejes motrices accionados por una cadena, a fin de obtener un diámetro de dimensiones no desproporcionadas. Se supone que estas fuerzas son coplanares y pueden combinarse en una carga total de una banda sobre el eje, W , determinado por:

$$W = (ABP + Q) B \quad \text{Ec.8}$$

Por tratarse de una banda de poco ancho, pero al mismo tiempo constituyen un arreglo de 6 bandas en paralelo dispuestas sobre dos ejes, se realiza una prueba con un eje cuadrado de 60 mm. Se sabe que el ancho (B) de cada banda es 100 mm. Obteniéndose el peso del eje Q a partir de la tabla del anexo A.10.

Remplazando los valores en la Ec.8 se obtiene:

$$w = (97,82 + 29,11) 0,10 = 12,69kg$$

Considerando que un eje acciona tres bandas, entonces la carga total soportada por el eje será:

$$w_{total\ eje} = 3w = 3 \cdot 12,69 = 38,07kg$$

4.3.6.12 Deflexión del eje para ejes apoyados por dos cojinetes

Según Pytel-Singer (2.008), un eje o barra que se encuentra sometido a una carga uniforme y constante a lo largo de su longitud experimenta una deflexión producto de las cargas que descansan sobre esta. La deformación que sufre el eje depende de la Los

autores establecen que los ejes que descansan sobre sus extremos (sobre los rodamientos, en este caso) y experimenta una carga constante y distribuida en su longitud experimenta una deformación que viene expresada mediante la ecuación:

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{5}{384} \times \frac{wL_s^3}{ExI} \quad \text{Ec. 9}$$

Los valores de los m3dulos de elasticidad (E) y momento de inercia (I) se encuentran de la tabla del anexo A.10, L_s es el tramo sin soporte del eje entre los cojinetes.

Recomendaciones sobre la deflexi3n m3xima del eje seg3n el fabricante

A medida que el eje motriz se flexiona o curva con cargas pesadas, la distancia longitudinal entre el eje motriz y el eje conductor es menor en la l3nea central de la banda que en los bordes. Esto crea una distribuci3n desigual de la tensi3n en la banda, haciendo que los bordes absorban la mayor cantidad. Ya que la distribuci3n de la tensi3n es desigual, la carga absorbida por los dientes de los engranajes tambi3n es desigual. Para las cintas Intralox se ha comprobado que se puede obtener un rendimiento satisfactorio si las deflexiones del eje no sobrepasan ciertos l3mites. Estos l3mites son:

Para transportadores unidireccionales comunes (*Caso estudio*).

Deflexi3n m3xima del eje = 0,10 pulg. (2,5 mm)

Para transportadores bidireccionales o empujadores.

Deflexi3n m3xima del eje = 0,22 pulg. (5,6 mm)

Sustituyendo los valores en la ecuaci3n se tiene:

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{5}{384} \times \frac{3}{1080000} = 1,9948 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Dado que la flexión es menor que el límite recomendado de 2,5 mm se puede proporcionar un soporte de 2 cojinetes.

4.3.6.13 Par de torsión del eje motriz

El eje motriz también debe ser suficientemente fuerte para transmitir las fuerzas de torsión o de rotación impuestas por el motor, para vencer la resistencia necesaria para mover la banda y el producto. La acción torsional impone esfuerzos de corte sobre el eje, que son aún más críticos en las chumaceras lisas adyacentes al motor. Para calcular los esfuerzos de fractura, el par de torsión máximo recomendado en el eje motriz se puede ver en el anexo A.11, el mismo se ha desarrollado para determinar rápidamente el par motor máximo recomendado del eje motriz para un diámetro de mangueta y un material de eje determinados.

El par del motor para el eje motriz se calcula usando la Ec. 10,

$$T_o = ABP \quad B \quad \frac{P_d}{2} \quad \text{Ec.10}$$

Donde P_d representa el diámetro de paso del engranaje en mm, el cual se obtiene en el anexo A.12 un valor de 145 mm, sustituyendo valores se tiene

$$T_o = 97,82 \quad 0,10 \quad \frac{145}{2} = 709,19 \text{ kg mm}$$

Considerando que se tienen 3 bandas, entonces el par torsor sobre el eje será:

$$T_{total} = 3 \quad T_o = 3 \quad 709,19 = 2127,58 \text{ kg mm}$$

Según el par de torsión del eje motriz máximo recomendado, el diámetro de extremos de ejes mínimo para un par de torsión de 1907,49 kgf.-mm sería de 21 mm aproximadamente. Se necesita un eje de 60 mm debido a la deflexión, por lo que el diámetro de extremos de ejes puede ser de hasta 21 mm.

4.3.6.14 Determinación de la potencia necesaria para accionar la banda

La potencia necesaria para mover la banda y el producto que carga se puede obtener con la Ec.11:

$$P_o = \frac{ABP \ B \ V}{6,12} \quad \text{Ec. 11}$$

Siendo ABP , la fuerza de tracción ajustada (kg/m) usada en los cálculos anteriores, B el ancho de la banda total apoyada sobre el eje (m) y V la velocidad de la banda en m/min. Sustituyendo los valores respectivos se tiene:

$$Potencia_{1banda} = \frac{\quad}{6,12} = 23,97 \ W$$

Considerando que son 6 bandas en paralelo, la potencia necesaria será 6 veces la potencia calculada sobre una banda, es decir:

$$Potencia_{total} = 6(Potencia_{1banda}) = 6(23,97) = 143,85 \ W$$

Potencia motor

Para obtener la potencia requerida del motor se debe añadir a la potencia calculada, las pérdidas de potencia necesarias para superar las deficiencias mecánicas u otras ineficiencias del sistema.

$$Potencia_{motor} = \frac{Potencia \ requerida}{perdida \ de \ eficiencia \ mecanica} \cdot 100$$

Según Mott, R. (2.006). ver anexo B1, se estima 1% por pérdidas en rodamientos, 5% por la reducción existente en el reductor de rpm y un 5% por la pérdida mecánica existente en la cadena que transmite la potencia desde el reductor hasta el eje motriz.

Sustituyendo los valores se tiene:

$$Potencia\ motor = \frac{143,85}{100 \cdot (1 + 5 + 5)} \times 100 = 161,63\ W$$

Por ende, se estima un motor de HP .

4.3.7 Selección de componentes

Teniendo en cuenta que a través de la memoria de cálculo se eligió un tipo de banda transportadora de la marca “Intralox” serie 1400 Flat Top, resulta necesario seleccionar el resto de los elementos que componen el sistema de una banda transportadora, como soportes de rodamientos, rodamientos, tipo de cadena motriz, motor eléctrico, entre otros.

Para esta sección, se toman en consideración los cálculos realizados anteriormente.

4.3.7.1 Eje motriz y conducido

En todo mecanismo de transmisión de potencia existen como mínimo dos ejes, llamados eje motriz y eje conducido o arrastrado. El eje motriz es el que genera el movimiento y puede estar acoplado a un motor. El eje conducido es el que recibe el movimiento generado por el eje motriz.

Se seleccionó según los cálculos realizados anteriormente, de la deflexión del eje y par de torsión máximo recomendado, un eje de perfil cuadrado 2,5 pulgadas SAE 1020, torneado ambos extremos, 60 mm de diámetro.

4.3.7.2 Rodamientos

Para el cálculo de la carga dinámica C utilizando la Ec.13 se tienen en consideración los siguientes parámetros:

a : 10/3 para rodamiento de rodillo rótula, ver Pizzella, G (2.006)

L_{10h} : 30000 horas de servicio, ver anexo B2.

Primero se calcula P de la Ec. 14

$$P = Tracción\ de\ la\ banda \cdot Aceleración\ de\ la\ gravedad \cdot Anc\ o\ de\ la\ banda$$

$$P = 2127,58\ kg \cdot mm \cdot \frac{9,81m}{s^2} \cdot 0,10m = 2087,16N$$

Sustituyendo en la Ec 13:

$$c = \frac{10}{3} \frac{\text{-----}}{1000000} (2087,16)^{10/3}$$

$$c = 7905,5 \text{ N}$$

Con el valor de la carga dinámica c , se compara con los valores de c de los rodamientos de rodillo a rótula ofrecidos en el catálogo de SKF y se selecciona el rodamiento 22308 E/VA405 que se presenta en el anexo B.3.

4.3.7.3 Obturaciones

Las obturaciones en los rodamientos son sellos que se utilizan en las caras de estos a fin de evitar la entrada de humedad y contaminantes sólidos en el interior del elemento rodante, a la vez que retiene el lubricante en el rodamiento. Las obturaciones deben producir un rozamiento y un desgaste mínimo sin pérdida de eficacia, aún en las condiciones de funcionamiento más desfavorables, para que el rendimiento y la duración de los rodamientos no se vean afectados por introducción de partículas contaminantes. Una vez seleccionado el rodamiento utilizando el catálogo SKF para el obturador se selecciona el obturador 40X90X8 CRW1 R. (Ver anexo B.4).

4.3.7.4 Soporte

Los soportes para rodamientos junto con los rodamientos apropiados, constituyen unidades de rodamientos intercambiables y económicos, que cumplen con las necesidades de diseño con un mantenimiento sencillo. Se seleccionó para este caso el soporte Rodamiento SE 510-608 (Ver anexo B.5).

4.3.7.5 Anillo de retención (Segers)

Estos anillos se posicionan en el montaje de piezas sobre un eje, facilitando su rápido montaje y desmontaje únicamente cerrando el anillo. Estos anillos irán instalados en el eje de transmisión de potencia y el conducido para fijar los engranajes (sprocket), serie 1400, se seleccionó el Seguro Segers con diámetro nominal 60 mm para eje cuadrado (ver anexo A.13).

4.3.7.6 Sistema de transmisión Sprocket (Catarina)-motor eléctrico.

Permite transmitir la potencia entre dos ejes paralelos, pudiendo modificar la velocidad pero no el sentido de giro.

Se seleccionó:

Sprocket paso 1 1/2 *pulgadas* (Z-21) doble.

Sprocket paso 1 1/2 *pulgadas* (Z-25) doble.

4.3.7.7 Sistema de transmisión piñón (Sprocket)-banda transportadora

Es aplicable cuando no resulta práctico extraer el eje en condiciones de alto desgaste, por factores de abrasión o corrosión. Existen dos tipos de engranajes de acero inoxidable. Los engranajes anti-abrasivos formados enteramente por metal obteniéndose en distintas series y diámetros de paso Intralox. Los engranajes de tipo bipartidos están formados por dos semi-discos dentados de acero inoxidable que se unen y sujetan por dos placas de polipropileno que forman el cubo del engranaje. Se seleccionó un piñón (Sprocket) serie 1400 Intralox, diámetro de paso 145 mm, número de dientes $Z = 18$ de acuerdo a las especificaciones del fabricante para mantener un porcentaje de acción poliédrica debajo del 2%, punto que se vuelve crítico en el transporte de envases, según Intralox S.A (2.014).(Ver anexo A.14).

4.3.7.8 Cadena de transmisión

Sirve para transmitir la potencia entre los piñones (Sprockets). Usando el procedimiento descrito en el Anexo C.1 se obtiene la potencia de diseño de la cadena:

$$P_{diseño} = P_{nominal} \times f_s. \quad \text{Anexo C.1 Ec. 1}$$

Donde la potencia de entrada es de 2 HP (comercial) y el factor de servicio se obtiene de la Tabla 3-1 del Anexo C.2, sustituyendo los valores se obtiene:

$$Potencia_{diseño.cadena} \quad HP = 1,86 \text{ kW}$$

Se considera una velocidad de trabajo de la banda transportadora de 60 rpm, junto a una potencia de diseño de cadena 1,86 kW. De acuerdo a la Norma ISO 606 para la selección de cadenas se usa el gráfico del Anexo C.3, en función de la potencia de

diseño ($P_{\text{diseño}}$), de las RPM del eje más rápido y del número de ramales para la cadena. Dado que el engranaje menor (sprocket) tiene $Z_1 = 21$ dientes, entonces de acuerdo al anexo C.4, se obtiene una cadena N°120 con paso 1 1/2 pulgadas. En este sentido, de acuerdo al anexo C.4 la cadena N°120 puede operar transmitiendo una potencia máxima de 8,132 HP a 60 rpm del piñón pequeño, razón por la cual este elemento mecánico cumple sin inconvenientes con los requerimientos de potencia del sistema.

Adicionalmente, por relaciones de número de dientes a revoluciones por minuto

$$N_2 = \frac{\text{Velocidad sprocket}_{\text{mayor}}}{\text{Velocidad sprocket}_{\text{menor}}} N_1 \quad \text{Anexo C.1 Ec. 2}$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$N_2 = \frac{72}{60}$$

En el anexo C.5, se confirma que ambos números de dientes están disponibles para el tipo de cadena escogida.

4.4 Diseñar en detalle el sistema de control para el transporte de envases, caso estudio.

4.4.1 Descripción general

Los procesos de transporte de productos en grandes cantidades son procesos donde habrá la presencia de eventuales y fortuitos trancamientos de estas unidades (en condiciones no repetitivas que afecten el proceso). Estos procesos son de origen aleatorio debido al movimiento de muchos objetos en un espacio determinado, razón por la cual es necesario definir e implementar todos los conceptos de ingeniería de transporte para que este fenómeno no sea un factor negativo en el proceso.

Sin embargo, el “sistema de detección de bloqueo” es un sistema automatizado cuyo propósito es el de detectar cuando se produzcan esos bloqueos en la línea de alimentación (pulmones de envases) de ambas llenadoras en la línea de envasado de

mayonesa, planta Salsa y Untables. Todo esto, como un complemento del diseño del sistema de transporte de envases mediante bandas transportadoras modulares.

Las características generales del “sistema de detección de bloqueo” son en primer lugar la capacidad de detectar la interrupción del flujo de envases a través de las bandas transportadoras en los puntos de encausamiento de las mismas. Una vez se detecte dicha interrupción, en el flujo se espera que el sistema sea capaz de enviar una señal de control a las llenadoras para forzar su parada y mantenerse a la espera del reinicio manual del sistema. Para reducir el tiempo de parada de la línea al mínimo (además del propio rediseño mecánico de los parámetros de funcionamiento de la banda transportadora) se espera que el sistema de detección sea capaz de emitir una alerta luminosa que permita al operador percatarse rápidamente de un bloqueo en la línea al operar.

4.4.2 Requerimiento de funcionamiento del sistema de control

4.4.2.1 Detectar de forma temprana los bloqueos en la línea

Se pretende establecer la ubicación física del sensor de detección de envases justamente en el área del pulmón de envases donde se produce el trancamiento de estos productos. Esto permitirá detectar el bloqueo en el momento que se produzca. En la figura 70 se observa la ubicación estratégica del sensor, la cual corresponde al punto donde los envases casi se encuentran alineados uno tras otro.

4.4.2.2 Detectar ausencia de envases en la línea

Mediante el dispositivo de detección de flujo de envases, se pretende monitorear constantemente el flujo del mismo y detectar alguna anomalía en el tránsito de los mismos.

4.4.2.3 Generar una alerta que sea visible de forma inmediata por el operario

El sistema debe ser capaz de detectar el bloqueo de envases en el momento que ocurre y enviar una alerta lo suficientemente visible al operador en su puesto de trabajo en la llenadora, a fin de que él pueda realizar el destrancamiento de forma manual y reiniciar el proceso.

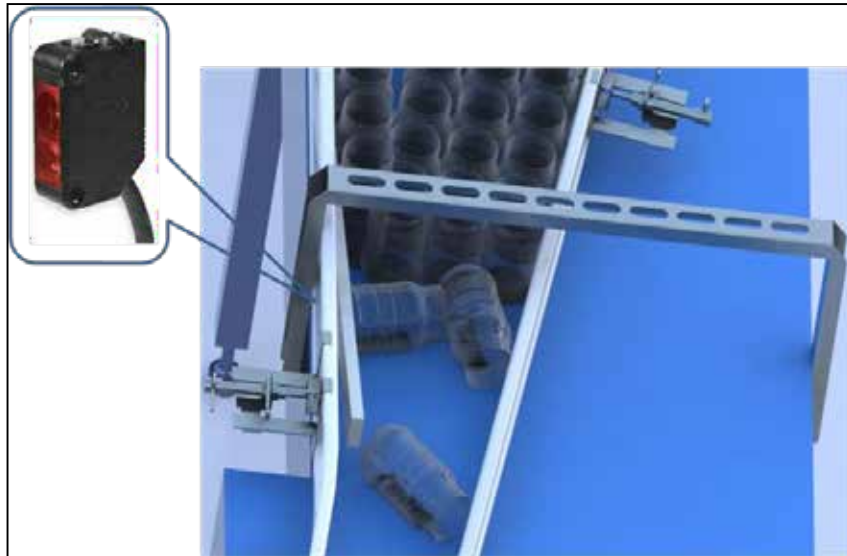


Figura 70: Ubicación del sensor instalado

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.4.2.4 Detener la cinta transportadora al detectar un bloqueo

El sistema de bloqueo debe ser capaz de detener el funcionamiento de las bandas transportadoras mediante el apagado del motor eléctrico, de manera que en momentos donde exista bloqueo de envases y exista retraso por parte del operador en aproximarse al sitio por concepto de atender otras fallas o se encuentren en cambio de turno, no se produzca un deslizamiento envases-bandas innecesarios que acorten la vida útil de este último sin generar ganancias en la producción.

4.4.2.5 Detener la llenadora al detectar un bloqueo

El sistema de detección de bloqueo debe ser capaz de detener la llenadora segundos después de que se detecte un bloqueo de envases, dando el tiempo suficiente para que los envases posteriores al bloqueo puedan ingresar y ser llenados dentro del equipo y que el mismo se detenga a fin de prever un derramamiento de mayonesa dentro de éste por concepto de falta de recipientes.

4.4.2.6 Reiniciar la cinta transportadora al solucionar el problema

El sistema de detección de bloqueo debe ser capaz de reiniciar la banda transportadora y la llenadora mediante un reinicio manual por parte del operador luego de corregir el trancamiento de envases.

4.4.3 Consideraciones de implementación para el diseño

4.4.3.1 Puesto de trabajo del operario

El área de estudio se encuentra monitoreada por un operador ubicado en cada llenadora y quien cumple la función de mantener supervisado durante la fase de operación el correcto funcionamiento de la llenadora, la tapadora (equipo ubicado después de la llenadora) y todo el tramo de banda transportadora previo a la entrada de la llenadora, incluyendo el pulmón de envases que alimenta dicho equipo. En la figura 71 se observa el lugar que representa el puesto de trabajo del operador.

4.4.3.2 Sistema de control actual

En el proceso actual de envasado, existe la presencia de un sistema de detención de la llenadora ante anomalías en el tránsito de envases previo al ingreso de dicha máquina. Por esta razón, a la salida del higienizador de envases, un sensor de tipo fotoeléctrico, marca SICK, modelo 2740 censa constantemente mediante un haz de luz infrarroja el tránsito de los envases a través de la banda transportadora y cuando registra una variación en el volumen de haz refractado, lo interpreta como una brecha creada entre los envases producto de un trancamiento de envases ocurrido aguas arriba. En la figura 72 se observan ambas condiciones que pueden presentarse en el proceso.

Cuando el sensor registra un flujo de envases no continuo, éste envía una señal de tipo eléctrica al controlador SIEMENS de la llenadora la cual cortaba el flujo de corriente eléctrica al motor de la llenadora, deteniéndola y evitando que los envases en el tornillo sin fin ingresen al entorno de llenado. De este modo, cuando el operador realiza los procedimientos pertinentes de destrabamiento de envases aguas arriba en el pulmón de envases y posteriormente ha cebado la línea manualmente mediante el

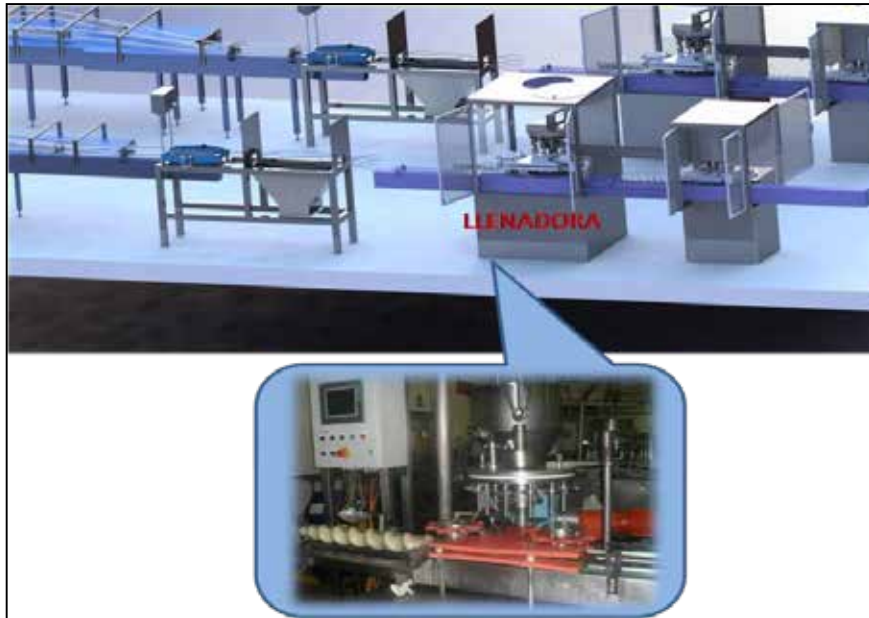


Figura 71: Un operador se ubica frente a cada llenadora, siendo éste su puesto de trabajo.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

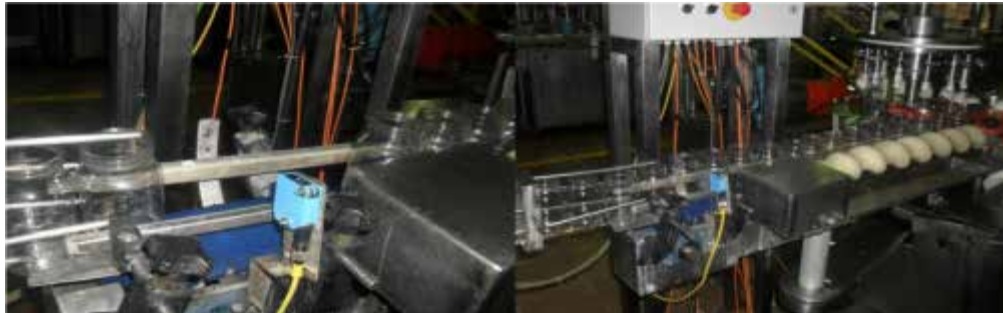


Figura 72: Izquierda: Brecha de envases. Derecha: Transporte continuo de envases.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

empujador de correas laterales para llenar la brecha entre envases detectada por el sensor, entonces procede a resetear y reiniciar el equipo en el panel del control del controlador, como se observa en la figura 73.



Figura 73: Vista del panel de la llenadora

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Como se puede ver, en la figura 74 se muestra el diagrama de flujo del proceso actual, que corresponde al conjunto de acciones que dan lugar a la puesta en marcha del sistema de detección actual.

4.4.4 Componentes principales del sistema de detección

Se establecen los componentes generales que constituyen el “sistema de detección de bloqueo”, estos se describen a continuación.

4.4.4.1 Flujo de envases.

Éste componente habla de la variable de control que entra al sistema de detección y consiste en la presencia o no de flujo de envases a través del encauce de la banda transportadora. Este “flujo” es tratado como una señal que pretende informar al sistema de detección cuando se produce una interrupción en el transporte de envases una vez se ha iniciado el funcionamiento normal de la banda transportadora, el mismo presenta los siguientes posibles estados:

- **No iniciado:** estado donde la banda transportadora inicia su operación y no se encuentra ningún envase en la línea. Es un estado de transición donde se espera que inicie el flujo.

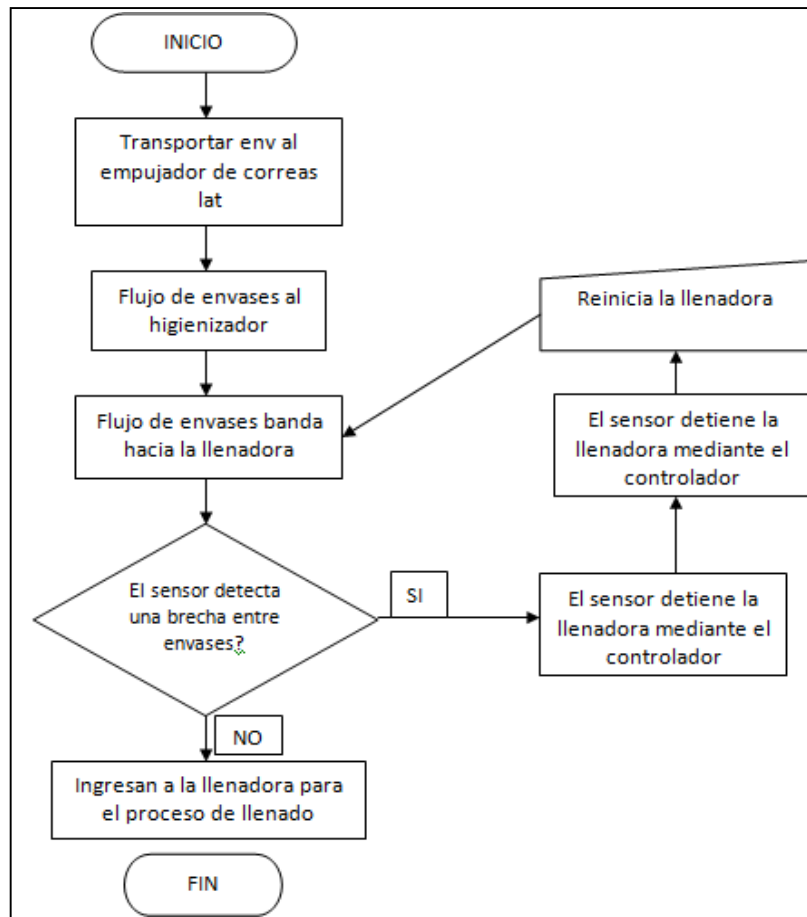


Figura 74: Diagrama de flujo del sistema de detección actual

Fuente: Velásquez C. (2.020)

- **Funcionamiento normal:** estado donde se tiene un flujo continuo de envases (con posibles espacios pequeños entre envase y envase).
- **Flujo detenido:** ocurre un bloqueo o pasa un envase caído hacia la línea de la llenadora.

4.4.4.2 Sensor “Flujo de envases”:

Éste componente representa el dispositivo de censado que se utilizará para detectar si existe o no el flujo de envases. Se espera que este sensor capte los tres posibles estados de flujo:

- **No iniciado:** el sensor no detecta la presencia de envases frente a él por cierto “tiempo”, hasta que se establece el flujo normal.
- **Funcionamiento normal:** el sensor detecta de forma continua la presencia de envases (con posibles espacios pequeños entre envase y envase).
- **Flujo detenido:** el sensor no detecta la presencia de envases frente a él. El controlador podrá diferenciar entre este estado de flujo y el “no iniciado”.

4.4.4.3 Señal “Flujo de envases”

Éste componente por su parte comprende la señal que es generada en el sensor de acuerdo a la presencia o no de flujo de envases. Se espera que sea una señal binaria ya que solo se desea detectar la presencia o no de envases frente al sensor.

4.4.4.4 Dispositivo lógico de control.

Éste componente consiste en un dispositivo capaz de usar la señal de “Flujo de envases” para aplicar cierta lógica y obtener señales de salida que permitan generar las acciones requeridas en presencia de un bloqueo. Las funciones principales del dispositivo lógico de control son:

- Interpretar de acuerdo a la señal “FE” el estado de los flujos de envase.
- Generar la señal de visualización de estado.
- Generar la señal de apagado para la envasadora
- Generar la señal de apagado para la cinta transportadora.
- Recibir la señal de reinicio de la cinta transportadora.
- Enviar la señal de apagado de la cinta transportadora.

4.4.4.5 Señal de control “Línea de envasado”.

Éste componente habla de la señal que se envía como señal de salida al controlador de la envasadora. Esta sería una de las dos señales de salida del “sistema de detección de bloqueo”.

4.4.4.6 Control línea de envasado

Éste componente consiste en el controlador propio de la envasadora el cual será el encargado de generar la parada de la máquina una vez se detecte un bloqueo.

4.4.4.7 Espera reinicio manual

Éste componente se refiere al estado de la línea una vez ésta se ha parado según la detección de un problema de bloqueo y se espera el reinicio manual de la línea una vez el operador ha solucionado el problema de bloqueo.

4.4.4.8 Señal de reinicio manual

Señal emitida que informa al control del sistema de detección de bloqueos que el problema fue solucionado y se continúa la operación normal de la máquina.

4.4.4.9 Señal de estado

Señal emitida por el dispositivo lógico de control para indicar el estado de la línea.

4.4.4.10 Visualización estado de la línea

La principal función de este dispositivo es mostrar una indicación del estado de la línea, clara y fácil de ver para el operador, a fin de que éste pueda percatarse rápidamente de un bloqueo en la línea. Los posibles estados de dicha “indicación” son los siguientes:

- ***Funcionamiento normal:*** la banda transportadora funciona de forma normal.
- ***Bloqueo o envase caído:*** se detectó un bloqueo en la línea o un envase caído, por lo que la banda y la llenadora están detenidas.

En este sentido, las relaciones entre dichas partes que componen el sistema de control se muestran en la figura 75.

4.4.5 Selección de los componentes del sistema de control

4.4.5.1 Sensor utilizado

El sensor empleado para la detección de presencia de objetos (envases), fue el sensor fotoeléctrico (óptico) Marca SICK del modelo VTE18-4P8740, emisor y receptor respectivamente. Éste fue elegido debido a sus características, aparte que cumple con los estándares que requiere la industria de alimentos. Tiene una capacidad de detección de 80 cm, el cual cumple el rango de la aplicación, puesto que la ubicación de éste en el encauce corresponde a un ancho de 40-50 cm de distancia, este sensor es sometido a condiciones de operación moderada. Dicho sensor también cumple el

propósito de detectar si el envase se encuentra caído sobre la banda transportadora, de ser así, realiza el mismo efecto de detención de la llenadora, evitando que eventualmente el envase caído ingrese a la llenadora y se produzca una falla o derramamiento de mayonesa por mala posición del mismo.

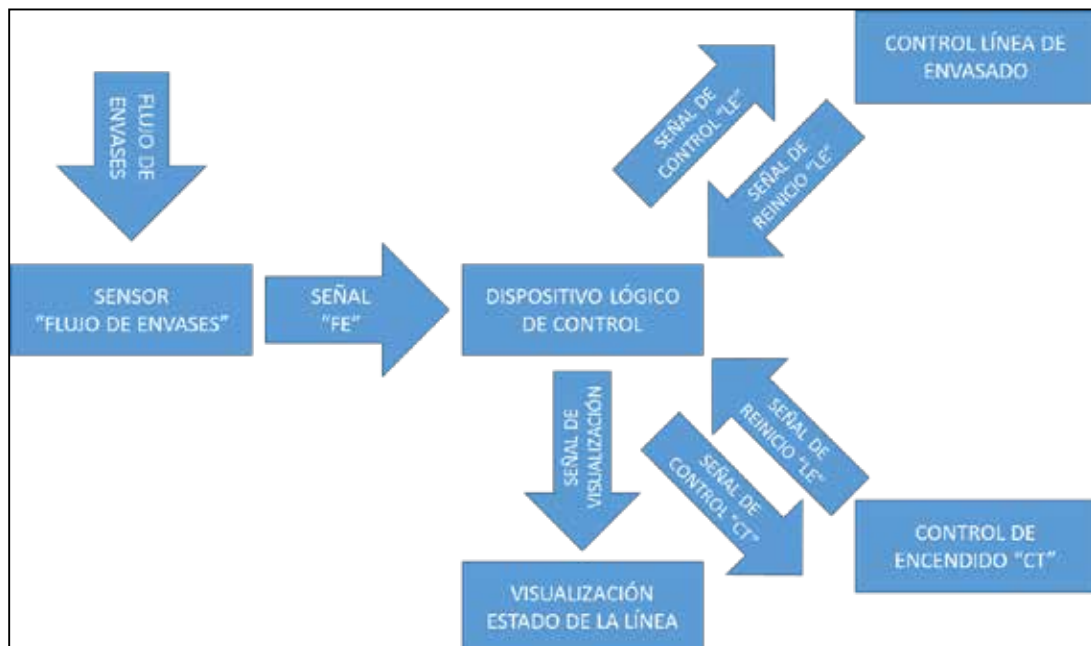


Figura 75: Diagrama de flujo del sistema de detección actual esperado

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Descripción

El juego de sensores consta de un emisor y receptor de luz infrarroja. Su parte exterior está fabricada en materiales rígidos con capas anti-adheribles, su base está construida en acero inoxidable, su exterior se encuentra bien sellado para eliminar que le penetre humedad por medio de un lente fabricado en policarbonato, se protege su interior que consta de una circuitería bastante delicada, ésta cuenta con amplificadores para la detección de objetos a largas distancias. Estos trabajan por emisión de luz infrarroja directa, consumen una corriente máxima de 50 mA por juego (emisor y receptor operando juntos), poseen una capacidad de respuesta (o cambio de estado

lógico) de un (1) milisegundo, lo que da la certeza de una pronta respuesta de lectura de estado presente.

Este juego de sensores tiene la característica de poder programarlos según la necesidad del trabajo, es decir que cuentan con la modalidad de selección entre PNP (dotado de transistor con Emisor P, Base N y Colector P) o NPN (dotado de transistor con Emisor N, Base P y Colector N), esto será según la forma de alimentación que se les quiera dar. La opción de Dark On o Light On, es para elegir la señal deseada para representar la presencia de un objeto entre ambos sensores (emisor y receptor). La opción de Dark On, se utiliza cuando se necesita una señal de un uno (1) lógico al existir un objeto entre el emisor y receptor; la opción de Light On se selecciona para la necesidad de un uno (1) lógico al no haber obstáculo entre emisor y receptor, en otras palabras, la ausencia de objeto entre ellos. Al contar con esta modalidad el usuario tiene la fácil opción de elegir como se quiere o necesita emplear, y no tiene una restricción en el uso del sensor en el diseño.

Los sensores están contruidos en materiales rígidos, lisos y de gran durabilidad para un entorno rústico, o sea que, pueden soportar condiciones extremas, exceso de luz, humedad y temperatura. Estos están ubicados en la parte superior sobre las bandas o rieles guía, por lo que serán expuestos a humedad para el proceso de lavado obligatorio que se realizará después de cada proceso de llenado de producto, esto es requisito para mantener un ambiente limpio para un futuro proceso de elaboración de producto.

Tienen una base de acero inoxidable que los libra de alguna adherencia de producto o suciedad que pueda ser un contaminante de alimento o fuente de crecimiento y propagación de bacterias. Un lente de vidrio que hace posible la transferencia de rayos infrarrojos entre emisor y receptor, y que a la vez lo protege de que entre humedad en su sistema, lo que puede provocar daños internos en el dispositivo, en la placa impresa con los transistores y sensores ópticos.

Aplicación

Para el sistema de transporte de envases es necesario tener el conocimiento de la cantidad de unidades que éste está maniobrando, para saber en qué punto se está produciendo la falla (atribuido a condiciones naturales del proceso y no a un mal transporte), para poder efectuar la acción necesaria para la corrección del mismo. De esta manera, el sensor interpreta la presencia de objetos por la ausencia o presencia de señal en éste; el cual es interpretada por unos (1's) y ceros (0's) lógicos. Esta señal es transferida al Controlador Lógico Programable (o PLC, por sus siglas en inglés Programmable Logic Controller), el cual interpreta la señal y la procesa para actuar en el apagado de la llenadora y banda transportadora.

En el sistema de detección de objetos, el sensor produce una señal lógica "0" para indicar la presencia de objeto en el encause del pulmón de envases, está puesto en la selección Light On, es decir, que al no existir presencia de objetos en el entorno del haz infrarrojo del sensor, éste lo interpreta enviando un uno "1" lógico al PLC.

La configuración de alimentación es la de NPN, como en la alimentación de un transistor en la configuración de corte o saturación, la corriente circula hacia el PLC. Estos sensores brindan los requerimientos necesarios para tener una lectura confiable, lo que ofrece una mayor confiabilidad de obtener un sistema de detección automatizado estable.

4.4.5.2 Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable es comúnmente conocido como PLC, por sus siglas en inglés (*Programmable Logic Controller*). Este componente es de la marca Allen-Badley, de la serie SLC 5/04 CPU. Dicho dispositivo efectúa las decisiones según la información intercambiada con el sensor para un funcionamiento óptimo del sistema. El PLC está compuesto con la interfaz de entrada y salida, está formado por módulos que se interconectan fácilmente para uso de lectura o escritura. Los módulos de entrada y de salida son de la siguiente especificación:

- Entrada 24 VDC Sink Input Flex I/O 1794-1816 de 16 contactos.
- Salida 24 VDC Source Outpt Flex I/O 1794-0816 de 16 contactos.

La ventaja del uso de un PLC en lugar de una computadora de mayor capacidad, es que estos están diseñados específicamente para una operación bajo condiciones severas, o extremas, para un ambiente industrial. Un PLC bien diseñado puede ser colocado en un área con cantidades sustanciales de ruido eléctrico, interferencia electromagnética, vibración mecánica y humedad no condensada, lo cual resulta apropiado tratándose de que el ambiente es una línea de envasado y el dispositivo se encuentra expuesto a estos factores.

Descripción

El PLC, está compuesto por dos secciones: la unidad central de proceso (el CPU) y el sistema de Entradas y Salidas (I/O). El CPU controla todas las actividades del PLC, que también está compuesto de tres componentes que son: el procesador, el sistema de memoria y el sistema de alimentación.

La operación de un PLC es relativamente simple. El sistema de Entrada/Salida está físicamente conectado a los diferentes dispositivos externos que se encuentran conectados en el equipo para el control del proceso. Estos dispositivos pueden ser discretos o análogos, tales como los finales de carrera (limit switches), transductores de presión, presiona botón (push buttons), arrancadores de motor, solenoides, entre otros. La interfaz E/S (Entrada/Salida) provee la conexión entre CPU y la información leída (Entradas) y los dispositivos controlados (Salidas).

Durante la operación, el CPU completa tres procesos: (1) lee, o acepta, los datos de entrada desde los dispositivos conectados en la interfaz de Entrada, (2) ejecuta, realiza, el programa de control guardado en el sistema de memoria, y (3) escribe, o actualiza, a los dispositivos controlados por el sistema de Salida.

Aplicación

El PLC es el encargado de realizar el monitoreo y toma de decisiones para la operación ordenada y eficaz en el correcto transporte de envases en el encausamiento de los mismos en el pulmón de envases, los cuales se dirigen al proceso de higienizado y posterior llenado. Éste toma constantemente una lectura de estado que le indica el sensor, la evalúa y toma la decisión programada y la ejecuta. Esta decisión corresponde

en detener las bandas transportadoras del pulmón y la llenadora o mantenerlas en ejecución de operación.

El PLC es el encargado de efectuar la operación autónoma de las bandas transportadoras. Toma la decisión apropiada y si se produce un trancamiento, esta muestra una alarma (visualización de estado), para que el operador de la llenadora elimine el trancamiento y reinicie el proceso. Las alarmas son lumínicas, para una mejor alerta acerca de un posible mal transporte de envases y que el operador incluso pueda percatarse del problema aun si se encuentra lejos atendiendo otros equipos o fallas, aunado a que una señal lumínica no se ve afectada por el ambiente contaminado de ruido producto de todas las máquinas en funcionamiento.

Estas luces se encuentran instaladas en la pared que se encuentra justo sobre el empujador de correas laterales, en una posición clave para que el operador la detecte rápidamente. Por otra parte, el panel del PLC se encuentra ubicado adyacente a un costado de la llenadora, en el interior de un gabinete que contiene el panel de control y que sirve como medio de interacción hombre-máquina, el cual viene albergando en sus interior los dispositivos de conexión, control, protección, fuente de alimentación 24V del sensor y el bombillo de alerta, guarda motores, entre otros. En la figura 76 se visualiza la ubicación del tablero junto a la señal lumínica que sirve de alerta al operador.

El PLC funciona por medio del programa guardado en su memoria y puesto en marcha por su software interno. Debido a esto, su propósito es la de efectuar operaciones de control en una manera más confiable y eficiente. También interpreta la señal digital enviada desde el sensor fotoeléctrico, interpreta esta señal, la procesa y ejecuta, mandando una señal continua o de stop a los motores de las bandas transportadoras y llenadoras permitiendo que la superficie de la banda y los equipos en general no se desgasten ante fases muertas de producción.

Finalmente el PLC, recibe la señal de presencia o ausencia de objetos, recibe también la señal de la posición de los objetos, o sea si un envase no va posicionado

verticalmente (esto debido a que el haz infrarrojo está por encima del punto más alto del envase acostado).

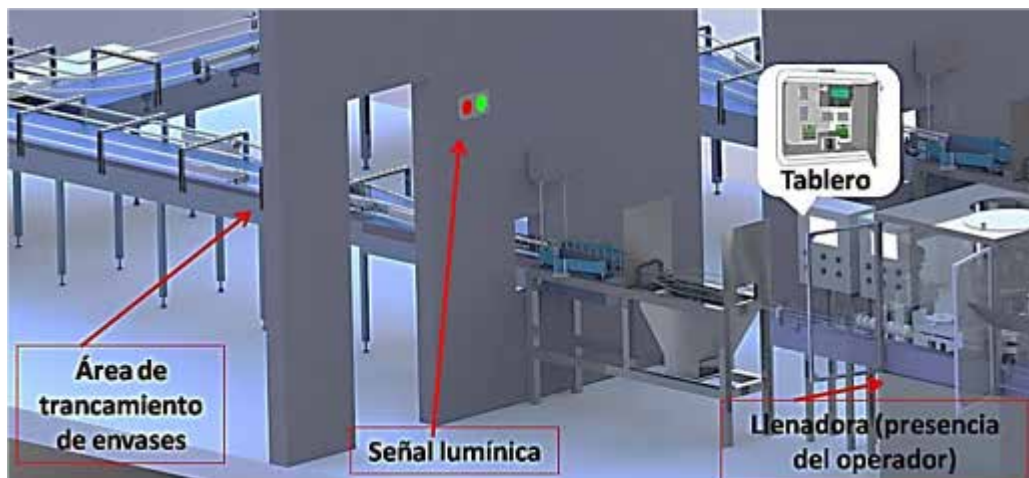


Figura 76: Ubicación del tablero y señal luminica (alarma).

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.4.6 Arquitectura del sistema

En la tabla 7 se muestran los componentes de la arquitectura del sistema, adicionalmente, en la figura 77 se establece un diagrama que representa la parte física (lado izquierdo) los cuales se relacionan con la parte funcional del sistema (lado derecho).

Tabla 5: Arquitectura del sistema.

Arquitectura del producto		
Sistema de detección de bloqueo de envases	Alimentación del sensor fotoeléctrico	24V DC, salida conmutada PNP
	Alimentación eléctrica	Red eléctrica 110-220 Vac – (60Hz)
	Control y visualización	PLC Panel view



Fuente: Velásquez C. (2.020)

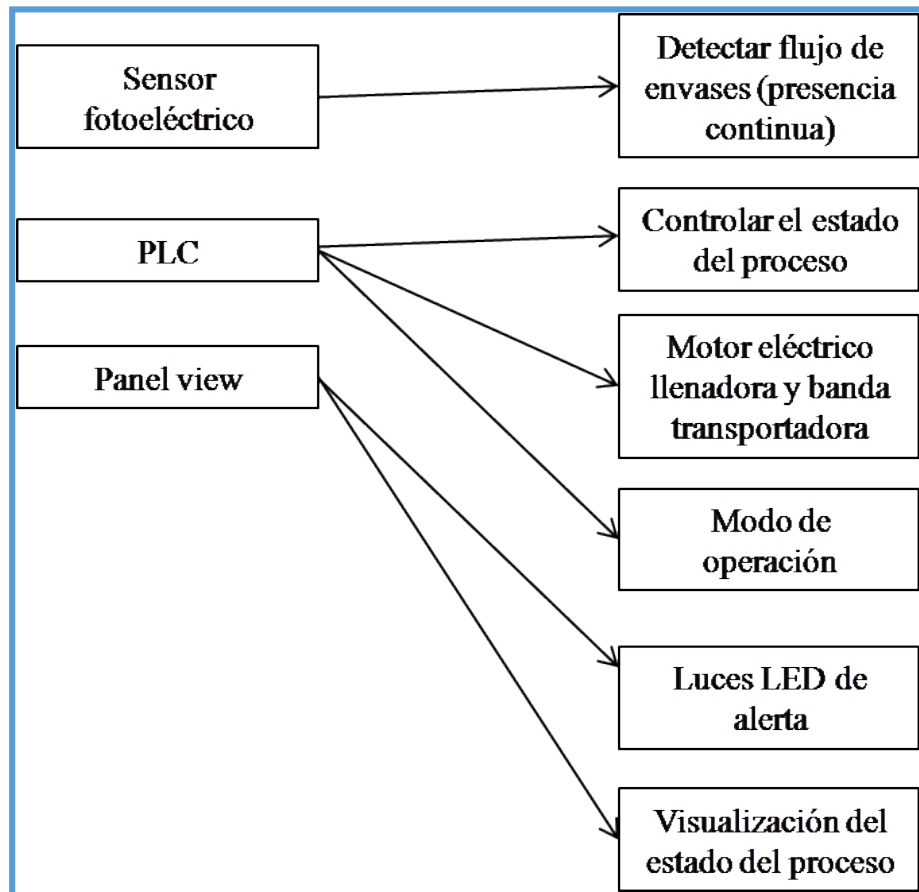


Figura 77: Parte física del sistema relacionada con el aspecto funcional del mismo.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

4.5 Relación Costo-Beneficio (Factibilidad Económica)

Para la factibilidad económica del proyecto planteado, se toma como enfoque principal las paradas producidas en la llenadora producto de los constantes trancamientos de envases en el pulmón de la banda transportadora. Estas paradas tienen altos índices producto de la repetitibilidad del fenómeno y el tiempo que el operador le toma acercarse al sitio, reacomodar el flujo de envases manualmente, cebar la línea

hacia la llenadora y poner en marcha nuevamente el proceso. Las paradas obtenidas corresponden al año fiscal 2018-2019 para ambas líneas y en la figura 78 se visualiza que durante cada mes se obtuvo un equivalente de horas muertas las que conllevaron a una cantidad de producto (mayonesa) dejados de producir, lo que se traduce en una pérdida económica para la empresa.

Por otra parte, la capacidad de cada llenadora es de 150 envases de 500 g por minuto y a la fecha del 20 de Noviembre de 2019 el costo de venta en el mercado de cada unidad es de Bs.23.390, 00 (Alimentos Berrios ALBECA, C.A se reserva el derecho del costo del producto sin las ganancias respectivas).

La cotización de la cinta transportadora, principal componente del diseño, se realizó mediante diferentes catálogos del fabricante donde establece un precio promedio del costo de la cinta para este tipo de modelo y serie. Éste posee un costo de 165,77 \$ por metro de longitud y considerando el total de longitud requerido por todo el sistema en ambos pulmones de la línea de envasado, se obtiene un total 191,29 metros lineales, donde esta distancia corresponde al tramo superior de ida y el tramo inferior de regreso más un 5% de la longitud inferior para considerar la holgura de ese tramo. También se consideran los costos de los componentes mecánicos como rodamientos, soportes, ejes de potencia cuadrados, sprocket, cadenas, anillos de retención, entre otros, en el cual se cotizo el costo de unitario de un rodamiento con soporte en 176 \$, según SKF. Por último, se incluye también los costos del sistema de control de detección que consta del PLC, el sensor, la luz de alerta y el panel de vista.

En la tabla 8 se resumen las horas totales y los kilogramos de mayonesa dejados de producir en ese año fiscal.

Los costos relacionados al proyecto se presentan en la tabla 9.

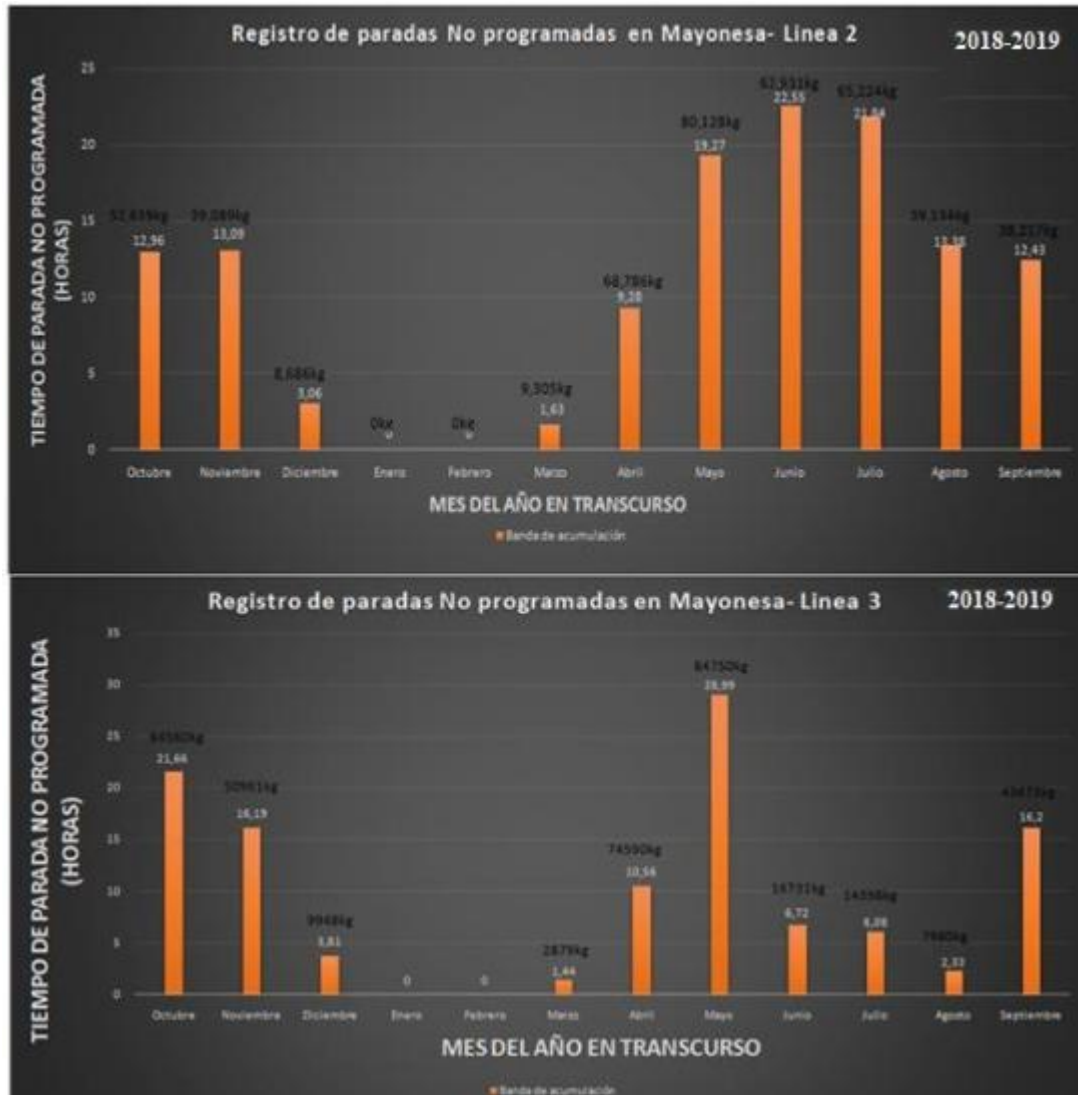


Figura 78: Paradas no programadas en ambas líneas de envasado por envases trancados.

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Tabla 6: Productos dejados de producir en el tiempo de parada en las líneas 2 y 3.

Año fiscal	Línea 2		Línea 3	
	Horas muertas (h)	Producto dejado de producir (kg)	Horas muertas (h)	Producto dejado de producir (kg)
Octubre 2018	12,96	52639	21,66	64560
Noviembre 2018	13,09	39089	16,19	50961
Diciembre 2018	3,06	8,686	3,81	9948
Enero 2019	0	0	0	0
Febrero 2019	0	0	0	0
Marzo 2019	1,63	9305	1,44	2879
Abril 2019	9,28	68786	10,56	74590
Mayo 2019	19,27	80128	28,99	84750
Junio 2019	22,55	62931	6,72	16731
Julio 2019	21,84	65224	6,08	14398
Agosto 2019	13,38	39134	2,33	7980
Septiembre 2019	12,43	38217	16,2	43673
	129,49	464139	113,98	370470
Total			243,47 h	(834609kg)

Fuente: ALBECA, C.A (2.020)

Tabla 7: Costos relacionados con el sistema diseñado.

* Dólar cotizado para el 20/11/2.019 a 30435,05 Bs/\$

Descripción	Costo unitario Bs (\$)*	Cantidad	Sub-total Bs (\$)*
Banda transportadora	5.045.218,23 (165,77)	1 (191,29 m)	965.099.795,2 (31.710,14)
Componentes mecánicos	411.177.525,5 (13510)	1	411.177.525,5 (13510)
Sistema de control	174.697.187 (5740)	1	174.697.187 (5740)
Total			590.919.930,7 (50.960,14)

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Debido a la variabilidad de los costos operacionales inherentes al proceso de instalación, el estudio se realizó en la selección de los componentes que conforman el

diseño. No obstante, estos aspectos deben ser agregados en el presupuesto final para la ejecución del proyecto posterior a la etapa de diseño. Para los efectos actuales, estos pueden estimarse en un 50% de la inversión inicial.

Siendo así, en Gaceta Oficial N° 41.624 del 2 de Mayo de 2019 se publicó la resolución del Banco Central de Venezuela N°19-05-01, la misma habilita a las instituciones bancarias a actuar como operadores cambiarios en el sistema de mercado cambiario a través de mesas de cambio. En su artículo 3, establece que conforme a la información que suministren los operadores cambiarios, publicará el tipo de cambio promedio ponderado de las operaciones transadas. Para el 06 de junio de 2020 el promedio es de 199.030,93 Bs/\$, como se visualiza en la figura 79.



Figura 79: Tasa de cambio del Banco Central de Venezuela para el 06/06/2020.
Fuente: Banco Central de Venezuela

El ahorro anual del proyecto viene mostrado en la tabla 10.

Tabla 8: Ahorro anual según implementación del proyecto.

Descripción	Horas-hombre invertidas al año (h/año)	Costo por hora (Bs/h)	Sub-total (Bs/año) 2019	Sub-total (Bs/año) 2020
Envases de mayonesa dejados de producir en el tiempo muerto	243,47	210.510.000,00	51.252.869.700	51.252.869.700
Total (Bs/año)			51.200.000.000	51.200.000.000
Tasa de cambio oficial (Bs/\$)			30.435,05	199.030,93
Total (\$/año)			1.628.270,93	257.247,53

Fuente: Velásquez C. (2.020)

Para obtener el periodo de tiempo en el cual se recuperará la inversión realizada, se utilizó el criterio de rentabilidad económica denominado tiempo de retorno de la inversión (TIR) [25], para lo cual se establece el cociente entre los costos del proyecto y el ahorro derivado (tabla 11).

$$IR = \frac{\text{Costo Inversión inicial}}{\text{Ahorro derivativo obtenido del nuevo sistema}} [\text{año}]$$

Por consiguiente el valor obtenido de la ecuación anterior corresponde al tiempo en años en el cual se obtendrá el retorno del 100% de la inversión realizada, por ende, multiplicando por un factor de 12 se obtiene el tiempo en meses, para una comprensión más clara del tiempo en el cual se recuperara el capital invertido.

Tabla 9: Resumen de las variables relacionadas con la recuperación de la inversión.

Costo total del proyecto (\$)	50.960,14	
Ahorro anual derivado de la implementación del diseño (\$)	1.628.270,93	257.247,53
	Año 2.019	Año 2.020
Tiempo de retorno de la inversión (año)	0,03	0,198

Fuente: Velásquez C. (2.020)

El resultado económico del tiempo de retorno de la inversión indica que en un periodo de 2,37 meses los beneficios obtenidos de la implementación del proyecto costean la inversión realizada, es decir, es un proyecto bastante factible. Si el proyecto se hubiese realizado el 2.019 el retorno hubiese en un mes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- El proceso de transporte de envases sobre todo su recorrido a través del pulmón de banda transportadora hacia la llenadora está formado de un extenso desconocimiento de sus parámetros y variables de funcionamiento para un óptimo transporte de los mismos que no produzca estancamientos o cuellos de botellas por envases atascados. Para lo cual se realizó un estudio causa-efecto a través del cual se dejó en evidencia los principales factores que están produciendo el atascamiento de envases y por consiguiente la detención de la llenadora. Estos factores están asociados al uso de una cinta transportadora no apropiada para el tipo y condición de carga, aunado a que la misma no se compone de un material lo suficientemente resistente para tolerar la fricción y desgaste, producto del constante deslizamiento envase-banda. Al mismo tiempo, la velocidad de las bandas transportadoras no siguen en algunas partes un patrón decreciente que permita orientar suavemente los envases hacia el encause para alinearse en fila; en adición a que estas velocidades son más altas de lo que deberían, causando así, más inestabilidad en el transporte y un deterioro de su superficie más apresurado. Adicionalmente, el encause de los rieles guías no presentan una convergencia uniforme que permita moldear los envases desde un estado grupal hacia un estado lineal, es decir, uno tras otro, lo que conlleva a un atascamiento o trancamiento de estos al intentar encausarse hacia el empujador de correas laterales.

- El análisis de tiempo de paradas no programadas arrojó que el fenómeno de atascamiento de envases produjo alrededor de 244 horas de detención de línea anual, lo que indica un elevado índice de tiempos muertos en el cual la línea de envasado no genera producción alguna. En consecuencia estas paradas conllevaron a que unos 834.000 kg de mayonesa en ese periodo se dejaran de envasar, es decir, más de 1.668.000 envases se dejaron de llenar, lo que se traduce en pérdidas considerables para la empresa.
- La ejecución del proyecto permitirá establecer una metodología de diseño que conlleva a plantear alternativas de solución al problema en cuestión y establecer los criterios, los cuales se evaluaron a fin de determinar la mejor solución de diseño, la cual fue descrita posteriormente.
- Las bandas transportadoras modulares son el modelo más eficiente utilizado y práctico para almacenar y transportar envases desde un equipo hacia el otro, debido a que su principio de funcionamiento le brinda estabilidad al producto transportado, el cual, en este caso es muy propenso a volcarse y causar inconvenientes de atascamiento Además garantiza que el producto de transporte no se vea deteriorado ya que estos no sufren bruscos cambios de velocidad, impacto o compresión. En adición, este sistema es el de menor costo de diseño, fabricación y manutención respecto a otras alternativas de solución, lo que lo convierte en un sistema confiable de utilizar.
- Este tipo de transporte ofrece ventajas con respecto a otros métodos o sistemas de transporte de productos, como lo son: menor número de operarios, mantenimiento programable con largos intervalos, costos de funcionamiento reducidos, independencia con otros sistemas, entre otros.
- Las variables que influyen en el diseño de una banda transportadora consisten en la capacidad de transporte requerida y las características físico/químicas del material, donde este último definirá la velocidad de la cinta transportadora en función al tipo de material, tamaño, peso y abrasividad. Así mismo, la selección

de un tipo en específico de banda transportadora depende del material transportado (PET y vidrio), las cargas a la cual estará expuesta según el número de unidades que se acumulen en un instante dado, la fricción envase-banda creada, entre otros. Intralox ofrece una amplia variedad de bandas, que varían en modelo, tipo de superficie y material que se ajusta a las distintas condiciones de operación existente en una empresa.

- Las ventajas de utilizar el sistema Intralox en las condiciones idóneas para el transporte de envases PET y vidrio implica que se obtiene una vida útil alargada de la banda que permite disminuir los costos de recambio de insertos, además que se pueden sustituir segmentos de bandas desgastada sin desmontarla en su totalidad, puesto que éstas se componen de módulos (insertos conectados entre sí). La banda, al estar accionada directamente por los engranajes (sprockets) permite mantener su alineación y en caso de un fallo de ésta, no existen riesgos contaminantes generados por el daño que pueda comprometer la inocuidad de todo el proceso.
- El sistema de detección de bloqueo se estableció como una forma de detectar y corregir rápidamente aquellos atascamientos fortuitos que eventualmente aparezcan durante el proceso, considerando que éste es un fenómeno que se manifiesta cada tanto, debido a que la operación involucra el manejo de cientos de unidades en un espacio reducido, haciendo que estadísticamente este efecto pueda manifestarse. Siendo así, las principales características de los dispositivos seleccionados la alta resistencia a temperatura, vibración y contaminación por polvo, lo que lo convierte en un sistema robusto y confiable.
- El sensor fotoeléctrico se seleccionó como elemento captor, por la exactitud requerida y la necesidad de detección sin contacto físico con los envases. A su vez, el alto volumen de envases fluyendo en el campo de detección de envases requiere de un procesamiento constante de datos, razón por la cual se seleccionó un PLC como elemento de control.

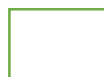
- El sistema se diseñó en base a las condiciones críticas de operación con el objetivo de asegurar un proceso continuo que reduzca la probabilidad de acumulación de envases en la línea de producción, los cuales generan retrasos y en consecuencia incrementan los costos de producción.
- Con el retorno de la inversión obtenida, el sistema presentado es factible, teniendo en consideración una recuperación de la inversión total en un periodo aproximado de 2 meses y 12 días.

5.2 Recomendaciones.

- Algunas recomendaciones complementarias a este trabajo se pueden resumir en lo siguiente.
- Adoptar un variador de frecuencia en los motores eléctricos, de manera de poder modificar la velocidad de las bandas transportadoras en caso de que en un futuro se utilicen velocidades variables en la llenadora.
- Generar planes de mantenimiento preventivo que realicen periódicamente una limpieza sobre los componentes principales de la banda transportadora, a fin de eliminar todas las partículas y suciedad que se acumula durante las fases de operación y que pueden contribuir a un desgaste prematuro de éstas.
- Divulgar los conocimientos que deben considerarse en el transporte de envases bajo condiciones de acumulación sobre una banda transportadora a fin de preparar a los operadores para que sepan actuar de manera rápida y apropiada ante problemas relacionados con este fenómeno.
- Se recomienda instalar dispositivos generadores de pulsaciones vibratorias sobre los rieles guías, que transmitan las vibraciones a los envases en movimiento y contribuya a romper tempranos atascamientos o trancamientos que se intenten producir entre los envases, específicamente durante la etapa de encausamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, P. (2.018) “www.aie.com. <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sistemas-de-control-automatico.pdf>” [Último acceso: 21 diciembre de 2019].
- Arias, F. (2016). “**El proyecto de investigación. Introducción a la Metodología Científica**”. Caracas: Episteme.
- Alvarado, P. (2012) “https://es.wikipedia.org/wiki/Cinta_transportadora” [Último acceso: 15 diciembre de 2019].
- Barona, C. (2.014) “**Mejoramiento de la producción de una Planta Embotelladora de Cerveza Súper Línea de Cervecería**”, Trabajo especial de grado, departamento académico de graduación, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Bostwick y Kyte (2.006). “**Metodología de la Investigación**”. McGraw-Hill.
- Díaz, G. (2.017). “www.wikipedia.com, **Disponible:** https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_1%C3%B3gico_programable” [Último acceso: 22 marzo de 2020].
- Fernández, C.; Lucio, P.B. y Sampieri, R.H. (2.006). “**Metodología de la Investigación**”, McGraw Hill.
- Grimes, E. (2.006). “**Design of a Bottling Line Mechanism**”, Trabajo especial de grado, departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Estados Unidos.
- Gutiérrez, S. (2.017). “www.permigsa.com. **Disponible:** <https://pemigsa.com.mx/tipos-bandas-transportadoras>”, [Último acceso: 15 abril de 2020].
- Intralox S.A, (2.014). “**Manual de Ingeniería de las Bandas Transportadoras Intralox**”, Primera edición, Plantation Road New Orleans, Estados Unidos.
- Lugo R. J. (2.017). “**Semiautomatizado de la línea de producción número 5 para el empacado en cajas de cartón para envases de galón de producto terminado de la empresa Alimentos Berrios ALBECA, C.A.**” Trabajo especial de grado,



de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad José Antonio Páez, San Diego, Carabobo, Venezuela.

Mecafenix, F. (2.018). “www.ingmecanfenix.com [En línea]. Disponible: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-optico/> [Último acceso: 21 abril de 2020].

McGuire, P. (2.010). “**Conveyors, Applications, Selection and Integration**”, Primera Edición, Boca Raton, Florida, Estados Unidos CRC Press.

Mott, R. (2.006). “**Diseño de elementos de Máquina**”, Cuarta edición, Ciudad de México, México, Pearson Education.

Muñoz y Lagos, (2.013). “**Diseño Cinta Transportadora Intralox para Pesquera Bahía Caldera S.A.**”, Trabajo especial de grado, departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bio-Bio, Concepción, Chile.

Oswaldo C. y Ciro H. (2.015). “**Diseño de un Dispositivo para el Transporte y Almacenamiento de Envases de Plástico en la Línea de Producción de una Empresa**”, Trabajo especial de grado, departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Pizzella, Giovanni (2.006), “**Apuntes de Elementos de Máquinas**”. Universidad José Antonio Páez. Disponible en: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0B2NkT3VSzNzYk1fbXFCbFE>. AsUV-

Pytel A,-Singer F. (2.008), “**Resistencia de Materiales**”. Alfa Omega grupo Editor Octava Reimpresión de la 4ta. Edición. Oxford University Press, New York.

Rodríguez, H. (2016) “www.ingemecanica.com, [En línea]. Disponible: <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn84.html>” [Último acceso: 14 diciembre de 2019].

Standars and Publications, (2.014). “www.astm.org. [En línea]. Disponible: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D1505-03-SP.htm>” [Último acceso: 14 de Marzo de 2020].

Velázquez, A. (2.017) “www.progressalean.com. [En línea]. Disponible: <https://www.progressalean.com/diagrama-causa-efecto-diagrama-ishikawa>.” [Último acceso: 21 de Abril de 2020].

Vilchez, Nelson (2.002). **“Estrategias Creativas en el Diseño Mecánico”**, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela,

Walker, T. (2.015). **“Cintas transportadoras con estructura de tejido Guía de Ingeniería”**, Primera edición, Reinach, Suiza.

Anexo A

Tablas y gráficos empleados, para los cálculos de los diversos elementos que conforman el dispositivo.

Anexo A.1 Densidad de los materiales estándar utilizados por Intralox

MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA	DENSIDAD
polipropileno	0,90	900 kg/m ³
Polietileno	0,95	950 kg/m ³
Acetal	1,40	1400 kg/m ³

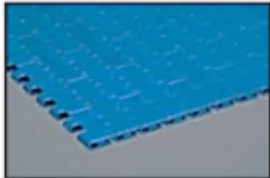
Fuente: Intralox S.A, (2.014).

Anexo A.2 Banda transportadora modular seleccionada

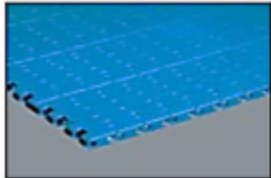
Bandas Transportadoras Modulares de Plástico

Serie 1400

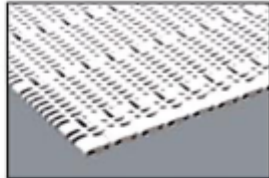
Flat Top
El diseño resistente ofrece una excelente durabilidad de la banda, especialmente en las difíciles aplicaciones de vidrio. La superficie plana y uniforme proporciona un excelente movimiento lateral de los envases y es ideal para su manejo. El sistema de retención de varillas SLIDELOX™ permite volver a utilizarlas.



Mold To Width Flat Top
Disponible con anchos industriales estándar de 82,5 mm (3,25"), 114,3 mm (4,5"), 152 mm (6") y 190,5 mm (7,5"). Para el mercado internacional está disponible también en 85 mm de ancho. Las lengüetas de alineación opcionales se ajustan a la guía de desgaste de la cadena estándar de una sola barra. Llame a Intralox para consultar la resistencia específica de la banda.



Flush Grid
El espesor de 12,8 mm (0,5") de la banda es ideal para aplicaciones largas y anchas que transportan cargas pesadas. El paso de 25,4 mm (1,0") facilita las transferencias estrechas. El sistema de retención de varillas sin cabeza SLIDELOX™ permite volver a utilizar las varillas.



MATERIALES*	PP	PE	A																	
COLORES**	○	●	●																	
*Consulte la Guía para las Combinaciones de Colores y Materiales en la página 7.																				
RESISTENCIA kg/m (lb/pie)	3720 (2500)	1488 (1000)	3720 (2500)															2678 (1800)	3720 (2500)	
ÁREA ABIERTA	0%			0%							21%									
PASO NOMINAL, mm (pulg.)	25,4 mm (1,0)			25,4 mm (1,0)							25,4 mm (1,0)									
SISTEMA MOTOR	Acción por Articulación			Acción por Articulación							Acción Central /Por articulación									

Fuente: Intralox S.A, (2.014).

141

Anexo A.3 Factores de fricción F_w y F_p
Fuente: Intralox S.A, (2.014).

FACTORES DE FRICCIÓN

Factores de fricción ^a	F_w Fricción entre la guía de desgaste y la banda Material de la guía de desgaste				F_p Fricción entre el producto y la banda Material del producto (en condiciones de acumulación) ^b				
	UHMW HÚMEDO (SECO)	HDPE HÚMEDO (SECO)	NILÓN HÚMEDO (SECO)	ACERO(C/S YSS) HÚMEDO (SECO)	VIDRIO HÚMEDO (SECO)	ACERO HÚMEDO (SECO)	PLÁSTICO HÚMEDO (SECO)	CARIÓN HÚMEDO (SECO)	ALUMINO HÚMEDO (SECO)
Polipropileno (S)	0,11 (0,13)	0,09 (0,11)	0,24 (0,25)	0,26 (0,26)	0,18 (0,19)	0,26 (0,32)	0,11 (0,17)	— (0,21)	0,40 (0,40)
Polipropileno (A)	NR	NR	0,29 (0,30)	0,31 (0,31)	0,18 (0,19)	0,26 (0,32)	0,11 (0,17)	— (0,21)	0,40 (0,40)
PP compuesto (S)	0,30 (0,35)	—	—	0,31 (0,37)	0,24 (0,23)	0,38 (0,32)	0,17 (0,21)	—	0,55 (0,45)
Poliétileno ^c (S)	0,24 (0,32)	NR	0,14 (0,13)	0,14 (0,15)	0,08 (0,09)	0,10 (0,13)	0,08 (0,08)	— (0,15)	0,20 (0,24)
PP detectable	0,24 (0,27)	NR	0,26 (0,29)	0,26 (0,30)	0,18 (0,20)	0,26 (0,30)	0,26 (0,29)	— (0,37)	0,40 (0,40)
Niñon detectable	(S) — (0,19)	— (0,11)	— (0,24)	— (0,31)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
Máx. Temp	(A) — (0,32)	— (0,22)	— (0,36)	— (0,30)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
Acetal (S)	0,19 (0,19)	0,09 (0,08)	0,13 (0,15)	0,18 (0,19)	0,13 (0,14)	0,13 (0,13)	0,13 (0,16)	— (0,16)	0,33 (0,27)
Acetal EC (S)	0,10 (0,10)	0,09 (0,08)	0,13 (0,15)	0,18 (0,19)	0,13 (0,14)	0,19 (0,20)	0,13 (0,16)	— (0,18)	0,33 (0,27)
FR-TPES (S)	— (0,13)	—	—	—	—	— (0,16)	—	—	— (0,30)
Niñon HR	(S) — (0,16)	— (0,13)	— (0,17)	— (0,27)	— (0,16)	— (0,27)	— (0,16)	— (0,19)	— (0,26)
72 °F (22 °C)	(A) — (0,30)	— (0,25)	— (0,26)	— (0,26)	— (0,16)	— (0,27)	— (0,16)	— (0,19)	— (0,26)
Niñon HR	(S) NR	NR	— (0,18)	— (0,27)	— (0,19)	— (0,27)	— (0,47)	— (0,23)	— (0,25)
Máx. Temp	(A) NR	NR	— (0,32)	— (0,39)	— (0,19)	— (0,27)	— (0,47)	— (0,23)	— (0,25)
Niñon AR	(S) — (0,19)	— (0,11)	— (0,24)	— (0,31)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
Máx. Temp	(A) — (0,32)	— (0,22)	— (0,36)	— (0,30)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
PP resistente a rayos UV	0,11 (0,13)	0,09 (0,11)	0,24 (0,25)	0,26 (0,26)	0,18 (0,19)	0,26 (0,32)	0,11 (0,17)	— (0,21)	0,40 (0,40)
PVDF	-	-	-	0,20 (0,20)	-	0,20 (0,20)	-	-	0,15 (0,15)
Alto impacto	0,23 (0,21)	-	-	0,31 (0,33)	-	— (0,84)	-	-	-

(S) = en superficies lisas y limpias. (A) = condiciones abrasivas y sucias. NR = no se recomienda.

- a. Los valores de los factores de fricción dependen en gran medida de las condiciones ambientales. Un valor bajo en el intervalo de factores de fricción es un factor de fricción derivado experimentalmente para nuevas bandas en guías de desgaste nuevas. Solo se debe utilizar este valor en los entornos más limpios o en lugares donde haya agua u otro agente lubricante. La mayoría de las aplicaciones deben ajustarse basándose en las condiciones ambientales del transportador.
- b. Los factores de fricción para la fricción entre el producto y la banda solo son válidos para las bandas Flat Top, Perforated Flat Top, Mesh Top, Flush Grid y Raised Rib.
- c. No se recomienda el uso de polietileno para el manejo de envases.

Anexo A.4 Peso de la banda Flat Top (Intralox) en kg/m²
Fuente: Intralox S.A, (2.014).


Estilo de banda	% de área abierta	Acreditación: F= Explotación de S= Confección (Intralox) FTP= Línea de transferencia	Material de la banda	Material de las varillas	Resistencia de la banda		Rango de temperatura (continuo)		Peso de la banda		Homologación							
					lb/piez	kg/m	*F	°C	lb/piez	kg/m ²	FDA/EE.UU. ^a	USDA/FSIS (carne y aves) ^b	Lácteos USDA ^c	Agencia de Inspección de Alimentos del Canadá (CFIA)	Servicio australiano de inspecciones por carnes (A)	Ministerio de Agricultura y Silvicultura de Nueva Zelanda (Z)	Certificación de engrapado europeo según la directiva de la EU 2002/72/EC y sus enmiendas hasta la fecha (EU) (C) ^d	Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón (J)
NON SKID RAISED RIB	0	FTP	Polipropileno compuesto	Polipropileno compuesto	4000	5960	-20 a 220	-29 a 104	3,58	17,48	*							
			Acetal resistente a rayos UV	Acetal	2500	3713	-50 a 150	-46 a 66	4,51	22,02								
SERIE 1400: Peso nominal de 1,00 pulg. (25,4 mm)																		
FLAT TOP	0	-	Acetal	Nilon	1600	3700	-50 a 200	-46 a 93	2,76	15,25	*						*	3
			Polipropileno	Nilon	1800	2678	34 a 220	1 a 104	1,85	9,03	*							*
			FR-TPE3	Polipropileno	1200	1786	40 a 150	4 a 66	2,76	13,47	*							
FLAT TOP EASY RELEASE PLUS	0	-	Easy Release PLUS	Polipropileno naranja (no FDA)	1600	2680	34 a 220	1 a 104	2,00	9,78								
MOLD TO WIDTH FLAT TOP - 3,25 pulg. (83 mm) DE ANCHO	0	-	Acetal	Nilon	700	318	-50 a 200	-46 a 93	0,80	1,19	*						*	3
MOLD TO WIDTH FLAT TOP: (85 mm) DE ANCHO	0	-	Acetal	Nilon	700	318	-50 a 200	-46 a 93	0,80	1,19	*						*	3
MOLD TO WIDTH FLAT TOP - 4,5 pulg. (114 mm) DE ANCHO	0	-	Acetal	Nilon	850	386	-50 a 200	-46 a 93	1,13	1,68	*						*	3
MOLD TO WIDTH FLAT TOP - 6,0 pulg. (152 mm) DE ANCHO	0	-	Acetal	Nilon	1200	544	-50 a 200	-46 a 93	1,40	2,08	*						*	3
			Polipropileno	Nilon	850	396	34 a 220	1 a 104	0,95	1,14	*						*	3
MOLD TO WIDTH FLAT TOP CON LENGÜETAS DE EVACUACIÓN AUTOMÁTICA - Paso de 6,0 pulg. (152 mm) DE ANCHO	0	-	Acetal	Nilon	1.000	454	-50 a 200	-46 a 93	1,08	1,61	*						*	3
MOLD TO WIDTH FLAT TOP - 7,5 pulg. (191 mm) DE ANCHO	0	-	Acetal	Nilon	1550	703	-50 a 200	-46 a 93	1,75	2,60	*						*	3

Anexo A.5 Factor de servicio para ajuste de la tracción calculada (BP)
 Fuente: Intralox S.A, (2.014).

FACTOR DE SERVICIO (SF)		
Arranques sin carga, con carga aplicada gradualmente.	AGREGAR	1,0
Arranques frecuentes bajo carga (más de una vez por hora)	AGREGAR	0,2
A velocidades mayores de 100 FPM (pies por minuto) (30 metros/min)	AGREGAR	0,2
Transportadores ascendentes	AGREGAR	0,4
Transportadores por empuje	AGREGAR	0,2
<p>Nota: Para velocidades superiores a los 50 pies/min (15 m/min) en transportadores que arrancan con acumulación de producto, se recomienda usar motores de arranque suave.</p>		


Anexo A.6 Resistencia nominal de la banda (BS)
Fuente: Intralox S.A, (2.014).

Flat Top		
	pulg.	mm
Paso	1,00	25,4
Ancho mínimo	5	127
Incrementos del ancho	1,00	25,4
Dimensión de abertura (aproximado)	-	-
Área abierta	0%	
Tipo de articulación	Cerrada	
Método de accionamiento	Accionamiento central/por articulación	




Notas sobre el producto

- Póngase siempre en contacto con el departamento de Servicio al Cliente si desea realizar una medida precisa de la banda y comprobar el estado de los excéntricos antes de diseñar un transportador u ordenar una banda.
- Superficie lisa y cerrada con bordes totalmente al ras.
- El diseño resistente ofrece excelente durabilidad de bandas y engranajes, especialmente en aplicaciones arduas con productos de vidrio.
- Superficie superior plana y lisa que proporciona un excelente movimiento lateral de los envases. Ideal para la manipulación de envases.
- La mayoría de los engranajes de la Serie 1400 utilizan el diseño bipartido, de forma que no es necesario quitar los ejes al realizar conversiones de sistema o cambios. Los engranajes de la Serie 1400 son todos de plástico.
- Los engranajes bipartidos de la Serie 1400 están diseñados con dientes que disminuyen su desgaste y aumentan su vida útil.
- Utiliza el sistema de retención de varillas SLIDELOX®.
- SLIDELOX® está disponible en polipropileno o acetil.



Inserción: SLIDELOX® Edge

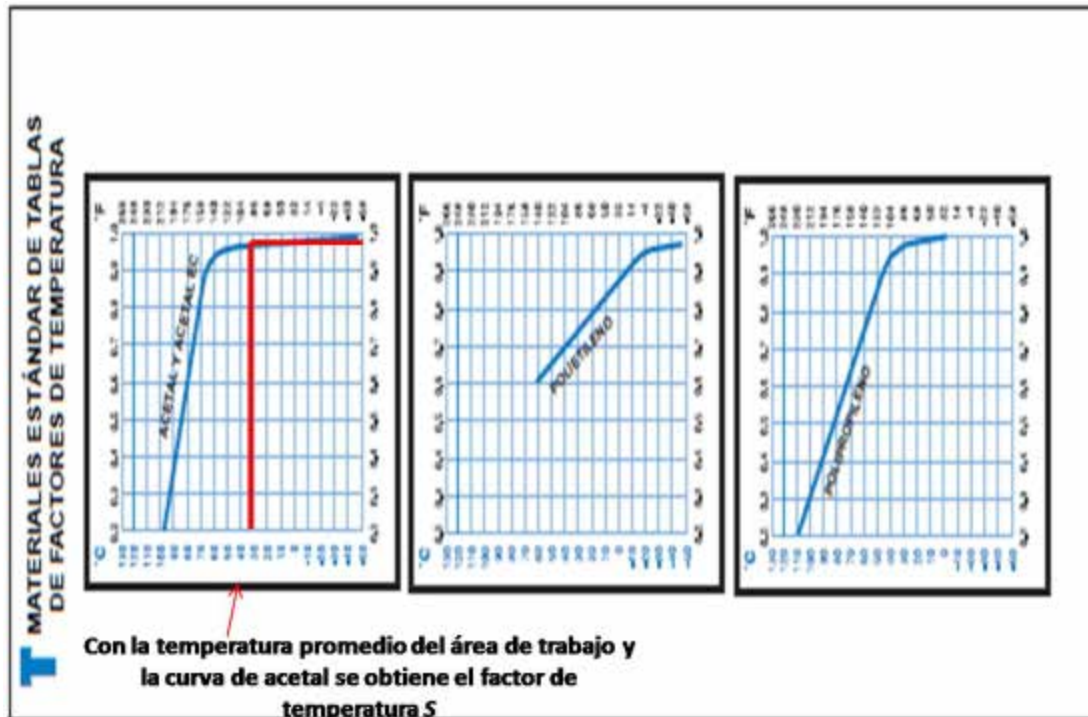


Información adicional

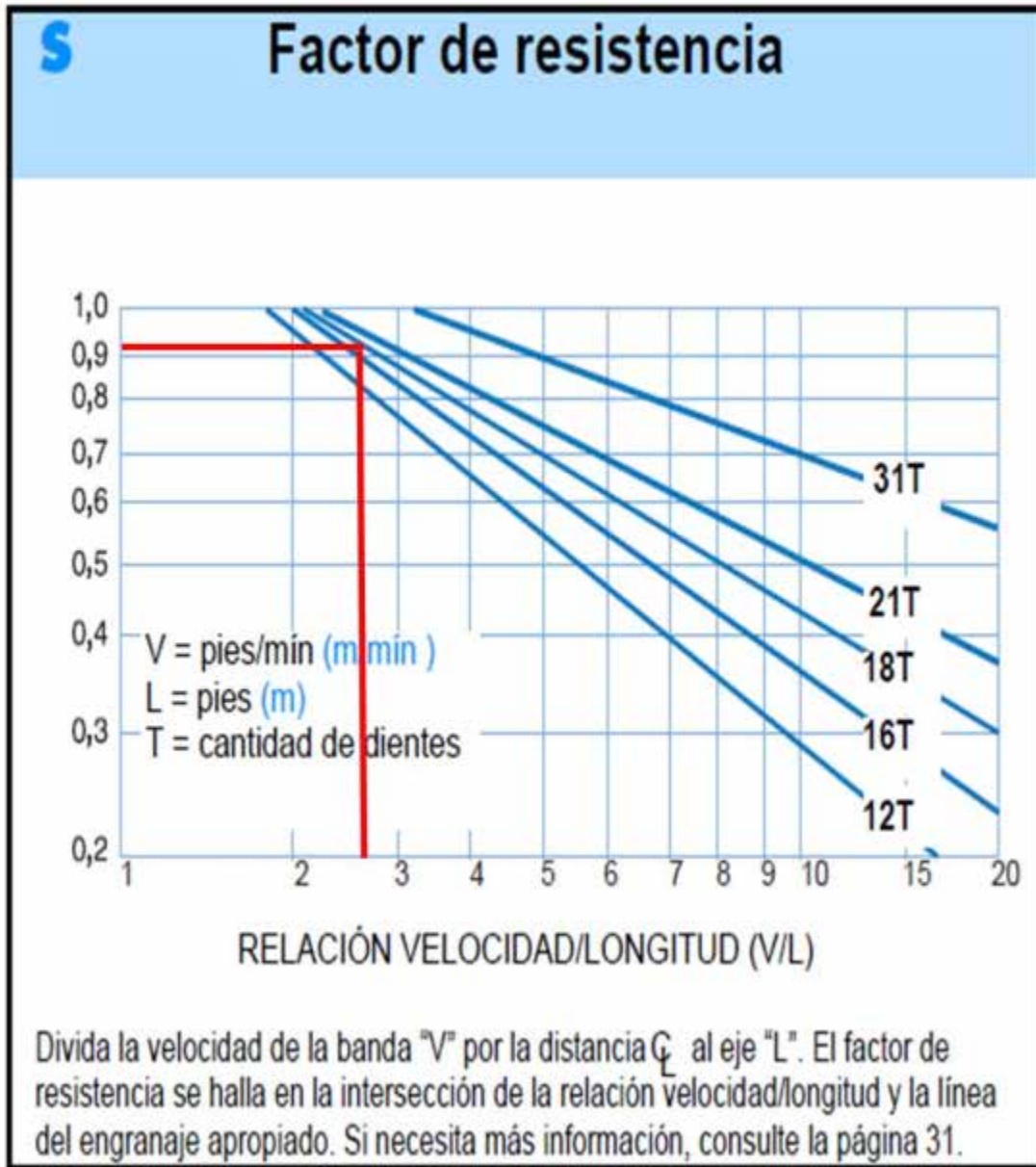
- Consulte "Proceso de selección de bandas" (página 5)
- Consulte "Materiales estándar para las bandas" (página 20)
- Consulte "Materiales para aplicaciones especiales" (página 20)
- Consulte "Factores de fricción" (página 33)

Datos sobre la banda													
Material de la banda	Material de las varillas estándar Ø 0,24 pulg. (6,1 mm)	CF	Resistencia de la banda	Rango de temperatura (continuo)		Peso de la banda		Homologación:					
				°F	°C	lb/pla²	kg/m²	FDA (EE.UU.)	USDA (Meatbox)	CFA²	A²	J²	EU MC²
Acetil	Nilon	250	3725	-50 a 200	-65 a 93	2,75	13,43	-	-	-	-	3	-
Polipropileno	Nilon	1500	2970	34 a 220	1 a 104	1,88	9,03	-	-	-	-	3	-
Nilon termorresistente en aprobación de la FDA	Nilon	2000	2970	-50 a 310	-65 a 154	2,23	10,89	-	-	-	-	3	-
Acetil EC	Nilon	1600	2300	-50 a 200	-65 a 93	2,89	13,13	-	-	-	-	3	-

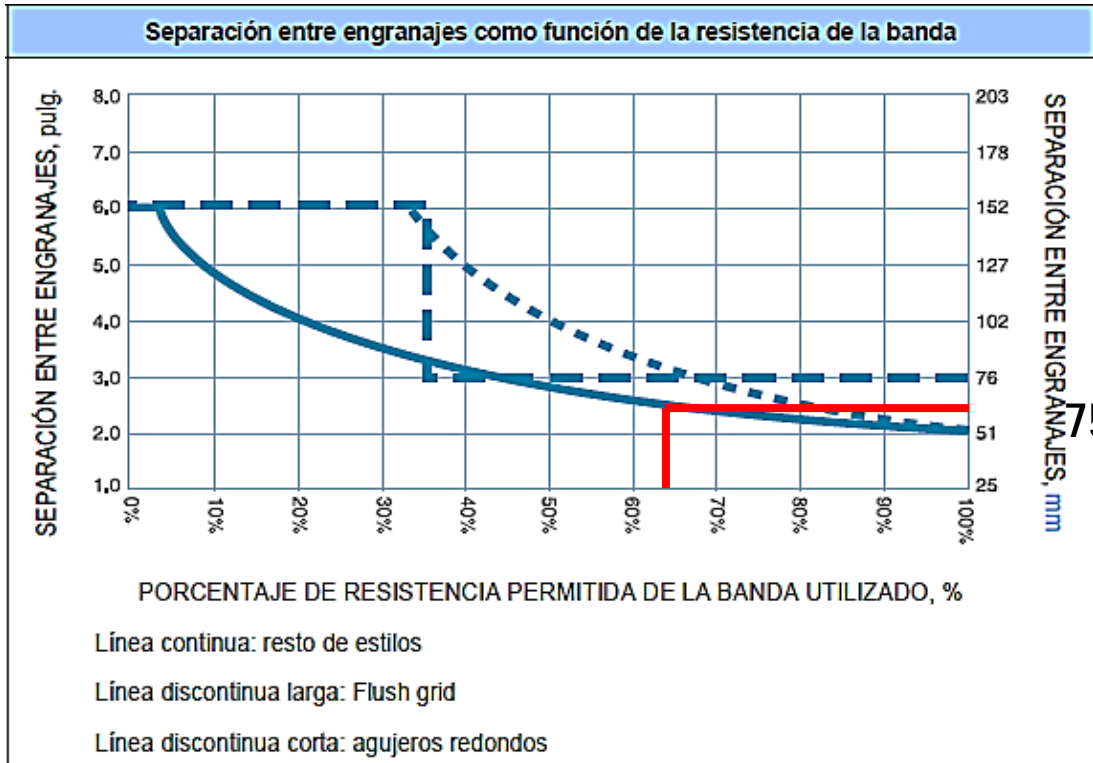
Anexo A.7 Determinación del factor de temperatura S para calcular ABS
Fuente: Intralox S.A, (2.014).



Anexo A.8 Determinación del factor de resistencia T para calcular ABS
Fuente: Intralox S.A, (2.014).



Anexo A.9 Separación entre engranajes como función de la resistencia de la banda
 Fuente: Intralox S.A, (2.014).

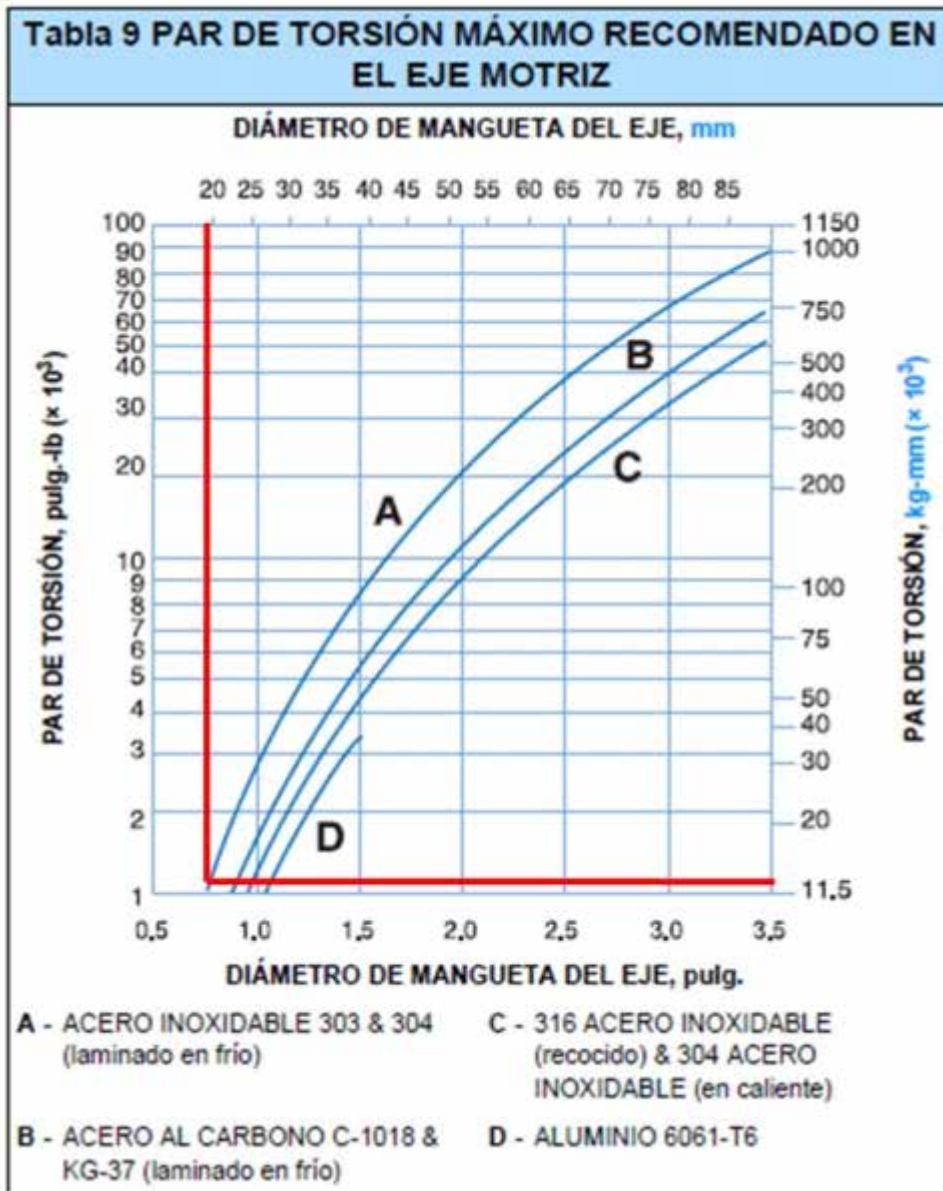


Anexo A.10 Datos del eje
Fuente: Intralox S.A, (2.014).

Tabla 8 DATOS DEL EJE				
EJE B DATOS	(Q) PESO DEL EJE, lb/pie (kg/m)			I MOMENTO DE INERCI pulg. ⁴ (mm ⁴)
	ALUMINIO	ACERO AL CARBONO	ACERO INOXIDABLE	
TAMAÑO				
5/8 PULG. CUADRADAS	0,46	1,33 ^a	1,33 ^a	0,013
1 PULG. CUADRADA	1,17 ^a	3,40 ^a	3,40 ^a	0,083
1,5 PULG. CUADRADAS	2,64 ^a	7,65 ^a	7,65 ^a	0,42
2,5 PULG. CUADRADAS	7,34	21,25 ^a	21,25 ^a	3,25
3,5 PULG. CUADRADAS	14,39	41,60 ^a	41,60	12,50
25 mm CUADRADOS	1,699	4,920 ^b	4,920 ^b	(32,550)
40 mm CUADRADOS	(4,335)	(12,55) ^b	(12,55) ^b	(213.300)
60 mm CUADRADOS	(10,05)	(29,11) ^b	(29,11) ^b	(1.080.000)
65 mm CUADRADOS	11,79	(34,16) ^b	(34,16) ^b	1.487.600
E MÓDULO DE ELASTICIDAD libras/pulg. ² (kg/mm ²)	10.000.000 (7.000)	30.000.000 (21.100)	28.000.000 (19.700)	

- Intralox USA puede suministrar ejes cuadrados mecanizados según las especificaciones en los tamaños siguientes y materiales como acero al carbono (C-1018), acero inoxidable (303 y 316) y aluminio (6061-T6).
- Intralox Europe ofrece ejes cuadrados en los siguientes tamaños y fabricados en acero al carbono (KG-37) y acero inoxidable (304).

Anexo A.11 Par de torsión recomendado en el eje motriz
 Fuente: Intralox S.A, (2.014).



Anexo A.12 Diámetro de paso del engranaje dado un número de dientes
Fuente: Intralox S.A, (2.014).

Todos los engranajes intralox se pueden clasificar como artículos en stock o fabricados por encargo especial. Algunos artículos fabricados por encargo pueden conllevar cargos adicionales. Para obtener información sobre precios, disponibilidad y tiempos de entrega, póngase en contacto con el Servicio de Atención al cliente.		MATERIALES DE OBJETIVOS GENERALES		MATERIALES PARA APLICACIONES ESPECIALES								
		Acetal	Polipropileno	Bipartido acero inoxidable	Acero inoxidable resistente	Níquel resistente a la abrasión	Poliuretano	Níquel reforzado con fibra de vidrio	Poliétileno	Poliuretano compuesto	Poliuretano ultrasensible a la abrasión	Polipropileno compuesto
DIÁMETRO DE PASO pulg. (mm)	N.º de dientes											
6,5 (165)	10	*	*	*		*						
7,7 (196)	12	*	*	*		*						
10,3 (262)	16	*	*	*		*						
SERIE 900												
2,1 (53)	6	*	*									
3,1 (79)	9	*	*									
3,5 (89)	10	*	*	*								
4,1 (104)	12	*	*	*	*		*					
5,1 (130)	15	*	*	*	*		*					
5,8 (147)	17	*	*	*	*		*					
6,1 (155)	18	*	*	*	*		*					
6,8 (173)	20	*	*	*	*		*					
9,6 (244)	28	*	*	*	*		*					
SERIE 1000												
3,1 (79)	16	*										
4,6 (117)	24	*					*					
6,1 (155)	32	*					*					
SERIE 1100												
1,6 (41)	8				*							
2,3 (58)	12	*			*							
3,1 (79)	16	*	*									
3,5 (89)	18	*	*	*								
3,8 (97)	20	*	*									
4,6 (117)	24	*	*	*			*					
5,1 (130)	26	*	*	*								
6,1 (155)	32	*	*	*			*					
SERIE 1200												
5,6 (142)	12			*								
6,5 (165)	14			*					*			
7,4 (188)	16								*			
7,9 (201)	17								*			
10,2 (258)	22			*					*			
SERIE 1400												
3,9 (99)	12	*				*						
5,1 (130)	16	*				*		*				
5,7 (145)	18	*				*		*			*	
6,7 (170)	21	*				*		*			*	
7,7 (196)	24	*				*		*			*	
9,9 (251)	31	*				*		*		*	*	

P.D: Diámetro de paso del engranaje @ 18 dientes = 145mm

Anexo A.13 Selección de anillo de retención (Segers) según catalogo Intralox

Fuente: Intralox S.A, (2.014).

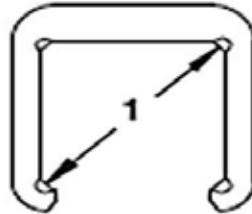


Fig. 2-15 Anillos de retención

1. Diámetro de la ranura del anillo para anillos de retención polisulfona

- Los ANILLOS DE RETENCIÓN DE ACERO INOXIDABLE están disponibles para ajustarse a ejes cuadrados de 5/8 pulg., 1,0 pulg., 1,5 pulg., 2,5 pulg., 3,5 pulg., 25,4 mm, 40 mm, 60 mm, 65 mm y 90 mm.
- Están disponibles los siguientes anillos 3AMI tipo ANSI, conforme a MIL SPEC R-2124B.

Tamaños del eje	Ancho de la ranura	Diámetro de la ranura
INTRALOX USA		
5/8 pulg.	0,046 pulg.	0,822 pulg.
Placa inactiva de 1 pulg.	0,056 pulg.	1,219 pulg.
1,5 pulg.	0,086 pulg.	1,913 pulg.
2,5 pulg.	0,120 pulg.	3,287 pulg.
3,5 pulg.	0,120 pulg.	4,702 pulg.
INTRALOX EUROPE		
(25,4 mm)	(2,0 mm)	(30 mm)
(40 mm)	(2,5 mm)	(52 mm)
(60 mm)	(3,5 mm)	(60 mm)
(65 mm)	(3,5 mm)	(85 mm)

Anexo A.14 Selección engranaje (sprocket) según catalogo Intralox
Fuente: Intralox S.A, (2.014).

198

SERIE 1400

Intralox
gearing

Engranajes de agujero cuadrado

Datos de engranajes de plástico*

N.º de dientes (Acción polédrica)	Ancho nom. paso pulg.	Ancho nom. paso mm	Ancho nom. externo pulg.	Ancho nom. externo mm	Ancho nominal del cubo, pulg.	Ancho nominal del cubo, mm	Dimensiones disponibles de agujeros			
							Unidades de E.E.U.U.		Unidades métricas	
							Pulg. redondas	pulg. cuadradas	mm redondos	mm cuadrados
12 (3,47%)	3,9	99	3,9	99	1,5	38	-	1,5	-	40
18 (1,52%)	5,7	145	5,8	148	1,5	38	2	2,5	50	60
21 (0,86%)	7,7	198	7,8	198	1,5	38	-	2,5	-	60

1 - Diámetro de paso
2 - Diámetro externo
3 - Ancho del cubo

* Para obtener información sobre los tiempos de salida de almacén, póngase en contacto con el Servicio de Atención al Cliente.

SECCIÓN 2

Valor máximo de la banda para engranajes bipartidos de nilón relleno de fibra de vidrio en abertura circular basado en el tamaño nominal del eje redondo*

N.º de dientes	Ancho Diámetro de paso		1 pulg. - 1-3/16 pulg.		1-1/4 pulg. - 1-3/8 pulg.		1-7/16 pulg. - 1-3/4 pulg.		1-13/16 pulg. - 2 pulg.		25 mm - 35 mm		40 mm - 50 mm	
	pulg.	mm	lb/pies	kg/m	lb/pies	kg/m	lb/pies	kg/m	lb/pies	kg/m	lb/pies	kg/m	lb/pies	kg/m
16	5,1	130	1500	2232	1740	2599	2100	3125	2160	3214	1140	1697	2160	3214
18	5,7	145	1800	2679	2040	3036	2400	3672	3240	4822	1440	2143	2460	3661
21	6,7	170	2350	3509	2650	3985	2100	3125	3000	4464	1050	1563	2400	3572

* El valor de la banda basado en el tamaño nominal del eje redondo se utiliza para determinar la separación entre engranajes como función de la resistencia de la banda utilizada. También se puede utilizar para realizar otros cálculos. Sin embargo, si el valor del material de la banda y el estilo de la banda es menor que el valor de la banda basado en el tamaño nominal del eje redondo, se debe utilizar el valor inferior para todos los cálculos que no sean de la separación entre engranajes.

Anexo B

Anexo B.1 Ajuste de potencia en motor por pérdidas mecánicas
 Fuente: Mott, R. (2.006).

ELEMENTOS DE MAQUINARIA	PROMEDIO DE PERDIDAS DE EFICACIA MECÁNICA
Cojinetes de manguito comunes	Del 2% al 5%
Rodamientos	1%
Reductores de engranajes:	
Engranajes helicoidales o rectos	
Reducción simple	2%
Reducción doble	4%
Reducción triple	5%
Engranajes de tornillo sin fin	
Reducción simple	5%
Reducción doble	Del 10% al 20%
Cadenas de rodillos	Del 3% al 5%
Bandas V	Del 2% al 4%
Sistemas de accionamiento hidráulico	(consulte al fabricante)

Anexo B.2 Valores orientativos de la vida especifica de rodamientos en diferentes tipos de maquina

Fuente: Standars and Publications, (2.014).

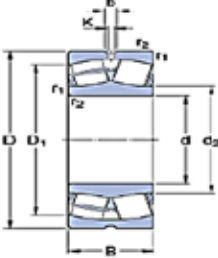
Valores orientativos de la vida especificada de diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, tinturadoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

Anexo B.3 Datos según catálogo SKF de rodamiento seleccionado 22308 E/VA405
 Fuente: Standars and Publications, (2.014).

SKF

22308 E/VA405
 Producto popular
 SKF Explorer

Dimensiones



d	40	mm
D	90	mm
B	33	mm
d ₂	≈ 49.9	mm
D ₁	≈ 74.3	mm
b	6	mm
K	3	mm
r _{1,2}	min. 1.5	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	155	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	140	kN
Carga límite de fatiga	P _u	15	kN
Velocidad de referencia		6000	r/min
Velocidad límite		8000	r/min
Factor de cálculo	e	0.37	
Factor de cálculo	Y ₁	1.8	
Factor de cálculo	Y ₂	2.7	
Factor de cálculo	Y ₀	1.8	
Aceleración de rotación admisible (lubricación por aceite)		1128	m/s ²
Aceleración lineal admisible (lubricación por aceite)		304	m/s ²

Masa

Masa	1.05	kg
------	------	----

Anexo B.4 Datos según catálogo SKF de obturador de rodamiento seleccionado 40X90X8
CRW1 R

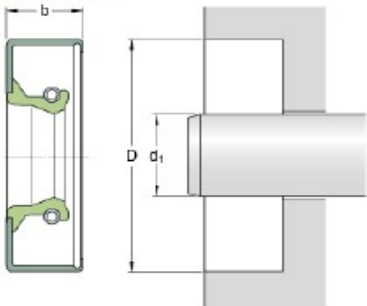
Fuente: Standars and Publications, (2.014).

SKF

40X90X8 CRW1 R

Type of outside diameter	Metal-cased with sealant coating on the outside diameter		
Lip material	Nitrile rubber (NBR)		
Seal design	CRW1		

Dimensions



d_1	40	mm	
D	90	mm	
b	8	mm	

Application and operating conditions

Operating temperature	min.	-40	°C
Operating temperature	max.	100	°C
Shaft speed	max.	3300	r/min
Shaft surface speed	max.	7	m/s

Anexo B.5 Datos según catálogo SKF de soporte de rodamiento seleccionado
SE 510-608

Fuente: Standars and Publications, (2.014).

SKF

SE 510-608

Productos adecuados

Rodamiento (designación básica)	21308
Tuerca de fijación	KM 8
Arandela de fijación	MB 6
Anillo de fijación	2 x FRB 9/90

Dimensiones

d_a	40	mm
d_b	50	mm
C_a	41	mm
D_a	90	mm
D_b	62	mm
A	90	mm
A_1	60	mm
H	114	mm
H_1	60	mm
H_2	25	mm
J	170	mm
L	206	mm
N	20	mm
N_1	15	mm

Fijas de situación

J_5	188	mm
J_7	22	mm
N_4	max. 6	mm

Cargas de rotura, soporte

P_{150°	170	kN
P_{120°	265	kN
P_{90°	155	kN
P_{120°	120	kN
P_{150°	110	kN
P_{180°	130	kN
P_{Σ}	85	kN

Anexo C

Cadenas:

Secuencia de cálculo de la cadena,
ecuaciones, condiciones de diseño,
gráficos de selección y potencia
transmitida

Anexo C - 1

Secuencia de cálculo de la cadena, ecuaciones y condiciones de diseño

1. Debido a que las máquinas conducidas tienen formas particulares de funcionamiento, se deben prevenir fallas debidas a los golpes, vibraciones o tirones. De forma similar, las máquinas motoras tienen formas particulares de funcionamiento, algunas son más suaves que otras, o tienen un impulso inicial o un giro a tirones. Estas situaciones se consideran a través de un factor de servicio (f_s) que aumenta la potencia a transmitir para obtener la potencia de diseño que considera las características de la máquina y el motor utilizado. El factor del servicio f_s se determina del Anexo C.2 en función del tipo de motor que más se asemeja a nuestro diseño y del tipo de maquinaria movida.
2. Cálculo de la potencia de diseño: Una vez obtenido el factor f_s , este se multiplica por la potencia a transmitir, para obtener la *potencia de diseño*.

$$P_{diseño} = P_{nominal} \times f_s. \quad \text{Ec. 1}$$

3. Selección tentativa del tamaño de la cadena (número y paso en pulg) y del número de dientes mínimo recomendado para la rueda dentada pequeña (rueda motora). Para ello se usa el gráfico del Anexo C.3, en función de la potencia de diseño ($P_{diseño}$), de las RPM del eje más rápido y del número de ramales para la cadena.
4. Con las tablas de capacidad de potencia del Anexo C.4 (HORSEPOWER RATINGS), Hallar la potencia transmisible por ramal o ramales de cadena, P_{ramal} , entrando con las RPM del eje más rápido y el número de dientes de la rueda pequeña.
5. Verificar que la potencia por ramal sea mayor o igual que la potencia de diseño,
 $P_{ramal} \geq P_{diseño}$.
6. Determinar la relación de transmisión o de velocidades.

La razón entre la velocidad del eje más rápido dividido por la velocidad del eje más lento, es la relación de transmisión " R_t ". Se indica como " $1 : R_t$ ". Con este valor se obtiene el tamaño de las catalinas a utilizar. La relación R_t o R_v debe corresponder

a la razón entre la cantidad de dientes de la catalina grande (la del eje más lento) denominada corona dividida por la cantidad de dientes de la catalina pequeña (la del eje más rápido) denominada piñón.

$$R_v = \frac{RPM_{rapido}}{RPM_{lento}} = \frac{w_p}{w_c} = \frac{N_c}{N_p} \quad \text{o} \quad R_v = \frac{w_1}{w_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$\omega_p, (\omega_1), \omega_c, (\omega_2)$: Velocidad angular de los dos ejes en RPM.

$N_c, (N_2)$: Cantidad de dientes de la corona

$N_p, (N_1)$: Cantidad de dientes del piñón.

7. Si no se selecciona de un catálogo del mercado. Calcular el número de dientes de la rueda grande (corona) con la ecuación anterior, para algunos fabricantes este valor tiene un máximo de 120 dientes.
8. Ajustar la relación de velocidad R_v . Con el número de dientes tomado del gráfico del Anexo C.1 y con el calculado en el paso anterior, verificar que la relación de transmisión este ajustada.
9. Calcular la velocidad lineal o periférica de la cadena. Los valores óptimos de velocidad recomendados están entre 197 pie/min (1 m/s) y 820 pie/min (4,17 m/s). Para el cálculo puede usarse:

$$V = \frac{Npw}{60.000} \quad [m/s] \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

N: Es número de dientes de la rueda;

p: Es paso de la cadena en [mm] y

velocidad de rotación de la rueda en [RPM].

10. Determinar el tipo de lubricación de la cadena de las tablas de capacidad de potencia del Anexo C.3 donde se determina la potencia por ramal.
11. Cálculo de los diámetros de las ruedas dentadas.

$$D_p = \frac{p}{\text{sen} \frac{180^\circ}{N}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$D = p \left(0,6 + \cot \frac{180^\circ}{N} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

D_p : Es el diámetro primitivo de la rueda dentada en [mm].

D_o : Es el diámetro exterior de la rueda dentada en [mm].

N: Es número de dientes de la rueda y

P: Es el paso en [mm].

12. Cálculo de la longitud de la cadena y distancia entre centros.

Las relaciones entre la distancia central C, la longitud de la cadena L, y el número de dientes del piñón N_p y la corona N_c vienen dadas por:

12.1 Si se conoce la distancia central y es fija, utilizar la ecuación siguiente para calcular la longitud

$$L = 2C + \frac{N_p + N_c}{2} p + \frac{(N_c - N_p)^2 p^3}{4C^3} \quad \text{Ec. 6}$$

12.2 Si no se conoce la distancia central utilice una aproximación para la distancia entre centros $30p < C < 50p$ (30 y 50 pasos de la cadena) y calcular la longitud con la Ec.17 y con esta longitud recalculer C con la Ec. 18. (Siempre se toma un número entero de pasos).

$$C = \frac{L}{2} - \frac{N_p + N_c}{2} p + \sqrt{\frac{L^2}{4} - \frac{(N_c - N_p)^2 p^3}{4C^3}} \quad \text{Ec. 7}$$

13. Cálculo de las tensiones en la cadena.

La fuerza ejercida sobre los apoyos puede calcularse por

$$F = F_T + F_c \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

F_T : Fuerza de tracción en la cadena [N].

F_c : Fuerza centrífuga sobre la cadena [N].

Siendo,

$$F_T = \frac{P}{V} \quad \text{Ec. 9}$$

Dónde:

P: Potencia transmitida en [watt] y

V: Velocidad periférica de la cadena en [m/s].

$$F_c = \frac{G}{g} V^2$$

Ec. 10

Dónde:

G: Peso por unidad de longitud de la cadena en [Kg/m]

g: Fuerza de gravedad (9,80 m/s²)

V: Velocidad periférica de la cadena en [m/s].

F_c: Fuerza centrífuga sobre la cadena [N].

Anexo C-2

TABLA DE FACTORES DE SERVICIO

Es aconsejable al calcular un mando a cadena, tener en cuenta la tabla de factores de servicio siguiente:

Condiciones de Trabajo	Motor Eléctrico		Motor Diesel	
	8 - 10 hs.	24 hs.	8 - 10 hs.	24 hs.
Uniforme	1,00	1,25	1,25	1,50
Semi Pesado	1,25	1,50	1,50	1,75
Pesado	1,50	1,75	1,75	2,00

Tabla 3-1: Factor de servicio para cadenas según normas BS

Características del Impulsor

Características de la Máquina impulsada	Motores de funcionamiento suave	Motores de funcionamiento medio impulsivo	Motores de funcionamiento impulsivo
	Motores eléctricos Turbinas a vapor o a gas, motores de combustión interna con acoplamiento hidráulico	Motores de combustión multicilíndricos y acoplamiento mecánico. Motores eléctricos con arranques frecuentes	Motores de combustión mono cilíndricos o del golpeteo moderado y acoplamiento mecánico
Máquinas de carga constante			
Agitadores y mezcladores de líquidos y semilíquidos	1,00	1,25	1,50
Alternadores y generadores			
Sopladores, extractores y ventiladores (centrífugos y de tamaño mediano)			
Compresores centrífugos			

Elevadores y transportadores con carga uniforme			
Maquinaria de industria de alimentos			
Bombas centrífugas			
Máquinas de imprentas			
Máquinas de carga no constante (cargas moderadas)			
Agitadores y mezcladores de soluciones sólido-líquido Sopladores, extractores y ventiladores de gran tamaño Mezcladoras de cemento Compresores de más de 3 cilindros Grúas Transportadores y elevadores con carga no uniforme Bombas de dragado Maquinaria de lavandería Máquinas herramientas Molinos	1,25	1,5 0	1,75
Máquinas de funcionamiento disperejo (carga de impacto o trabajo pesado)			

Anexo C - 3

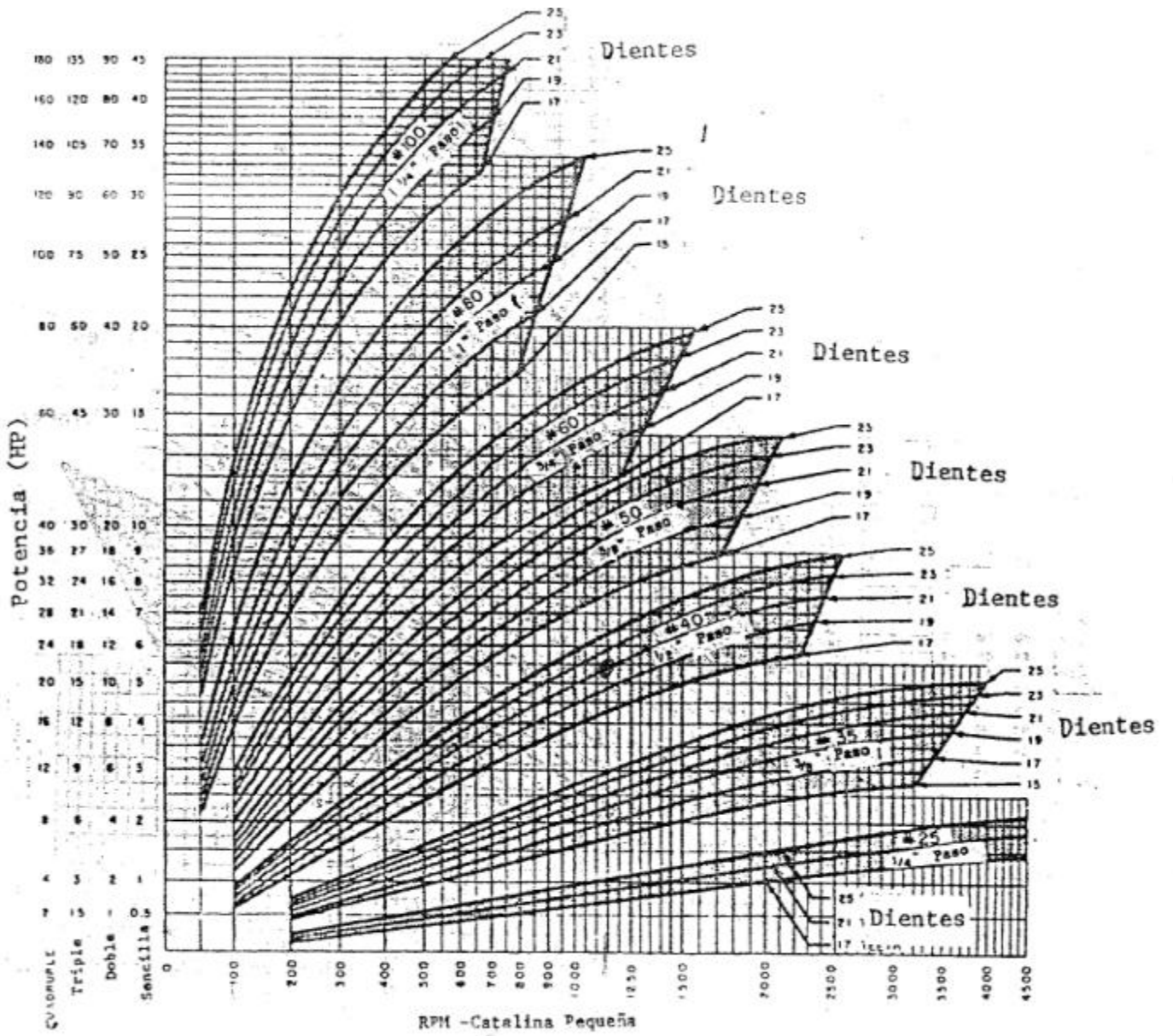


GRAFICO 3.1

Anexo C - 3 Parte 2

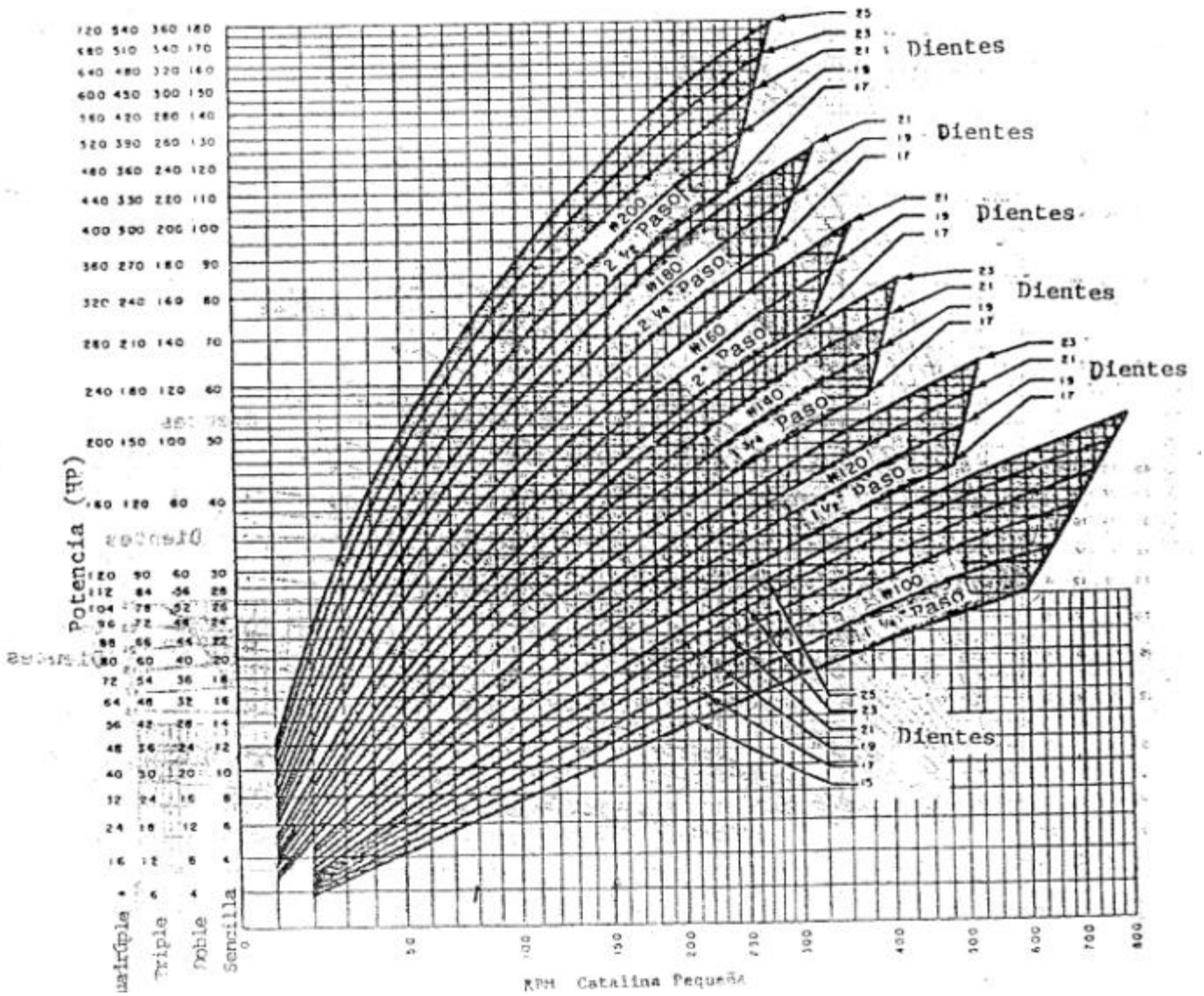


GRAFICO 3.1 Cont.



roller chain horsepower ratings

HORSEPOWER RATINGS STANDARD SINGLE STRAND ROLLER CHAIN — NO. 100 — 1¼" PITCH

No. of Teeth Small Sprocket	Revolutions Per Minute—Small Sprocket																			
	10	25	30	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2200
11	Type I			Type II			Type III						Type IV							
11	0.81	1.85	3.45	6.44	12.0	17.3	22.4	27.4	32.3	37.1	32.8	27.5	23.4	20.3	17.8	14.2	11.6	9.71	6.95	0
12	0.89	2.03	3.79	7.07	13.2	19.0	24.6	30.1	35.5	40.8	37.4	31.4	26.8	23.2	20.4	16.2	13.2	11.1	0	0
13	0.97	2.22	4.13	7.72	14.4	20.7	26.9	32.8	38.7	44.5	42.1	35.3	30.1	26.1	22.9	18.2	14.9	12.5	0	0
14	1.05	2.40	4.48	8.35	15.6	22.5	29.1	35.6	41.9	48.1	47.0	39.4	33.6	29.2	25.6	20.3	16.6	13.9	0	0
15	1.13	2.59	4.82	9.00	16.8	24.2	31.4	38.3	45.2	51.9	52.2	43.7	37.3	32.4	28.4	22.5	18.5	15.5	0	0
16	1.22	2.77	5.17	9.65	18.0	25.9	33.6	41.1	48.4	55.6	57.5	48.1	41.1	35.6	31.3	24.8	20.3	17.0	0	0
17	1.30	2.96	5.52	10.3	19.2	27.7	35.9	43.9	51.7	59.4	62.9	52.7	45.0	39.0	34.2	27.2	22.2	18.2	0	0
18	1.38	3.15	5.87	11.0	20.4	29.5	38.2	46.7	55.0	63.2	68.6	57.5	49.1	42.5	37.3	29.6	24.3	19.6	0	0
19	1.46	3.34	6.23	11.6	21.7	31.2	40.5	49.5	58.3	67.0	74.4	62.3	53.2	46.1	40.5	32.1	26.3	20.7	0	0
20	1.55	3.53	6.58	12.3	22.9	33.0	42.8	52.3	61.6	70.8	79.8	67.3	57.5	49.8	43.7	34.7	28.4	0	0	0
21	1.63	3.72	6.94	12.9	24.2	34.8	45.1	55.1	64.9	74.6	84.1	72.4	61.8	53.6	47.0	37.1	30.5	0	0	0
22	1.71	3.91	7.30	13.6	25.4	36.6	47.4	58.0	68.3	78.5	88.5	77.7	66.3	57.5	50.4	40.0	32.8	0	0	0
23	1.80	4.10	7.65	14.3	26.6	38.4	49.7	60.8	71.7	82.3	92.8	83.0	70.9	61.4	53.9	42.8	35.0	0	0	0
24	1.88	4.30	8.02	15.0	27.9	40.2	52.1	63.7	75.0	86.2	97.2	88.4	75.5	65.5	57.4	45.6	37.3	0	0	0
25	1.97	4.49	8.37	15.6	29.2	42.0	54.4	66.5	78.4	90.1	102	94.1	80.3	69.6	61.1	48.5	36.3	0	0	0
28	2.22	5.07	9.47	17.7	33.0	47.5	61.5	75.2	88.6	102	115	111	95.2	82.5	72.4	57.5	49.5	0	0	0
30	2.40	5.47	10.2	19.0	35.5	51.2	66.3	81.0	95.5	110	124	124	106	91.5	80.3	63.7	0	0	0	0
32	2.57	5.86	10.9	20.4	38.1	54.8	71.1	86.9	102	118	133	136	116	101	88.5	70.2	0	0	0	0
35	2.83	6.46	12.0	22.5	41.9	60.4	78.3	95.7	113	130	146	156	133	115	101	48.4	0	0	0	0
40	3.27	7.46	13.9	26.0	48.4	69.8	90.4	111	130	150	169	188	163	141	124	0	0	0	0	0
45	3.71	8.47	15.8	29.5	55.0	79.3	103	126	148	170	192	213	194	166	78.4	0	0	0	0	0
50	4.16	9.49	17.7	33.0	61.6	88.8	115	141	166	190	215	239	209	97.8	0	0	0	0	0	0
55	4.61	10.5	19.6	36.6	68.3	98.4	128	156	184	211	238	265	138	19.1	0	0	0	0	0	0
60	5.07	11.6	21.6	40.2	75.1	108	140	171	202	231	261	181	56.8	0	0	0	0	0	0	0

- TYPE I: Manual Lubrication. Oil applied periodically with brush or spout can. (130 fpm max. chain speed)
- TYPE II: Drip Lubrication. Oil applied between link plate edges from a drip lubricator. (320 fpm max.)
- TYPE III: Oil Bath or Oil Slinger. Oil level maintained in casing at predetermined height. (1300 fpm max.)
- TYPE IV: Oil Stream. Oil supplied by circulating pump inside chain loop on lower span. (up to max. speed shown)

For Multi-Strand Chain use:

No. of Strands	Strand Factor
2	1.7
3	2.5
4	3.3

HORSEPOWER RATINGS STANDARD SINGLE STRAND ROLLER CHAIN — NO. 120 — 1½" PITCH

No. of Teeth Small Sprocket	Revolutions Per Minute—Small Sprocket																			
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
11	Type I			Type II Lubrication			Type III Lubrication						Type IV Lubrication							
11	1.37	3.12	5.82	10.9	15.6	20.3	29.2	37.8	46.3	54.5	46.2	37.8	31.7	27.1	23.5	20.6	18.3	16.3	14.7	0
12	1.50	3.43	6.39	11.9	17.2	22.3	32.1	41.5	50.8	59.8	52.8	43.2	36.2	30.9	26.8	23.5	20.9	18.7	16.8	0
13	1.64	3.74	6.97	13.0	18.7	24.3	35.0	45.3	55.4	65.3	59.4	48.6	40.7	34.8	30.1	26.5	23.5	21.0	18.9	0
14	1.77	4.05	7.55	14.1	20.3	26.3	37.9	49.1	60.0	70.7	66.4	54.3	45.5	38.9	33.7	29.6	26.2	23.5	21.6	0
15	1.91	4.36	8.13	15.2	21.9	28.3	40.8	52.9	64.6	76.1	73.6	60.3	50.5	43.1	37.4	32.8	29.1	26.0	4.50	0
16	2.05	4.67	8.72	16.3	23.9	30.8	43.8	56.9	69.6	81.1	81.1	66.4	55.6	47.5	41.2	36.1	32.0	28.7	0	0
17	2.19	4.99	9.31	17.4	25.9	33.8	46.8	60.9	74.6	87.1	88.8	72.7	60.9	52.0	45.1	39.6	35.1	31.4	0	0
18	2.33	5.31	9.90	18.5	28.0	36.8	49.8	64.9	79.6	93.1	96.7	79.2	66.4	56.7	49.1	43.2	38.3	34.6	0	0
19	2.47	5.62	10.5	19.6	28.0	38.8	52.8	68.9	84.6	99.1	105	85.9	72.0	61.4	53.3	46.7	41.5	36.8	0	0
20	2.61	5.95	11.1	20.7	29.0	40.8	55.8	72.9	89.6	104	113	92.8	77.7	66.4	57.5	50.5	44.8	40.0	0	0
21	2.75	6.27	11.7	21.8	31.0	42.8	58.8	76.9	94.4	113	122	99.8	83.6	71.4	61.9	54.3	48.2	0	0	0
22	2.89	6.59	12.3	23.0	33.0	44.8	60.8	79.9	98.4	118	131	107	89.7	76.6	66.4	58.2	50.2	0	0	0
23	3.03	6.92	12.9	24.1	34.7	45.0	64.8	83.9	103	121	139	114	95.9	81.8	70.9	62.3	42.4	0	0	0
24	3.18	7.25	13.5	25.2	36.4	47.1	67.8	87.9	107	127	145	122	102	87.2	75.5	66.3	32.6	0	0	0
25	3.32	7.57	14.1	26.4	38.0	49.2	70.9	91.8	112	132	152	130	109	92.8	80.4	70.5	0	0	0	0
28	3.75	8.55	16.0	29.8	42.9	55.6	80.1	104	127	149	172	154	129	110	95.3	0	0	0	0	0
30	4.04	9.22	17.2	32.1	46.3	59.9	86.3	112	137	161	185	170	143	122	106	0	0	0	0	0
32	4.33	9.88	18.4	34.4	49.5	64.1	92.4	120	146	172	198	188	157	134	102	0	0	0	0	0
35	4.77	10.9	20.3	37.9	54.6	70.7	102	132	161	190	218	215	180	154	68.3	0	0	0	0	0
40	5.51	12.6	23.5	43.8	63.1	81.7	118	153	186	220	252	255	204	103	0	0	0	0	0	0
45	6.26	14.3	26.6	49.7	71.6	92.8	134	173	212	249	286	230	144	23.9	0	0	0	0	0	0
50	7.01	16.0	29.8	55.7	80.2	104	150	194	237	280	310	220	90.8	0	0	0	0	0	0	0
55	7.77	17.7	33.1	61.8	89.0	115	166	215	263	310	288	154	0	0	0	0	0	0	0	0
60	8.58	19.6	36.5	68.2	98.2	127	183	237	290	342	250	104	0	0	0	0	0	0	0	0

Interpolando
13,72 HP

- TYPE I: Manual Lubrication. Oil applied periodically with brush or spout can. (130 fpm max. chain speed)
- TYPE II: Drip Lubrication. Oil applied between link plate edges from a drip lubricator. (430 fpm max. chain speed)
- TYPE III: Oil Bath or Oil Slinger. Oil level maintained in casing at predetermined height. (1200 fpm max. chain speed)
- TYPE IV: Oil Stream. Oil applied by circulating pump inside chain loop on lower span. (up to max. speed shown)

For Multi-Strand Chain use:

No. of Strands	Strand Factor
2	1.7
3	2.5
4	3.3

The ratings on this page are in accordance with the standards of the Association of Roller and Silent Chain Manufacturers, Copyright 1960.

Anexo C.5 Número de dientes comercialmente disponibles para cada tipo de cadena de la Norma ISO 606
Fuente: Mott, R. (2.006).

NÚMERO DE DIENTES DE LA RUEDA												
No. 25	No. 35		$\frac{Z}{2}$	No. 40		$\frac{Z}{2}$	No. 50		No. 60		No. 80	
9	9	48	8	34	59	9	34	59	9	34	9	34
10	10	54	9	35	60	10	35	60	10	35	10	35
11	11	60	10	36	70	11	36	70	11	36	11	36
12	12	70	11	37	72	12	37	72	12	37	12	37
13	13	72	12	38	80	13	38	80	13	38	13	38
14	14	80	13	39	84	14	39	84	14	39	14	39
15	15	84	14	40	96	15	40	96	15	40	15	40
16	16	96	15	41	112	16	41	112	16	41	16	41
17	17	112	16	42		17	42		17	42	17	42
18	18		17	43		18	43		18	43	18	43
19	19		18	44		19	44		19	44	19	44
20	20		19	45		20	45		20	45	20	45
21	21		20	46		21	46		21	46	21	46
22	22		21	47		22	47		22	47	22	47
24	24		22	48		24	48		24	48	24	48
25	24		23	49		24	49		24	49	24	49
26	25		24	50		25	50		25	50	25	50
28	26		25	51		26	51		26	51	26	51
30	28		26	52		27	52		27	52	27	52
32	30		27	53		28	53		28	53	28	53
36	32		28	54		29	54		29	54	29	54
40	35		30	55		30	55		30	55	30	55
45	36		31	56		31	56		31	56	31	56
48	40		32	57		32	57		32	57	32	57
54	45		33	58		33	58		33	58	33	58
60									60			