



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE DE PRODUCTO DE UNA
PLANTA DE ACONDICIONAMIENTO,
SECADO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS**

Autores

Luis Eduardo Badiali Mora
Manuel Antonio Tami Puglisi

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella Pierro

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 87123



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

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE PRODUCTO
DE UNA PLANTA DE ACONDICIONAMIENTO, SECADO Y
ALMACENAMIENTO DE GRANOS**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de

INGENIERO MECÁNICO

Autores

Luis Eduardo Badiali Mora

C.I: 25.534.417

Manuel Antonio Tami Puglisi

C.I: 24.387.998

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella

San Diego, Octubre 2020



FL-M-003-2020-2CR (TG)

Valencia, 09 de octubre de 2020

Ciudadano:
Badiali M., Luis E.
25.534.417
Tami P., Manuel A.
24.387.998
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2020 de fecha 27-07-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado *REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE GRANOS DE ARROZ DE LA PLANTA DE ACONDICIONAMIENTO, SECADO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS DE LA EMPRESA TIERRA RICA, C.A* presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

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

Atentamente,

Dra. Zaida Osto

Decana (E) de la Facultad de Ingeniería

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

ZO/a.a.



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Giovanni Pizzella P. portador de la cédula de identidad N° V-4.455.859, en mi carácter de tutor del Informe de Trabajo Especial de Grado presentado por los ciudadanos Luis Eduardo Badiali Mora C.I: 25.534.417 y Manuel Antonio Tami Puglisi C.I: 24.387.998 , titulado **REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE PRODUCTO DE UNA PLANTA DE ACONDICIONAMIENTO, SECADO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS**, 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, a los trece días del mes de Octubre del año dos mil veinte.

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

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
RESUMEN INFORMATIVO.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

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.....	6
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Alcance.....	6

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Secadora de granos.....	10
2.2.2 Acondicionamiento de granos.....	10
2.2.3 Silo de almacenamiento.....	11
2.2.4 Transportador de tornillo sin fin.....	11
2.2.5 Elevador de cangilones.....	12
2.2.6 Transportador de banda.....	12
2.2.7 Tipos de cinta transportadora.....	13
2.2.8 Banda transportadoras.....	16
2.2.9 Rodillos.....	20
2.2.10 Tambores.....	24
2.2.11 Sistema motriz.....	26
2.2.12 Equipos de limpieza.....	28
2.2.13 Carga y descarga.....	31
2.2.14 Estructura del bastidor.....	33
2.2.15 Sistema de tensado.....	34
2.2.16 Velocidad de avance de la cinta.....	35
2.2.17 Anchura de la banda.....	36
2.2.18 Disposición de los rodillos.....	36

2.2.19	Ángulo de inclinación máximo de la cinta.....	37
2.2.20	Características del material a transportar.....	38
2.2.21	Procedimiento de cálculo de los parámetros de diseño de una banda transportadora.....	41
2.2.22	Sistema de control.....	60
2.2.23	Elementos de un sistema de control.....	61
2.2.24	Controlador lógico programable (PLC).....	62
2.2.25	Sensores ópticos de presencia (fotoeléctrico).....	65
2.3	Definición de términos.....	69

III MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo de Investigación.....	71
3.2	Nivel de la Investigación.....	71
3.3	Diseño de la Investigación.....	72
3.4	Población y Muestra.....	72
3.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	72
3.5.1	La encuesta.....	73
3.5.2	Modelo de encuesta.....	73
3.5.3	Técnicas de recopilación de análisis bibliográfico....	73
3.6	Técnicas y análisis de datos.....	73
3.7	Análisis de los resultados.....	74
3.8	Fases de la investigación.....	74

IV RESULTADOS

4.1	Evaluar la situación actual de los sistemas de transporte de producto de la planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento para identificar variables y las condiciones de operación.....	76
4.2	Generar posibles soluciones a los problemas detectados en el sistema de transporte para así seleccionar la mejor alternativa.....	79
4.2.1	Búsqueda de la solución.....	79
4.2.1.1	Alternativa de solución 1.....	79
4.2.1.2	Alternativa de solución 2.....	81
4.2.1.3	Alternativa de solución 3.....	82
4.2.2	Especificaciones de diseño.....	83
4.2.2.1	Funciones principales.....	83
4.2.2.2	Restricciones.....	83
4.2.2.3	Criterios.....	83
4.2.3	Selección de la mejor solución.....	84
4.3	Diseño de la mejor solución.....	87
4.3.1	Cálculo de la velocidad de la cinta.....	89
4.3.2	Esfuerzos tangenciales.....	90

4.3.3	Tensión principal.....	94
4.3.4	Diámetro del tambor motriz.....	96
4.3.5	Velocidad de giro del tambor motriz.....	96
4.3.6	Diseño del eje del tambor motriz.....	96
4.3.7	Diseño del eje del tambor de retorno.....	97
4.3.8	Cálculo de los rodillos.....	99
4.3.9	Estaciones portantes superiores.....	99
4.3.10	Estaciones portantes inferiores.....	100
4.3.11	Cálculo de las potencias de accionamiento.....	101
4.3.12	Selección de los elementos que componen la cinta....	103
	4.3.12.1 Banda transportadora.....	103
	4.3.12.2 Rodillos.....	103
	4.3.12.3 Tambor motriz.....	106
	4.3.12.4 Tambor de retorno.....	107
	4.3.12.5 Estructura del bastidor.....	108
	4.3.12.6 Sistema tensor.....	110
	4.3.12.7 Elementos de limpieza.....	111
	4.3.12.8 Tolvas y guías de carga.....	112
4.3.13	Cálculo de la carga en el arranque.....	113
4.3.14	Selección del conjunto motor-reductor.....	115
4.3.15	Diseño de la chaveta.....	119
4.4	Diseñar un sistema de control para el proceso de transporte de producto de una planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento de granos.....	120
	4.4.1 Variables.....	122
	4.4.1.1 Variables independientes.....	122
	4.4.1.2 Variables dependientes.....	122
4.4.2	Señales eléctricas de control.....	122
4.4.3	Tipo de control.....	124
4.4.4	Diagrama de simulación de potencia del motor.....	126
4.4.5	Diagrama de simulación de control del proceso.....	129
4.5	Estudio de la factibilidad económica.....	133
	4.5.1 Inversión inicial.....	133
	4.5.2 Costos operacionales.....	134
	4.5.3 Estudio de los flujos monetarios netos.....	135
	4.5.4 Rentabilidad del proyecto.....	136
	4.5.5 Tiempo de recuperación de la inversión.....	136
	CONCLUSIONES	137
	RECOMENDACIONES	138

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		pp.
1	Vista frontal de las instalaciones.....	3
2	Estado actual de las instalaciones.....	4
3	Secadora de granos de tipo vertical.....	10
4	Banco de silos para almacenaje de granos.....	11
5	Transportador de tornillo sin fin.....	11
6	Elevadores de cangilones.....	12
7	Elementos de una cinta transportadora.....	13
8	Cinta con cadenas.....	14
9	Cinta con listones.....	14
10	Cinta de rodillos y ruedas.....	15
11	Cinta plana.....	15
12	Cinta sobre rieles, aérea y por cable enterrado.....	16
13	Nomenclatura de bandas transportadoras.....	17
14	Clasificación de bandas transportadoras.....	17
15	Tejidos empleados en bandas transportadoras.....	18
16	Diferentes empalmes vulcanizados.....	19
17	Banda transportadora grapada.....	19
18	Propiedades mecánicas de los recubrimientos de bandas.....	19
19	Designación de bandas transportadoras.....	20
20	Partes de un rodillo.....	21
21	Disposición de rodillos.....	21
22	Conjunto de rodillos de impacto o amortiguadores.....	22
23	Rodillos alineadores.....	23
24	Rodillos autolimpiadores.....	23
25	Paso máximo aconsejable de las estaciones.....	24
26	Tipos de tambores.....	24
27	Clasificación de los tambores.....	25
28	Tipos de engomado de tambor.....	25
29	Mototambor.....	26
30	Reductores.....	27
31	Rascador de contrapeso.....	29
32	Rascador principal.....	29
33	Cepillo rotativo.....	30
34	Rascador en V.....	30
35	Resultado de mala alimentación en la carga de la cinta.	32
36	Cinta transportadora con todos sus componentes.....	34
37	Diferentes sistemas de tensado activo.....	35

38	Angulo de máxima inclinación de una cinta transportadora.....	37
39	Productos, peso específico, ángulo de rozamiento interno.....	39
40	Diferencias entre ángulo de sobrecarga y ángulo de reposo.....	40
41	Características de los materiales.....	40
42	Dimensiones en una banda transportadora.....	41
43	Coefficiente de las resistencias pasivas.....	44
44	Coefficiente de resistencias pasivas debidas a la temperatura.....	45
45	Coefficiente de rozamiento interior.....	45
46	Pesos de núcleo de la banda sugeridos.....	46
47	Fuerzas presentes en el tambor motriz.....	47
48	Factor de abrazamiento, C_w	48
49	Tensiones presentes en la cinta transportadora.....	49
50	Tensión T_o representada gráficamente.....	50
51	Potencias adicionales de equipos auxiliares.....	53
52	Potencias normalizadas de motores eléctricos (kW)....	54
53	Diámetro mínimo recomendado de los tambores.....	55
54	Carga del tambor motriz.....	56
55	Distancia ag.....	57
56	Valores de esfuerzo admisible.....	58
57	Resistencias nominales (R_n) de las bandas textiles (N/mm).....	60
58	Representación de un sistema de control.....	61
59	Representación estándar de un PLC.....	62
60	Representación estándar de un PLC nano.....	64
61	Representación estándar de un PLC compacto.....	64
62	Representación estándar de un PLC modular.....	65
63	Dinámica del sensor con el objeto de detección.....	65
64	Variación de la resistencia vs Luz.....	66
65	Diagrama emisor, receptor y haz infrarrojo.....	66
66	Partes de un sensor óptico.....	67
67	Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo barrera.....	68
68	Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo reflectivo.....	68
69	Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo difuso.....	68
70	Sensor óptico (fotoeléctrico) con sensor de brillo.....	69
71	Descarga de silos a transportadores sinfines.....	76
72	Sinfín de descarga a secadora de granos.....	78
73	Banco de silos de almacenaje de grano seco y acondicionado.....	78
74	Disposición de la cinta transportadora.....	80

75	Cinta transportadora en forma de V.....	80
76	Cinta transportadora en forma de artesa.....	81
77	Sistema de transporte neumático.....	82
78	Dimensiones de rodillo seleccionado.....	105
79	Rodillos.....	105
80	Dimensiones del tambor motriz seleccionado.....	107
81	Dimensiones del contra tambor seleccionado.....	108
82	Dimensiones de la estructura del bastidor superior.....	109
83	Estructura portante superior.....	109
84	Dimensiones de la estructura del bastidor inferior.....	110
85	Estación portante inferior.....	110
86	Dimensiones del sistema tensor de tornillo.....	111
87	Elemento limpiador de serie P.....	112
88	Elemento limpiador seleccionado.....	112
89	Tolva con guías de carga.....	113
90	Conjunto motorreductor WEG seleccionado.....	118
91	Chaveta.....	119
92	Señales eléctricas por tipo de corriente.....	123
93	Señales eléctricas por tipo de impulso.....	123
94	Control de dos posiciones.....	124
95	Esquema de control del movimiento de la cinta.....	125
96	Cableado de líneas y tierra.....	127
97	Conexión al disyuntor tripolar.....	127
98	Conexión al contactor tripolar energizado.....	128
99	Conexión al protector térmico.....	128
100	Conexión al motor trifásico energizado.....	129
101	Cableado del sistema de control de arranque del motor.	129
102	Conexión al disyuntor unipolar energizado.....	130
103	Conexión al protector térmico bipolar con emergencia térmica encendida.....	130
104	Conexión al protector térmico bipolar.....	131
105	Simulación de encendido del sistema.....	131
106	Conexión del sensor a la fuente de alimentación AC/DC....	132
107	Simulación de encendido del motor a través del sensor.....	132
108	Escala de tiempo de los flujos monetarios.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		pp.
1	Listado de posibles soluciones.....	84
2	Listado de restricciones.....	84
3	Aplicaciones de restricciones a posibles soluciones.....	85
4	Listado de soluciones aprobadas.....	85
5	Listado de criterios.....	85
6	Ponderación de criterios.....	85
7	Criterio 1 “Fácil instalación”.....	86
8	Criterio 2 “Menor espacio físico”.....	86
9	Criterio 3 “Menor consumo de energía posible”.....	86
10	Criterio 4 “Bajo costo de mantenimiento”.....	86
11	Criterio 5 “Menor cantidad de elementos”.....	87
12	Ponderación final de soluciones.....	87
13	Variables de control del funcionamiento de la cinta.....	126
14	Inversión inicial.....	133
15	Activos intangibles.....	134



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSE ANTONIO PAEZ
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE PRODUCTO DE UNA PLANTA DE ACONDICIONAMIENTO, SECADO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS

Autores

Luis Eduardo Badiali Mora

Manuel Antonio Tami Puglisi

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella

Año: 2020

RESUMEN

La elaboración del presente trabajo de investigación se desarrolló en la empresa Tierra Rica, C.A., la cual es una empresa del sector agrícola y agroindustrial, dedicada a la producción arroz y otros cereales, así como el secado, acondicionado y almacenamiento de los mismos. Con el fin de mejorar la calidad de los productos procesados en la planta de secado y acondicionado, se planteó el reemplazo del actual sistema de transporte de producto, buscando mejorar condiciones como: la reducción en el porcentaje de granos partidos, así como la contaminación por desprendimiento de partículas, a su vez disminuyendo el consumo energético debido al uso de accionamiento eléctricos menores y menor cantidad de mantenimiento necesario, influyendo en el mejoramiento de los costos de operación. Se plantearon diferentes sistemas de accionamiento por bandas, se evaluaron, se analizaron, apoyándose en investigaciones realizadas anteriormente y también usando técnicas y herramientas de recolección de datos para finalmente escoger el resultado más eficiente. La investigación fue de tipo proyecto factible, el diseño de la investigación de campo, con una revisión documental. Como técnica se utilizó observación directa y con un nivel descriptivo.

Descriptor: banda, transportador

INTRODUCCIÓN

En contextos de globalización, las industrias van creciendo cada día y así también sus equipos, por lo cual siempre se está en constante mejora de estos para obtener un mayor aprovechamiento del mismo y así garantizar una vida extensa y optimizar los tiempos de producción o servicios. El transporte de material es uno de los procesos más costosos para las empresas. En el último siglo, se han producido mejoras en el transporte de mercancías, con el fin de abaratar el proceso. Si bien las cintas transportadoras en general se pueden encontrar en la mayoría de las industrias dado a las cualidades operacionales que entrega, acrecentando la productividad y optimizando el tiempo en los procesos.

La cinta es capaz de transportar altas cantidades de material a granel de forma rápida, eficiente y segura, lo que supone un aumento de la producción y de la rentabilidad económica. Se trata de un sistema flexible en cuanto a la diversidad de posibilidades que ofrece: longitudes de transporte, alturas, curvas, adaptabilidad al terreno, diferentes materiales a transportar... Es por ello por lo que la cinta transportadora es tan importante en la industria de hoy en día.

El diseño de la misma supone aplicar conocimientos de varias ramas de la Ingeniería Mecánica como Máquinas de Elevación y Transporte, Diseño en Ingeniería Mecánica y Elementos de Máquinas. Por tanto, su diseño se convierte en un elemento de gran interés a nivel estudiantil, donde se pueden combinar y aplicar numerosos conocimientos adquiridos durante los estudios de la carrera.

Así, el objetivo principal del presente proyecto consiste en diseñar una cinta transportadora que será utilizada para reemplazar el sistema actual de transporte de grano dentro la empresa Tierra Rica, C.A. La cinta será la encargada de trasladar el material de forma continua a través de las instalaciones de la empresa, mejorando a su vez la calidad del material que está siendo degradado con la utilización del sistema de transporte actual.

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

El capítulo I, explica el objeto de estudio, describiendo ampliamente la situación estudiada, los objetivos generales y específicos de la investigación. El capítulo II, 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 estableció la metodología de trabajo con una serie de fases que ayudaron a obtener la solución que mejor resolvió la situación problemática. Mientras que, en el cuarto capítulo, se expusieron los resultados del proyecto de grado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

Actualmente Tierra Rica, C.A., es una empresa (ver figura 1) dedicada al acondicionamiento, secado y almacenamiento de granos y cereales, producto de las cosechas de los mismos, que opera en la zona centro-noroeste del país, específicamente en la región central del país, abasteciendo de productos a la agroindustria y así al mercado, llevando esenciales alimentos a la mesa de los venezolanos.



Figura 1: Vista frontal de las instalaciones.

Fuente: Tierra Rica, C.A. (2.020).

El proceso consiste en la recepción del producto proveniente del campo, siendo descargado en la tolva de recepción y mediante sistemas de transporte de tornillos sin fin y elevadores de granos pasar a la limpiadora de granos, para eliminar elementos como polvo, residuos, piedras, material vegetal, metales y cualquier tipo de elemento distinto al grano, para luego pasar al proceso de secado donde se reduce su humedad

hasta un valor seguro para su almacenaje, donde permanece en silos verticales hasta su despacho bajo orden.

Actualmente la planta consta con sistemas de transporte de tipo tornillo sin fin (ver figura 2) para el movimiento horizontal con aproximadamente 160 metros entre diferentes estaciones y elevadores de cangilones para los movimientos verticales de hasta 90 metros entre todos los que se encuentran instalados. Esta planta cuenta con un flujo de producto de 5 ton/h. Dicha planta presenta problemas los cuales son: disminución de la pureza del producto por contaminación, partición de granos, elevado gasto de mantenimiento, alto consumo de energía, baja velocidad de transporte, entre otros.



Figura 2: Estado actual de las instalaciones

Fuente: Tierra Rica, C.A. (2.020)

En la actualidad los estándares de la agroindustria siguen aumentando y existe una demanda de productos de mayor calidad y mejor rendimiento. La planta enfrenta la disminución del rendimiento, baja calidad de los productos procesados dentro de la misma, así como la larga espera entre ciclos de cargar y descarga (hasta 5 horas por

vehículo) debido a sistemas de transporte ineficientes y obsoletos, que como resultado provoca la pérdida de potenciales clientes, generando pérdidas económicas para la empresa.

Por esta problemática, se requiere realizar un estudio de las causas que afectan el rendimiento y la calidad de los productos dentro de la planta de acondicionado, secado y almacenado de granos, evaluando las instalaciones y protocolos de operación, a fin de hacer las correcciones necesarias y solventar la problemática descrita.

1.2 Formulación del problema.

¿Cómo se podría mejorar la calidad y el rendimiento del producto al pasar por la planta de acondicionamiento, secado y almacenado de la empresa Tierra Rica, C.A.?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General.

Rediseñar el sistema de transporte de producto de una planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento de granos.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar la situación actual de los sistemas de transporte de producto de la planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento para identificar variables y las condiciones de operación.
- Generar posibles soluciones a los problemas detectados en el sistema de transporte para así seleccionar la mejor alternativa.
- Diseñar la mejor solución.
- Diseñar un sistema de control para el proceso de transporte de producto de una planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento de granos.
- Realizar el estudio de factibilidad económica del proyecto de investigación.

1.4 Justificación de la investigación.

Actualmente las instalaciones dentro de la planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento de la empresa Tierra Rica, C.A. no son las más adecuadas para exigir

mayor rendimiento y calidad del producto procesado, por lo cual se requiere desarrollar este proyecto de investigación para brindar una solución a la problemática existente en la empresa a través del rediseño del sistema de transporte con la finalidad de garantizar que:

- La reducción en los niveles de contaminación del producto al ser transportados en el interior de las instalaciones de la planta, así como la disminución en la cantidad de granos partidos, para así obtener como resultado un producto de mayor pureza, rendimiento y calidad, evitando de esta manera pérdidas económicas.
- La disminución en los costos de mantenimiento, así como también la reducción en la potencia de accionamiento de los sistemas de transporte, logrando así reducir los costes de operación de la planta.

1.5 Limitaciones de la investigación.

El sistema de transporte está conformado por transportadores de tornillo sin fin y elevadores de cangilones, para la mejora del proceso debe diseñarse un dispositivo en un espacio físico similar al actual. La investigación se desarrollará durante 2 semestres, en los cuales se espera lograr los objetivos expuestos.

1.6 Alcance de la Investigación.

En el presente trabajo especial de grado se establece una investigación basada en el área de Diseño de Elementos de Máquina y sólo contempla el diseño del sistema de transporte, la fabricación total o parcial del sistema queda de parte de la empresa realizarla. Finalmente, el informe de la investigación será obligatorio como trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico en la Universidad José Antonio Páez.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

El Marco teórico es el pilar fundamental de la investigación, tiene la finalidad de aportar la información necesaria para el desarrollo del proyecto, en este caso el diseño de un sistema de cinta transportadora, dando a conocer los términos y definiciones involucradas para su diseño. Según Arias, F. (2012): “El marco teórico o marco referencial, es el producto de la revisión documental–bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar”.

Dicho marco teórico generalmente se estructura en tres secciones, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos. Tomando en cuenta esto, a continuación, se presentan una serie de investigaciones realizadas por otros autores que guardan relación con el tema, contribuyendo con sus logros y conocimientos como precedentes o fuente de apoyo para fundamentar la investigación.

2.1 Antecedentes de la Investigación.

Martínez V., Claudia. (2018), presento un trabajo de investigación en la Universitat Jaume I, España titulado: “**Diseño y desarrollo de una cinta para transporte de áridos**”. El principal objetivo de este trabajo consiste en diseñar una cinta transportadora que será utilizada para trasladar grava de forma continua desde la salida de su tratamiento de trituración hasta la entrada al tromel de lavado, donde será limpiado el posteriormente cribado. Los requisitos establecían que la banda debía contar con una anchura de 800 milímetros, elevar el producto a una altura de 14,6 metros, un ángulo de artesa de 30 grados y tener una distancia de 59,5 metros, con un tiempo de trabajo de 12 horas diarias y adicionalmente cumplir con todos la normativa de seguridad. Esta cinta tenía que tener acceso a cualquier punto, con motivo de facilitar las tareas de mantenimiento y reparaciones, y tenía que evitar derrames de material a

lo largo del transporte. En el diseño de la cinta se recomienda la velocidad máxima, el tipo de rodillo y la distancia que debe existir entre ellos. Se determina la potencia del motor y las tensiones resultantes en el tambor motriz.

Este proyecto sirve como gran referencia al actual trabajo de investigación, ya que provee de información vital en el desarrollo del diseño, como son los cálculos y la metodología de selección para los sistemas de banda transportadora basados en las necesidades de la industria en la que se desarrolla el proyecto. Aunque el proyecto anteriormente mencionado fue diseñado para una industria diferente, comparte muchas similitudes con el proyecto involucrado en este trabajo de investigación. El manejo de un producto a granel a través de una banda transportadora, el cual se busca el aumento de la velocidad de traslado del producto, así como que se conserven las propiedades del producto al ser transportado.

Así también. Maldonado Q., Víctor D., (2018) con un trabajo de investigación presentado en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú, titulado: **“Calculo, selección y simulación de accionamiento de motor eléctrico – banda transportadora industrial.”** Plantea una metodología para el diseño electromecánico de una banda transportadora a partir de sus datos iniciales de potencia y torque juntamente con su simulación para la evaluación. Este trabajo de investigación se basó en la necesidad de seleccionar el motor más adecuado para el accionamiento de la banda transportadora, aunque los sistemas de banda transportadora pueden ser movidos mediante diferentes sistemas de accionamiento incluyendo los motores de combustión interna y los sistemas hidráulicos, el accionamiento en sistemas de banda fijos dentro de las industrias es mayormente accionado por los motores eléctricos. En este trabajo se logró implementar un software para el cálculo y selección del motor considerando la carga mecánica a la cual está sometida la banda, incluyendo la elección del tipo de arranque y sistema de control del motor eléctrico en el proceso.

Este trabajo sirve como gran referencia ya que en el mismo se plantean los cálculos y ecuaciones simplificados a través de un software para la correcta selección

de los motores eléctricos para accionar las bandas transportadoras diseñadas bajo los requisitos solicitados.

Por otro lado, Acuña P., José L., (2016), con un trabajo de investigación presentado en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú, titulada: **“Análisis para la implementación de una banda transportadora para mineral en el circuito de chancado de la CIA Minera MAPERU”**. Narra como su principal objetivo: Determinar las características técnicas para la implementación de una banda transportadora para mineral en el circuito de chancado de la CIA Minera MAPERU. Esta investigación benefició a la compañía Milpo Andina Perú SAC debido a que permitió tomar decisiones adecuadas para la implementación del sistema de banda transportadora, disminuyendo los costos y el tiempo de producción necesarios para la finalización de la materia prima para ser comercializada. En este estudio fueron utilizadas técnicas modernas de análisis que permitieron la selección correcta de parámetros y consideraciones las cuales dieron como resultado una manera eficiente de diseño, permitiendo ahorros en materia económica, así como reducción en el tiempo de ejecución del proyecto.

Este proyecto sirve como apoyo de importancia a la actual investigación ya que aporta las técnicas de estudio para el reemplazo eficiente del sistema actual con respecto al sistema que se busca diseñar, brindando las herramientas para adaptar las instalaciones existentes al nuevo sistema de transmisión, evaluando y seleccionando los materiales y procedimientos a seguir para la implementación.

2.2 Bases Teóricas.

En congruencia con Behar Daniel (2008), “El marco teórico nos amplía la descripción del problema. Integra la teoría con la investigación y sus relaciones mutuas.” (p.33). Es decir, el marco teórico apoya a explicar el problema y para su correcto desarrollo debe estar basado en la relación de la investigación y la teoría necesaria para comprender, analizar y concluir la investigación en sí.

2.2.1 Secadora de granos.

La secadora de granos es una máquina agrícola que reduce la humedad de los granos cosechados a un nivel compatible con un almacenaje seguro. Este proceso se conoce generalmente como secado de los granos. Especialmente en los cultivos estivales, que se cosechan en otoño, la humedad del grano cosechado suele ser superior a la admisible para su almacenaje seguro. La secadora seca insuflando aire previamente calentado a través de los granos. Al pasar por los granos, este aire los calienta, por lo que deben ser enfriados antes de almacenarlos. Por ello las secadoras también cuentan por lo general con un sector de enfriado, usando para ello aire a temperatura de ambiente (ver figura 3).



Figura 3: Secadora de granos de tipo vertical.
Fuente: Megadryers, (2.014).

2.2.2 Acondicionamiento de granos.

Por acondicionamiento de granos se entiende al conjunto de operaciones posteriores a la cosecha al que se somete los granos para debidamente almacenados y para su posterior procesamiento. Este conjunto de operaciones comprende un proceso de secado donde se disminuye la humedad del grano a valores por debajo de 12%, así como la extracción de las impurezas (menor al 1%).

2.2.3 Silo de almacenamiento.

Un silo es una construcción diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel (ver figura 4); son parte del ciclo de acopio de la agricultura. Los más habituales tienen forma cilíndrica, asemejándose a una torre, construida de madera, hormigón armado o metal.



Figura 4: Banco de silos para almacenaje de granos.
Fuente: Brock Grain System, (2.015).

2.2.4 Transportador de tornillo sin fin.

Los transportadores de tornillo sin fin son instalaciones transportadoras para materiales a granel (ver figura 5), que se basan en el principio de funcionamiento del tornillo de Arquímedes. El elemento transportador es un metal plano moldeado en forma de hélice (hélice de tornillo sin fin). Esta rota alrededor del eje longitudinal y transporta el material a granel en una artesa o un tubo en reposo en dirección axial, que a su vez sirve como elemento portante.



Figura 5: Transportador de tornillo sin fin.
Fuente: Rodríguez H. (2.012).

2.2.5 Elevador de cangilones.

Son máquinas de transporte continuo que se emplean para la manipulación de materiales a granel (ver figura 6) como talcos granulados y en pedazos pequeños por una traza vertical o inclinada (más de 60 grados sobre la horizontal), sin que se produzcan paradas entre la carga y descarga del material transportado.



Figura 6: Elevadores de cangilones.
Fuente: Brock Grain System (2.015).

2.2.6 Transportador de banda.

Una cinta transportadora es un elemento o maquinaria de carácter principalmente electromecánico, destinado a trasladar productos y materias primas entre dos o más puntos, alejados entre sí. Transportan de forma horizontal o inclinada objetos sólidos o materiales a granel, pudiendo recorrer grandes distancias a grandes velocidades. Las cintas transportadoras pueden ser fijas o móviles. Se denominan cintas fijas a aquellas cuyo emplazamiento no puede cambiarse. Las cintas móviles cuentan con sistemas que permiten cambiar su emplazamiento, como por ejemplo ruedas. Son utilizadas en obras o en canteras puntuales donde sea necesario transportar material de inmediato.

El principal elemento de la cinta transportadora es la banda, ya que es la encargada de contener el material transportado y de transmitir la fuerza para transportar la carga. La banda está apoyada sobre unas estaciones que contienen rodillos, que, con su giro, permiten el avance de la banda. En los dos extremos, se encuentran los

tambores donde la banda se enrolla. Uno de estos tambores (normalmente el que se encuentra situado en cabeza, es decir, en la parte superior), está acoplado a un motor, que le confiere la potencia necesaria para accionar el movimiento. En la Figura 7, se muestra un esquema con los diferentes elementos que componen la cinta, que en los siguientes apartados serán explicados con más detalle.

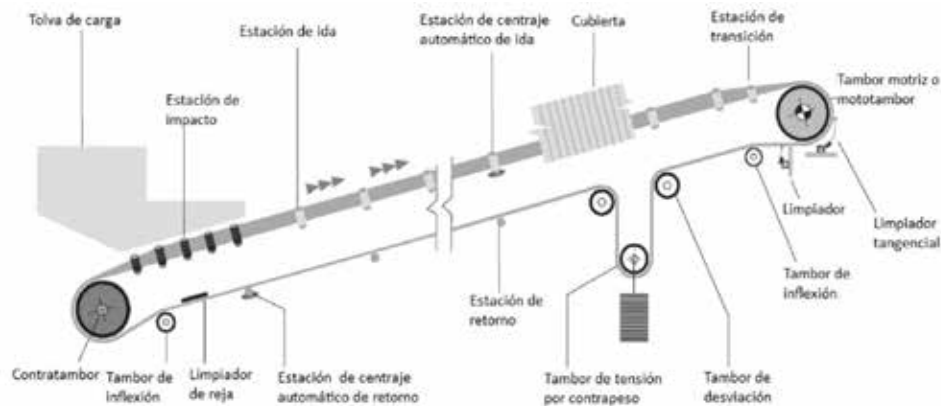


Figura 7: Elementos en una cinta transportadora.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

2.2.7 Tipos de Cinta Transportadoras.

- **Cintas con cadenas:** Están formadas por eslabones de cadena sin fin que se encuentran enlazados, y que giran alrededor de ruedas dentadas motorizadas, en los extremos del camino. Las cadenas viajan a lo largo de canales que proporcionan soporte para las secciones flexibles de la cadena, sobre la que se monta la carga. La anchura de la banda depende del número de cadenas que se sitúen en paralelo (ver figura 8).



Figura 8: Cinta con cadenas.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Cintas con listones:** Este sistema emplea listones o tablillas conectadas a una cadena continua en movimiento. Aunque el mecanismo impulsor es la cadena, funciona en gran medida como una cinta plana. Las cargas se sitúan sobre la superficie plana de las tablillas y se desplazan con ellas (ver figura 9).



Figura 9: Cinta con listones.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Cintas con rodillos:** Se utilizan en operaciones de procesado, de almacenamiento y en aplicaciones de distribución. Está formado por una serie de tubos (rodillos) perpendiculares a la dirección de avance. Los pallets o bandejas que llevan la carga unitaria se desplazan a medida que giran los rodillos.

- **Cintas con ruedas:** Estas cintas poseen pequeñas ruedas, similares a las que se utilizan en los patines de línea, que se montan sobre ejes rotatorios conectados al armazón. Su utilidad es similar a la de las cintas con rodillos, se encarga de trasladar pallets, bandejas o contenedores. Sin embargo, en este tipo de cintas, las cargas deben ser más ligeras en general, ya que la carga se distribuye entre los pequeños puntos de contacto (las ruedas), concentrando ahí los esfuerzos (ver figura 10).



Figura 10: Cinta de rodillos y ruedas.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Cintas planas:** En las cintas planas, los materiales se sitúan sobre la superficie de una banda, que viaja a lo largo del recorrido (ver figura 11). La banda realiza un camino de ida, en el que transporta el material, y un camino de retorno, desprovisto de carga, formando así un lazo continuo. La banda se desliza sobre rodillos a lo largo de todo su recorrido, y en los extremos, cambia de dirección gracias a los tambores.



Figura 11: Cinta plana.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Cintas de carro sobre rieles:** Este tipo de transportador utiliza carros individuales que se montan sobre dos rieles. Los carros no son impulsados individualmente, sino que son impulsados por un tubo rotatorio (spinning tube) que se localiza entre los rieles. El carro lleva en la parte inferior una rueda motriz, la cual se apoya en el tubo, formando un ángulo. El giro del tubo se convierte en el avance del carro, y la velocidad puede ser controlada regulando el ángulo de contacto. Este sistema proporciona gran precisión en el posicionamiento de objetos, por lo que es utilizado para piezas para la manufactura o procesado. Las aplicaciones para este sistema incluyen las líneas de soldadura robótica y sistemas de ensamblaje automático.

- **Cintas aéreas de carros:** Se trata de unos soportes que se mueven sobre un riel elevado del que cuelga la carga y que se encuentran espaciados mediante una cadena sinfín o cable. La cadena o cable está unida a una rueda que proporciona energía al sistema. El camino a recorrer es determinado por los rieles, y esta configuración permite la existencia de giros, cambios de elevación y curvas, creando un circuito cerrado. Este tipo de cinta se utiliza en fábricas para mover piezas y conjuntos de

ensamblaje entre los principales departamentos de producción. También puede utilizarse para tareas de mantenimiento.

- **Cintas por cable enterrado:** Estos sistemas emplean vehículos con ruedas impulsados por medio de cadenas o cables en movimiento situados en zanjas en el suelo, las cuales determinan el recorrido. Los carros emplean clavijas reforzadas de acero para acoplarse a la cadena. Dichas clavijas se pueden extraer de la zanja para liberar al carro del avance de la cadena y realizar las operaciones de carga/descarga (ver figura 12).



Figura 12: Cinta sobre rieles, aérea y por cable enterrado.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

2.2.8 Banda transportadora.

La banda es uno de los elementos más importantes de toda la instalación, ya que sobre ella se disponen los elementos a transportar. Por ello, su coste suele ser uno de los más elevados de toda la instalación.

Las principales funciones que debe cumplir son las siguientes:

- Transportar la carga.
- Absorber las tensiones desarrolladas en el arranque.
- Absorber la energía de impacto en el punto de carga.
- Resistir a los efectos de temperatura y agentes químicos.
- Cumplir con los requisitos de seguridad.

Las bandas son elementos normalizados que se designan por códigos. A continuación, se muestra un esquema explicativo de los distintos dígitos que posee la denominación (Ver Figura 13).

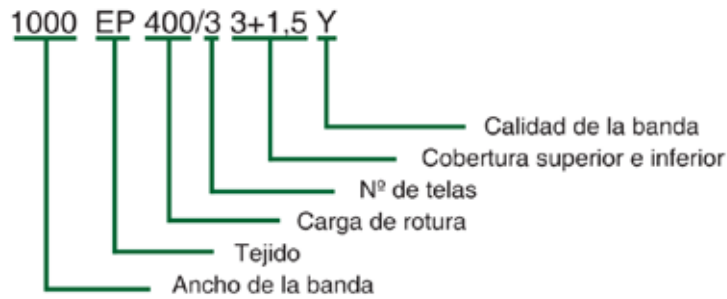


Figura 13: Nomenclatura de bandas transportadoras.
Fuente: Martínez, C. (2.018).

· **Tipos de bandas.**

En la actualidad existe una gran variedad de bandas. A continuación, indican las principales clasificaciones (ver figura 14) y designaciones del tipo de tejido (ver figura 15):

Según el tipo de tejido	Algodón
	Tejidos sintéticos
	Con cables de acero
Según la disposición del tejido	De varias telas o capas
	De un tejido sólido
Según el aspecto de la superficie portante de la carga	Lisas
	Rugosas
	Nervadas

Figura 14: Clasificación de las bandas transportadoras.
Fuente: Martínez, C. (2.018).

Tejidos empleados en bandas transportadoras	
Tipo de Tejido	Designación
Algodón	B
Rayón	Z
Poliéster	E
Poliamida	P
Cables de acero	St

Figura 15: Tejidos empleados en bandas transportadoras.
Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

· **Constitución de la banda.**

La banda está sometida a la acción de fuerzas longitudinales, que producen alargamientos, del peso del material entre las estaciones de rodillos portantes, el cual produce flexiones locales, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal y a impactos del material sobre la cara superior de la banda, que producen erosiones sobre la misma. Por ello, está formada por:

- **Urdimbre:** Conjunto de hilos que se colocan en el telar paralelamente unos a otros para formar una tela. Soporta los esfuerzos de tracción longitudinales, es en general bastante más resistente.

- **Trama:** Conjunto de hilos que, cruzados y enlazados con los de la urdimbre, forman una tela. Soporta esfuerzos transversales secundarios, derivados de la adaptación a la forma de artesa y de los producidos por los impactos, por lo que su rigidez no debe ser excesiva.

- **Recubrimiento:** Están formados por elastómeros (caucho natural), plastómeros (PVC), u otros materiales, como goma. Sirven para unir los elementos constitutivos de la carcasa, y constan de dos partes: la superior y la inferior. El recubrimiento superior es el que soporta el material, y el inferior es el que está en contacto con los rodillos, por lo que el recubrimiento superior tendrá mayor espesor que el inferior.

· **Uniones.**

Las uniones de las bandas pueden ser:

- **Vulcanizadas:** Se utilizan en bandas cortas, del orden de 20-30 m, suministrándose ya cerradas (Ver Figura 16).

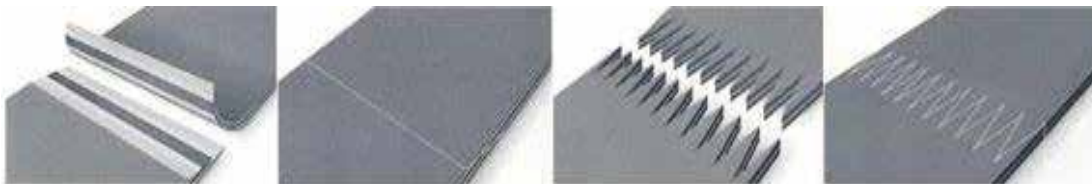


Figura 16: Diferentes empalmes vulcanizados.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Grapadas:** Este método se utiliza en bandas largas (Ver Figura 17).



Figura 17: Banda transportadora grapada.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

Los valores mínimos necesarios de resistencia a la tracción, alargamiento de rotura longitudinal y abrasión de los distintos materiales que pueden emplearse en la fabricación de las bandas transportadoras está recogida en las normas DIN 22102 y 22131, estableciéndose las categorías W, X, Y, Z. (Ver Figura 18).

Propiedades mecánicas de los recubrimientos de bandas transportadoras				
Tipos de recubrimientos	W	X	Y	Z
Resistencia a la tracción longitudinal (N/mm ²)	18	25	20	15
Alargamiento de rotura longitudinal (%)	400	450	400	350
Abrasión (mm ³)	90	120	150	250

Figura 18: Propiedades mecánicas de los recubrimientos de bandas transportadoras.

Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

También es posible encontrar en alguna literatura técnica que, según el uso o propiedades de la banda, éstas también pueden designarse con otro tipo de nomenclatura (ver figura 19).

Designación de bandas transportadoras	
Designación	Características de la banda
E	Propiedades antiestáticas
K	Propiedades antiestáticas y resistente a la llama
S	Resistente a la llama con o sin propiedades antiestáticas
T	Resistentes al calor
R	Resistentes al frío
G	Resistente a la presencia de aceites y grasas
A	Apta para el transporte de alimentos
C	Destinada al transporte de productos químicos

Figura 19 Designación de bandas transportadoras.

Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

2.2.9 Rodillos.

Los rodillos son, al igual que la banda, componentes principales para las cintas, y de su calidad depende el buen funcionamiento de las mismas. Si no giran adecuadamente, aumenta la fricción, produciendo desgastes en los recubrimientos de la banda y reduciendo su vida útil, así como también se producirá un aumento del consumo de energía. La principal función de los rodillos es sustentar la banda cuando lleva el material (en el ramal superior) y transportar la misma de vuelta (ramal inferior). Las dimensiones de los rodillos, se encuentran tabuladas en las normas DIN 15207 y DIN 22107.

· **Constitución de los rodillos.**

Los rodillos pueden fabricarse de diversas maneras. Sus componentes internos pueden crearse en multitud de geometrías, como por ejemplo el sistema de estanqueidad o laberinto. Los principales elementos se detallan en la figura (ver figura 20).

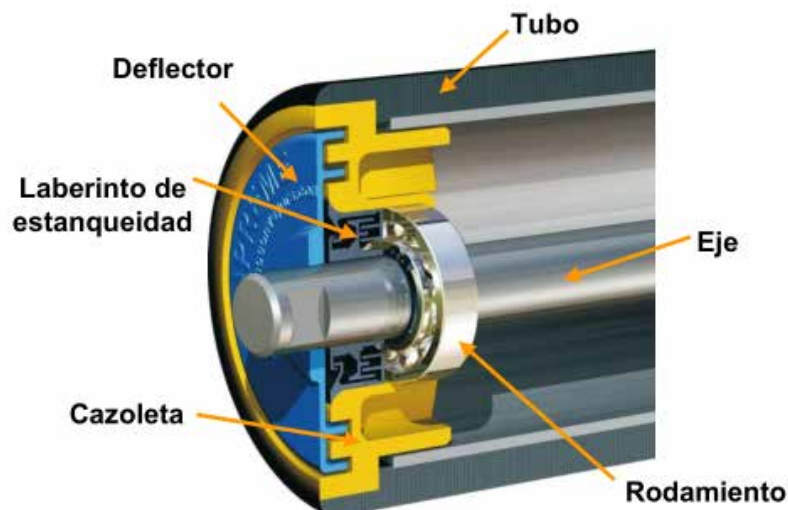


Figura 20: Partes de un Rodillo.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

· **Disposición espacial.**

Para que los rodillos cumplan las funciones anteriores, deben adoptar diversas disposiciones espaciales, las principales se indican a continuación (ver figura 21).








RAMAL SUPERIOR	Un rodillo	
	Dos rodillos situados en V	
	Tres rodillos situados en forma de artesa	
	En guirnalda	
	En catenaria	
RAMAL INFERIOR	Un rodillo	
	Dos rodillos	

Figura 21: Disposición de rodillos.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

· Tipos de rodillos.

Los rodillos son de geometría cilíndrica, y pueden ser lisos, estar recubiertos por goma (para así poder soportar pequeños impactos) o poseer aros de goma (para contribuir a la limpieza de la banda). A continuación, se describen los principales tipos de rodillos:

- **Rodillos superiores o de carga:** Los rodillos superiores sostienen la banda y ayudan a desplazarla. El rodillo de mayor utilización, en caso de una disposición en artesa, es el central, ya que soporta la mayor cantidad de material. Normalmente, los tres rodillos suelen tener la misma longitud, aunque en USA, es común disponer el rodillo central con mayor longitud. Para el transporte de material a granel, se están utilizando ángulos de artesa mayores (35° y 45°) para obtener una mayor capacidad de transporte y mayor control sobre el derrame de material.

- **Rodillos inferiores o de retorno:** La banda se desplaza en su tramo de retorno a través de los rodillos inferiores, que la sostienen y la desplazan. Pueden estar recubiertos de goma.

- **Rodillos de impacto o amortiguadores:** Estos rodillos se encuentran situados en la zona de carga de la cinta, debajo de la tolva de alimentación y el encauzador. Se disponen únicamente en esta zona porque tienen la función de amortiguar el impacto del material cuando llega a la cinta. La distancia entre estas estaciones es menor que en las otras estaciones de la cinta, y ésta depende del tipo de material a transportar, la altura de caída y la velocidad. Se pueden diferenciar del resto de rodillos por su forma geométrica, ya que contienen ranuras para favorecer la absorción de energía, y están recubiertos de caucho (ver figura 22).



Figura 22: Conjunto de rodillos de impacto o amortiguadores.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

· **Rodillos alineadores:** Se trata de unos rodillos que se disponen en la parte superior de las estaciones de rodillos portantes. Se trata de dos pequeños rodillos con su eje casi vertical, situado en las proximidades de los extremos más alejados de los rodillos laterales. Su tamaño es reducido, y sirven para alinear la banda dentro de la propia instalación, y evitar que se salga completamente de la estación (Ver Figura 23).



Figura 23: Rodillos alineadores.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

· **Rodillos autolimpiadores:** Se trata de unos rodillos cilíndricos con aros de goma. Se suelen montar en el ramal inferior de retorno para facilitar la limpieza de la banda (Ver Figura 24).

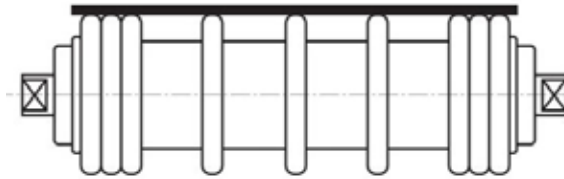


Figura 24: Rodillo autolimpiadores.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

De manera orientativa, se adjunta una tabla del fabricante ULMA (Ver Figura 25), donde se incluyen los valores usuales de separación entre estaciones de rodillos:

Ancho banda m	Paso de las estaciones ida			retorno m
	peso específico del material a transportar t/m ³			
	< 1.2 m	1.2 + 2.0 m	> 2.0 m	
300	1.65	1.50	1.40	3.0
400				
500				
650				
800	1.50	1.35	1.25	3.0
1000	1.35	1.20	1.10	3.0
1200	1.20	1.00	0.80	3.0
1400				
1600				
1800				
2000	1.00	0.80	0.70	3.0
2200				

Figura 25: Paso máximo aconsejable de las estaciones (m).

Fuente: RULMECA, (2.010).

2.2.10 Tambores.

Los tambores son los encargados de hacer cambiar la trayectoria de la banda. Las dimensiones principales de los tambores, diámetro y longitud, se encuentran normalizadas por la norma DIN 22101 y por la norma ISO 1536. La determinación de los diámetros del tambor depende del tipo de banda, de su espesor y de su ancho (Ver figura 26).

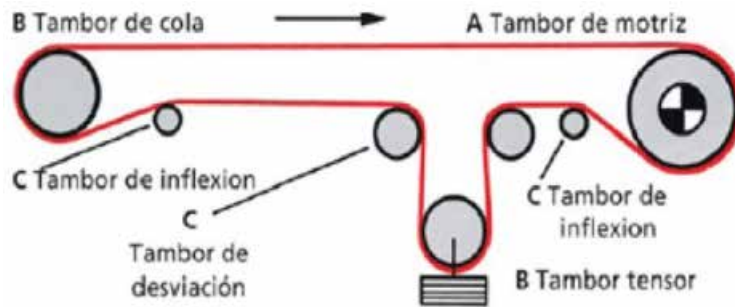


Figura 26: Tipos de tambores.
Fuente: Martínez, C. (2.018).

· **Tipos de tambores.**

Se pueden realizar varias clasificaciones de los tambores que se utilizan en las cintas transportadoras (Ver Figura 27).

MOTRICES	Transmiten las fuerzas tangenciales a la banda. Comúnmente se sitúan en la cabeza de la cinta, en la parte alta o en la zona de descarga.	
NO MOTRICES	Loco o de reenvío	Se localiza en el extremo opuesto al tambor motriz, en cola. Permite el retorno de la banda una vez que esta terminó el recorrido en el tramo portante.
	Desviador o de inflexión	Son situados tras los tambores motrices y de reenvío para aumentar el ángulo de abrazamiento entre la banda y el tambor, y así reducir las tensiones de transmisión en la banda.
	Tensor	Se sitúan en el sistema de contrapeso o de tensado.
	De descarga	Los situados en los trippers.

Figura 27: Clasificación de los tambores.
Fuente: Martínez, C. (2.018).

· **Recubrimientos.**

Al igual que los rodillos, los tambores también pueden ser recubiertos. Los tambores motrices suelen tener un recubrimiento de goma para aumentar la capacidad de transmisión, gracias al aumento del coeficiente de fricción entre la banda y ellos. El engomado puede ser liso, ranurado en V o en rombo (Ver Figura 28). El ranurado tiene como fin recoger la suciedad fina que se forma en la artesa de la banda cuando se transporta materiales húmedos. Esta suciedad se desborda en el tambor motriz cuando

la banda pasa de disposición en artesa a plana. Los espesores del recubrimiento varían en función del tambor, y se sitúan en torno a 8-15 mm. Los tambores de reenvío y contrapeso, no suelen engomarse.



Figura 28: Tipos de engomado del tambor.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Equilibrado.**

Las imperfecciones propias de la fabricación de la envolvente del tambor, provocan que exista el riesgo de que quede desequilibrado, una vez mecanizado. Por ello, los tambores se someten a equilibrados estáticos, lo que se logra de una forma sencilla y con suficiente aproximación, apoyando los extremos del eje del tambor en dos soportes metálicos nivelados con aristas mecanizadas. En tambores grandes, con velocidades tangenciales elevadas, sería conveniente un equilibrado dinámico.

- **Mototambores.**

Los mototambores reúnen dos componentes fundamentales en el movimiento de la cinta. Se trata de un tambor en el que en su interior posee todos los elementos que conforman un motor eléctrico, desde su entrada de energía hasta los engranajes reductores de velocidad. Estos mototambores están normalizados, y su potencia está limitada hasta 22 kW aproximadamente (Ver Figura 29).



Figura 29: Mototambor.
Fuente: Martínez, C. (2.018).

2.2.11 Sistema motriz.

El sistema motriz está compuesto por el motor, el acoplamiento, el reductor, el freno y los mecanismos antirretorno. Se deben seleccionar de forma adecuada, ya que el funcionamiento del conjunto influye en la vida útil de la banda. La forma en la que se efectúa el arranque, influye en el comportamiento de la banda en las curvas verticales, en el recorrido de los tambores tensores y a la pérdida de fricción en el tambor motriz. Del sistema motriz también depende la seguridad de funcionamiento de la instalación.

- **Motor.**

El elemento motriz de mayor uso en los transportadores es el del tipo eléctrico. Para la selección de un motor, hay que cerciorarse de que la potencia mínima sea al menos igual que la requerida a la salida del reductor, y a la entrada del eje del tambor motriz. La potencia en el arranque será algo mayor, por lo que el motor debe ser sobredimensionado, siempre y cuando el coste lo permita. El motor aportará el par necesario para accionar el tambor y poner en funcionamiento la cinta.

- **Reductores.**

El reductor es el elemento encargado de transmitir el par motor y la velocidad correspondiente al tambor motriz. Mediante una serie de engranajes, reduce y aumenta los valores que aporta el motor, para que, a su salida, sean los indicados para el correcto

funcionamiento de la máquina. Es posible aunar el motor y el reductor, formando solo un sólido, llamado motorreductor (Ver Figura 30).



Figura 30: Reductores.
Fuente: Martínez C, (2.018).

· **Frenos y mecanismos antirretorno.**

Los frenos más utilizados son los de disco, situados en el eje del reductor. En algunos casos, generalmente en cintas descendentes, se montan en el eje del tambor.

En las cintas con cierta pendiente, además del freno se dispone de un sistema de anti retorno. Su función consiste en retener la carga en las cintas inclinadas ascendentes, en caso de parada. Estos sistemas antirretornos actúan como un elemento de seguridad.

2.2.12 Equipos de limpieza.

El mantenimiento de la limpieza de la banda, ya sea en su lado portante o en el ramal de retorno, como también en su lado de rodadura, es importante para el correcto funcionamiento de la cinta y de todo el transportador en general. Cuando el material transportado es pegajoso, tiende a quedarse adherido a la parte superior de la banda, lo que ocasiona que, en el tramo de retorno, este material adherido se vaya acumulando en los rodillos horizontales inferiores, lo que produce que los mismos vayan variando su diámetro y se produzcan desplazamientos laterales de la cinta, que llevan a grandes daños en sus bordes de la misma.

El material que se derrama sobre el lado de rodadura en el ramal inferior, tiende a acumularse en el tambor de reenvío, produciendo daños en la carcasa. Su

acumulación hace variar el diámetro del tambor de forma no uniforme, lo que atenta contra la correcta alineación de la cinta.

Una buena limpieza supone grandes ahorros en el mantenimiento y en la duración de las vidas útiles de los elementos. Una mala limpieza provoca:

- La capacidad de carga transportada disminuye.

- La mano de obra empleada en la limpieza del material fugitivo, depositado en bastidores y suelo, mantenimiento de los equipos de limpieza y atención al desvío de bandas, supone un alto coste.

- En cintas de gran capacidad, se instalan transportadores especiales de baja longitud, que se encargan de recoger el material desprendido por la cinta grande y lo incorporan a la vena principal.

- **Tipos de rascadores.**

A continuación, se describen los rascadores que actúan sobre el tambor motriz:

- **Rascador pendular de contrapeso, con tiras de goma:** Es muy utilizado, sin embargo, su eficacia es limitada. Se emplea en cintas sencillas sin grandes exigencias de limpieza. Está constituido por unas partes metálicas que soportan las tiras o tacos de goma, montadas sobre un contrapeso de modo que mantengan una presión constante sobre la cinta (Ver Figura 31).



Figura 31: Rascador de contrapeso.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Rascador principal con láminas de rascado independientes y tensión por brazo de torsión:** Es más más eficaz que el anterior, pero no consigue una limpieza perfecta. Si el material es muy pegajoso no se elimina totalmente. Para mejorar su eficacia, se instala un rascador previo. Los más comunes son los constituidos por una lámina de goma maciza tomada de un bastidor y en contacto con la banda presionando sobre ella por debajo del tambor de accionamiento y antes de que la misma se separe de él (Ver Figura 32).



Figura 32: Rascador principal.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Rascador previo:** Situado antes del principal, con tacos gruesos de goma como elementos de rascado y forma constructiva similar al anterior. Se emplea cuando el material es pegajoso y de limpieza difícil. El mayor problema con estos rascadores es la reposición de los elementos limpiadores cuando estos se han desgastado, por la dificultad de acceso a los mismos.

- **Cepillo rotativo:** Este cepillo está formado por tiras de nylon o de láminas de goma, que giran acompañando el sentido de marcha de la cinta en el punto de contacto o pueden estar motorizados y girar en sentido contrario provocando una acción más efectiva de limpieza (Ver Figura 33).



Figura 33: Cepillo rotativo.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

Los rascadores que actúan sobre los demás tambores, son:

- **Rascador en V o deflectores:** Se localiza antes de que la banda llegue al tambor de reenvío. Impide que el material fugitivo, situado sobre la cara interna de la banda, penetre entre las láminas y el tambor. Consiste en un faldón de goma inclinado respecto al eje de la cinta (Ver Figura 34).

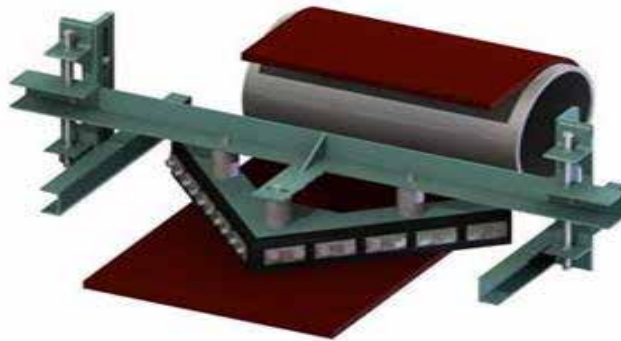


Figura 34: Rascador en V.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- **Rascadores fijos en diagonal:** Consiste en una pletina o placa metálica que se sitúa próxima a la periferia de los tambores de desvío, para impedir la entrada del material pegado a la banda.

En la actualidad existen equipos de limpieza de última tecnología aplicados a las cintas transportadoras, los cuales cuentan con sensores especiales, válvulas de aire, compresores de aire y otros dispositivos modernos, los cuales consiguen una buena limpieza, siendo unos de sus principales inconvenientes su coste de instalación.

2.2.13 Carga y descarga.

La carga y descarga es fundamental para que el material a transportar inicie adecuadamente su recorrido a través de la instalación. Aunque en general las cintas transportadoras se cargan y descargan en los extremos de la misma, es posible efectuar la carga en un punto cualquiera a lo largo de su longitud mediante dispositivos diversos.

· Carga del transportador.

Una correcta selección de la forma de depositar la carga sobre la cinta, asegura un prolongamiento de la vida de la misma, ya que es en esta zona de carga donde la cinta sufre los mayores problemas de desgaste y sobre esfuerzo. Normalmente la transferencia del material transportado hacia la cinta se realiza a través una tolva de carga o encauzado. Para el diseño de la misma, se deben tener en cuenta algunas consideraciones:

- Es conveniente que el material transportado entre en contacto con la cinta en la misma dirección de marcha y a la misma velocidad que ella, o a una velocidad similar, para evitar desgastes prematuros.

- Reducir la altura de caída del material sobre la banda, para evitar daños en su recubrimiento.

- Intentar que el material se deposite de forma centrada sobre la banda, para que ésta no se vea sometida a esfuerzos laterales (ver figura 35) que ocasionan desgaste y no tienda a desviarse.



Figura 35: Resultado de mala alimentación en la carga de la cinta.

Fuente: Martínez, C. (2.018).

- Es conveniente que en los transportadores inclinados la zona de carga sea horizontal.

- El encauzado debe estar ubicado siempre después de la distancia de transición.

- Utilizar rodillos amortiguadores en la zona de carga si la carga posee alto peso específico.

- Las estaciones de rodillos ubicados debajo de la zona de carga deben tener menor distancia entre ellos que en el resto del transportador.

- Si el material transportado presenta diferentes granulometrías, es aconsejable la utilización de un sistema de cribas de modo que permita que la parte más fina del material se deposite primero sobre la cinta, haciendo de colchón a la parte de granulometría más gruesa.

- Es recomendable el uso de faldones laterales en la estructura metálica del encauzado, que estén en contacto con la banda para aquellos materiales de granulometría fina.

- En caso de cargas irregulares que hacen que la cinta vaya en algunos tramos con carga total y en otra completamente vacía, ocasionando problemas de alineamiento, es recomendable el uso de alimentadores que logran uniformar la carga sobre todo el largo de la cinta. El tipo de alimentador dependerá del tipo de carga.

· **Descarga del transportador.**

Lo más frecuente es que la cinta del transportador sea descargada en el tambor motriz en cabeza a través de una tolva de descarga, la cual permite seleccionar la dirección de caída. En estos casos el material describe una trayectoria calculable que permite diseñar los flujos de material. Esta trayectoria depende de la granulometría del material, del grado de adherencia y de la velocidad de la banda, entre otros factores. La descarga puede ser realizada también a través de un sistema de tambores dobles denominado carro de descarga o tripper. Consiste en una estructura situada sobre el bastidor de la cinta, que soporta dos tambores: el superior, más avanzado respecto al sentido de marcha y el inferior más atrasado respecto al mismo sentido.

Cuando la cinta se acerca al tripper, comienza a separarse de las estaciones de rodillos por las que se deslizaba, dirigiéndose hacia el tambor superior. En él, se produce la descarga de material, y la banda es dirigida hacia el tambor inferior, donde cambia de trayectoria para volver a su estado inicial, sobre las estaciones de rodillos en artesa.

2.2.14 Estructura del bastidor.

El bastidor lo constituye el entramado metálico de perfiles estructurales, generalmente de acero, que sostiene a la cinta transportadora y a todos los demás elementos y componentes que constituyen el sistema. La estructura del bastidor (ver figura 36) se adapta al medio de trabajo según la zona donde la cinta se ubique y el tipo de servicio que realice. En la zona donde se produce la descarga de material sobre la cinta, el bastidor suele adaptarse mediante un entramado y geometría diferente de perfiles estructurales. En este primer tramo de la cinta, la estructura del bastidor deberá diseñarse para sustentar a los diversos componentes que se suelen instalar en esta zona de la cinta, como son los rodillos amortiguadores con sus estaciones correspondientes, el tambor de reenvío, el elemento de encauzado, rodillos inferiores, rascador, además de la parte proporcional de la cinta.

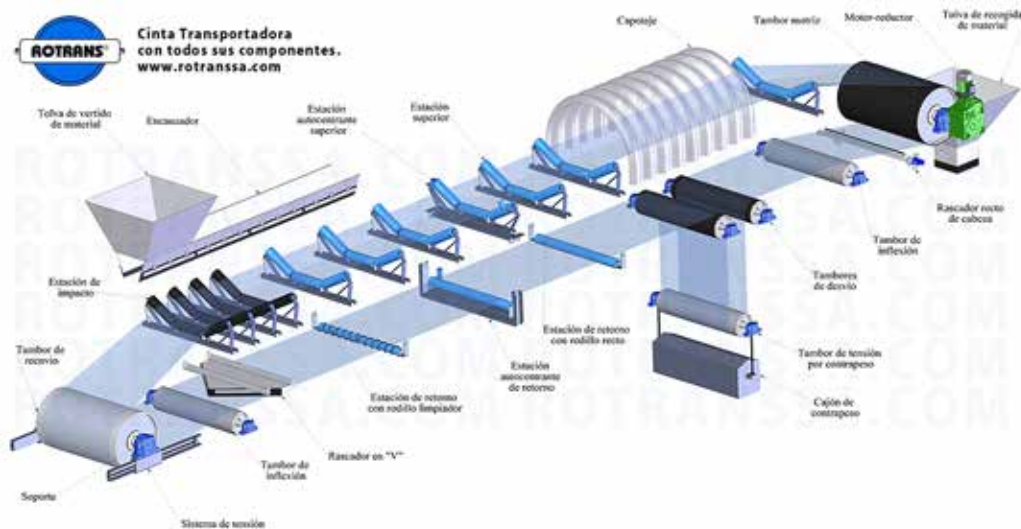


Figura 36: Cinta transportadora con todos sus componentes.

Fuente: ROTRANS, S.A. (2.013).

Otra geometría de bastidor más liviana se emplea para el cuerpo central de la cinta y que abarca el mayor tramo de recorrido. El bastidor del cuerpo central sustenta la mayor proporción de recorrido de la cinta, además de las estaciones de rodillos, por lo que el diseño debe realizarse de tal manera que optimice el peso de la estructura, sin penalizar su estabilidad y resistencia. Por último, el bastidor motriz es la estructura

soporte que se encuentra sólo en la parte final del recorrido de la cinta. Esta parte del bastidor sustenta tanto a los rodillos superiores como al tambor motriz, rodillos inferiores, rascador de láminas, así como el equipo motorreductor, además de la parte proporcional correspondiente al tramo final de la cinta.

2.2.15 Sistema de tensado.

Se trata de un sistema que permitirá mantener la tensión en la banda, asegurando el buen funcionamiento del sistema (ver figura 37). Este sistema cumple las siguientes funciones:

- Al tensar la banda, consigue el adecuado contacto entre el tambor y banda.
- Evitar derrames de material en las proximidades de los puntos de carga, motivados por falta de tensión en la banda.
- Compensar las variaciones de longitud producidas por los cambios de tensión.
- Mantener la tensión adecuada en el ramal de retorno durante el arranque.

El tensado de la cinta debe ser tal que no permita el resbalamiento entre la cinta y el tambor de accionamiento. El resbalamiento causa daños en la superficie interior de la banda y en el recubrimiento de los tambores motrices. Los sistemas tensores se colocan preferentemente sobre el carril inferior, cerca del tambor de accionamiento. Los más utilizados son el tensor automático, fijos y por gravedad.

Siempre y cuando la cinta transportadora tenga una longitud de considerablemente larga, se deben usar estos sistemas de tensado activo. Cuando la cinta transportadora es de corta longitud, se puede tensar la banda con simples ajustes usando el tambor motriz o de reenvío como elementos tensores.

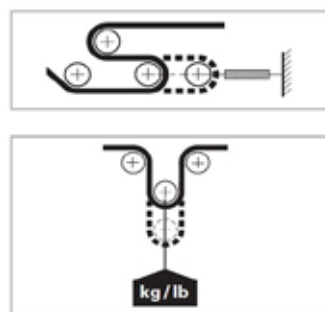


Figura 37: Diferentes sistemas de tensado activo.

Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

2.2.16 Velocidad de avance de la cinta.

Uno de los factores que más influye en la capacidad de transporte de una cinta es la velocidad de avance (v) de la banda. En general, la velocidad de avance de una cinta va a depender del tipo de material que se transporte, de manera que la velocidad máxima de avance de una cinta transportadora va a estar limitada por el tipo de material transportado.

Además, conocer la velocidad de avance de una cinta es necesario para poder establecer un ritmo de descarga adecuado de material sobre la cinta, de manera que no se origine el agolpamiento del material en el lugar de alimentación de la cinta. En general una cinta transportadora podrá trabajar a más velocidad de avance conforme aumenta la anchura de la banda, ya que en cintas más anchas el porcentaje del material en contacto con la banda resulta menor que en las cintas más estrechas, ocasionando así menos desgaste de la banda.

2.2.17 Anchura de la banda.

Es evidente que la anchura de la banda también influye directamente sobre la capacidad de transporte de una cinta. Aunque no hay una norma fija que ayude a determinar a priori el ancho de banda de una cinta, parece lógico pensar que el tamaño máximo predominante de los trozos del material que vaya a transportar la cinta influya en la elección de su ancho de banda.

Por lo general, y a raíz de los resultados de la buena práctica en el uso de cintas transportadoras, se suele fijar el ancho de banda de tal manera que éste sea mayor, por lo menos, a cinco o seis veces el tamaño de los trozos que predomine en el material, y siempre se recomienda que el ancho de banda sea mayor a cuatro veces el tamaño de los mayores trozos que contenga el material.

2.2.18 Disposición de los rodillos.

La disposición de los rodillos bajo la banda es fundamental para conseguir una sección transversal de material óptima, y mejorar la capacidad de transporte de la cinta. En general, esta disposición puede hacerse en forma horizontal empleando juegos de tres a cinco rodillos formando una cuna o abarquillamiento con objeto de dotar de cierta concavidad a la sección de la banda. La separación entre filas de rodillos dependerá del ancho de la cinta y del peso específico del material transportado.

En la zona de descarga del material sobre la cinta, los rodillos deberán ir colocados a distancias mucho más próximas. Sin embargo, es importante que los rodillos no estén exactamente debajo de la zona de descarga del material, ya que se produciría un martilleo continuo sobre la cinta. Además, se recomienda situar en esta zona rodillos amortiguadores ranurados, de manera que absorban la energía y amortigüen el impacto producido por el material al caer sobre la cinta. Además, también se suelen emplear rodillos guía laterales que se colocan en la cinta para facilitar el guiado de la banda en su continuo movimiento de avance.

2.2.19 Ángulo de inclinación máxima de la cinta.

Otro parámetro que es muy importante conocer es el ángulo de máxima inclinación que puede tener una cinta transportadora para aquellos casos donde la cinta no tiene una posición horizontal, o tenga tramos con una inclinación ascendente o descendente. En este caso interesa conocer cuál es la inclinación máxima que se le puede dar a la cinta para que el transporte de un determinado material se pueda realizar con seguridad, y sin que se produzcan desprendimientos o caídas de trozos de material.

Evidentemente la inclinación máxima que puede adoptar una cinta dependerá del tipo de material que transporte, estando el valor de este parámetro determinado por el grado de fricción que se establezca entre el material y la banda. En cualquier caso, el ángulo de inclinación máxima de la cinta deberá ser menor que el llamado ángulo de sobrecarga del material que transporte. A continuación, se incluye la tabla (ver figura 38) que permite determinar el ángulo de máxima inclinación de la cinta transportadora en función del tipo de material que transporta:

Ángulo de la máxima inclinación de una cinta transportadora	
Material	Inclinación máxima de la cinta
Arcilla fina	15°
Arena seca	16° - 18°
Asfalto	16° - 18°
Basalto	18°
Caliza	18°
Cemento	18° - 20°
Cenizas de carbón	20°
Cobre	20°
Coque	18°
Cuarzo	18°

Figura 38: Angulo de la máxima inclinación de una cinta transportadora.
Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

2.2.20 Características del material a transportar.

A la hora de diseñar una cinta transportadora resulta muy importante tener en cuenta las diferentes características del tipo de material que va a ser transportado por la cinta. Entre las características del material que interesa saber están el tamaño y forma del material, su peso específico, el valor del ángulo de reposo y de sobrecarga, si es o no un material abrasivo, o la temperatura que tendrá el material al entrar en contacto con la banda. A continuación, se describe la influencia de cada una de las anteriores propiedades en el diseño de una cinta transportadora:

- **Tamaño del material.**

El tamaño del material que transporte una cinta influye en la elección del ancho de banda de la cinta. Evidentemente, a mayor tamaño de los trozos que conforman el material transportado, mayor anchura tendrá que tener la banda transportadora para evitar derrames de material por lo laterales de la banda. Por lo general, y a raíz de los resultados de una buena práctica en el uso de cintas transportadoras, se suele fijar el ancho de banda de tal manera que éste sea mayor, por lo menos, a cinco o seis veces el tamaño de los trozos que predomine en el material, y se recomienda que el ancho de banda sea siempre mayor a cuatro veces el tamaño de los mayores trozos que contenga el material.

- **Peso específico.**

La capacidad de transporte de una cinta transportadora depende en gran medida del valor del peso específico del material que transporte, como se verá más adelante en el proceso de cálculo de la capacidad de transporte en masa de una cinta. En la figura 39, se encuentran tabulados algunos de los alimentos comúnmente usados, donde podemos conseguir su peso específico, y el ángulo de rozamiento interno.

Producto	Peso Específico (kg/m ³)	Ángulo de Rozamiento Interno
Avena	450	30°
Azúcar	750	35°
Cebada	650	25°
Centeno	800	35°
Guisantes	800	25°
Harina	500	45°
Heno prensado	170	-
Judías	750	30°
Maíz	750	25°
Malta triturada	400	45°
Patatas	750	30°
Remolacha azucarera, desecada y cortada	300	40°
Remolacha, nabos, zanahorias	750	30°
Sémola	550	30°
Trigo	750	25°

Figura 39: Productos, peso específico, ángulo de rozamiento interno.

Fuente: Rodríguez, H (2.012).

- **Ángulo de reposo y ángulo de sobrecarga.**

Dos parámetros muy importantes que van a condicionar en gran medida el diseño de una cinta transportadora son el ángulo de reposo y el ángulo de sobrecarga del material que transporte la cinta (ver figura 40). El ángulo de reposo de un material es el ángulo que se forma al verter el material desde una cierta altura, es decir, es el máximo ángulo posible que se forma para la pendiente de una acumulación de material. En un material granuloso cualquiera, el ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas, pero en los materiales granulares sin cohesión, donde las partículas son muy pequeñas en relación al tamaño del conjunto acumulado, el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno o ángulo

de fricción del material granular. Por otro lado, el ángulo de sobrecarga del material es el ángulo que forma la superficie del material respecto al plano horizontal sobre la cinta en movimiento.



Figura 40: Diferencias entre ángulo de sobrecarga y ángulo de reposo.

Fuente: Rodríguez, H (2.012).

A continuación, se incluye una tabla resumen (ver figura 41) con las principales características de los materiales que son necesarias conocer para iniciar el diseño de una cinta transportadora:

Características de los materiales			
Material	Peso específico (t/m ³)	Ángulo de reposo (°)	Abrasividad
Arcilla fina	1,0 - 1,6	-	Muy abrasiva
Arena seca	1,5 - 1,8	35	Muy abrasiva
Asfalto	0,75	30 - 45	Abrasivo
Basalto	1,4 - 1,7	27 - 35	Abrasivo
Caliza	1,3 - 1,5	38	Abrasivo
Cemento	1,3 - 1,5	30 - 40	Muy abrasivo
Cenizas de carbón	0,7 - 0,8	45	Poco abrasivo
Cobre	1,9 - 2,2	20	Muy abrasivo
Coque	0,5 - 1	30 - 45	Muy abrasivo
Cuarzo	1,3 - 1,45	20 - 29	No abrasivo
Granito	1,4 - 1,5	35	Muy abrasivo
Grava	1,5 - 1,7	32	Muy abrasiva
Harina	0,6 - 0,9	0 - 10	No abrasiva
Fosfatos	1	26	Abrasivo
Lignito	0,7 - 1	40	Abrasivo
Tierra	1,2 - 1,3	35	-
Trigo	0,75	25	No abrasivo
Cebada	0,65	25	No abrasivo
Avena	0,45	30	No abrasivo

Figura 41: Características de los materiales.

Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

- **Temperatura**

La temperatura del material que está en contacto con la banda es también un parámetro importante a tener en cuenta, dado que va a influir en la elección del tipo y la calidad de los recubrimientos de la banda, y también en la vida útil de los rodillos y tambores.

2.2.21 Procedimiento de cálculo de los parámetros de diseño de una cinta transportadora.

- **Datos iniciales de diseño.**

Como datos de partida en el proceso de diseño de una cinta transportadora se suelen disponer de los siguientes:

- Tipo de material de transporte
- Longitud de la cinta (L , en m)
- Ángulo de inclinación de la cinta (φ en °)
- Ancho de banda disponible (B , en mm)
- Velocidad de avance de la cinta (v , en m/s)

A partir de los datos anteriores y haciendo uso de las formulaciones y tablas que se incluyen a continuación, se procede a mostrar paso a paso cómo realizar el cálculo de los parámetros de diseño de una cinta transportadora.

- **Cálculo del área de la sección transversal del material transportado.**

Para calcular el área de la sección transversal del material de transporte, se realiza una aproximación de la sección real a una teórica compuesta del área trapezoidal y triangular (ver figura 42), considerando que la cinta dispone de una configuración típica de rodillos en artesa.

Figura 42: Dimensiones en una banda transportadora.

Fuente: Pizzella Giovanni, (2.006).

La sección transversal (A) del material que simula a la sección real que forma el material se puede calcular sumando la sección trapezoidal y triangular de la figura anterior:

$$A = A_1 + A_2 \quad \text{Ec.1}$$

donde,

$$A_1 = 0,25 \cdot \tan(\beta) \cdot [l + (b$$

$$Q_v = 3600 \cdot v \cdot A \cdot k \quad \text{Ec.6}$$

donde,

Q_v : es la capacidad de transporte volumétrica de la banda ($m^3/$)

v : es la velocidad de avance de la banda (m/s)

A : es el área de la sección transversal del material, que se calcula según lo indicado en el apartado anterior (m^2)

k : es un coeficiente de reducción de la capacidad de transporte por inclinación de la cinta. Si la cinta está inclinada, ya sea de forma ascendente o descendente, su capacidad de transporte disminuye, por lo que es necesario aplicar este factor k de reducción del área transversal. Este coeficiente se puede calcular aplicando la siguiente expresión:

$$k = 1 - 1,64 \cdot \left(\frac{\varphi \cdot \pi}{180}\right)^2 \quad \text{Ec.7}$$

donde,

φ : es el ángulo de inclinación de la cinta ($^\circ$)

La anterior expresión calcula la capacidad de transporte volumétrica, expresado en $m^3/$ de material transportado, pero en multitud de ocasiones interesa conocer la capacidad de transporte de una cinta expresado en toneladas/hora ($t/$). Para ello, será necesario conocer el peso específico (γ) del material transportado por la cinta.

$$Q_m = Q_v \cdot \gamma \quad \text{Ec.8}$$

donde,

Q_m : es la capacidad de transporte en masa de la banda ($t/$)

Q_v : es la capacidad de transporte volumétrica de la banda ($m^3/$)

γ : es el peso específico del material transportado (t/m^3)

· **Esfuerzos tangenciales a los cuales está sometida la cinta:**

El esfuerzo tangencial total tiene que vencer todas las resistencias que se oponen al movimiento y está constituido por la suma de los siguientes esfuerzos:

- Esfuerzo necesario para mover la banda descargada: tiene que vencer los rozamientos que se oponen los movimientos de la banda causados por las estaciones portantes y de retorno, por los contra-tambores y desviadores, etc.;
- Esfuerzo necesario para vencer las resistencias que se oponen al desplazamiento horizontal del material;
- Esfuerzo necesario para elevar el material hasta la cota deseada (en caso de bandas descendentes, la fuerza generada por la masa total transportada se convierte en motriz);
- Esfuerzos necesarios para vencer las resistencias secundarias debidas a la presencia de accesorios (descargadores móviles “Tripper”, limpiadores, raspadores, rebabas de retención, dispositivos de inversión, etc.).

El esfuerzo tangencial total F_U en la periferia del tambor motriz vendrá dado por:

$$F_u = F_a + F_r \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

F_a = Esfuerzo tangencial para mover la banda en cada uno de los tramos de ida.

F_r = Esfuerzo tangencial para mover la banda en cada uno de los tramos de retorno.

Y vienen determinados por las siguientes ecuaciones:

$$F_a = [L \times C_q \times C_t \times f (Q_b + Q_g + Q_{RO}) \pm (Q_g + Q_b) \times H] \times 0.981 [daN] \quad \text{Ec. 10}$$

$$F_r = [L \times C_q \times C_t \times f (Q_b + Q_{RU}) \pm (Q_b \times H)] \times 0.981 [daN] \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

L = Distancia entre ejes del transportador (m)

C_q = Coeficiente de las resistencias pasivas

Coeficiente de las resistencias fijas	
Distancia entre ejes	
m	Cq
10	4.5
20	3.2
30	2.6
40	2.2
50	2.1
60	2.0
80	1.8
100	1.7
150	1.5
200	1.4
250	1.3
300	1.2
400	1.1
500	1.05
1000	1.03

Figura 43: Coeficiente de las resistencias pasivas.
Fuente: RULMECA, (2.010).

C_t = Coeficiente resistencias pasivas debidas a la temperatura.

Coeficiente de las resistencias pasivas debidas a la temperatura

Temperatura °C	+ 20°	+ 10°	0	- 10°	- 20°	- 30°
Factor C_t	1	1,01	1,04	1,10	1,16	1,27

Figura 44: Coeficiente de resistencias pasivas debidas a la temperatura.
Fuente: RULMECA, (2.010).

f = Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias (estaciones)

Coeficiente de rozamiento interior f del material y de los elementos giratorios						
Cintas transportadoras horizontales, ascendentes o ligeramente descendentes	velocidad m/s					
	1	2	3	4	5	6
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores estándares	0,0160	0,0165	0,0170	0,0180	0,0200	0,0220
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores altos en condiciones de trabajo difíciles	desde 0,023 hasta 0,027					
Elementos giratorios de cintas transportadoras descendentes con motor freno y/o generador	desde 0,012 hasta 0,016					

Figura 45: Coeficiente de rozamiento interior.

Fuente: RULMECA, (2.010).

Q_b = Peso de la banda por metro lineal en Kg/m

El peso total de la banda q_b se puede determinar sumándole al peso del núcleo de la banda, el del revestimiento superior e inferior, es decir aprox. 1,15 Kg/m² por cada mm de espesor del revestimiento.

Peso del núcleo de la banda q_{bn}		
Carga de rotura de la banda N/mm	Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m ²	Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m ²
200	2.0	-
250	2.4	-
315	3.0	-
400	3.4	-
500	4.6	5.5
630	5.4	6.0
800	6.6	8.5
1000	7.6	9.5
1250	9.3	10.4
1600	-	13.5
2000	-	14.8
2500	-	18.6
3150	-	23.4

Figura 46: Pesos de núcleo de la banda sugeridos.

Fuente: RULMECA, (2010).

Q_g = Peso material transportado por metro lineal Kg/m

El peso de material de la banda transportado por metro lineal va definido por la ecuación.

$$Q_g = \frac{Q_m}{3,6 V} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

Q_m = Capacidad de transporte en ($\frac{ton}{h}$)

V = Velocidad de la cinta ($\frac{m}{s}$)

Q_{RU} = Peso partes giratorias inferiores, en Kg/m

$$Q_{RU} = \frac{Pprs}{a_0} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$Pprs$ = Peso de las partes giratorias superiores (kg)

a_0 = Paso de las estaciones superiores (m)

Q_{RO} = Peso partes giratorias superiores, Kg/m

$$Q_{RU} = \frac{Ppri}{a_0} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

$Ppri$ = Peso de las partes giratorias inferiores (kg)

a_u = Paso de las estaciones inferiores (m)

H = Desnivel de la cinta transportadora

Donde se utilizará el signo (+) para los tramos de banda ascendentes, y (-) para el tramo descendente.

· **Tensión de la banda:**

De una banda transportadora con movimiento de la banda en régimen, se consideran las diferentes tensiones que se verifican en ésta.

Tensiones T_1 y T_2 :

El esfuerzo tangencial total $F U$ en la periferia del tambor motriz corresponde a la diferencia de las tensiones T_1 (lado tenso) y T_2 (lado lento). Esto se deriva del par motriz necesario para que se mueva la banda y transmitido por el motor.

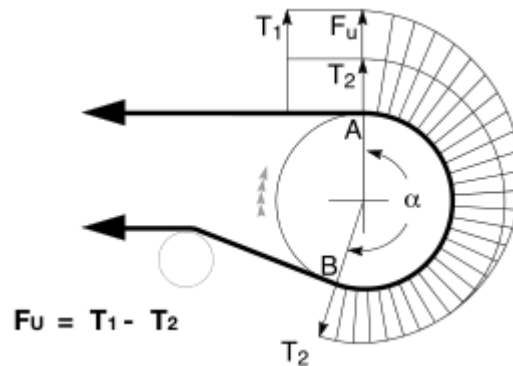


Figura 47: Fuerzas presentes en el tambor motriz.
Fuente: RULMECA, (2.010).

Pasando del punto A al punto B Fig. 21 la tensión de la banda pasa con ley de variación exponencial del valor T_1 al valor T_2

Entre T_1 y T_2 subsiste la relación:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{f_a \alpha} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

f_a = Coeficiente de rozamiento entre banda y tambor, dado un ángulo de abrazamiento

e = Base de los logaritmos naturales 2,718

El signo (=) define la condición límite de adherencia. Si la relación $\frac{T_1}{T_2}$ se vuelve mayor que e^{f_a} , la banda patina en el tambor motriz sin que se transmita el movimiento.

De las relaciones antedichas se obtiene:

$$T_1 = F_U + T_2 \quad \text{Ec. 16}$$

$$T_2 = F_U \left(\frac{1}{e^{f_a \alpha} - 1} \right) = F_U \times C_w \quad \text{Ec. 17}$$

El valor C_w , que definiremos factor de abrazamiento, es función del ángulo de abrazamiento de la banda en el tambor motriz (puede alcanzar los 420° cuando se tiene

un doble tambor) y del valor del coeficiente de rozamiento f a entre la banda y del tambor.

De este modo se es capaz de calcular el valor mínimo de tensión de la banda al límite de adherencia (de la banda en el tambor) al acercarse y al alejarse del tambor motriz. Hay que notar, además, que la adherencia de la banda con el tambor motriz se puede asegurar mediante un dispositivo llamado tensor de banda utilizado para mantener una adecuada tensión en todas las condiciones de trabajo.

Factor de abrazamiento C_w

Tipo de motorización	Ángulo de abrazamiento α	tensor de contrapeso tambor		tensor de tornillo tambor	
		sin revestimiento	con revestimiento	sin revestimiento	con revestimiento
	180°	0.84	0.50	1.20	0.80
	200°	0.72	0.42	1.00	0.75
	210°	0.66	0.38	0.95	0.70
	220°	0.62	0.35	0.90	0.65
	240°	0.54	0.30	0.80	0.60
	380°	0.23	0.11	-	-
	420°	0.18	0.08	-	-

Figura 48: Factor de abrazamiento C_w .

Fuente: RULMECA, (2.010).

Una vez establecido el valor de las tensiones T_1 y T_2 analizaremos las tensiones de la banda en otras zonas críticas de la banda transportadora, es decir:

- Tensión T_3 correspondiente al tramolento del contratambor;
- Tensión T_0 mínima en la cola, en la zona de carga del material;
- Tensión T_g de la banda en el punto de situación del dispositivo de tensión;
- Tensión T_{MAX} máxima de la banda.

Tensión T_3

Como ya se ha definido

$$T_1 = Fu + T_2 \text{ y } T_2 = F_U \times C_w \quad \text{Ec. 18}$$

La tensión T_3 que se genera al acercarse al contra tambor (Fig. 22) viene dada por la suma algebraica de la tensión T_2 y de los esfuerzos tangenciales F_r correspondientes a cada uno de los tramos de retorno de la banda.



Figura 49: Tensiones presentes en la cinta transportadora.

Fuente: RULMECA, (2.010).

Por tanto, la tensión T_3 viene dada por:

$$T_3 = T_2 + F_r \quad \text{Ec. 19}$$

Tensión T_0

La tensión T_3 mínima requerida, al alejarse del contra tambor, además de garantizar la adherencia de la banda con el tambor motriz, para transmitir el movimiento, tiene que tener una flecha de flexión de la banda, entre dos estaciones portantes consecutivas, que no supere el 2% del paso de las estaciones mismas. Esto sirve para evitar desbordamientos de material de la banda y excesivas resistencias pasivas, causadas por la dinámica del material con el paso por las estaciones

La tensión T_0 mínima necesaria para mantener un valor de flecha del 2% viene dada por la siguiente relación:

$$T_0 = 6,25 (Q_b + Q_g) a_0 \quad 0,981 [daN] \quad \text{Ec. 20}$$

donde:

Q_b = peso total de la banda por metro lineal. $\left(\frac{kg}{m}\right)$

Q_g = peso del material por metro lineal; $\left(\frac{kg}{m}\right)$

a_0 = paso de las estaciones de ida (m)

En caso de que se desee mantener la flecha con un valor inferior al 2%, hay que sustituir el valor 6,25:

- Para flecha 1,5% = 8,4
- Para flecha 1% = 12,5

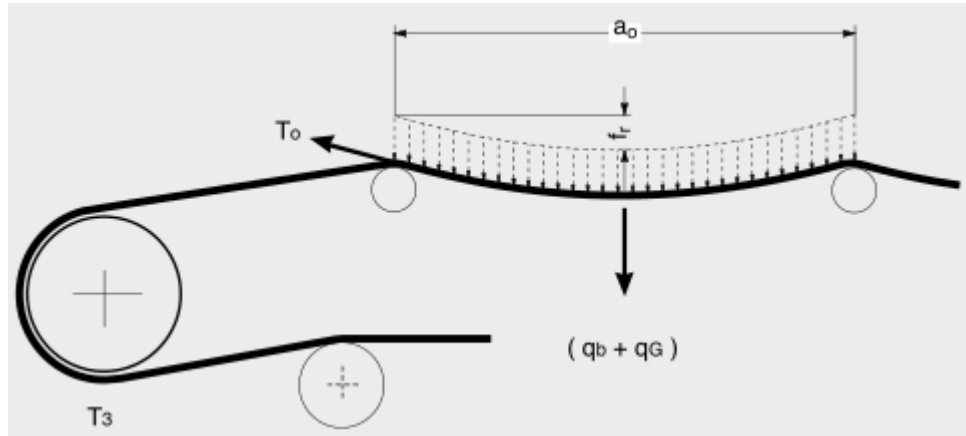


Figura 50: Tensión T_0 representada gráficamente.
Fuente: RULMECA, (2.010).

Tensión T_g y dispositivos de tensado

Los dispositivos de tensado utilizados en las cintas transportadoras, en general, son de tornillo o de contrapeso. Los dispositivos de tensión de tornillo están situados en la cola de la banda y normalmente se utilizan para cintas transportadoras con una distancia entre ejes no superior a 30/40 m.

Para cintas transportadoras con una distancia entre ejes superior, se utilizan dispositivos de tensión por contrapeso o por cabrestante en caso de espacios reducidos.

La carrera mínima requerida por el dispositivo de tensión se determina en función del tipo de banda instalada, es decir:

- Banda reforzada con productos textiles: carrera mínima 2% de la distancia entre ejes de la cinta transportadora;
- Banda reforzada con elementos metálicos: carrera mínima $0,3 + 0,5\%$ de la distancia entre ejes de la cinta transportadora.

Tensión máxima T_{MAX}

Es la tensión de la banda en el punto sometido a mayor esfuerzo de la cinta transportadora.

Normalmente coincide con la tensión T_1 . Sin embargo, para cintas transportadoras con marcha planimétrica particular en condiciones de funcionamiento variables, la T_{MAX} puede encontrarse en tramos diferentes de la banda.

Cargas de trabajo y de rotura de la banda $T_{U_{MAX}}$

La T_{MAX} se utiliza para calcular la tensión unitaria máxima $T_{U_{MAX}}$ dada por:

$$T_{U_{MAX}} = \frac{T_{MAX} \cdot 10}{B} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

B = ancho de la banda (mm)

T_{MAX} = tensión en el punto sometido a mayor esfuerzo de la banda (daN)

Como criterio de seguridad, hay que considerar que la carga de trabajo máxima en régimen para bandas reforzadas con productos textiles corresponde a $\frac{1}{10}$ de la carga de rotura de la banda ($\frac{1}{8}$ para banda reforzadas con elementos metálicos).

· Potencia:

La potencia total de accionamiento de una cinta transportadora resulta ser la suma de las tres potencias parciales que se enumeran a continuación:

P_1 : Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada.

P_2 : Potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos auxiliares, dispositivos de limpieza y guías.

A continuación, se procederá a describir cómo realizar el cálculo de cada una de las anteriores potencias parciales:

Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada con desplazamiento horizontal de la cinta (P_1):

La primera potencia que es necesaria calcular es la potencia para mover la cinta, tanto en vacío como cargada. En este caso, la potencia se emplea para vencer el peso propio de la banda, del material que transporta y el rozamiento de los distintos tambores y rodillos presentes en el diseño de la cinta. Para el cálculo de esta potencia se puede emplear la siguiente fórmula de cálculo.

$$P_1 = \frac{F_U \cdot V}{100} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

P =Potencia necesaria para mover la cinta (kW)

F_U = Esfuerzo tangencial a la cual está sometida la banda (daN)

V =Velocidad de la banda ($\frac{m}{s}$)

Potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos auxiliares, dispositivos de limpieza y guías (P_2):

La tercera potencia parcial que hay que calcular es la necesaria para vencer rozamientos de los elementos auxiliares que incorpore la cinta, como trippers, dispositivos de limpieza y guías. En este caso, sólo habrá que calcular y sumar las potencias consumidas por cada uno de los elementos instalados:

$$P_2 = P_a + P_b + P_c \quad \text{Ec.23}$$

Donde,

P_a : es la potencia debida a los trippers (kW)

P_b : es la potencia debida a los dispositivos de limpieza (kW)

P_c : es la potencia debida a las guías y faldones instalados (kW)

A continuación, se incluye una tabla (Ver Figura 51) donde se estima la potencia consumida por cada una de los elementos auxiliares que se acople a la cinta transportadora, en función de la velocidad y anchura de la cinta:

Potencias adicionales de equipos auxiliares		
	Ancho de banda (m)	Potencia (kW)
Trippers, P_a	≤ 500	$0,8 \cdot v$
	≤ 1000	$1,5 \cdot v$
	> 1000	$2,3 \cdot v$
Dispositivos de limpieza, P_b	Tipo de contacto / presión	
	Contacto simple	$0,3 \cdot B \cdot v$
	Contacto elevado	$1,5 \cdot B \cdot v$
Guías de carga, P_c	Longitud L_f (m)	
	Desde punto de carga	$0,16 \cdot v \cdot L_f$

Figura 51: Potencia adicionales de equipos auxiliares.

Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

Donde,

B : es el ancho de banda de la cinta (m)

v : es la velocidad de avance de la banda (m/s)

L_f : es la longitud de la guía o faldones (m)

La potencia total (P_t) necesaria para el accionamiento de la cinta será igual a la suma de las anteriores potencias parciales:

$$P_t = P_1 + P_2 \quad \text{Ec.24}$$

Esta potencia P_t es la que debe proporcionar el tambor motriz a la cinta. No obstante, esta potencia no es la definitiva. En efecto, generalmente el tambor motriz de una cinta es accionado por un motorreductor eléctrico que engrana con el eje del tambor. Dicho motorreductor consta de un motor eléctrico más un reductor de velocidades que acople el eje de salida del motor eléctrico al eje de entrada del tambor motriz.

Por tanto, habrá que tener en cuenta los rendimientos tanto del motor eléctrico como del reductor de velocidades que se utilice, que hace que se tenga que incrementar la potencia final necesaria. De esta manera, la potencia requerida por el motor (P_M) para el accionamiento del tambor motriz de la cinta será la obtenida de la siguiente expresión que tenga en cuenta los anteriores rendimientos:

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} \quad \text{Ec.25}$$

donde,

P_T : es la potencia consumida por el motor eléctrico (kW)

η : es el rendimiento total que tiene en cuenta tanto el rendimiento del motor como de la caja reductora.

Para el cálculo del rendimiento total (η), éste se realiza a partir de los rendimientos del motor eléctrico y de la caja reductora, mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_r \quad \text{Ec.26}$$

donde,

η_m : es el rendimiento del motor eléctrico

η_r : es el rendimiento de la caja reductora

Como valores de referencia se tiene que el rendimiento de un motor eléctrico convencional (η_m) se puede estimar entorno al 85-95%, mientras que si se trata del rendimiento de una caja de reductora (η_r), si ésta es de engranajes cilíndricos de dientes rectos y de varias etapas, el rendimiento en cada etapa de transmisión va a estar comprendido en el rango del 96 al 99%. Una vez obtenida la potencia motora (P_M) necesaria, se selecciona la potencia nominal del motor eléctrico que mejor se adapte a la instalación.

La siguiente figura (ver figura 52) contiene una tabla en la que se muestra las potencias nominales en kW de los motores eléctricos de mayor uso comercial para cintas transportadoras:

Valores de las potencias normalizadas de motores eléctricos (kW)									
1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22

Figura 52: Potencias normalizadas de motores eléctricos (kW).

Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

· **Cálculo del diámetro y velocidad de giro del tambor motriz.**

Previo al cálculo de las cargas que actúan sobre el tambor motriz, es necesario conocer cuáles son los valores del diámetro y velocidad de giro del tambor motriz.

El dimensionado del diámetro de los tambores de mando está en estrecha relación con las características de resistencia de la pieza intercalada de la banda utilizada.

En la figura 53 se indican los diámetros mínimos recomendados en función del tipo de pieza intercalada utilizada, a fin de evitar daños en la banda por separación de las telas o desgarradura de los tejidos.

Diámetros mínimos recomendados de los tambores						
Carga de rotura de la banda N/mm	Bandas reforzadas con productos textiles DIN 22102			Bandas reforzadas con elementos metálicos ST DIN 22131		
	Ø tambor motriz mm	contra-tambor	desviador	Ø tambor motriz mm	contra-tambor	desviador
200	200	160	125	-	-	-
250	250	200	160	-	-	-
315	315	250	200	-	-	-
400	400	315	250	-	-	-
500	500	400	315	-	-	-
630	630	500	400	-	-	-
800	800	630	500	630	500	315
1000	1000	800	630	630	500	315
1250	1250	1000	800	800	630	400
1600	1400	1250	1000	1000	800	500
2000	-	-	-	1000	800	500
2500	-	-	-	1250	1000	630
3150	-	-	-	1250	1000	630

Figura 53: Diámetro mínimo recomendado de los tambores.

Fuente: RULMECA, (2.010).

· Velocidad de giro del tambor motriz (N):

Para el cálculo de la velocidad a la que gira el tambor motriz se emplea la siguiente expresión:

$$N = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot D_T} \quad \text{Ec.27}$$

donde,

n_T : es la velocidad del tambor motriz (*r. p. m.*)

v : es la velocidad de la banda (*m/s*)

D_T : es el diámetro elegido del tambor motriz (*m*)

Dimensionado del eje del tambor motriz.

El eje del tambor motriz está sujeto a flexiones con fatiga alterna y a torsión. Para calcular el diámetro, habrá que determinar por tanto el momento de flexión M_f y el momento de torsión M_t .

El momento de flexión del eje está generado por la resultante de la suma vectorial de las tensiones T_1 y T_2 y del peso del tambor

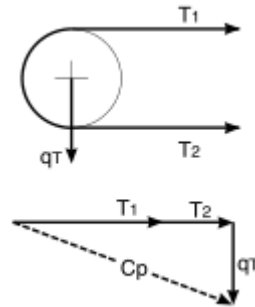


Figura 54: Carga del tambor motriz.
Fuente: RULMECA, (2.010).

El dimensionado del diámetro del eje requiere la determinación de algunos valores.

Éstos son: la resultante de las tensiones C_p , el momento de flexión M_f , el momento de torsión M_t , el momento ideal de flexión M_{if} y el módulo de resistencia W .

$$C_p = \sqrt{((T_1 + T_2)^2 + Q_t^2)} \quad \text{Ec.28}$$

Donde:

C_p = Resultante de tensiones (daN)

T_1 = Tension 1 que actúa sobre el tambor motriz (daN)

T_2 = Tension 2 que actúa sobre el tambor motriz (daN)

Q_t = Peso del tambor motriz (daN)

$$M_f = \frac{C_p}{2} a_g \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

M_f = Momento flector (daNm)

C_p = Resultante de tensiones (daN)

T_1 = Tension 1 que actúa sobre el tambor motriz (daN)

T_2 = Tension 2 que actúa sobre el tambor motriz (daN)

Q_t = Peso del tambor motriz (daN)

a_g = Distancia entre el centro del rodamiento hasta el punto de aplicación de fuerza del tambor (m)

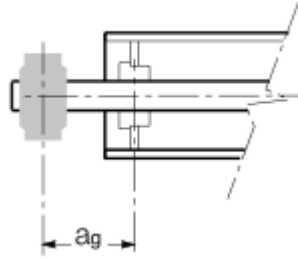


Figura 55: Distancia a_g .
Fuente: RULMECA, (2.010).

$$M_{if} = \sqrt{(M_f^2 + 0,75 M_t^2)} \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

M_f = Momento flector ($daNm$)

M_t = Momento torsor ($daNm$)

M_{if} = Momento ideal de flexión ($daNm$)

$$W = \frac{M_{if} \cdot 1000}{\sigma_{adm}} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

W = Modulo de Resistencia (mm^2)

M_{if} = Momento ideal de flexión ($danM$)

σ_{adm} = Esfuerzo admisible del tipo de material escogido (daN/mm^2)

Y finalmente se determina el diámetro usando el módulo resistente con la ecuación 29.

$$d = \sqrt[3]{\frac{W \cdot 32}{\pi}} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

d =Diámetro del eje mínimo (mm)

W =Modulo de resistencia (mm^3)

En la siguiente tabla (Figura 56) se muestran los valores de Esfuerzo admisible para los metales comúnmente utilizados para la fabricación de ejes para tambores motrices.

Valores de σ admisible	
Tipo de acero	daN/mm ²
38 NCD	12,2
C 40 Bonificado	7,82
C 40 Normalizado	5,8
Fe 37 Normalizado	4,4

Figura 56: Valores de Esfuerzo Admisible.
Fuente: RULMECA, (2.010).

Cálculo de cargas sobre el tambor motriz

· Carga del tambor motriz en el arranque (F_{U_A}):

Durante el arranque se producen las máximas exigencias de fuerza por parte del motor para lograr acelerar la cinta desde cero hasta la velocidad de régimen. Esta fuerza de arranque que actúa sobre el tambor motriz se puede calcular como un 60% de incremento sobre el esfuerzo tangencial en funcionamiento.

$$F_{U_A} = F_U \cdot 1,6 \quad \text{Ec.33}$$

donde,

F_{U_A} : es la fuerza tangencial del tambor motriz en el arranque (N)

F_U : es la fuerza tangencial de tambor motriz en funcionamiento normal (N)

· Par motor en el arranque (M_A):

Por último, se calcula el par motor máximo que se debe aplicar en el tambor motriz para el arranque de la cinta. Este valor es necesario conocerlo para poder diseñar correctamente las prestaciones del motor que accione la cinta:

$$M_A = \frac{F_U \cdot D_T}{2} \quad \text{Ec.34}$$

donde,

M_A : es el par motor máximo en el arranque de la cinta ($N \cdot m$)

F_U : es la fuerza tangencial del tambor motriz en el arranque (N)

D_T : es el diámetro seleccionado del tambor motriz (m)

· **Selección final de la resistencia nominal de la banda.**

Una vez determinado el valor $T_{U_{MAX}}$ de la tensión máxima a la que estará sometida la banda, se deberá elegir una banda con un valor de resistencia superior de entre los valores de resistencias que estén normalizados por el fabricante, de manera que se cumpla con los requisitos de seguridad por resistencia de la banda.

La resistencia nominal de la banda deberá ser, al menos, superior a la que se calcule mediante la siguiente expresión:

$$R = T_{U_{MAX}} C_S \quad \text{Ec.35}$$

donde,

R : es la resistencia nominal mínima que debe ofrecer la banda (N/mm)

T : es la tensión de trabajo máximo calculada en la banda (N)

C_S es un coeficiente de seguridad, según el tipo de banda:

$C_S = 8$ para bandas con cable de acero

$C_S = 10$ para el resto de bandas

Una vez determinado el valor R de la resistencia a tracción mínima que deberá ofrecer la banda, se deberá elegir una banda con un valor de resistencia nominal superior de entre los valores de resistencias que estén normalizados por el fabricante.

Para la selección de la resistencia nominal de la banda, se suelen utilizar tablas proporcionadas por los propios fabricantes de bandas transportadoras donde se incluyen los valores normalizados de las resistencias de las bandas textiles que se fabrican, como en la figura 57, tabla que se muestra a continuación:

Resistencias nominales (R_N) de las bandas textiles (N/mm)									
126	160	200	250	315	400	500	630	800	1000

Figura 57: Resistencias nominales (R_n) de las bandas textiles (N/mm).

Fuente: Rodríguez, H. (2.012).

2.2.22 Sistema de control.

Abarca, P. (2018), 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.

2.2.23 Elementos de un sistema de control

En todo sistema de control (Figura 58) 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.

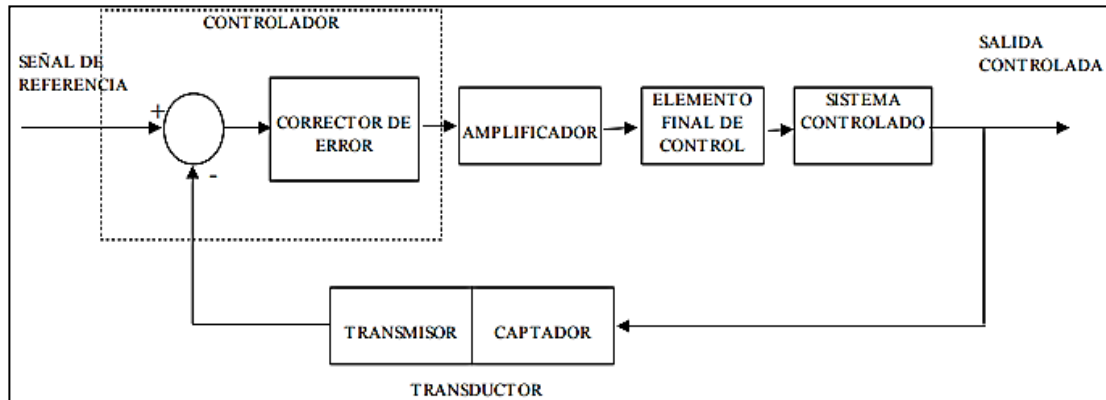


Figura 58: Representación de un sistema de control.

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)].

2.2.24 Controlador lógico programable (PLC)

Un PLC, también conocido como autómatas programables, 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 59). 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 59: Representación estándar de un PLC.

Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

- **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 se encarga de interpretar cada una de las instrucciones que tiene programado el PLC.

Módulos: Es 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)].

· **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 60). 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 61), su tamaño es superior a los de tipo Nano.



Figura 60: Representación estándar de un PLC nano.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)



Figura 61: 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 esta por separado y es posible armar el PLC según las necesidades del sistema (Figura 62) [Díaz, G. (2.017)].



Figura 62: Representación estándar de un PLC modular.
Fuente: Díaz, G. (2.017)

2.2.25 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 (ver figura 63). 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.

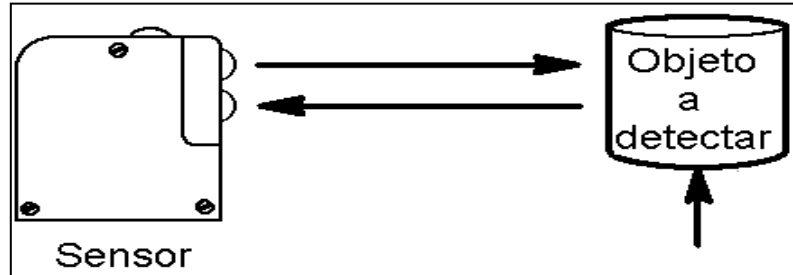


Figura 63: Dinámica del sensor con el objeto de detección.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

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 foto resistencia. 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 64 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 65 se muestra el esquema de interacción entre el emisor, receptor y el haz infrarrojo.

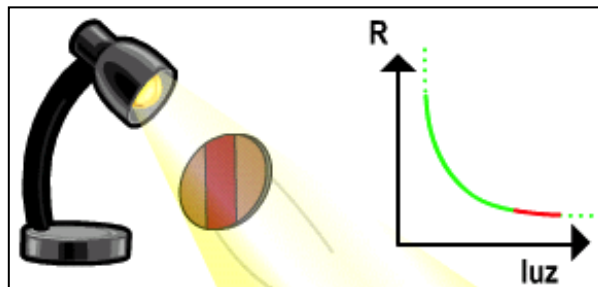


Figura 64: Variación de la resistencia vs Luz.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

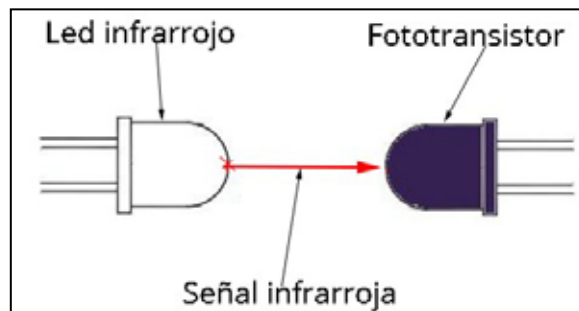


Figura 65: Diagrama emisor, receptor y haz infrarrojo.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

· 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 (ver figura 66).

- **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.

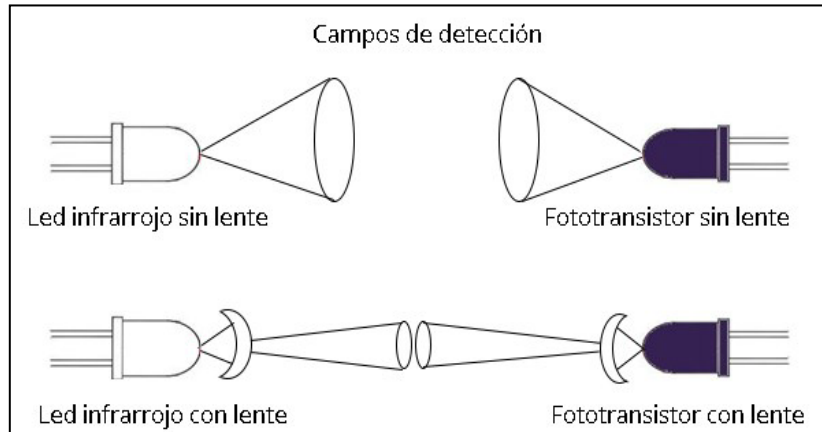


Figura 66: Partes de un sensor óptico.

Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

· 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 67.

- **Retroreflectivo 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 este obstaculiza la señal para no poder retornar, como se visualiza en la Figura 68.



Figura 67: Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo barrera.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

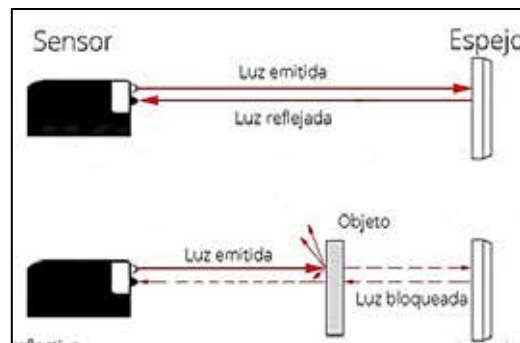


Figura 68: Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo reflectivo.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

- **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 69).

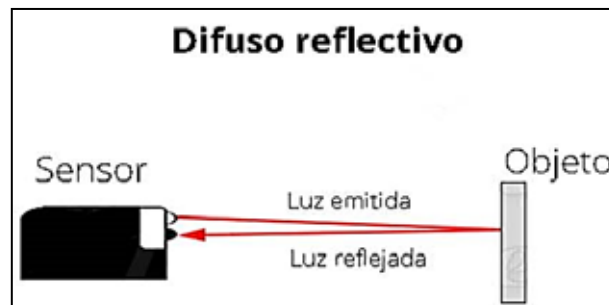


Figura 69: Sensor óptico (fotoeléctrico) de tipo difuso.
Fuente: Mecafenix, F. (2.018)

- **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 70.

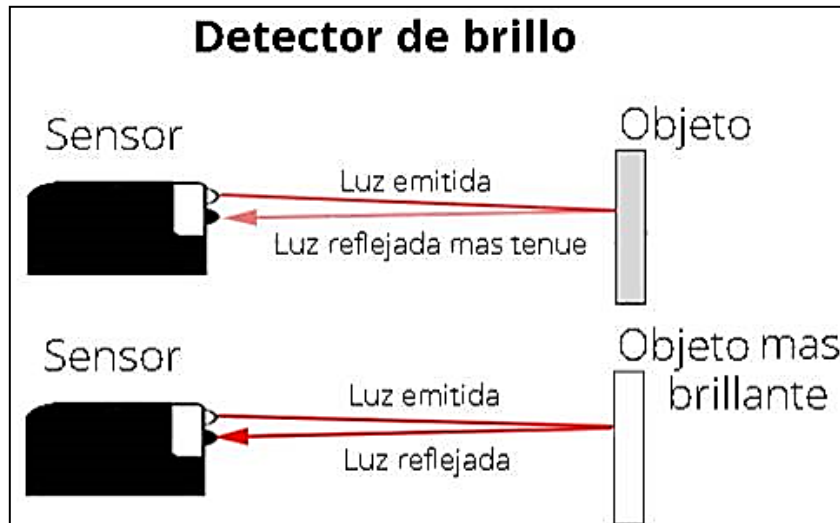


Figura 70: Sensor óptico (fotoeléctrico) con sensor de brillo.

Fuente: Mecafenix, F. (2.018).

2.3 Definición de términos básicos.

Trasiego: Cambio de una cosa de un lugar a otro, especialmente un líquido de un recipiente a otro.

Plastómero: Un plastómero es un material polimérico que combina las cualidades de los elastómeros y los plásticos, como las propiedades similares al caucho con la capacidad de procesamiento del plástico.

Elastómero: Los elastómeros son aquellos tipos de compuestos que incluyen no metales en su composición y que muestran un comportamiento elástico.

Empalme: La conexión de dos extremos de una banda. Se refiere comúnmente a las grapas mecánicas del tipo de placa sólida o a la unión vulcanizada de los extremos de la banda.

Tambor: Mecanismo que sirve para enrollar un cable o banda y cuya rotación permite tirar de él.

Tambor de retorno: Es el tambor situado en el extremo o cola de la cinta, montado sobre cojinetes en la estructura metálica, que gira de forma "loca" arrastrado por el

movimiento de la banda a la vez que ayuda a ésta a cambiar su sentido de traslación para lograr el reenvío y la configuración de un sistema sinfín.

Tensión: En una transmisión de banda, la fuerza de tracción que actúa en la banda, ya sea en descanso o durante la operación.

Transportador de banda: Un dispositivo formado de material de armazón y/o cubiertas (elastómero) en forma de hoja para transportar materiales a granel o empacados a través de largas distancias.

Transportadores acanalados: Un transportador de banda que transporta materiales a granel y que utiliza rodillos de transporte en ángulo para aumentar la capacidad de carga y minimizar los derrames.

Transportadores de tornillo sinfín: Equipo para el transporte continuo de material a granel en espacios reducidos, basado en el movimiento de una hélice o espiral (Tornillo de Arquímedes) en el interior de un canal, provocando con ello el arrastre del material por su interior y el transporte a lo largo de su longitud.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de la Investigación.

Se estableció el planteamiento del problema y se definió el alcance de la investigación del presente proyecto de investigación basado en la modalidad de un proyecto factible; según UPEL (2010) afirma:

“Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades”. (p. 21)

3.2 Nivel de la Investigación.

La presente investigación es en esencia descriptiva, porque se observa y describe el comportamiento de un sujeto u objeto. Arias, F. (2012) 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 es de un nivel investigativo descriptivo. Este se desarrolla partiendo de la descripción de los diferentes parámetros que involucran el proceso del transporte de producto de una planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento de granos.

3.3 Diseño de la Investigación.

En la perspectiva que aquí se adopta, es documental, motivado a que, está basada en el análisis e interpretación de fuentes documentales de diversos autores. “Se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos-escritos u orales- uno de, los ejemplos más típicos de esta investigación son las obras de historia” (Palella, S., Martins, F., 2006, p.90).

3.4 Población y Muestra.

Esta se define como la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades de población poseen una característica común, la que se estudia y da origen a los datos de la investigación. Según Tamayo y Tamayo (2009). “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación”. (p. 114).

Para el desarrollo de la investigación, tomando en cuenta lo antes mencionado, se logra concretar que la población en este caso es la empresa Tierra Rica, C.A. Por otra parte, la muestra es la que puede determinar la problemática ya que les es capaz de generar los datos con los cuales se identifican las fallas dentro del proceso. Según Arias, F. (2012), afirma que la muestra “es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. (p. 83).

Tomando en cuenta lo anterior mencionado, la muestra en el siguiente estudio estuvo conformada por el área del grano que estará siendo transportado.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información. Son ejemplos de técnicas: la observación directa, la encuesta en sus dos modalidades (entrevista o cuestionario), el análisis documental, análisis de contenido, etc. Las técnicas que se utilizaron en el presente proyecto, son la observación directa, la encuesta a través de una entrevista y la recopilación de análisis bibliográficos.

3.5.1 La Encuesta.

Se requirió utilizar la recopilación de información a través de la encuesta, que corresponde a la técnica de recolección de datos, donde se obtienen los fundamentos para realizar un conjunto de preguntas relacionadas con la problemática que existe en la zona. En un cuestionario las preguntas deben ser muy claras, ellas pueden ser de dos modalidades: abiertas y cerradas. Al respecto Hurtado y Toro (2001), comentan que las preguntas son: “cerradas cuando se contesta con un sí y un no. Y abiertas cuando se contestan a criterios y juicio al entrevistado.” (p. 90).

3.5.2 Modelo de Encuesta.

En consecuencia, se aplicó un cuestionario estructurado con preguntas cerradas, para recopilar la información necesaria acerca de la problemática de la zona a estudiar.

3.5.3 Técnicas de recopilación de análisis bibliográficos.

Se realizó una búsqueda exhaustiva en libros, revistas, internet y artículos de prensa relacionados con el tema de investigación.

3.6 Técnicas y Análisis de Datos.

Una vez se aplicaron los instrumentos a la muestra del estudio, se describieron las distintas operaciones a las que se sometieron los datos obtenidos: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuese el caso. En lo referente al análisis, se definieron las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis, síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), que fueron empleadas para descifrar lo que revelaron los datos que se recogieron. El análisis permitió detectar la necesidad y la factibilidad del desarrollo de la propuesta de un rediseño del sistema de transporte de producto dentro de la empresa Tierra Rica, C.A. Todas estas conclusiones desde luego sustentaron y respaldaron los objetivos de la investigación, arrojando determinantes para hacer de dicha propuesta un proyecto factible.

3.7 Análisis de los Resultados.

Luego de ser realizada la recolección de datos, se procedió a realizar el análisis de estos con el fin de establecer la propuesta factible para el rediseño del sistema de transporte de grano de la empresa Tierra Rica, C.A.

El análisis de datos obtenidos, se basó en los resultados que arrojaron las encuestas, realizadas a integrantes de la población elegida mediante un formato de preguntas sistematizadas, el cual facilitó la entrevista. Por medio de la encuesta se pudo definir si el sector tiene pérdidas de producto, entre otras.

3.8 Fases de la Investigación.

En este apartado se describió el procedimiento ejecutado durante el desarrollo de la investigación la cual fue desplegada en cuatro fases las cuales proporcionaron el cumplimiento de los objetivos específicos ya mencionados.

Fase I. Evaluar la situación actual del sistema de transporte de grano para identificar las variables y las condiciones de operación.

Esta fase consideró todo lo referente a la recopilación de información sobre procesos y mecanismos de transporte, equipos similares existentes y todo lo referente a la investigación.

Fase II. Generar posibles soluciones a los problemas detectados en el proceso de transporte para así seleccionar la mejor alternativa.

En esta etapa se procedió a elaborar, en primer lugar, una propuesta acerca del diseño definitivo basado en soluciones técnicas, aportadas por el investigador junto al personal. Como criterios de selección están: economía, el uso de los recursos existentes en la planta y fácil ejecución del diseño. Una vez obtenidas las especificaciones del sistema a rediseñar se procedió a la selección de la mejor alternativa de solución, utilizando el método de ponderación de criterios y soluciones.

Fase III. Diseñar la mejor solución.

Posteriormente, una vez que se obtuvo la seguridad de haber obtenido la mejor alternativa de solución, en esta fase, se procedió al diseño de los elementos mecánicos y selección de los dispositivos. Según las diferentes teorías, leyes y demás herramientas de diseño se pretende cubrir en su totalidad los aspectos relacionados con el mismo. Se levantó la siguiente información:

- Listado de piezas.

- Análisis de cargas y esfuerzos en los elementos diseñados.
- Selección y dimensionamiento de los elementos del sistema basándose en las teorías de diseño existentes.

Fase IV. Determinación de la factibilidad económica del sistema diseñado.

En esta etapa se elaboró un listado de todos los materiales y equipos necesarios para la implementación del diseño. Se buscaron las cotizaciones de equipos visitando a proveedores o mediante consultas en la web. Esta información se utilizó para determinar los flujos monetarios del proyecto para así evaluar la factibilidad económica del mismo aplicando un modelo básico de rentabilidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se plantearán las alternativas de solución más adecuadas y de ellas se seleccionará aquella que logre cumplir con los objetivos propuestos para la resolución del problema planteado y en consecuencia se realizará el diseño mecánico de la alternativa seleccionada.

4.1 Evaluar la situación actual de los sistemas de transporte de producto de la planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento para identificar variables y las condiciones de operación.

Una vez hecho el estudio del sistema de transporte, se observó que se está llevando a cabo de forma muy deficiente, debido a que los transportadores sinfín instalados actualmente presentan inconvenientes como contaminación, partición de grano, altos consumos de energía, y bajas velocidades de transporte, inconvenientes que generan situaciones como disminución del rendimiento del grano al pasar por la planta, altos costes de operatividad y retrasos en la carga y descarga de tanques y camiones. (Ver figura 71).



Figura 71: Descarga de silos a transportadores de sinfín.

Fuente: Tierra Rica, C.A (2020.)

En la actualidad la planta posee un total de 13 transportadores de tornillo sin fin, 5 elevadores de cangilones, una secadora de granos (figura 72) de tipo Lister con una capacidad de 80 toneladas por bache, una prelimpiadora Scalperator Carter-Day con una capacidad de 30 ton/h, un primer banco de silos constituidos por 3 silos de láminas de acero galvanizado de 300 toneladas cada uno, así como un segundo banco de silos constituidos por 4 silos de láminas de acero galvanizado con una capacidad de 500 toneladas cada uno, manejando un total de almacenaje de 2.900 toneladas.

Los 13 transportadores son de 12" y poseen un total de 166 metros, estos están constituidos de la siguiente manera:

- 1.) 2 transportadores de sinfín de 16 metros de longitud, accionados mediante un motor de 5 hp.
- 2.) 1 transportador de sinfín de 16 metros de longitud, accionado mediante un motor de 5 hp, con 2 descargas.
- 3.) 1 transportador de sinfín de 10 metros de longitud, accionado mediante un motor de 5 hp.
- 4.) 1 transportador de sinfín de 15 metros de longitud, accionado mediante un motor de 5 hp
- 5.) 1 transportador de sinfín de 7 metros de longitud, accionado mediante un motor de 5 hp
- 6.) 1 transportador de sinfín de 3 metros de longitud, accionado mediante un motor de 3.5 hp
- 7.) 1 transportador de sinfín de 17 metros de longitud, accionado mediante un motor de 5 hp, con 2 descargas
- 8.) 1 transportador de sinfín de 15 metros de longitud, accionado mediante un motor de 5 hp, con 3 descargas, ubicado a 21 metros de altura.
- 9.) 1 transportador de sinfín de 15 metros de longitud, accionado mediante un motor de 5 hp.
- 10.) 2 transportadores de 12 metros de longitud, accionados mediante motores de 5 hp, con 2 descargas.

11.) 1 transportador de sinfín de 12 metros de longitud accionado por un motor de 5 hp.



Figura 72: Sinfín de descarga a secadora de granos.
Fuente: Tierra Rica, C.A. (2020).

Además de esto se debe hacer notar que cuando la empresa dispuso a hacer el diseño, fabricación e instalación de los equipos y la planta no se contó con los estudios necesarios para de manera satisfactoria instalar un sistema de transmisión adecuado, por ello el sistema de tornillo sin fin representando un cuello de botella a nivel de capacidad de transporte en la planta, atado a una capacidad de 15 ton/h, mientras que los otros equipos cuentan con capacidades de hasta 30 ton/h. Esto presentando un gran inconveniente como es el atraso, generando que por cada semana de trabajo se pierdan hasta 12 horas debido al ineficiente transporte. (Ver figura 73).



Figura 73: Banco de silos de almacenaje de grano seco y acondicionado.
Fuente: Tierra Rica, C.A (2020).

4.2 Generar posibles soluciones a los problemas detectados en el sistema de transporte para así seleccionar la mejor alternativa.

En la elección del tipo y tamaño del sistema de transporte deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- Adaptabilidad a las dimensiones del sistema de transporte actual.
- Alta velocidad de transporte de material.
- Impurezas que deben ser rechazadas.
- Transporte de granulometría.
- Bajo costo de mantenimiento.

4.2.1 Búsqueda de la solución.

4.2.1.1 Cintas transportadoras en configuración de V (Alternativa 1).

Entre todos los sistemas de transporte continuo empleados en la industria. Las cintas transportadoras ocupan un lugar destacado por muchas razones, entre las que podemos resaltar como principales.

- La gran distancia a que puede efectuarse el transporte de materiales, ya sea con una sola cinta o con varias, unas a continuación de otras.
- Su facilidad de adaptación al perfil del terreno.
- Su gran capacidad de transporte.
- La posibilidad de transportar materiales muy variados en clase y granulometría, etc.

Otras razones secundarias que también justifican el empleo de las mismas son:

- Poco mantenimiento. Consecuencia de su robustez.
- Marcha suave y silenciosa.
- Posibilidad de efectuar la descarga en cualquier punto de su trazado.
- Posibilidad de desplazamiento de las mismas. Ya sea en trayectorias fijas y horizontales o en movimiento de vaivén.

La cinta transportadora en principio es sencilla, consta de los siguientes elementos:

- a. Grupo o cabeza motriz de accionamiento, cuyo tambor imprime el movimiento a la banda.
- b. Cabeza o estación de retorno y tensado.
- c. Rodillos superiores de soporte de la banda.
- d. Rodillos inferiores.
- e. Banda.
- f. Bastidor Soporte de tos Rodillos.
- g. Zona de Carga.

La siguiente figura muestra tal disposición. (Ver figura 74).

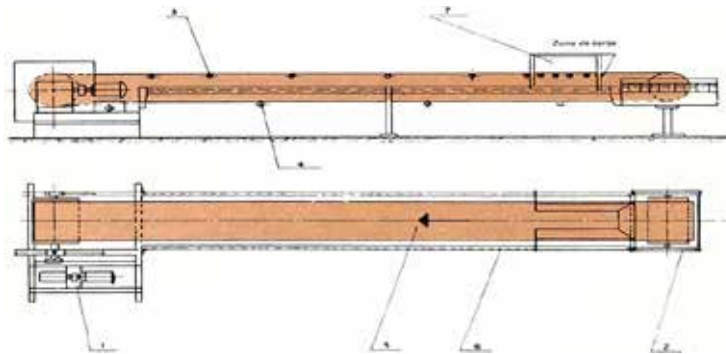


Figura 74: Disposición de la cinta transportadora.
Fuente: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, (2002).

Las cintas transportadoras en V son utilizadas en la industria para el transporte de materiales de baja granulometría, son de bajo consumo y funcionan muy bien a altas velocidades. (Ver figura 75).

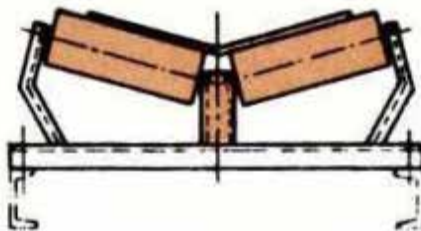


Figura 75: Cinta transportadora en forma de V.

Fuente: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, (2002).

Ventajas.

- Mantenimiento reducido.
- Eficiencia para altas velocidades.
- Carencia de ruido.
- No altera el producto transportado.
- Baja dispersión de materiales de pequeñas dimensiones.
- Es posible la carga y descarga de cualquier punto del trazado.
- Consumo de energía reducido.

Desventajas.

- Sensibilidad en el transporte de materiales calientes.
- Limitación del ángulo de inclinación para el transporte.
- No admite grandes tamaños.

4.2.1.2 Cinta transportadora en configuración de Artesa (Alternativa 2).

El funcionamiento y constitución de este tipo de cinta transportadora es similar al sistema de transporte de la cinta en V, aunque se diferencia en su uso para materiales de mayor granulometría y su mantenimiento es más elaborado por poseer una mayor cantidad de rodillos. (Ver figura 76).

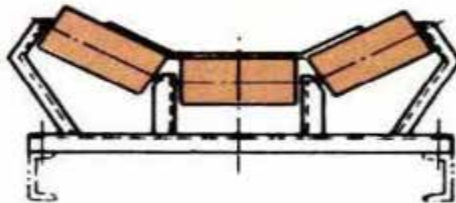


Figura 76: Cinta transportadora en forma de artesa.

Fuente: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, (2002).

Ventajas.

- Eficiencia para altas velocidades.

- Carencia de ruido.
- No altera el producto transportado.
- Es posible la carga y descarga de cualquier punto del trazado.
- Admite grandes tamaños.
- Consumo de energía reducido.

Desventajas.

- Alta dispersión de materiales de pequeñas dimensiones.
- Sensibilidad en el transporte de materiales calientes.
- Limitación del ángulo de inclinación para el transporte.
- Dificultad para el transporte de materiales de pequeña granulometría.

4.2.1.3 Sistema de transporte neumático (Alternativa 3).

El objetivo de un sistema de transporte neumático es el transporte de materiales sólidos, desde un punto a otro por medio de un flujo de gas a presión, ya sea positiva o negativamente, y a través de una tubería. (Ver figura 77).

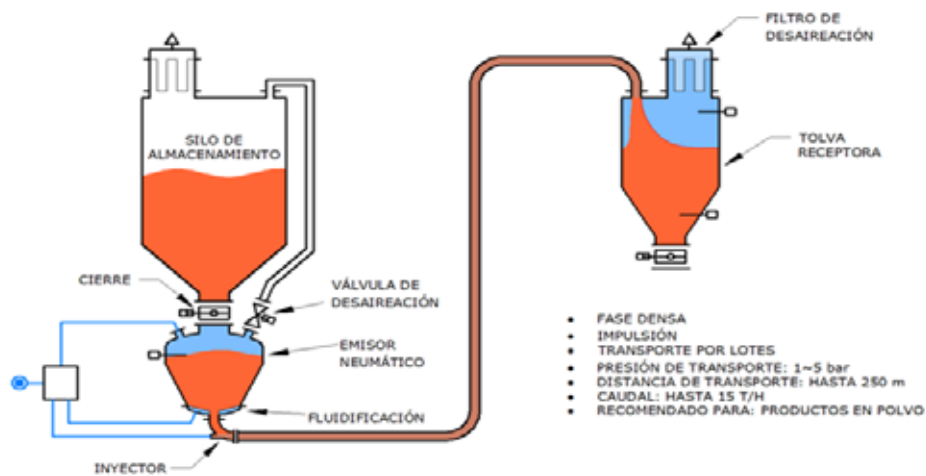


Figura 77: Sistema de transporte neumático.

Fuente: IMT Ingeniería, (2.019).

Ventajas.

- Los sistemas son cerrados y por lo tanto no contaminantes.

- El material transportado se encierra dentro de la tubería lo cual protege al producto del ambiente y viceversa.
- Permite transportar producto desde un punto a varios puntos de descarga simplificando la ruta del transporte por planta.

Desventajas.

- No todos los materiales se pueden transportar neumáticamente, sino aquellos materiales secos, no cohesivos y relativamente finos.
- Los materiales frágiles pueden sufrir en exceso, y los materiales abrasivos, pueden causar desgaste en los equipos e instalación.
- Existen variedad de limitantes como tamaño máximo de la partícula, la capacidad máxima de transporte y la distancia a transportar.
- Sistema de transporte ruidoso.
- Alto consumo de energía.

4.2.2 Especificaciones de diseño.

Por medio de las especificaciones de diseño se identificarán las características con las cuales se desea que funcione e interactúe el dispositivo. Las especificaciones de diseño se presentan a continuación.

4.2.2.1 Funciones principales.

- Desplazar el grano de arroz con mayor eficiencia.
- Transportar el grano de arroz sin degradar el producto.
- Llevar el grano a través de las instalaciones.

4.2.2.2 Restricciones.

- No debe superar el espacio físico del sistema actual.
- El funcionamiento del equipo no debe requerir más de un operario.
- El sistema de transporte no debe contaminar el grano de arroz.
- Debe poder resistir la abrasividad del grano de arroz.

4.2.2.3 Criterios.

- Fácil instalación.
- Menor espacio físico.
- Menor costo de energía posible.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Menor cantidad de elementos.

4.2.3 Selección de la mejor solución.

Una vez planteadas las especificaciones de diseño se aplicará la metodología correspondiente a Vílchez N. (2002) para enumerar e identificar cada una de ellas y por consiguiente decidir cuál es la solución que concuerda con las exigencias establecidas para el dispositivo a diseñar. En la Tabla 1 se muestran las posibles soluciones, esto es, las distintas alternativas de solución.

Tabla 1. Listado de posibles soluciones.

PSX	POSIBLE SOLUCIÓN
PS1	Alternativa de solución 1 (Cinta transportadora en V).
PS2	Alternativa de solución 2 (Cinta transportadora en Artesa).
PS3	Alternativa de solución 3 (Sistema de transporte hidráulico).

Fuente: Badiali, Tami (2020).

La Tabla 2 muestra las restricciones que se le imponen a la mejor solución.

Tabla 2. Listado de restricciones.

RX	POSIBLE SOLUCIÓN
R1	No debe superar el espacio físico del sistema actual.
R2	El funcionamiento del equipo no debe requerir más de un operario.
R3	El sistema de transporte no debe contaminar el grano de arroz.
R4	Debe poder resistir la agresividad del grano de arroz.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

En la Tabla 3 se muestra la aplicación de las restricciones a las posibles soluciones. A continuación, la Tabla 4 muestra las soluciones que pasaron la prueba, es decir, las que están aprobadas. Es a estas soluciones aprobadas que se les aplicaran los criterios de solución enumerados en la Tabla 5 los cuales son ponderados en la Tabla 6.

Tabla 3: Aplicación de restricciones a posibles soluciones.

RX	R1	R2	R3	R4	APROBADA
PS1	SI	SI	SI	SI	SI
PS2	SI	SI	SI	SI	SI
PS3	NO	SI	NO	NO	NO

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 4: Listado de soluciones aprobadas.

PSX	SX	POSIBLE SOLUCIÓN
PS1	S1	Cinta transportadora en V
PS2	S2	Cinta transportadora en Artesa

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 5: Listado de criterios.

CX	CRITERIO
C1	Fácil instalación.
C2	Menor espacio físico.
C3	Menor consumo de energía posible.
C4	Bajo costo de mantenimiento.
C5	Menor cantidad de elementos.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 6: Ponderación de criterios.

PCX	C1	C2	C3	C4	C5	NÚMERO DE VECES	PONDERACIÓN
------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------------------	--------------------

C1						0	1
C2	C2					2	3
C3	C3	C2				1	2
C4	C4	C4	C4			4	5
C5	C5	C5	C5	C4		3	4

Fuente: Badiali, Tami (2020).

A continuación, se hará una ponderación de las soluciones respecto a cada uno de los criterios, los resultados se muestran en las Tablas de la 7 a la 11, que a continuación se detallan. Finalmente, en la Tabla 12 se hace la ponderación final de las soluciones.

Tabla 7: Criterio 1 “Fácil instalación.”

SX	S1	S2	NÚMERO DE VECES	PONDERACIÓN
S1			1	2
S2	S1		0	1

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 8: Criterio 2 “Menor espacio físico”.

SX	S1	S2	NÚMERO DE VECES	PONDERACIÓN
S1			1	2
S2	S1		0	1

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 9: Criterio 3 “Menor consumo de energía posible”.

SX	S1	S2	NÚMERO DE VECES	PONDERACIÓN
S1			0	1
S2	S2		1	2

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 10: Criterio 4 “Bajo costo de mantenimiento”.

SX	S1	S2	NÚMERO DE VECES	PONDERACIÓN
S1			1	2
S2	S1		0	1

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 11: Criterio 5 “Menor cantidad de elementos”.

SX	S1	S2	NÚMERO DE VECES	PONDERACIÓN
S1			1	2
S2	S1		0	1

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Tabla 12: Ponderación final de soluciones.

PCX		PS1-X		PCX*PS1-X	PS2X		PCX*PS2-X
PC1	1	PS1-1	2	2	PS2-1	1	1
PC2	3	PS1-2	2	6	PS2-2	1	3
PC3	2	PS1-3	2	4	PS2-3	1	2
PC4	5	PS1-4	2	10	PS2-4	1	5
PC5	4	PS1-5	2	8	PS2-5	1	4

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Luego de plantear las posibles soluciones y aplicarle los criterios y las restricciones, se obtuvieron únicamente dos soluciones que cumplen todos los requerimientos; sin embargo, al compararlos existe un dispositivo que se adapta más eficientemente a la solución del problema, el cual es la cinta transportadora en V (alternativa de solución 1).

Este dispositivo es uno de los que posee menor cantidad de elementos ocupando el menor espacio físico posible y estos están dispuestos de forma más sencilla tanto

para el mantenimiento como para su utilización, por tanto, es el que menos consume energía, con lo cual se pueden abaratar los costos. Por todas estas características positivas se escogió este dispositivo como la mejor solución.

4.3 Diseño de la mejor solución.

Para el diseño de la banda, deberán tomarse en cuenta las siguientes condiciones:

- Capacidad de transporte deseada: 30 ton/h
- Características del material a transportar:
 - Peso específico: 750 kg/m³
 - Angulo de reposo: 20°
 - Angulo de sobrecarga: 10°
- Ancho de banda seleccionado B = 300 mm
- Estación portante superior en forma de V con dos rodillos, con un ángulo de 20 respecto a la horizontal
- Estación portante inferior (de retorno) plana con un rodillo
- Capacidad de transporte volumétrica, con estación de 2 rodillos para $V = 1 \frac{m}{s} = 20,5 \frac{m^3}{h}$

Con la anterior información plasmada, procedemos a enumerar las cintas que deben ser diseñadas:

- A. 2 cinta transportadora, de 16 metros de longitud, sin inclinación, carga a lo largo de la cinta, descarga en el extremo.
- B. 2 cinta transportadora, de 8 metros de longitud, sin inclinación, carga en uno de los extremos, con 1 tripper (descarga en diferentes puntos de la cinta).
- C. Cinta transportadora, de 10 metros de longitud, con carga en un extremo y descarga en el otro, 5 grados de pendiente de inclinación.
- D. Cinta transportadora, de 15 metros de longitud, sin inclinación, con carga en un extremo y descarga en el otro.
- E. Cinta transportadora, de 7 metros de longitud, sin inclinación, con carga en un extremo y descarga en el otro.

F. Cinta transportadora de 3 metros de longitud, con carga en un extremo y descarga en el otro, 10 grados de inclinación.

G. Cinta transportadora de 17 metros de longitud, sin inclinación, con carga en un extremo, y descarga en diferentes puntos de la cinta (1 tripper)

H. Cinta transportadora de 15 metros de longitud, sin inclinación, con carga en un extremo, y descarga en diferentes puntos de la cinta (1 tripper)

I. Cinta transportadora de 15 metros de longitud, con carga a lo largo de la cinta, y descarga en el extremo.

J. Cinta transportadora de 12 metros de longitud, con carga en un extremo y descarga en diferentes puntos de la cinta (1 tripper).

K. Cinta transportadora de 12 metros de longitud, con carga a lo largo de la cinta y descarga en el extremo.

4.3.1 Cálculo de la velocidad de la cinta.

Para determinar la velocidad de la cinta, primero debemos determinar la capacidad volumétrica deseada, utilizando la ecuación 8.

$$Q_v = \frac{30 \frac{ton}{m^3}}{0,75 \frac{ton}{m^3}}$$
$$Q_v = 40 \frac{m^3}{m^3}$$

Una vez calculada la capacidad volumétrica de la cinta, y con la mencionada anteriormente, se deben establecer los valores de K y K_1 , que son correcciones debido a la inclinación de la cinta y de la irregularidad de alimentación.

El sistema diseñado trabaja con un flujo continuo, lo que quiere decir que la alimentación de las bandas es regular por lo cual se utiliza para $K_1 = 1$

En las condiciones establecidas para el diseño, se encuentran cintas transportadoras planas, y con inclinaciones de 5 y de 10 grados sobre la horizontal, debido a esto debemos calcular 3 velocidades diferentes, teniendo que:

Para las cintas transportadoras sin inclinación

$$V = \left(\frac{40 \text{ m}^3 /}{20.5 \text{ m}^3 / \quad 1 \text{ m}_s} \right) = 1.952 \text{ m/s}$$

Para las cintas transportadoras con 5 grados de inclinación:

Se calcula el factor K, con la Ec. 7

$$K = 0,99$$

$$V = \left(\frac{40 \text{ m}^3 /}{20.5 \text{ m}^3 /} \right) \left(\frac{1}{0.99} \right) = 1.97 \text{ m/s}$$

Para las cintas transportadoras con 10 grados de inclinación:

Se calcula el factor K, con la Ec. 7

$$K = 0,96$$

$$V = \left(\frac{40 \text{ m}^3 /}{20.5 \text{ m}^3 /} \right) \left(\frac{1}{0.96} \right) = 2 \text{ m/s}$$

Para unificar los valores de la velocidad y a su misma vez simplificar los cálculos consiguientes y la selección de los elementos escogemos la velocidad nominal de 2 m/s para todas las cintas diseñadas.

4.3.2 Esfuerzos tangenciales a los cuales está sometida la banda.

Para poder determinar los valores de esfuerzo, antes debemos establecer ciertos factores necesarios para la ejecución del cálculo, como lo son:

- Peso de la banda por metro lineal

Se supone un peso de banda de 5,6 kg/m, este valor fue escogido debido al peso de una banda con una resistencia textil de 100 N/mm.

- Peso del material encima de la banda por metro línea

Se calcula el peso del material depositado encima de la banda con la Ec. teniendo un valor de: $4,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

- Peso de las partes móviles de la estación superior

Se supone un peso de las partes móviles de la estación superior de 1,5 kg por rodillo, la configuración superior se basa en 2 rodillos, teniendo un total de 3 kg, y un paso entre estaciones superiores extraído de la figura de 1 metros, utilizando la ecuación, se tiene un valor de $3 \frac{kg}{m}$

- Peso de las partes móviles de la estación inferior

Se supone un peso de las partes móviles de la estación superior de 2,3 kg, la configuración superior se basa en 1 rodillos, y un paso entre estaciones inferiores extraído de la figura de 2 metros, utilizando la ecuación, se tiene un valor de $1,15 \frac{kg}{m}$

- Coeficiente de rozamiento interior

Utilizando la figura, se establece un coeficiente de rozamiento interior $f = 0,0165$.

- Coeficiente de las resistencias pasivas debidas a la temperatura:

Se estableció un coeficiente de las resistencias pasivas debidas a la temperatura $Ct = 1$, ya que se estima el uso de la cinta en condiciones de temperatura ambiente de entre 30 y 40 grados Celsius.

Ya determinado lo anterior se realizó el cálculo individual de cada una de las cintas transportadoras.

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora A:

$$L: 16 \text{ metros}$$

$$Cq = 3,72$$

$$H = 0$$

$$Fa = 12,30 \text{ daN}$$

$$Fr = 6,50 \text{ daN}$$

$$Fu = 18,80 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora B:

$$L = 8 \text{ m}$$

$$Cq = 4,76$$

$$H = 0$$

$$Fa = 7,88 \text{ daN}$$

$$Fr = 4,16 \text{ daN}$$

$$Fu = 12,04 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora C:

$$L = 10 \text{ m}$$

$$Cq = 4,50$$

$$H = 0,88 \text{ m}$$

$$Fa = 17,73 \text{ daN}$$

$$Fr = 0,08 \text{ daN}$$

$$Fu = 17,81 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora D:

$$L = 15 \text{ m}$$

$$Cq = 3,85$$

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

$$Fa = 11,93 \text{ daN}$$

$$Fr = 6,30 \text{ daN}$$

$$Fu = 18,23 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora E:

$$L = 7 \text{ m}$$

$$Cq = 4,89$$

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

$$Fa = 7,08 \text{ daN}$$

$$Fr = 3,73 \text{ daN}$$

$$Fu = 10,81 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora F:

$$L = 3 \text{ m}$$

$$Cq = 5,41$$

$$H = 0,52 \text{ m}$$

$$Fa = 8,33 \text{ daN}$$

$$Fr = 1,08 \text{ daN}$$

$$Fu = 7,25 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora G:

$$L = 17 \text{ m}$$

$$Cq = 3,59$$

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

$$Fa = 12,61 \text{ daN}$$

$$Fr = 6,66 \text{ daN}$$

$$Fu = 19,27 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora H:

$$L = 15 \text{ m}$$

$$Cq = 3,85$$

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

$$Fa = 11,93 \text{ daN}$$

$$Fr = 6,30 \text{ daN}$$

$$Fu = 18,23 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora I:

$$L = 15 \text{ m}$$

$$Cq = 3,85$$

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

$$Fa = 11,93 \text{ daN}$$

$$Fr = 6,30 \text{ daN}$$

$$Fu = 18,23 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora J:

$$L = 12 \text{ m}$$

$$Cq = 4,24$$

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

$$Fa = 10,51 \text{ daN}$$

$$Fr = 5,56 \text{ daN}$$

$$Fu = 16,07 \text{ daN}$$

- Esfuerzo tangencial para la cinta transportadora K:

$$L = 12 \text{ m}$$

$$Cq = 4,24$$

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

$$Fa = 10,51 \text{ daN}$$

$$Fr = 5,56 \text{ daN}$$

$$Fu = 16,07 \text{ daN}$$

4.3.3 Tensión principal que recibe la banda transportadora.

A manera de unificar el criterio de elección de la banda a utilizar, utilizaremos el cálculo de la cinta transportadora que está sometida a mayor esfuerzo, y a través de esta, definiremos la selección de la cinta utilizando solo una de las tensiones, la más grave.

Primeramente, debemos seleccionar el ángulo de abrazamiento que deseamos utilizar en la banda transportadora, acompañado a esto también se seleccionó el tipo de revestimiento que se desea utilizar, como se desea una solución simple, se utilizó un ángulo de abrazamiento de 180 grados con un tambor motriz sin revestimiento, que nos da un factor de abrazamiento de 1,20, extraído de la figura, utilizando las ecuaciones 16, 18 y 19 determinamos los 3 tipos de tensiones a la que está sometida la banda.

$$T2 = Fu \cdot Cw$$

$$T2 = 19,27 \text{ daN} \cdot 1,20$$

$$T2 = 23,124 \text{ daN}$$

$$T1 = Fu + T2$$

$$T1 = 19,27 + 23,124$$

$$T1 = 42,394 \text{ daN}$$

$$T3 = T2 + Fr$$

$$T3 = 23,124 + 6,66$$

$$T3 = 29,784 \text{ daN}$$

Una vez determinada la tensión a la cual está sometida la cinta, determinamos el valor de T_0 , utilizamos el valor de T_0 como la tensión que debe tener la cinta para no sobrepasar una flecha del 2%, dicha flecha del 2% es el valor máximo para poder mantener la cinta transportadora tensionada para evitar desbordamientos de material, y excesivas resistencias pasivas que son causadas por la dinámica del material con el paso de las estaciones.

Este se determina utilizando la Ecuación 20:

$$T0 = 6,25(Q_b + Q_g) \cdot a_0 \cdot 0,981$$

$$T_0 = 6,25 (5,6 + 4,17) \cdot 1 \cdot 0,981$$

$$T0 = 59,90 \text{ daN}$$

Una vez determinado el valor de T_0 , comparamos con el valor de T_3 , y se observa que el valor de T_3 es un valor inferior. T_3 se presenta un valor menor, esta particularidad ocurre cuando se utiliza un sistema tensor de tornillo, ya que se debe hacer el T_3 , igual o mayor que el valor de T_0 , de esta manera igualamos el valor de T_3 con T_0 , y recalculamos las tensiones en el momento mínimo de tensión para que no ocurra desbordamiento.

$$T3 = 59,90 \text{ daN}$$

Despejando tenemos:

$$T2 = 53,24 \text{ daN}$$

$$T1 = 72,51 \text{ daN}$$

Determinadas las nuevas tensiones de trabajo, procedemos a hacer el cálculo de la tensión unitaria máxima, correspondiente a la carga de trabajo de la banda, utilizando la ecuación 21.

$$T_{umax} = (T_{max} \cdot 10) / N$$

$$T_{umax} = 2,417 \text{ N/mm}$$

Como criterio de seguridad, se considera un factor de seguridad de 10 para las bandas reforzadas con productos textiles, lo que nos da como resultado una tensión máxima de trabajo, aplicando el factor correspondiente de $24,17 \text{ N/mm}$.

4.3.4 Diámetro del tambor motriz.

El diámetro del tambor motriz, se establece mediante la figura de diámetros aconsejados dependiendo del ancho de la banda, la cual dice que para bandas reforzadas con productos textiles DIN 22102 con carga de rotura de hasta 200 N/mm , se debe utilizar un diámetro de 200 mm .

4.3.5 Velocidad de giro del tambor motriz.

La velocidad de giro del tambor motriz es un valor necesario para poder establecer una relación entre la velocidad de avance de la cinta, y la correcta elección de un conjunto motor eléctrico y reductor, por esto es necesario determinarla con la ecuación 27.

$$N = \frac{2 \cdot 60}{\pi \cdot 0,2}$$

$$N = 191 \text{ RPM}$$

4.3.6 Diseño del eje del tambor motriz.

Para el cálculo del eje del tambor motriz, de igual manera seleccionamos la cinta transportadora más crítica para determinar compatibilidad de los elementos con respecto a las cintas menos críticas, utilizaremos los valores de T_1 , y T_2 , así como el peso de tambor seleccionado.

Utilizando la ecuación 28.

$$C_p = \sqrt{((T_1 + T_2)^2 + Q_t^2)}$$

Donde

$$Q_t = 34 \cdot 0,981 = 33,36$$

$$C_p = 130,10 \text{ daN}$$

Con valor de C_p calculamos M_f utilizando la ecuación 29.

$$M_f = \frac{C_p}{2} a_g$$

$$a_g = 130 \text{ mm} = 0.13 \text{ m}$$

$$M_f = 8,46 \text{ daNm}$$

$$M_t = \frac{P}{N} 954,9$$

$$M_t = 12.25 \text{ daNm}$$

Se calcula el valor de $M_{if} = \sqrt{M_f^2 + (0,75 M_t^2)}$ con la ecuación 30.

$$M_{if} = 13,57 \text{ daNm}$$

Se calcula W con la ecuación 31, en este punto seleccionamos un acero C40 Normalizado con un esfuerzo admisible de $5,8 \text{ daN/mm}^2$

$$W = \frac{M_{if} \cdot 1000}{\sigma_{adm}}$$

$$W = 2339,66 \text{ mm}^3$$

Con el valor de W , procedemos con la ecuación 32 a calcular el diámetro mínimo del eje, necesario para resistir las cargas aplicadas en el mismo.

$$d = \sqrt[3]{\frac{W \cdot 32}{\pi}}$$

Sustituyendo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{2884,50 \cdot 32}{\pi}}$$

$$d = 28,78 \text{ mm}$$

4.3.7 Diseño del eje del tambor de retorno o contra tambor.

Igualmente, que, en la determinación del diámetro del tambor de retorno, utilizamos la figura para establecer el diámetro mínimo para un contra tambor de 160 mm.

Para el cálculo del eje del contra tambor, se utilizan T_x y T_y , que son las tensiones que salen del contra tambor, este cálculo se puede simplificar, ya que, debido a los sistemas de tensión a tornillo, el valor de T_x es igual al de T_y , y estableciendo una relación entre, T_x y las tensiones presentes en el contra tambor, se utiliza T_3 para el cálculo y la ecuación 28.

$$C_{pr} = \sqrt{(2 T_3)^2 + Q_t^2}$$

Sustituyendo los valores:

$$C_{pr} = \sqrt{(2 \cdot 98,84)^2 + 27,74^2}$$

$$C_{pr} = 122,97 \text{ daN}$$

Calculamos momento flector en el tambor con la ecuación 29.

$$M_f = \frac{C_{pr}}{2} a_g$$

$$M_f = \frac{199,58}{2} \cdot 0,18$$

$$M_f = 11,07 \text{ daNm}$$

Calculamos el momento de resistencia con la Ec. 31 y el diámetro con la Ec.32.

$$W = \frac{M_f \cdot 1000}{\sigma_{adm}}$$

$$W = \frac{(11,07 \cdot 1000)}{5,8}$$

$$W = 1908,63$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{W \cdot 32}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1908,63 \cdot 32}{\pi}}$$

$$D = 26,89 \text{ mm}$$

4.3.8 Cálculo de los rodillos.

Se supone la utilización de un rodillo de 63 mm de diámetro, con este número, se calculó la velocidad de rotación de los rodillos, utilizando la ecuación 27.

$$N = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 60}{63 \cdot \pi}$$
$$N = 606 \text{ RPM}$$

4.3.9 Estaciones portantes superiores.

Una vez determinada la velocidad de rotación de los rodillos, se procede a realizar el cálculo de las cargas estáticas, utilizando la ecuación 20.

$$Ca = a_0 \left(Q_b + \frac{Q_m}{3,6 \cdot V} \right) \cdot 0,981$$

Para:

$$a_0 = 1m$$

$$Q_b = 5,6 \text{ kg/m}$$

$$Q_m = 30 \text{ ton/}$$

$$V = 2 \text{ m/s}$$

$$Ca = 1 \left(5,6 + \frac{30}{3,6 \cdot 2} \right) \cdot 0,981$$

$$Ca = 9,68 \text{ daN}$$

Se calcula la carga dinámica sobre el conjunto de rodillos, son seleccionados de tabla los factores F_d , F_s y F_m .

$F_d = 1$, se selecciona por poseer un tamaño de material de entre 0 y 100mm, así como una velocidad de 2 m/s.

$F_s = 1,1$, se establece un factor de servicio de 10 a 16 horas al día, simulando el uso en los picos de recepción de material.

$F_m = 0,9$, y se considera dicho factor ambiental por condiciones de limpio y con mantenimiento regular.

Se utiliza la siguiente ecuación para establecer la carga dinámica de los rodillos.

$$Ca_1 = Ca \cdot Fd \cdot Fs \cdot Fm$$

$$Ca_1 = 9,69 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,9$$

$$Ca_1 = 9,59 \text{ daN}$$

Esta carga dinámica, es la carga que afecta directamente el conjunto de rodillos, para poder seleccionar individualmente el rodillo a utilizar, se utiliza un factor de participación de los rodillos sobre el conjunto, utilizando la figura, se obtiene un valor $F_p = 0,5$, y se calcula de la siguiente manera:

$$ca = Ca_1 \cdot F_p$$

$$ca = 9,59 \cdot 0,50$$

$$ca = 4,79 \text{ daN}$$

4.3.10 Estaciones portantes inferiores.

El cálculo de las estaciones inferiores también es necesario para la selección de los rodillos inferiores, se determinó la carga estática.

$$Cr = a_u \cdot Q_b \cdot 0,981$$

Donde:

$$a_u = 2 \text{ m}$$

$$Q_b = 5,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Cr = 2 \cdot 5,6 \cdot 0,981$$

$$Cr = 10,98 \text{ daN}$$

Luego se determina la carga dinámica de la estación de retorno, donde se seleccionaron nuevamente factores de funcionamiento, en ese caso se comparten de la estación de rodillos superiores, el factor de servicio, el factor medio ambiental, y se agrega un nuevo factor de velocidad de la cinta $F_v = 1,05$

$$Cr_1 = Cr \cdot F_s \cdot F_m \cdot F_v$$

$$Cr_1 = 10,98 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 1,05$$

$$Cr_1 = 11,42 \text{ daN}$$

De igual manera debemos calcular la participación del esfuerzo sobre la distribución de los rodillos en la estación inferior, siendo $F_p = 1$, ya que la estación

de rodillos inferior solo posee 1 rodillo por lo cual toda la carga se encuentra distribuida sobre el mismo. Teniendo:

$$cr = 11,42 \text{ daN}$$

4.3.11 Cálculo de las potencias de accionamiento de las cintas transportadoras.

Se deben determinar las potencias de accionamiento de las cintas transportadoras para la posterior selección del conjunto motor-reductor del sistema.

Primeramente, debemos calcular las potencias adicionales por concepto de guías, elementos de limpieza y trippers utilizados.

La potencia para accionar los trippers, se calcula mediante la aplicación de la tabla, tenemos que para una velocidad de 2 m/s, una potencia de accionamiento de 1,6 kW, así como para dispositivos de limpieza de contacto simple: 0,32 kW, y guías de carga de 1 metro de longitud, 0,18 kW.

Una vez aclarado los consumos, se calcula la potencia individual consumida por cada cinta transportadora debido a la carga, utilizando la Ec. 22, y se agregan los consumos adicionales calculados anteriormente.

- Consumo de potencia para la cinta transportadora A:

$$P_{\text{cinta}} = 0,38 \text{ kW}$$

$$P_{\text{accesorios}} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{\text{total}} = 0,88 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora B:

$$P_{\text{cinta}} = 0,24 \text{ kW}$$

$$P_{\text{accesorios}} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{\text{tripper}} = 1,6 \text{ kW}$$

$$P_{\text{total}} = 2,34 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora C:

$$P_{\text{cinta}} = 0,36 \text{ kW}$$

$$P_{\text{accesorios}} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{\text{total}} = 0,86 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora D:

$$P_{cinta} = 0,37 \text{ kW}$$

$$P_{accesorios} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 0,87 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora E:

$$P_{cinta} = 0,22 \text{ kW}$$

$$P_{accesorio} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 0,72 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora F:

$$P_{cinta} = 0,15 \text{ kW}$$

$$P_{accesorio} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 0,65 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora G:

$$P_{cinta} = 0,39 \text{ kW}$$

$$P_{accesorio} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{tripper} = 1,6 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 2,45 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora H:

$$P_{cinta} = 0,37 \text{ kW}$$

$$P_{accesorio} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{tripper} = 1,6 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 2,28 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora I:

$$P_{cinta} = 0,37 \text{ kW}$$

$$P_{accesorio} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 0,87 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora J:

$$P_{cinta} = 0,33 \text{ kW}$$

$$P_{ripper} = 1,6 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 1,93 \text{ kW}$$

- Consumo de potencia para la cinta transportadora K:

$$P_{cinta} = 0,33 \text{ kW}$$

$$P_{accesorios} = 0,5 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 0,83 \text{ kW}$$

4.3.12 Selección de los elementos que componen la cinta.

Una vez calculados los parámetros anteriores, procedemos a la selección y de ser necesario, recalculamos.

En este apartado se deben escoger los elementos mecánicos necesarios para el correcto funcionamiento de la cinta transportadora.

4.3.12.1 Banda transportadora.

Debido a la baja carga de rotura a la cual están sometidas las cintas transportadoras, es seleccionada una banda reforzada con productos textiles, determinado el tipo de banda a utilizar, fue seleccionada una banda con resistencia de rotura de 100 N/mm, lo cual proporciona un factor de seguridad de 27,32. Posee una cobertura superior de 1,5 mm, e inferior de 1,5 mm, con un peso de 5,6 kg/m.

Esta banda posee un espesor total de 4,4 mm, y espesores de cubierta de 1,5 mm en la parte superior y 1,5 mm en la parte inferior, con un material de cobertura con propiedades antiabrasivas lo que la hace capaz de hacer el transporte sin sufrir daños en la superficie, debido al bajo flujo de material. El código de esta banda es 300 EP 100/1 1,5+1,5 Y.

4.3.12.2 Rodillos.

Son seleccionados del catálogo de RULMECA, los rodillos de serie PSV 1, estos rodillos ofrecen la más alta calidad. Poseen un sistema de sellado hermético para la protección de los rodamientos, que ofrecen máxima eficacia y duración incluso en presencia de los más severos contaminantes.

Así como también, una máxima duración con un promedio de hasta 30.000 horas de funcionamiento.

En el apartado superior fue seleccionado, debido a su configuración, los rodillos PSV120F14-63N----208, con las siguientes características:

- Diámetro: 63 mm
- Tipo de Rodamiento: Rodamiento de bola 6204
- Dimensiones:
 - B: 200 mm
 - C: 208 mm
 - A: 226 mm
- Peso:
 - Peso de las partes giratorias: 1,5 kg
 - Peso total: 2,1 kg
- Capacidad de carga 127 daN @ 2 m/s

Para el apartado inferior fueron seleccionados, debido a su configuración, los rodillos PSV120F14-63N---388, con las siguientes características. (Ver figura 78).

- Diámetro: 63 mm
- Rodamiento: 6204
- Dimensiones:
 - B: 380 mm
 - C: 388 mm
 - A: 406 mm
- Peso:
 - Peso de las partes giratorias: 2,3 kg
 - Peso total: 3,3 kg
- Capacidad de carga 127 daN @ 2 m/s

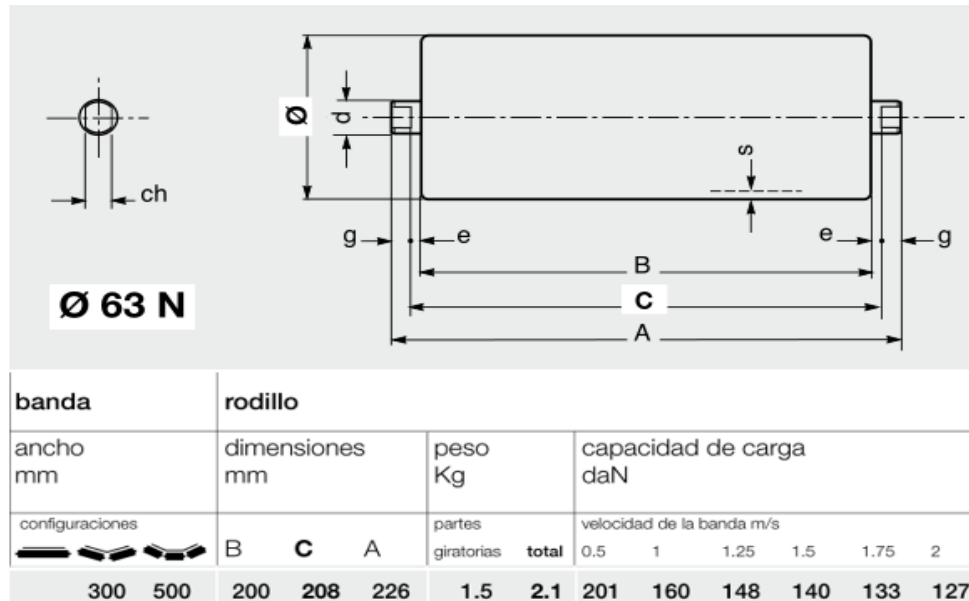


Figura 78: Dimensiones de rodillo seleccionado.

Fuente: RULMECA.



Figura 79: Rodillos.

Fuente: Badiali, Tami. (2020).

Los rodillos seleccionados (figura 79), tanto para las estaciones superiores, como las estaciones inferiores, poseen un acero S235JR para el eje, y un acero S235JR en el tubo.

Este tipo de rodillo posee una capacidad de carga muy superior a la necesaria por el diseño, esto se debe a que, debido a la baja capacidad de transporte requerida, siendo

estos rodillos los más básicos ofrecidos en el catálogo con las características que se buscan.

4.3.12.3 Tambor motriz.

Posterior al cálculo del eje del tambor motriz, con esos valores se selecciona el tambor motriz de serie USC, código USC-190-500-40-YA, fabricados bajo un acero S235JR, con revestimiento antióxido a base de fosfato de zinc de 40 micras color gris.

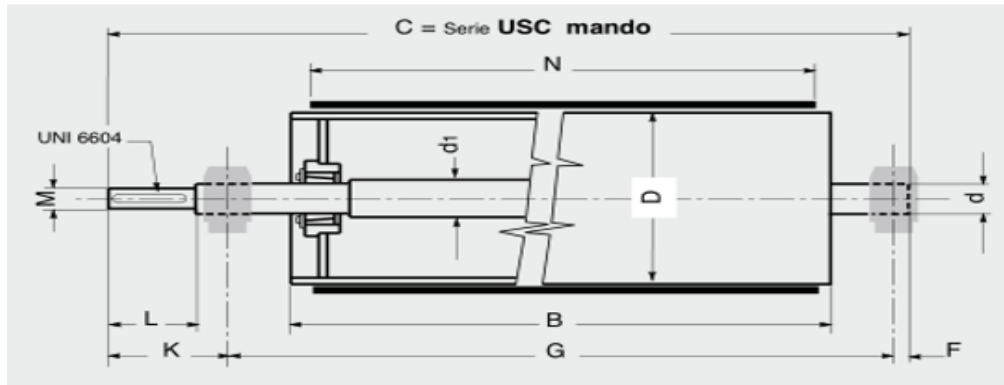
Con las siguientes dimensiones:

- Diámetro: 190 mm
- B = 500 mm
- d = 40 mm
- C = 830 mm
- d1 = 45 mm
- M m6 = 38 mm
- L = 80 mm
- K = 145 mm
- F = 25 mm
- G = 660 mm
- Peso = 34 kg

Estos poseen un eje de 40 mm de diámetro, capaz de soportar las tensiones y esfuerzos calculados, este eje debe ser fabricado de acero c40 normalizado.

Se debe recalculan las RPM de trabajo del tambor motriz, debido al cambio del diámetro del tambor motriz (ver figura 80), utilizando la ecuación 27, sustituimos:

$$N = \frac{2 \cdot 60}{\pi \cdot 0,2}$$
$$N = 201 \text{ RPM}$$



Serie USC tambor motriz con anillos ensambladores

Banda ancho N mm	Tambor tipo	D mm	B	d	C	d1	M m6	L	K	F	G	Peso Kg
400	USC	190	500	40	830	45	38	80	145	25	660	34

Figura 80: Dimensiones del tambor motriz seleccionado.

Fuente: RULMECA (2010).

4.3.12.4 Tambor de Retorno o Contra tambor.

Una vez realizados los cálculos correspondientes, se seleccionó, el tambor de retorno de serie CUF, código CUF-190-500-40-YA, está fabricado bajo un S235JR, con revestimiento antióxido a base de fosfato de zinc de 40 micras color gris, aquí es importante resaltar la selección de esta serie de contra tambores, debido a que son compatibles con los sistemas tensores de tornillo, y cuenta con las siguientes características. (Ver figura 81).

Dimensiones del contra tambor:

- Diámetro: 190 mm
- B = 500 mm
- d = 40 mm
- C = 820 mm
- d1 = 38 mm
- M m6 = 38 mm
- F = 30 mm
- G = 760 mm
- Peso = 28 kg

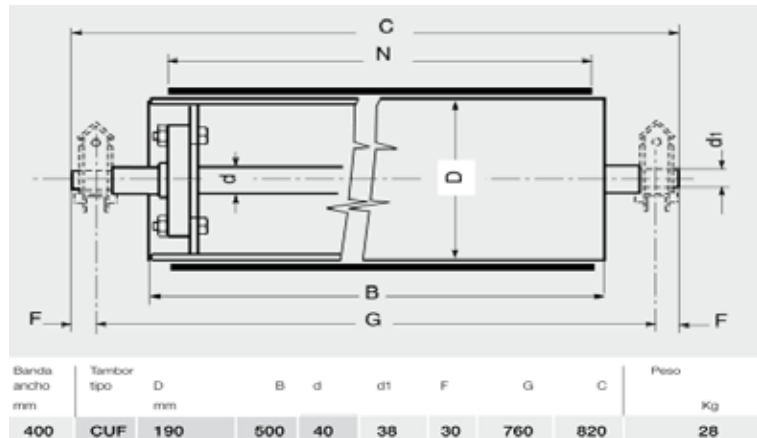


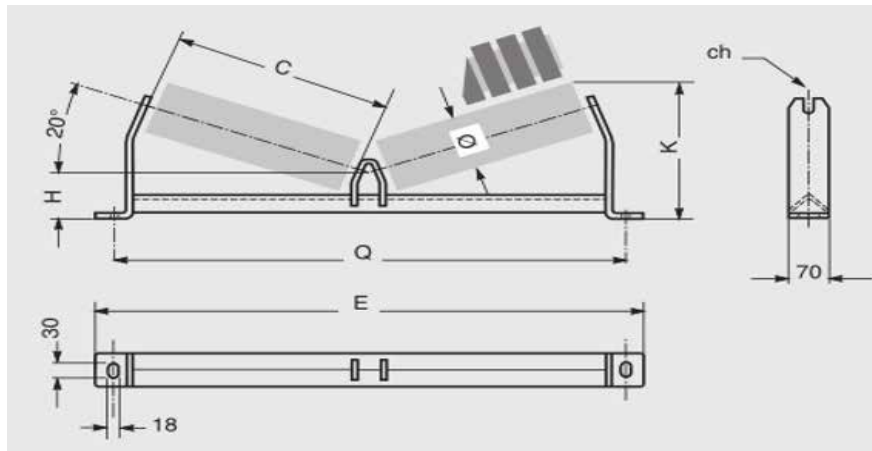
Figura 81: Dimensiones del contra tambor seleccionado.

Fuente: RULMECA (2010).

Igualmente ocurre en el contra tambor, tal como el tambor motriz, este tambor de retorno es compatible con el diseño por poseer un diámetro del eje superior al diámetro del eje mínimo calculado, este eje se debe fabricar bajo un acero C40 normalizado, para poder cumplir con la carga y la tensión a la que está sometido.

4.3.12.5 Estructura del bastidor.

Se seleccionó, para la estructura del bastidor superior un tipo de travesaño A2 S-20, este travesaño posee una capacidad de carga de 338 kg, para trabajo con bandas de 300 mm, y compatibilidad con diámetros de rodillo desde 60 mm hasta 110 mm. El código de este travesaño es A2 S/49-300F14H95---YA. (Ver figuras 82 y 83).



Codigo de pedido	banda		rodillo		travesaño					Peso* sin rodillos Kg	
	ancho mm		Ø mm	C	ch	carga Kg	H mm	K max	Q		E
A2 S/49	300		63	208	14	338	95	213	540	600	3.9

Figura 82: Dimensiones de estructura del bastidor superior.
Fuente: RULMECA (2010).



Figura 83: Estructura portante superior.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Se seleccionó, para la estructura del bastidor inferior de retorno plano de rodillo liso, un soporte SPT 1478, código SPT1478F14YA, con un largo de 388 mm. (Ver figuras 84 y 85).

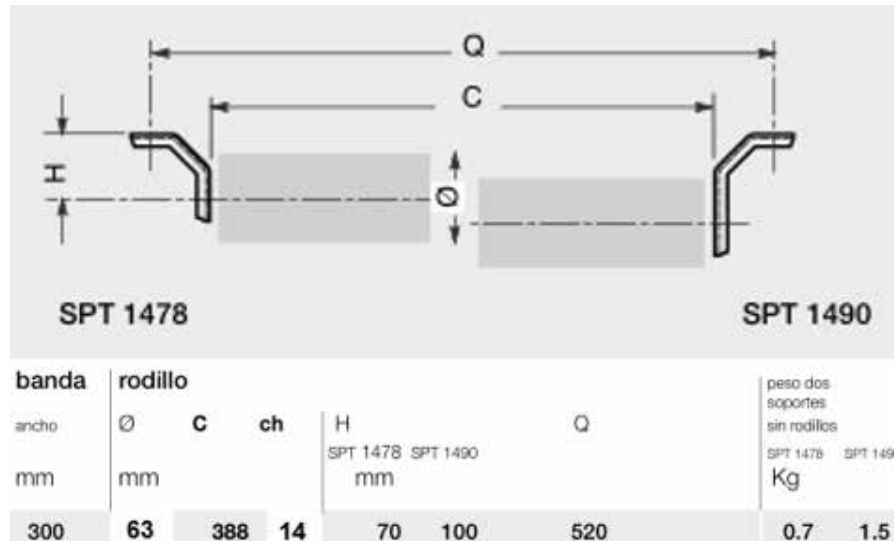


Figura 84: Dimensiones de estructura del bastidor inferior seleccionado.
Fuente: RULMECA (2020).



Figura 85: Estación portante inferior
Fuente: Badiali, Tami (2020).

4.3.12.6 Sistema tensor.

Se selección un sistema tensor de tornillo, ya que es el método de tensionamiento recomendado para cintas transportadoras con distancias entre centros menores a 50 metros, para el caso de este trabajo, la cinta transportadora más larga es de 17 metros. El sistema tensor escogido es de tipo TDV03, compatible con el contra tambor seleccionado, y con una longitud de tensión de hasta 500 mm, esto seleccionado bajo el criterio de la longitud recomendada de la banda cuando está bajo tensión, que cuando la tensión de trabajo se encuentra por debajo de un 75% de la tensión de rotura, se

utiliza para el tensor de tornillo una longitud de un 3% sobre bandas con empalmes vulcanizados. (Ver figura 86).

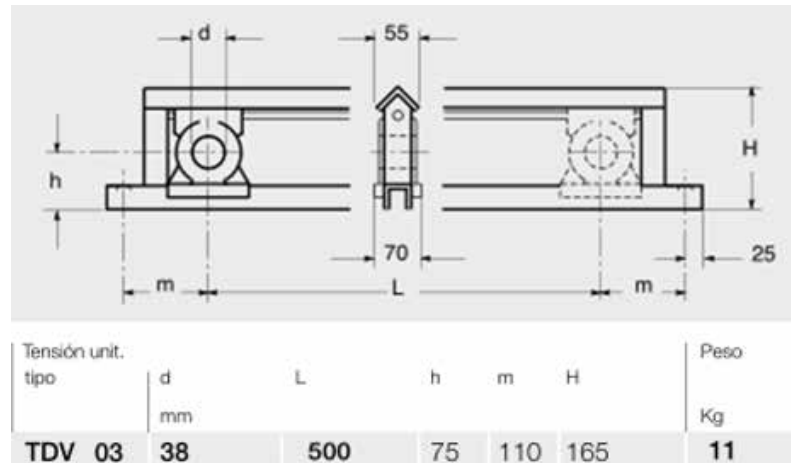


Figura 86: Dimensiones del sistema tensor de tornillo.

Fuente: RULMECA (2010).

4.3.12.7 Elementos de limpieza.

Fue seleccionado un limpiador de serie P, El limpiador propuesto es de cuchillas raspadoras múltiples, montadas en un soporte elástico intermedio que confiere a las cuchillas un movimiento independiente y asegura una continua y eficaz limpieza de la banda ya que este limpiador está diseñado para un uso en cintas transportadoras unidireccionales, como ocurre en este caso. Un limpiador que funciona para un ancho de banda de 300 mm, con 2 puntas, y una superficie de limpieza de 300 mm. Los limpiadores serie P están caracterizados por elementos raspadores (TIPS) fijados en un bastidor tubular mediante componentes de goma muy resistentes y elásticos. (Ver figuras 87 y 88).



Figura 87: Elemento limpiador de serie P.
Fuente: RULMECA.

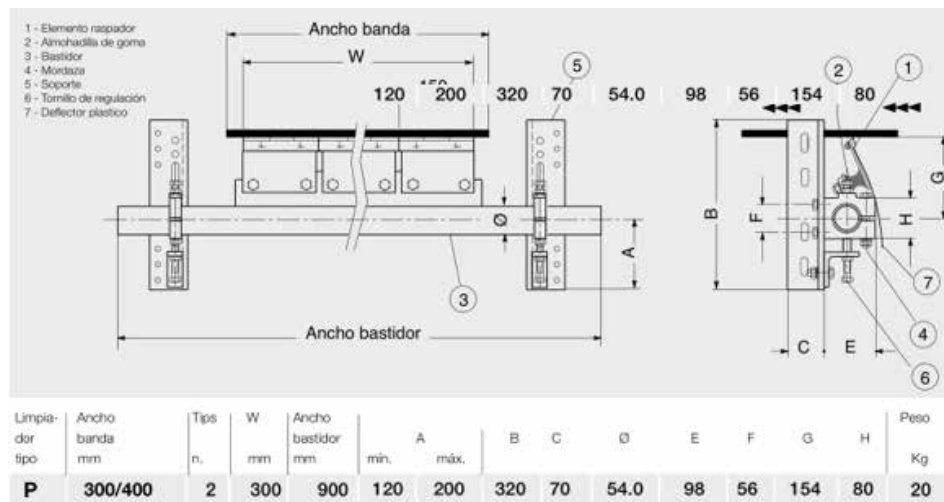


Figura 88: Elemento limpiador seleccionado.
Fuente: RULMECA.

4.3.12.8 Tolvas y guías de carga.

En la sección de cálculos, se utilizaron guías de carga de 1 metro de longitud, esto con motivo a que, en el momento en que el material se encuentre sobre la cinta sin la guía de carga el material no resbale sobre la misma, y se comporte de manera estable hasta su posterior descarga. (Ver figura 89).

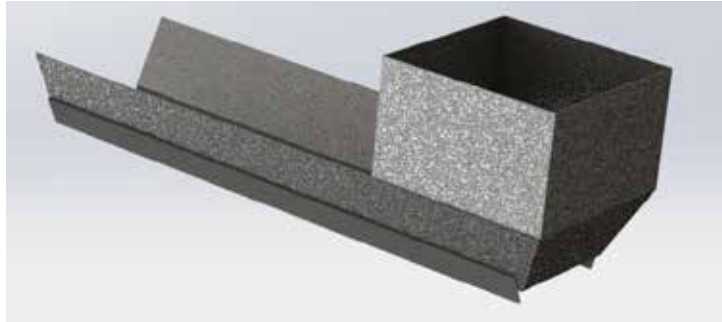


Figura 89: Tolva con guías de carga.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

4.3.13 Cálculo de la carga en el arranque.

Para la correcta selección de un conjunto motorreductor, también se debe considerar el momento de arranque de la cinta, para esto se consideró que el esfuerzo tangencial en el arranque es 60% mayor al esfuerzo tangencial en régimen de trabajo. De esta manera determinamos para cada cinta transportadora el esfuerzo tangencial de arranque F_{U_A} .

$$F_{U_A} = 1,6 F_U$$

Una vez calculada el esfuerzo tangencial, se calcula el par motor máximo que se debe aplicar en el tambor motriz para el arranque de la cinta, utilizando la Ec 34.

- Para de motor máximo para la cinta transportadora A:

$$F_U = 18,80 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 30,08 \text{ daNm}$$

$$M_A = 28,58 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora B:

$$F_U = 12,04 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 19,27 \text{ daNm}$$

$$M_A = 18,31 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora C:

$$F_u = 17,81 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 28,50 \text{ daNm}$$

$$M_A = 27,08 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora D:

$$Fu = 18,23 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 29,17 \text{ daNm}$$

$$M_A = 27,71 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora E:

$$Fu = 10,81 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 17,30 \text{ daNm}$$

$$M_A = 16,44 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora F:

$$Fu = 7,25 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 11,6 \text{ daNm}$$

$$M_A = 11,02 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora G:

$$Fu = 19,27 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 30,87 \text{ daNm}$$

$$M_A = 29,33 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora H:

$$Fu = 18,23 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 29,16 \text{ daNm}$$

$$M_A = 27,70 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora I:

$$Fu = 18,23 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 29,16 \text{ daNm}$$

$$M_A = 27,70 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora J:

$$Fu = 16,07 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 25,72 \text{ daNm}$$

$$M_A = 24,43 \text{ Nm}$$

- Para de motor máximo para la cinta transportadora K:

$$Fu = 16,07 \text{ daN}$$

$$F_{U_A} = 25,72 \text{ daNm}$$

$$M_A = 24,43 \text{ Nm}$$

4.3.14 Selección del conjunto motor-reductor.

La potencia de accionamiento de la cinta transportadora es la potencia necesaria de la cinta para poder ser accionada, el diseño abarca la selección del conjunto motorreductor. Una vez determinada la potencia de accionamiento, debe haber consideraciones al momento de seleccionar el conjunto motor reductor, se deben considerar los rendimientos por concepto de motor eléctrico y reductor, estos valores suelen para los motores eléctricos ser de $\eta_M = 85\%$ y para los reductores de $\eta_R = 95\%$.

- Cinta Transportadora A

$$P_M = \frac{P_{total}}{\eta_M \eta_R}$$

$$P_M = \frac{0,88 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 1,09 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 1,46 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora B

$$P_M = \frac{2,34 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 2,90 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 3,88 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora C

$$P_M = \frac{0,86 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 1,07 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 1,44 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora D

$$P_M = \frac{0,87 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 1,08 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 1,45 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora E

$$P_M = \frac{0,72 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 0,90 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 1,20 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora F

$$P_M = \frac{0,65 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 0,80 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 1,08 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora G

$$P_M = \frac{2,45 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 3,02 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 4,05 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora H

$$P_M = \frac{2,28 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 2,83 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 3,79 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora I

$$P_M = \frac{0,87 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 1,08 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 1,45 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora J

$$P_M = \frac{1,93, \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 2,39, \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 3,20 \text{ HP}$$

- Cinta Transportadora K

$$P_M = \frac{0,83 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$P_M = 1,03 \text{ kW}$$

$$P_{M(HP)} = 1,38 \text{ HP}$$

Una vez calculadas las potencias del conjunto motorreductor, fueron seleccionados de catálogo los siguientes motorreductores:

Para las cintas transportadoras con un accionamiento menor o igual a 2 HP.

Marca: WEG

Modelo: K022-11P-90S/L/04F

Potencia: 2 HP (1,49 kW)

Input: 1755 RPM

Output: 206 RPM

Relación de RPM: 8,51

Torque: 611 lb-in (69 Nm)

Para las cintas transportadoras con un accionamiento mayor a 2 HP y menor a 3 HP.

Marca: WEG

Modelo: KH063-11P-100L-04E

Potencia: 3 HP (2,23 kW)

Input: 1745 RPM

Output: 196 RPM

Relación de RPM: 8,92

Torque: 947 lb-in (107 Nm)

Para las cintas transportadoras con un accionamiento mayor a 5,5 HP y menor a 7,5 HP.

Marca: WEG

Modelo: K063-11P-L132M-06G

Potencia: 5,5 HP (4,10 kW)

Input: 1755 RPM

Output: 196 RPM

Relación de RPM: 8,97

Torque: 1796 lb-in (202,92 Nm)

Este conjunto motorreductor se acopla directamente en el eje del tambor motriz, no es necesario el uso de una transmisión por cadenas, pero si utiliza una chaveta como elemento transmisor de potencia. (Ver figura 90).



Figura 90: Conjunto motorreductor WEG seleccionado.

Fuente: WEG (2020).

4.3.15 Diseño de la chaveta.

Para el diseño de la chaveta se encuentra que el eje del tambor motriz cuenta con una normalización de la misma, establecido por la norma UNI 6604, que dice que para un eje de 38 mm (parte del eje donde la chaveta trabaja), debe poseer una altura de 8 mm , y un espesor de 12 mm, teniendo el torque máximo otorgado por el reductor, y suponiendo una longitud de 30 mm, despejando la ecuación, calculamos el esfuerzo admisible de la chaveta bajo un momento de 269,02 Nm.

$$\sigma_{adm} = \frac{2 M}{D \left(\frac{H}{2}\right) l}$$
$$\sigma_{adm} = \frac{2 \cdot 202,92}{0,038 \left(\frac{0,008}{2}\right) (0,03)} = 89 \text{ MPa}$$

Una vez determinado el esfuerzo admisible al que está sometido el chavetero (ver figura 91), se seleccionó como material un acero 1030 laminado en frío, con un esfuerzo de fluencia $\sigma_y = 303 \text{ MPa}$, obteniendo así un factor de seguridad de trabajo del chavetero de: 3,40.



Figura 91: Chaveta.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

4.4 Diseñar un sistema de control para el proceso de transporte de producto de una planta de acondicionamiento, secado y almacenamiento de granos.

El producto tendrá un trecho y una serie de etapas a recorrer desde el punto de ingreso o recepción hasta llegar a la etapa de almacenamiento; para disminuir las pérdidas, desvíos y hacer un uso más eficiente de los recursos, debe existir un instrumento que certifique su paso por cada uno de estos "momentos" e indique hacia dónde ha continuado su recorrido. Estos controles deben indicar también qué tipo de producto ha sido movilizado, en qué cantidad, cuáles son sus condiciones e identificar a las personas que han intervenido en el proceso de su movilización.

Los instrumentos documentales y los procedimientos de control y seguimiento de las provisiones, deben ser acordados y diseñados en la etapa de preparación del plan de logística. Los formularios de registro que se utilizarán tienen que ser oficiales, con numeración consecutiva y previendo copias para cada una de las personas que tendrán responsabilidad en las diferentes etapas.

El diseño anterior y cuidadoso de la documentación es importante, ya que esta tiene que hacer coincidir y complementar información proveniente de las diversas etapas en el recorrido del producto. Es importante además definir claramente a las personas que serán responsables del control en cada una de estas etapas.

Al definir los procedimientos de control se tiene la difícil tarea de encontrar el balance entre métodos sencillos que no obstaculicen el flujo pero que al mismo tiempo no permitan el movimiento incontrolado de suministros. Una clave importante es asegurar que las personas a cargo conozcan el uso de los diferentes formularios y apliquen apropiadamente los procedimientos, así como la supervisión constante de las personas y las actividades.

Los aspectos que se deben controlar en cada una de las diferentes etapas en el recorrido de los suministros dentro de la empresa se pueden resumir de la siguiente manera:

- **Llegada del producto a los puntos de ingreso y sitios de recepción.**
 - Ingreso y registro de las provisiones;

- Almacenamiento temporal;
- Salida del producto (entrega para su uso o distribución, o envío a otros sitios de almacenamiento).
- **Transporte del producto dentro del terreno.**
 - Carga del producto;
 - Aviso al destinatario sobre el envío de la carga;
 - Transportación;
 - Descarga de las provisiones.
- **Almacenamiento del producto.**
 - Registro de ingresos de producto;
 - Inventarios y control de existencias;
 - Medidas de higiene y seguridad de la bodega;
 - Fechas de vencimiento y rotación de existencias;
 - Servicios y mantenimiento de equipos que lo requieran;
 - Registro y constancia de pérdidas y destrucción de artículos;
 - Registro de salida de producto.
- **Salida del producto del sitio de almacenamiento (entregas o envíos a puntos de distribución).**
 - Carga de las provisiones;
 - Aviso al destinatario sobre el envío de la carga;
 - Transportación (incluye trasbordos);
 - Descarga de las provisiones.
- **Distribución del producto.**
 - Registro del producto que llega a los puntos de distribución;
 - Almacenamiento del producto;
 - Registro e identificación de beneficiarios;
 - Registro de entrega a los beneficiarios;
 - Inventarios y control de existencias;
 - Informe diario de distribución.

4.4.1 Variables.

Algunas variables utilizadas en el presente diseño son las siguientes:

Eficiencia en el consumo de energía: es la relación entre la cantidad de energía entregada al sistema (banda) y la cantidad de energía aprovechable para realizar trabajo.

Control de velocidad: es hacer que la velocidad y aceleración con que se desplaza el sistema de transporte se mantenga dentro de un rango deseado.

Manipulación de corrientes y tiempos: se refiere a mantener la magnitud de la corriente y los tiempos de activación y desactivación del motor dentro de un rango establecido.

4.4.1.1 Variables Independientes.

- Control de la banda.
- Precisión del peso a transportar.
- Tiempo que tarda la banda en dar una vuelta.
- Control de velocidad y aceleración.

4.4.1.2 Variables Dependientes.

- Torque del motor banda y piñón de accionamiento.
- Voltaje.
- Velocidad del motor.
- Velocidad de transporte del material.

4.4.2 Señales eléctricas del control.

Una señal eléctrica es un tipo de señal generada por algún fenómeno electromagnético. Se considera como señal la información útil para el circuito. Dentro del sistema de control se tienen dos tipos de señales eléctricas, las cuales se presentan en forma de corriente alterna AC y corriente directa DC, cuyas magnitudes con respecto al tiempo se muestran a continuación en la figura 92.

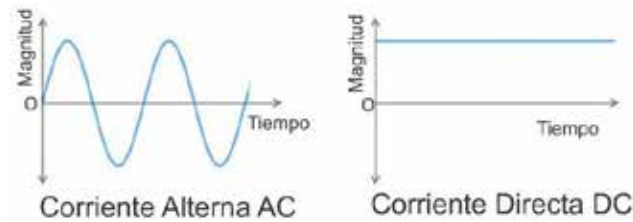


Figura 92: Señales eléctricas por tipo de corriente.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Una señal eléctrica analógica es aquella en la que los valores de la tensión o voltaje varían constantemente en forma de corriente alterna, incrementando su valor con signo eléctrico positivo (+) durante medio ciclo y disminuyéndolo a continuación con signo eléctrico negativo (-) en el medio ciclo siguiente. El cambio constante de polaridad de positivo a negativo provoca que se cree un trazado en forma de onda sinusoidal. Este tipo de señal viene de las líneas de voltaje, la cual es utilizada en el control para energizar bobinas, encender luces y

Una señal eléctrica binaria es un tipo de señal que sólo puede adoptar dos valores concretos (1 o 0), cada valor que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango. Este tipo de señal dentro del control proviene de la fuente de alimentación que convierte la corriente alterna en corriente continua, necesaria para energizar el sensor y recibir los pulsos necesarios a través de un contacto con temporizador a la desconexión. (Ver figura 93).

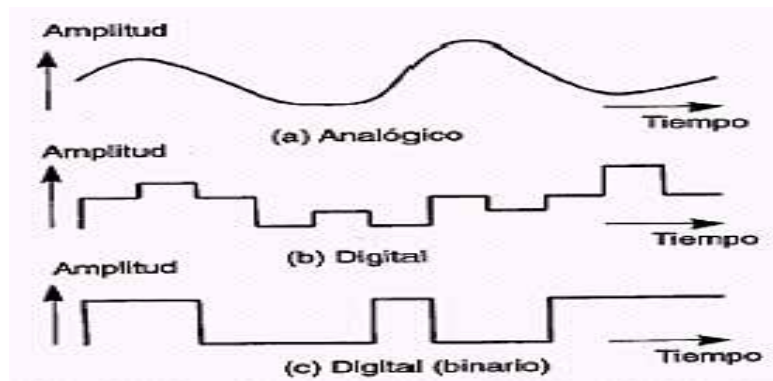


Figura 93: Señales eléctricas por tipo de impulso.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

4.4.3 Tipo de control.

Sistema de control de lazo abierto: Es aquel sistema en el cual la salida no tiene efecto sobre el sistema de control, esto significa que no hay realimentación de dicha salida hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. En este caso, al ser el movimiento de la banda transportadora la salida del sistema, no requiere retroalimentación ya que la misma no tiene efecto sobre la entrada de energía del sistema.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil mantenimiento.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Estas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

Sistema de control de dos posiciones: Es la acción de control más simple y económico de las empleadas en los lazos de regulación automática (ver figura 94), también es conocido como control de sí-no, on-off y todo-nada. Este modo de control ON-OFF es el más elemental y consiste en activar las revoluciones del motor por medio de un pulso de energía ocasionado por un sensor cuando detecta que el material está sobre la superficie de la cinta transportadora.

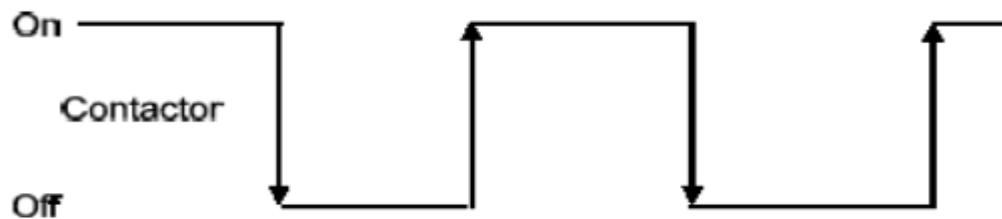


Figura 94: Control de dos posiciones.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Sistema de control automático: La acción de control se ejerce sin intervención del operador y su solución es cableada, es decir, rígida, no se puede modificar. Luego de energizar la fuente de alimentación DC y colocando un sensor sobre la superficie de la cinta podemos observar cuando hay presencia de producto en la superficie de la misma, generando un pulso que enciende el motor automáticamente.

Esquema de monitoreo y control del movimiento de la cinta.

El sistema de control para el desarrollo de este proyecto de investigación es de lazo abierto, es decir, se presenta un controlador en forma de operario que maneja la información del sistema, este acciona un actuador que energiza el sensor, dicho sensor al detectar material sobre la cinta envía un pulso eléctrico que energiza la entrada de corriente a la bobina del motor, que a su vez está acoplado al eje del tambor motriz de la cinta, obteniendo la salida en forma de movimiento de la cinta transportadora. A continuación, en la figura 95, se muestra el esquema del sistema de control del proceso de funcionamiento de cada cinta transportadora.

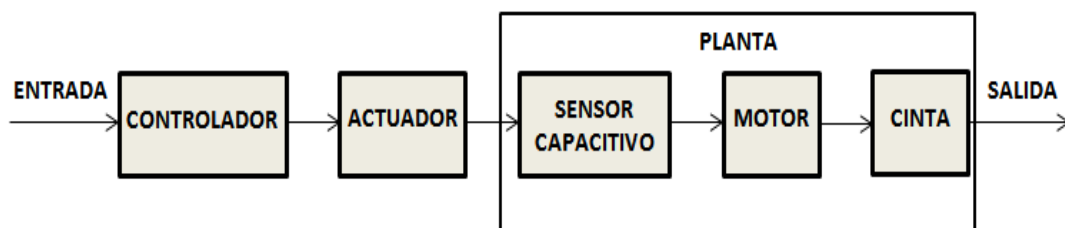


Figura 95: Esquema de control del movimiento de la cinta.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Podemos definir las diferentes etapas del sistema de control de la siguiente manera:

- Fase 1: La entrada de un sistema de control es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su manipulación se logra que el sistema cumpla un objetivo determinado. Las variables de entrada, son variables que ingresan al sistema y no dependen de ninguna otra variable interna del mismo, en este caso el movimiento de la cinta accionada por el acople con las RPM del motor.

- Fase 2: El controlador es un operario físico que posee los conocimientos necesarios para el correcto funcionamiento y control del proceso en la planta.
- Fase 3: El actuador es el botón de inicio que energiza la fuente de alimentación que otorga el voltaje necesario para el funcionamiento del sensor.
- Fase 4: Se designa como planta a cualquier objeto físico que puede ser controlado. La función de la planta o proceso se encuentra activa una vez que el sensor está energizado, este se encarga de enviar el impulso energético a la bobina de accionamiento del motor, el cual está acoplado al tambor motriz de la cinta transportadora, dicho impulso del sensor es generado al detectar el producto sobre la superficie de la cinta al inicio de la carrera.
- Fase 5: La salida de un sistema de control es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su estudio se analiza si el sistema cumple o no con los objetivos propuestos. En este caso, la salida que obtenemos es el movimiento de la cinta transportadora que permite el desplazamiento del producto a través de las instalaciones. En la tabla 13 se definen las variables de control.

Tabla 13: Variables de control del funcionamiento de la cinta.

VARIABLE	ENTRADA	SALIDA	PLANTA
Control del encendido y apagado del motor que impulsa el tambor motriz de la cinta transportadora.	Localización del sensor.	Movimiento de la cinta transportadora.	Relaciones mecánicas y eléctricas del sistema.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

4.4.4 Diagrama de simulación de potencia del motor.

Los motores trifásicos son motores en los que el bobinado inductor colocado en el estátor, está formado por tres bobinados independientes desplazados 120° eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna.

Con el uso del software de simulación eléctrica CAD CADe_SIMU hemos realizado la simulación de la potencia del motor, demostrando que el circuito de control funciona de manera correcta. Podemos observar el flujo de corriente en las siguientes figuras.

La corriente de entrada se obtiene primeramente de las líneas de alimentación (ver figura 96)., cada una conocida como cable de fase, que denominamos L1, L2 y L3 respectivamente de cada fase de línea y PE es el conductor de protección (tierra) del motor, del inglés Protective Earth. Como podemos observar en la siguiente figura.

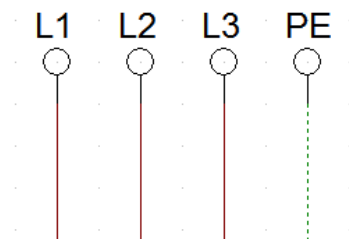


Figura 96: Cableado de líneas y tierra.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Seguidamente se conectan las tres fases a un disyuntor trifásico normalmente abierto (ver figura 97), también conocido como breaker, como medio de protección inicial de los equipos para controlar manualmente el flujo de corriente que los mismos reciben.

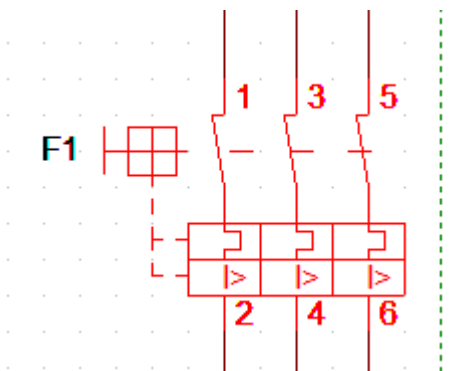


Figura 97: Conexión al disyuntor tripolar.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Luego de que el disyuntor está energizado, la corriente llega hasta un contactor tripolar normalmente abierto (ver figura 98), que cambia de estado cuando la bobina K1 es energizada en la simulación de control y permite el flujo de corriente a través del disyuntor.

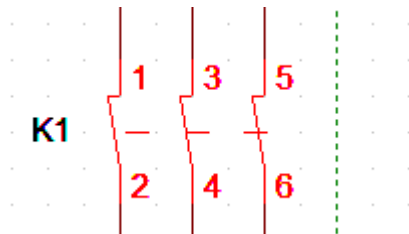


Figura 98: Conexión al contactor tripolar energizado.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Una vez el contactor K1 es energizado, la corriente fluye hasta el siguiente accesorio que es un protector térmico trifásico normalmente cerrado (ver figura 99). El protector térmico trifásico actúa sobre el circuito de potencia, mediante un contactor asociado que alimenta directamente al motor, a través de sus tres contactos principales. Además de proteger contra altas y bajas de tensión, el protector térmico trifásico detecta indirectamente la falta de una fase sobre el motor. Este optimiza la durabilidad de los motores, impidiendo que funcionen en condiciones de calentamiento anómalas.

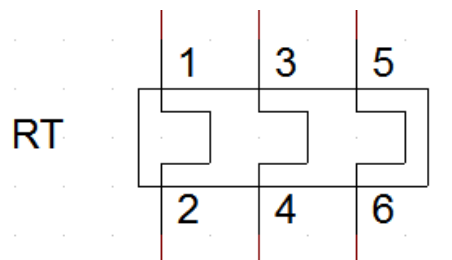


Figura 99: Conexión al protector térmico.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Cuando la carga energética de línea fluye a través de los accesorios nombrados anteriormente llega a su destino final y energiza el motor trifásico (ver figura 100) a través de una configuración de arranque directo.

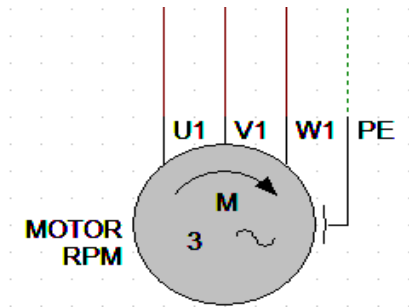


Figura 100: Conexión al motor trifásico energizado.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

4.4.5 Diagrama de simulación de control del proceso.

Utilizando el software de simulación eléctrica CAD, CADe_SIMU, hemos realizado la conexión del control del movimiento automatizado de la cinta transportadora y comprobando que el control funciona correctamente con la simulación de la potencia del motor trifásico, tomando en cuenta el uso de pulsadores, fusibles, contactores, relés, luces piloto, bobinas, fuente de alimentación y el funcionamiento del sensor. En la siguiente figura podremos observar el diagrama de control y potencia del encendido automatizado del motor que impulsa la cinta transportadora. (Ver figura 101).

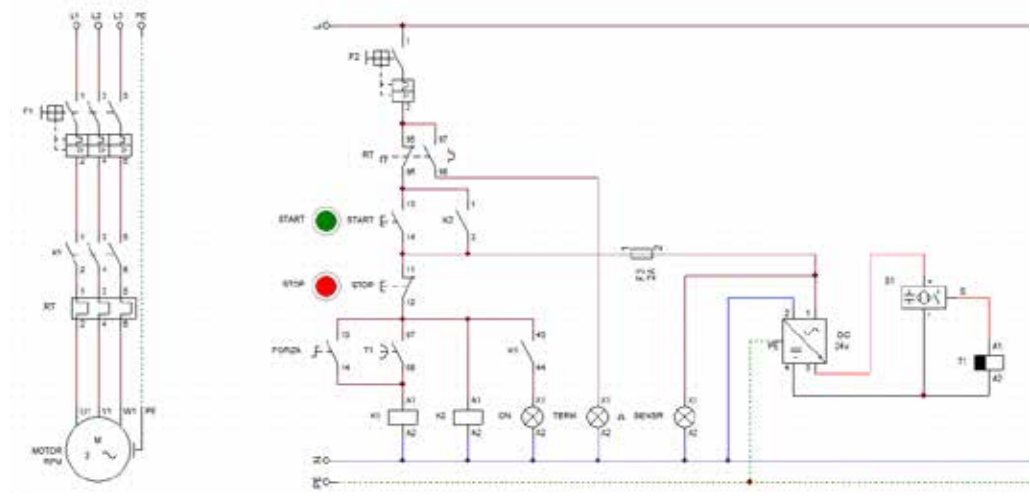


Figura 101: Cableado del sistema de control de arranque del motor.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

La energía del sistema de control fluye desde una línea de fase hasta el cable neutro. Pasando primeramente a través de un disyuntor unipolar (F2) de protección (ver figura 102) para controlar manualmente la entrada de energía al sistema.

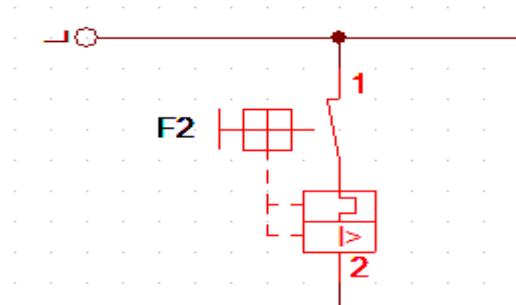


Figura 102: Conexión al disyuntor unipolar energizado.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Posteriormente la energía fluye a través de un relé térmico de dos polos (RT), un polo normalmente abierto y el otro normalmente cerrado, que solamente cambian de estado cuando ocurre una emergencia térmica en el cableado de potencia. A través del polo normalmente abierto se encuentra la conexión de una señalización óptica intermitente de color rojo (TERM), que se energiza automáticamente al activarse la emergencia térmica. (Ver figura 103).

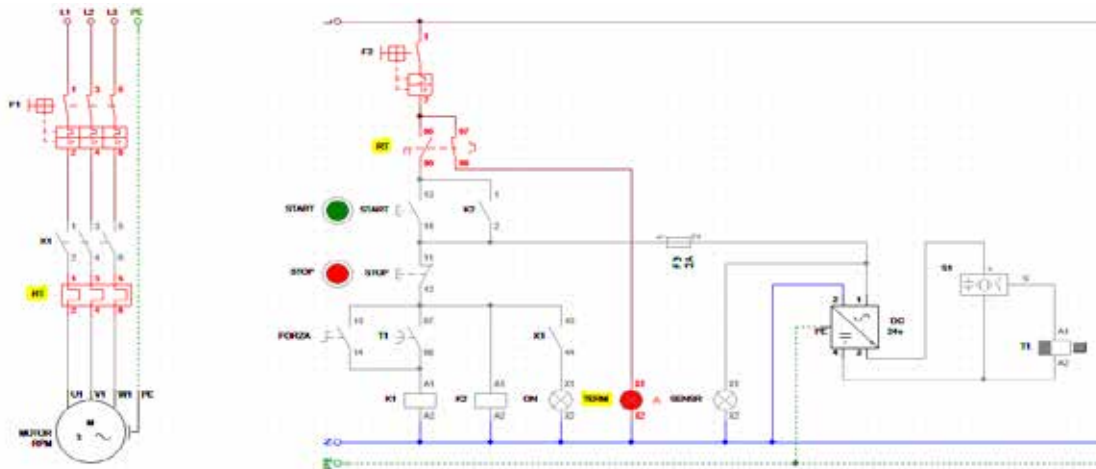


Figura 103: Conexión al protector térmico bipolar con emergencia térmica.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Por otra parte, a través del polo normalmente cerrado (figura 104) del relé térmico (sin emergencia térmica) continúa el flujo de la energía de control hacia los pulsadores de mando la fuente de poder del sensor y de las bobinas que energizan el motor, que se desenergizan automáticamente al detectarse la emergencia térmica.

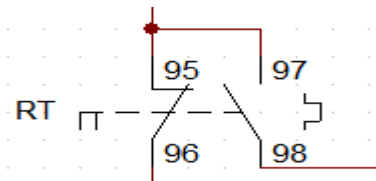


Figura 104: Conexión al protector térmico bipolar.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Luego de que la energía pasa a través del contacto normalmente cerrado del relé térmico, el circuito cuenta con dos pulsadores para activar y desactivar (START y STOP respectivamente) el enclavamiento de la energía de control que se genera al energizar la bobina K2 que modifica el estado del contactor K2 normalmente abierto, que pasa a través de un fusible de protección (F3) para la fuente de alimentación (DC) y energiza el sensor, encendiendo a su vez la señalización óptica de color amarillo (SENSR) que notifica que el sensor se encuentra energizado. (Ver figura 105).

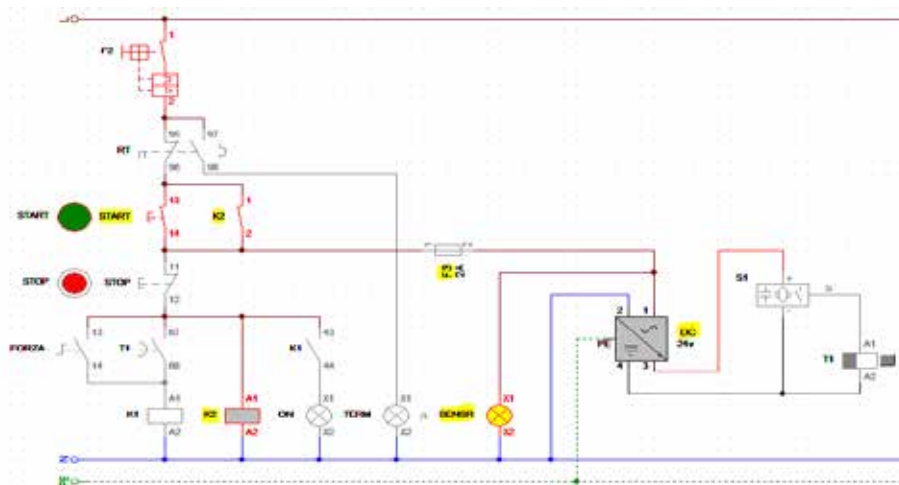


Figura 105: Simulación de encendido del sistema.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Una vez energizada la fuente de alimentación AC/DC se encuentra energizado el sensor (S1) a través de corriente directa, que se encargará de enviar un pulso de energía al relé temporizador off-delay (T1), dicho relé energiza al contactor T1 inmediatamente detecta el producto sobre la cinta transportadora y desenergiza al contactor T1 después de unos segundos sin detectar material sobre la cinta transportadora. (Ver figura 106).

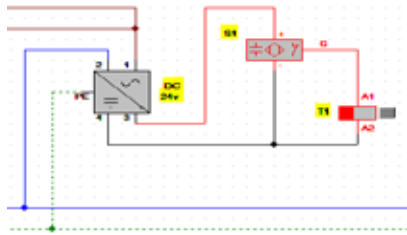


Figura 106: Conexión del sensor a la fuente de alimentación AC/DC.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Al energizarse el contactor T1 se cierra el circuito que energiza la bobina K1 que enciende la señalización óptica piloto de color verde (ON) que indica que el motor se encuentra en funcionamiento y, a su vez, hace cambiar de estado al contactor K1 que energiza el arranque directo del motor trifásico. (Ver figura 107).

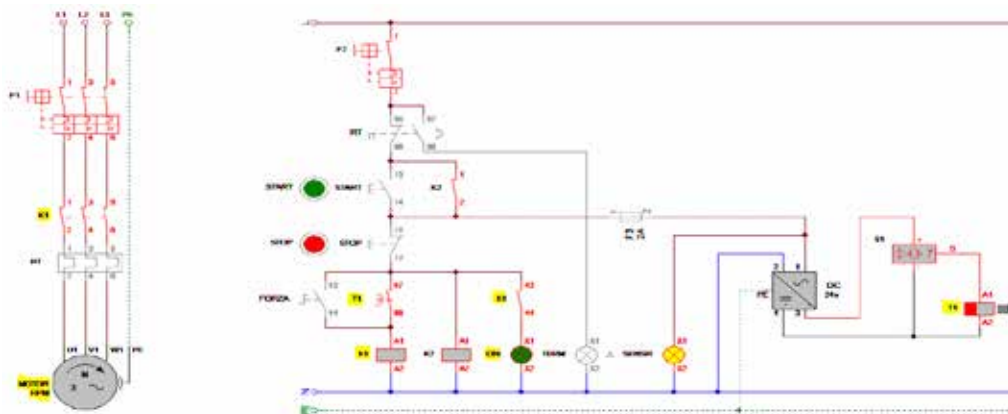


Figura 107: Simulación de encendido del motor a través del sensor.
Fuente: Badiali, Tami (2020).

Una vez se encuentra encendido el motor el sistema se completa al obtener la velocidad requerida en la cinta transportadora con el acople del tambor motriz al

trifásico. De ocurrir un accidente se implementa el pulsador de apagado de emergencia de color rojo (STOP) que desenergiza inmediatamente todo el sistema de control y, a su vez, detiene el funcionamiento del motor trifásico que detiene el movimiento de la cinta transportadora.

De requerir un arranque forzado sin utilizar el sensor, se implementa en el sistema un interruptor normalmente abierto (FORZA) que funciona luego de presionar el pulsador START y cuando se activa manualmente energiza directamente la bobina K1 que activa el contactor K1 de encendido del motor y la señalización óptica de color verde (ON) que notifica que el motor se encuentra en funcionamiento.

4.5 Estudio de factibilidad económica.

La evaluación del proyecto por medio de métodos matemáticos-financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe en el futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas a largo plazo. Las técnicas de evaluación económicas son herramientas de uso general.

4.5.1 Inversión Inicial.

La inversión inicial (tabla 14) es igual a la suma del capital fijo y el capital de trabajo, donde el capital fijo es la suma de los activos fijos tangibles y los intangibles, y se considerará cinco años para el estudio de factibilidad económica.

Tabla 14: Inversión inicial.

Descripción	Precio total (Bs.)
300 Rodillos de acero.	500.116.380 Bs.
11 Tambor motriz.	825.192.027 Bs.
150 Estructura acanalada.	1.000.232.760 Bs.
7 Motoreductor de 2 HP (WEG).	910.211.811,6 Bs.
1 Motoreductor de 3 HP (WEG).	195.045.388,2 Bs.
5 Motoreductor de 5,5 HP (WEG).	1.825.424.787 Bs.
350 Metros de cinta.	770.179.225,2 Bs.
90 Estructura inferior.	30.006.982,8 Bs.
Elaboración del proyecto (mano de obra y suministro de materiales).	400.093.104 Bs.

Total de capital fijo tangible.	6.456.502.466 Bs.
---------------------------------	-------------------

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Los activos fijos intangibles corresponden a los estudios de ingeniería y los imprevistos que pueden suceder en el desarrollo del proyecto, los cuales se pueden estimar en un 10% del costo físico de activos tangibles y los estudios de ingeniería. (Ver Tabla 15).

Tabla 15: Activos intangibles.

Descripción	Precio (Bs.)
Estudios de ingeniería	645.650.246,6 Bs.
Imprevistos	710.215.271,2 Bs.
Total CFi	1.355.865.518 Bs.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

Para obtener el capital de trabajo se tomará en cuenta el 10% de los elementos y equipos que conforman la cinta transportadora. Como rodamientos, bandas, motoreductores, bujes.

$$C_T = 645.650.246,6 \text{ Bs.}$$

Luego, la inversión inicial es:

$$\begin{aligned} I_i &= C_{ft} + C_{fi} + C_T = 6.456.502.466 + 1.355.865.518 + 645.650.246,6 \\ &= 8.458.018.230,6 \text{ Bs.} \end{aligned}$$

4.5.2 Costos operacionales.

- Consumo Eléctrico.

El costo del consumo eléctrico en Venezuela es de 600Bs/KwH, la cinta transportadora tiene un promedio de consumo diario de 2,37Kw, lo que se traduciría a 2.821.248,00 Bs/año en promedio por cada cinta transportadora en uso, siendo un total de 36.676.224,00 Bs/año para el uso del conjunto completo de todas las cintas del sistema a controlar.

- Mantenimiento.

El costo por mantenimiento de la cinta transportadora se estima en 1% de la inversión del costo físico, es decir, 1 % del capital fijo tangible, el cual es 64.565.024,66 Bs/año; entonces:

$$\sum Costos_{oper} = 2.821.248,00 + 64.565.024,66 = 67.386.272,66 \text{ Bs/año}$$

4.5.3 Estudio de los flujos monetarios netos.

Los flujos monetarios netos se obtienen con la sumatoria algebraica de los flujos monetarios del proyecto al final de cada año, entre ellos se encuentran: el capital fijo, el capital de trabajo y los costos operacionales. Para cada año, el flujo monetario neto es:

$$F_{mt} = IB - \sum Costos_{oper} - C_{ft} - C_{fi} \pm C_T + VR_n$$

Para el año cero (2.020) el único flujo monetario neto está representado por la inversión inicial, y se obtiene:

$$F_{mt}(2020) = 645.650.246,60 \text{ Bs.}$$

Los costos operacionales se ven reflejados a partir del año 1 (2021), así como los ingresos brutos obtenidos por la implementación del proyecto, por lo tanto cada año habrá un costo operacional de 67.386.272,66 Bs/año y unos ingresos brutos de 235.851.954,3 Bs/año. En la siguiente figura (ver figura 108) se muestran los flujos monetarios en la escala del tiempo en donde el capital de trabajo es recuperado al final del proyecto.

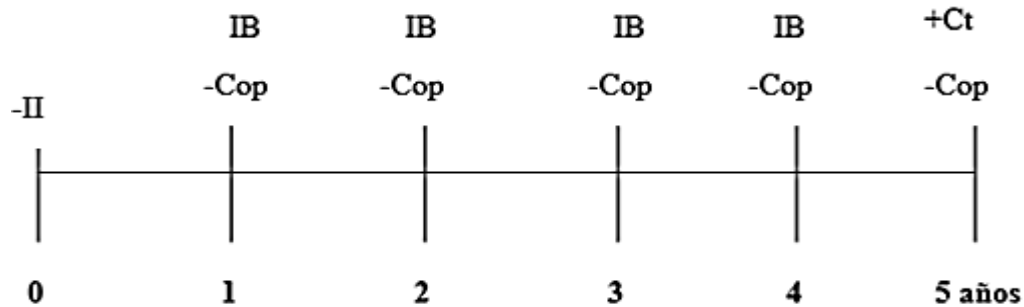


Figura 108: Escala de tiempo de los flujos monetarios.

Fuente: Badiali, Tami (2020).

4.5.4 Rentabilidad del proyecto (Valor Actual).

El valor actual representa el beneficio o pérdida equivalente en el año cero de la escala de tiempo y se calcula actualizando todos los flujos monetarios netos del proyecto. Si el valor actual resulta negativo el proyecto es no rentable, mientras que si resulta positivo el proyecto es rentable.

$$VA_{(valor\ Actual)} = 131.789.457,7 Bs.$$

4.5.5 Tiempo de recuperación de la inversión.

La recuperación de la inversión tiene un plazo máximo de 1568 días de trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- Mediante el estudio de la situación actual se identificaron los problemas existentes durante el proceso de transporte de grano, a través de las informaciones suministradas por los operarios, el personal calificado de la empresa y observaciones propias.

- Utilizando la metodología de ponderación y criterio de soluciones se seleccionó la cinta transportadora en V (alternativa 1), ya que cumple con los objetivos propuestos para la resolución del problema planteado.

- Para el diseño de la cinta transportadora en V se determinó la potencia necesaria para mover el tambor motriz de accionamiento para cada una de las cintas.

- Con la implementación de la nueva cinta transportadora disminuirá el tiempo necesario para el traslado del producto dentro de las instalaciones, a su vez, elimina los cuellos de botella producidos por el transporte sinfín, y mejora la calidad del producto final al no verse afectado al final de las instalaciones.

- Por medio del estudio de la factibilidad económica se determinó que el proyecto de investigación es rentable y su inversión se recuperará en 1568 días de trabajo.

Recomendaciones.

- Una vez instalados los elementos mecánicos, realizar planes de inspección para garantizar que los rodillos de transporte estén perfectamente alineados, según la configuración planteada en el diseño.

- Realizar un plan de mantenimiento preventivo para garantizar que el dispositivo funcione correctamente, además de colocar ayudas visuales que indiquen las acciones que se han de tomar en caso de observar algunas fallas en el equipo o una parada de emergencia.

- Realizar charlas de inducción a los operadores con respecto a la actualización del nuevo equipo de transporte, el ensamble del sistema y nuevo mantenimiento a aplicar para este dispositivo.

- Mantener una superficie limpia en las bandas de transporte y los elementos que componen el sistema de transporte.

- Diseñar e instalar una jaula de protección en el sistema de transmisión de potencia (ejes motores) como medida de seguridad.

- Acoplar un reductor de velocidad entre el motor y el tambor motriz para controlar la velocidad de accionamiento de manera económica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abarca, P (2.018), **Sistema de control “www.aie.com”**. Disponible en línea.
“<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sistemas-de-control-automatico.pdf>”. [Ultimo acceso: 14 junio de 2020].
- Acuña P., José L., (2.016), **“Análisis para la implementación de una banda transportadora para mineral en el circuito de chancado de la CIA Minera MAPERU”**. Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. Trabajo de investigación.
- Arias, F. (2.012), **“Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología”**. Edición Nª 5. Caracas: Editorial Episteme.
- Alvarado, P. (2.012), **“https://es.wikipedia.org/wiki/Cinta_transportadora”**. [Ultimo acceso: 14 junio de 2020].
- Behar, D. (2.008), **“METODOLOGIA de la INVESTIGACION”**. (1ª ed.) México D.F. Ediciones Shalom.
- Brock Grain Systems - A Division of CTB, Inc. (2.020), **“Brock Systems for Agricultural, Biofuel and Industrial Use”**. Disponible en: <https://www.brockgrain.com/>
- Budynas, R. y Nisbett, J. (2.008), **“Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”**. (8va. Ed.). México: McGraw-Hill.
- Carlos Sabino (2.010), **“El proceso de investigación”**. Edición Nª 6.

Díaz, G. (2.017), “[www.wikipedia.com](https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_1%C3%B3gico_programable)”. Disponible en línea: “https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_1%C3%B3gico_programable”. [Último acceso: 19 junio de 2020].

Gutiérrez, S. (2.017), “www.permigsa.com”, Disponible en línea: “<https://pemigsa.com.mx/tipos-bandas-transportadoras>”. [Último acceso: 17 junio de 2020].

Grupo Ulma (2.010), Catálogo Técnico, “**Ulma Conveyor Components**”. España.

Hernández, Sampieri; Fernández, Roberto y Baptista, Pilar (2.010), “**Metodología de la Investigación**”. (7^a. ed.). Editorial Ultra S.A.

Hurtado, Iván y Toro, Josefina (2.001), “**Paradigmas y Métodos de Investigación en tiempos de cambio**”. (4^{ta}. edic.). Valencia, Venezuela: Episteme Consultores Asociados, C.A.

IMT Ingeniería (2.019), “www.imtsa.cl/ingenieria/” Santiago, Chile. Disponible en línea: “<https://www.imtsa.cl/ingenieria/transporte-neumatico/>”. [Último acceso: 19 junio de 2020].

Ingeniería MEGA S.A. (2.020), “**MEGA Grain Dryers, Sistemas de secado de grano**”. Lincoln, Buenos Aires, Argentina.

Maldonado Q., Víctor D., (2.018), Trabajo de investigación, “**Calculo, selección y simulación de accionamiento de motor eléctrico – banda transportadora industrial.**”, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú

- Martínez V., Claudia. (2.018), Trabajo de investigación, **“Diseño y desarrollo de una cinta para transporte de áridos”**, Universitat Jaume I, España.
- Mott R. (1.995). **“Diseño de Elementos de Máquinas”**. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. (Segunda Edición en español) México.
- Norton R. (1.999). **“Diseño de Máquinas”**. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. (Primera Edición en español) México.
- Palella, S. (2.006). **“Metodología de la investigación cualitativa”**. FEDUPEL, (2da edición en español) Caracas, Venezuela
- Pizzella, G. (2.006), **“Apuntes de Elementos de Máquinas”**. Universidad José Antonio Páez. Disponible en: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0B2NkTAsUV-3VSzNzYk1fbXFCbFE> [Ultimo acceso: 14 junio de 2020]
- Pizzella, G. (2.006), **“Apuntes de Máquinas de Elevación y Transporte”**. Universidad José Antonio Páez. Disponible en línea: <https://www.dropbox.com/scl/fi/yxckg3nrx9xa897kum5eq/Cap7-Cintas-Transportadoras.docx?dl=0> [Ultimo acceso: 14 junio de 2020].
- Ramírez, Tulio (2.006), **“Cómo Hacer un Proyecto de Investigación”**. Caracas, Venezuela: Panapo de Venezuela, C.A.
- Rodríguez, H. (2.012), **“Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras”**. Sevilla, España. Disponible en línea: **“<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>”** [Ultimo acceso: 19 junio de 2020].

Rulmecca (2.010), “www.rulmecca.com/en/” Turín, Italia. Disponible en línea: “<https://www.rulmecca.com/en/download>”. [Último acceso: 17 junio de 2020].

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA – Fondo Nacional de Formación Profesional de la Industria de la Construcción FIC (2.002), “**Construcción de Bandas Transportadoras**”. Bogotá, Colombia.

Tamayo y Tamayo, Mario (2.009), “**El Proceso de la Investigación Científica**”. (4ª. ed.). Limusa Mexico.

Tassoni, D. y Pizzella, G. (2.006), “**Elementos de Máquina. Ediciones Facultad de Ingeniería**”. Universidad de Carabobo. Venezuela.

UPEL (2.010), “**Manual de trabajos de grado**”. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas, Venezuela.

Vilchez, Nelson. (2.002), “**Estrategias creativas en el diseño mecánico.**”. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Valencia, Venezuela.

Anexo A

Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería.

TABLA 1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería

Datos provenientes de varias fuentes.* Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ lb/in ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., N.Y.; *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Anexo B

Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de hierro fundido.

TABLA 7 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de hierro fundido

Datos de diversas fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de hierro fundido	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia a la compresión		Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	-HB
Fundición de hierro gris—clase 20	tal y como se fundió	—	—	22	152	83	572	156
Fundición de hierro gris—clase 30	tal y como se fundió	—	—	32	221	109	752	210
Fundición de hierro gris—clase 40	tal y como se fundió	—	—	42	290	140	965	235
Fundición de hierro gris—clase 50	tal y como se fundió	—	—	52	359	164	1 131	262
Fundición de hierro gris—clase 60	tal y como se fundió	—	—	62	427	187	1 289	302
Hierro dúctil 60-40-18	recocido	47	324	65	448	52	359	160
Hierro dúctil 65-45-12	recocido	48	331	67	462	53	365	174
Hierro dúctil 80-55-06	recocido	53	365	82	565	56	386	228
Hierro dúctil 120-90-02 24	revenido y templado	120	827	140	965	134	924	325

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., N.Y.; *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Anexo C

Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable.

TABLA 8 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable
 Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de acero inoxidable	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
Tipo 301	recocido en tira	40	276	110	758	60	85HRB
	laminado en frío	165	1 138	200	1 379	8	41HRC
Tipo 302	recocido en hojas	40	276	90	621	50	85HRB
	laminado en frío	165	1 138	190	1 310	5	40HRC
Tipo 304	recocido en hojas	35	241	85	586	50	80HRB
	laminado en frío	160	1 103	185	1 276	4	40HRC
Tipo 314	laminado en barra	50	345	100	689	45	180HB
Tipo 316	recocido en hojas	40	276	90	621	50	85HRB
Tipo 330	laminado en caliente	55	379	100	689	35	200HB
	recocido	35	241	80	552	50	150HB
Tipo 410	recocido en hoja	45	310	70	483	25	80HRB
	tratamiento térmico	140	965	180	1 241	15	39HRC
Tipo 420	recocido en barra	50	345	95	655	25	92HRB
	tratamiento térmico	195	1 344	230	1 586	8	500HB
Tipo 431	recocido en barra	95	655	125	862	25	260HB
	tratamiento térmico	150	1 034	195	1 344	15	400HB
Tipo 440C	recocido en barra	65	448	110	758	14	230HB
	templado y revenido 600°F	275	1 896	285	1 965	2	57HRC
17-4 PH (AISI 630)	endurecido	185	1 276	200	1 379	14	44HRC
17-7 PH (AISI 631)	endurecido	220	1 517	235	1 620	6	48HRC

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

Anexo D

Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbono.

TABLA 9 Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbono
 Datos de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	-HB
1010	laminado en caliente	26	179	47	324	28	95
	laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	laminado en caliente	30	207	55	379	25	111
	laminado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	laminado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650°F	50	345	75	517	32	149
	laminado en caliente	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000°F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800°F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400°F	94	648	123	848	17	495
1035	laminado en caliente	40	276	72	496	18	143
	laminado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	laminado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650°F	54	372	86	593	28	170
	laminado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200°F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800°F	80	552	110	758	21	241
	templado y revenido @ 400°F	86	593	113	779	19	262
1045	laminado en caliente	45	310	82	565	16	163
	laminado en frío	77	531	91	627	12	179
1050	laminado en caliente	50	345	90	621	15	179
	normalizado @ 1 650°F	62	427	108	745	20	217
	laminado en frío	84	579	100	689	10	197
	templado y revenido @ 1 200°F	78	538	104	717	28	235
	templado y revenido @ 800°F	115	793	158	1 089	13	444
	templado y revenido @ 400°F	117	807	163	1 124	9	514
1060	laminado en caliente	54	372	98	676	12	200
	normalizado @ 1 650°F	61	421	112	772	18	229
	templado y revenido @ 1 200°F	76	524	116	800	23	229
	templado y revenido @ 1 000°F	97	669	140	965	17	277
	templado y revenido @ 800°F	111	765	156	1 076	14	311
1095	laminado en caliente	66	455	120	827	10	248
	normalizado @ 1 650°F	72	496	147	1 014	9	13
	templado y revenido @ 1 200°F	80	552	130	896	21	269
	templado y revenido @ 800°F	112	772	176	1 213	12	363
	templado y revenido @ 600°F	118	814	183	1 262	10	375

* SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale Pa.; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Anexo E

Propiedades mecánicas de algunos aceros de aleación y para herramienta.

TABLA 10 Propiedades mecánicas de algunos aceros de aleación y para herramienta
 Datos de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1340	recocido	63	434	102	703	25	204HB
	templado y revenido	109	752	125	862	21	250HB
4027	recocido	47	324	75	517	30	150HB
	templado y revenido	113	779	132	910	12	264HB
4130	recocido @ 1 450°F	52	359	81	558	28	156HB
	normalizado @ 1 650°F	63	434	97	669	25	197HB
	templado y revenido @ 1 200°F	102	703	118	814	22	245HB
	templado y revenido @ 800°F	173	1 193	186	1 282	13	380HB
	templado y revenido @ 400°F	212	1 462	236	1 627	10	41HB
4140	recocido @ 1 450°F	61	421	95	655	26	197HB
	normalizado @ 1 650°F	95	655	148	1 020	18	302HB
	templado y revenido @ 1 200°F	95	655	110	758	22	230HB
	templado y revenido @ 800°F	165	1 138	181	1 248	13	370HB
	templado y revenido @ 400°F	238	1 641	257	1 772	8	510HB
4340	templado y revenido @ 1 200°F	124	855	140	965	19	280HB
	templado y revenido @ 1 000°F	156	1 076	170	1 172	13	360HB
	templado y revenido @ 800°F	198	1 365	213	1 469	10	430HB
	templado y revenido @ 600°F	230	1 586	250	1 724	10	486HB
6150	recocido	59	407	96	662	23	192HB
	templado y revenido	148	1 020	157	1 082	16	314HB
8740	recocido	60	414	95	655	25	190HB
	templado y revenido	133	917	144	993	18	288HB
H-11	recocido @ 1 600°F	53	365	100	689	25	96HRB
	templado y revenido @ 1 000°F	250	1 724	295	2 034	9	55HRC
L-2	recocido @ 1 425°F	74	510	103	710	25	96HRB
	templado y revenido @ 400°F	260	1 793	290	1 999	5	54HRC
L-6	recocido @ 1 425°F	55	379	95	655	25	93HRB
	templado y revenido @ 1 600°F	260	1 793	290	1 999	4	54HRC
P-20	recocido @ 1 425°F	75	517	100	689	17	97HRB
	templado y revenido @ 400°F	205	1 413	270	1 862	10	52HRC
S-1	recocido @ 1 475°F	60	414	100	689	24	96HRB
	templado y revenido @ 400°F	275	1 896	300	2 068	4	57HRC
S-5	recocido @ 1 450°F	64	441	105	724	25	96HRB
	templado y revenido @ 400°F	280	1 931	340	2 344	5	59HRC
S-7	recocido @ 1 525°F	55	379	93	641	25	95HRB
	templado y revenido @ 400°F	210	1 448	315	2 172	7	58HRC
A-8	recocido @ 1 550°F	65	448	103	710	24	97HRB
	templado y revenido @ 1050°F	225	1 551	265	1 827	9	52HRC

* Machine Design Materials Reference Issue, Penton Publishing, Cleveland, Ohio; Metals Handbook, ASM, Materials Park, Ohio.

Anexo F

Propiedades de algunos plásticos de ingeniería.

TABLA 11 Propiedades de algunos plásticos de ingeniería

Datos de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Material	Módulo de elasticidad aproximado E		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia máxima a la compresión		Elongación en 2 in	Temperatura máxima	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	°F	
ABS	0.3	2.1	6.0	41.4	10.0	68.9	5 a 25	160-200	1.05
Cargado con 20-40% de vidrio	0.6	4.1	10.0	68.9	12.0	82.7	3	200-230	1.30
Acetal	0.5	3.4	8.8	60.7	18.0	124.1	60	220	1.41
Cargado con 20-30% de vidrio	1.0	6.9	10.0	68.9	18.0	124.1	7	185-220	1.56
Acrílico	0.4	2.8	10.0	68.9	15.0	103.4	5	140-190	1.18
Fluoroplástico (FTFE)	0.2	1.4	5.0	34.5	6.0	41.4	100	350-330	2.10
Nylon 6/6	0.2	1.4	10.0	68.9	10.0	68.9	60	180-300	1.14
Nylon 11	0.2	1.3	8.0	55.2	8.0	55.2	300	180-300	1.04
Cargado con 20-30% de vidrio	0.4	2.5	12.8	88.3	12.8	88.3	4	250-340	1.26
Policarbonato	0.4	2.4	9.0	62.1	12.0	82.7	100	250	1.20
Cargado con 10-40% de vidrio	1.0	6.9	17.0	117.2	17.0	117.2	2	275	1.35
Polietileno HMW	0.1	0.7	2.5	17.2	–	–	525	–	0.94
Óxido de polifenileno	0.4	2.4	9.6	66.2	16.4	113.1	20	212	1.06
Cargado con 20-30% de fibra de vidrio	1.1	7.8	15.5	106.9	17.5	120.7	5	260	1.23
Polipropileno	0.2	1.4	5.0	34.5	7.0	48.3	500	250-320	0.90
Cargado con 20-30% de vidrio	0.7	4.8	7.5	51.7	6.2	42.7	2	300-320	1.10
Poliestireno de alto impacto	0.3	2.1	4.0	27.6	6.0	41.4	2 a 80	140-175	1.07
Cargado con 20-30% de vidrio	0.1	0.7	12.0	82.7	16.0	110.3	1	180-200	1.25
Polisulfona	0.4	2.5	10.2	70.3	13.9	95.8	50	300-345	1.24

* *Modern Plastics Encyclopedia*, McGraw-Hill, Nueva York; *Machine Design Materials Reference Issue*, Penton Publishing, Cleveland, Ohio.

Anexo G

Características del acero al carbono C40.

C40 Carbon Steel Properties :

Carbon Steel C40 Chemical Composition / Chemistry :

Grade	Chemical composition %:							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
C40	0.17-0.24	0.17-0.37	0.7-1.00	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.25	≤0.25

C40 Carbon Steel Round Bar Physical Properties :

Physical Properties	Metric	Imperial
Density	7.85 g/cm ³	0.284 lb/in ³

C40 Carbon Steel Round Bar Mechanical Properties :

Grade	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation in 100-150 mm(%)	Reduction in Area	Hardness
C40	≥380	≥210	≥25	≥50	≤111HB

Anexo H

Equivalentes al acero C40 alrededor del mundo.

Worldwide equivalents of Grade C40 / Cross Reference Table for Steel C40 Grade :

EU	USA	Germany	Japan	France	England	Italy	China	Poland	Czechia	Russia	Inter
EN	-	DIN, WNr	JIS	AFNOR	BS	UNI	GB	PN	CSN	GOST	ISO
C40 (1.0511)	1038 1040	1.0511 C40 Ck40	S40C	AF60C40 AF60C45 XC42HI	070M40 080M40	C40	40	40	12041	40	C40 C40E4

Anexo I

Relación del acero C40 con aceros de otras normas.

Tipo de acero	Estándar	Código de país	C(%)	Si(%)	Minnesota(%)	PAG(%)	S (%)	Cr (%)
S40C	3828	CNS	0.37-0.43	0.15-0.35	0.6-0.9	≤0.03	≤0.035	≤0.2
40	699	GB	0.37-0.45	0.17-0.37	0.5-0.8	≤0.035	≤0.035	≤0.25
S40C	G4051	JIS	0.37-0.43	0.15-0.35	0.6-0.9	≤0.03	≤0.035	≤0.2
1039	-	AISI	0.37-0.44		0.7-1.0	≤0.04	≤0.05	
1040	-	AISI	0.37-0.44		0.6-1.0	≤0.04	≤0.05	
C40	17200	DIN	0.37-0.44	0.15-0.35	0.5-0.8	≤0.045	≤0.045	
Ck40	17200	DIN	0.37-0.44	0.15-0.35	0.5-0.8	≤0.035	≤0.035	

Anexo J

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino.

Tabla 8-1










Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d_r mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p_r mm	Área de esfuerzo de tensión A_s , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p_r mm	Área de esfuerzo de tensión A_s , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

*Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.226869p_r$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649519p_r$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

Anexo K

Tabla de conversión de grados de dureza de pernos.

SAE	DIN / ISO	ASTM
 <p>SAE GRADO 2 Acero de Bajo Carbono</p>	 <p>DIN Clase 5.8 Acero de Bajo Carbono</p>	 <p>A 394 Tipo 0</p>
 <p>SAE GRADO 5 Acero de Medio Carbono Tratado Térmicamente</p>	 <p>DIN Clase 8.8 Acero de Medio Carbono Tratado Térmicamente</p>	 <p>A 325 Tipo 1 Acero de Medio Carbono Tratado Térmicamente</p>
 <p>SAE GRADO 8 Acero de Medio Carbono Aleado Tratado Térmicamente</p>	 <p>DIN Clase 10.8 Acero de Medio Carbono Aleado Tratado Térmicamente</p>	 <p>A 495 Tipo 1 Acero de Medio Carbono Aleado Tratado</p>

Los pernos traen indicado en su cabeza, el grado de dureza, es decir, la cantidad de esfuerzo que resisten sin deformarse. En el sistema Métrico Internacional el grado de dureza se representa con números como indica la siguiente tabla. Con este código también se puede determinar el material con que está construido el perno.

Grado de Dureza	4.8	5.8	8.8	10.9
Material	Acero al carbono	Acero al carbono	Acero al carbono templado	Acero al carbono templado

En el Sistema Inglés, el grado de dureza se determina sumando dos (2) a las líneas marcadas en su cabeza. Cuando un perno no las tiene se asume un SAE grado 2. Por ejemplo, si un perno trae tres líneas, como en la figura anterior, se asume como un perno SAE 5.








Grado de Dureza	SAE 2	SAE 5	SAE 7	SAE 8
Marcas	Sin Marcas	3 líneas	5 líneas	6 líneas
Material	Acero al carbono	Acero al carbono	Acero al carbono templado	Acero al carbono templado

Anexo L

Clases métricas de propiedades mecánicas de pernos, tornillos y bridas de acero.

Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y bridas de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

*La longitud de la rosca de pernos y tornillos de cabeza es

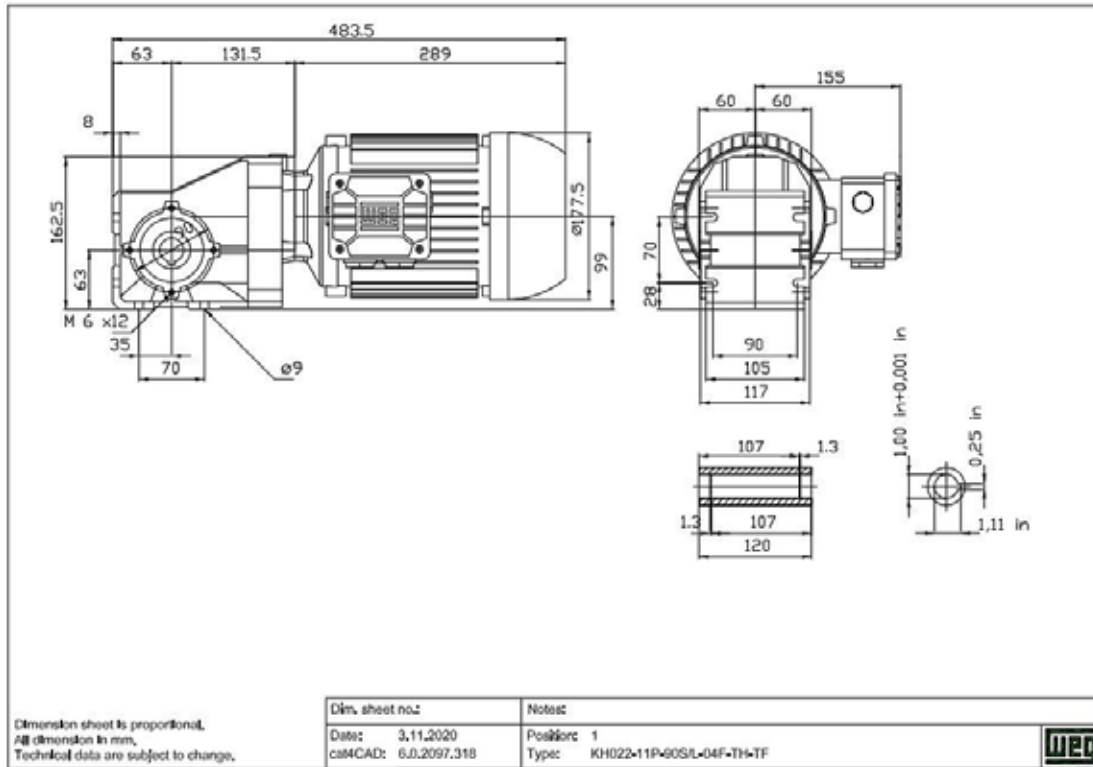
$$l_f = \begin{cases} 2d + 6 & l \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < l \leq 200 \\ 2d + 25 & l > 200 \end{cases}$$

donde l es la longitud del perno. La longitud de la rosca de pernos estructurales es ligeramente menor que la indicada.

[†]Las resistencias mínimas son las resistencias que excede 99% de las sujetadores.

Anexo M

Dimensiones del motor.



Anexo N

Datos nominales del motor de 2hp.

Gear series :	Helical bevel geared motors	
Type :	KH022-11P-90S/L-04F-TH-TF	
Operation data :		
Ambient temperature :	104	*F
Type of operation :	S1	
Motor data :		
Series :	WEG Modular System Motor (EUSAS)	
Housing material :	Aluminium	
Efficiency class η :	IE3-86.5%	
Type :	11P	
Motor power :	2	[hp]
Rated speed :	1755	[rpm]
Rated torque :	72	[lb-in.]
Voltage :	265/460	[V]
Frequency :	60	[Hz]
Connection :	D/Y	
Rated current :	4.91 / 2.83	[A]
Starting to rated current :	8.3	
'cos ϕ ' :	0.77	
Protection class :	IP 55	
Mounting position of the terminal box :	side 1 cable entry I	
Insulation class :	F	
Mass moment of inertia :	22.38	[lb-in ²]
Further motor executions :		
Fan :	self ventilated	
Temperature controller :	Bimetal switch NCC (TH) and PTC thermistor (TF) for switch off	
Ball bearing :	Standard	
Gear data :		
Max. perm. thermal power limit at 104 °F and S1 operation :	4.2	[hp]
Output speed :	206	[rpm]
Output torque :	611	[lb-in.]
Service factor :	1.15	
Gear stages :	2	
Ratio :	8.51	
Circum ferential backlash (min-max) :	8' - 15'	
Perm. input torque at FB1 :	85.9	[lb-in.]
Max. perm. input speed :	3000	[rpm]
Mounting position :	M1	
Hollow shaft :	Ø 1.500"	
Painting :	LC1 - Indoor installation, neutral atmosphere NDFT 60 μ m (C1 - DIN EN ISO 12944-5)	
Color :	RAL 5009 (Azure blue)	
Total weight :	51.1	[lb]
Input side :		
Type :	Direct mounting	
Input shaft :	Ø 24 j6	
Input flange :	FC120	
Further executions gear unit :		
Lubricant :	Mineral oil - CLP ISO VG 220	

Anexo Ñ

Datos nominales del motor de 3hp.

Gear series :	Helical bevel geared motors	
Type :	KH063-11P-100L-04E-TH-TF	
Operation data :		
Ambient temperature :	104	°F
Type of operation :	S1	
Motor data :		
Series :	WEG Modular System Motor (EUSAS)	
Housing material :	Aluminium	
Efficiency class η :	IE3-89.5%	
Type :	11P	
Motor power :	3	[hp]
Rated speed :	1745	[rpm]
Rated torque :	107	[lb-in.]
Voltage :	265/460	[V]
Frequency :	60	[Hz]
Connection :	D/Y	
Rated current :	7.02 / 4.04	[A]
Starting to rated current :	9.0	
'cos ϕ ' :	0.76	
Protection class :	IP 55	
Mounting position of the terminal box :	side 1 cable entry I	
Insulation class :	F	
Mass moment of inertia :	30.65	[lb-in ²]
Further motor executions :		
Fan :	self ventilated	
Temperature controller :	Bimetal switch NCC (TH) and PTC thermistor (TF) for switch off	
Ball bearing :	Standard	
Gear data :		
Max. perm. thermal power limit at 104 °F and S1 operation :	9.4	[hp]
Output speed :	192	[rpm]
Output torque :	965	[lb-in.]
Service factor :	5.35	
Gear stages :	3	
Ratio :	9.09	
Circum ferential backlash (min-max) :	8' - 20'	
Perm. input torque at fB1 :	618.7	[lb-in.]
Max. perm. input speed :	2900	[rpm]
Mounting position :	M1	
Hollow shaft :	Ø 1.500"	
Painting :	LC1 - Indoor installation, neutral atmosphere NDFT 60 μ m (C1 - DIN EN ISO 12944-5)	
Color :	RAL 5009 (Azure blue)	
Total weight :	121.3	[lb]
Input side :		
Type :	Direct mounting	
Input shaft :	Ø 34 k6	
Input flange :	FC120	
Further executions gear unit :		
Lubricant :	Mineral oil - CLP ISO VG 220	

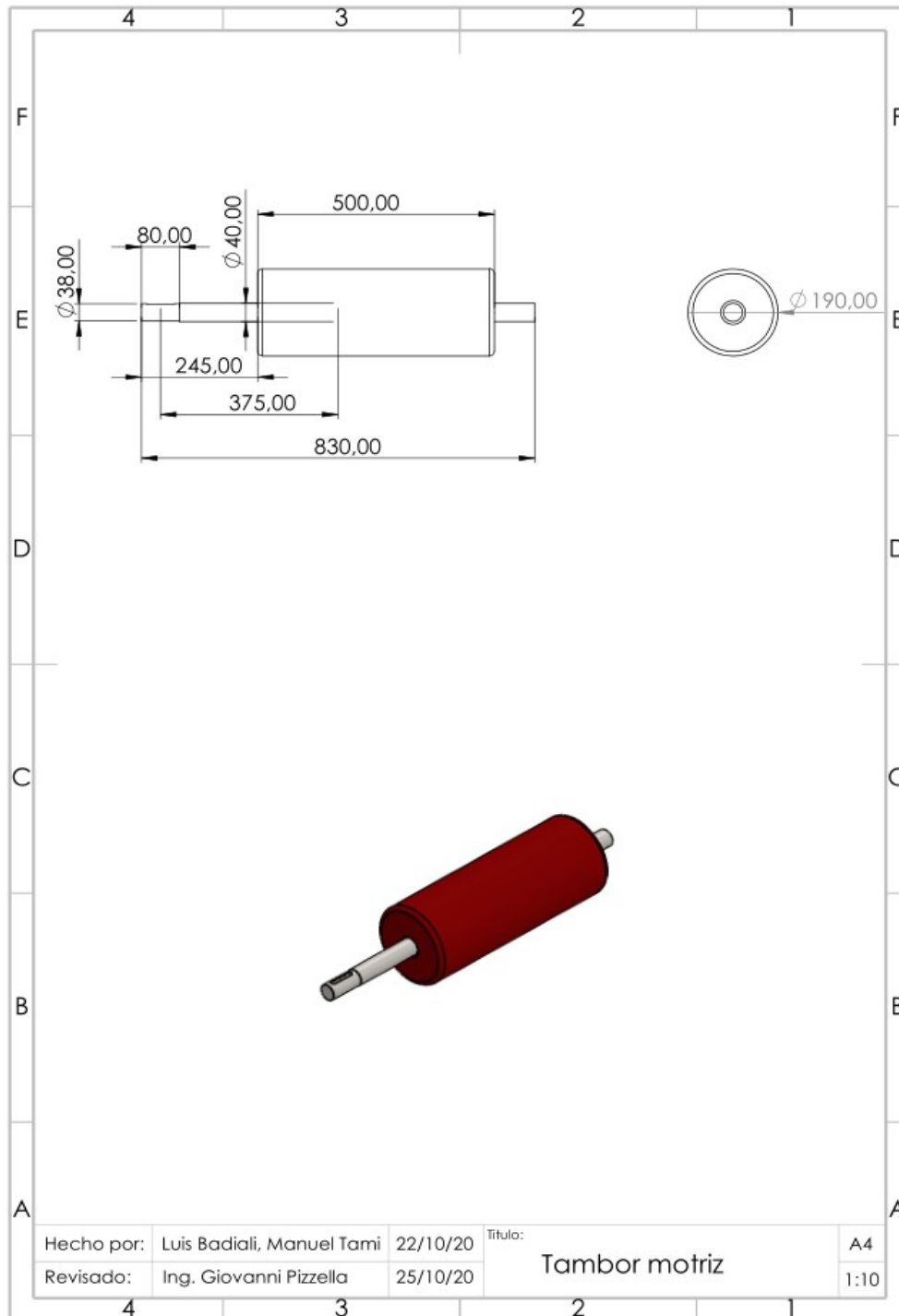
Anexo O

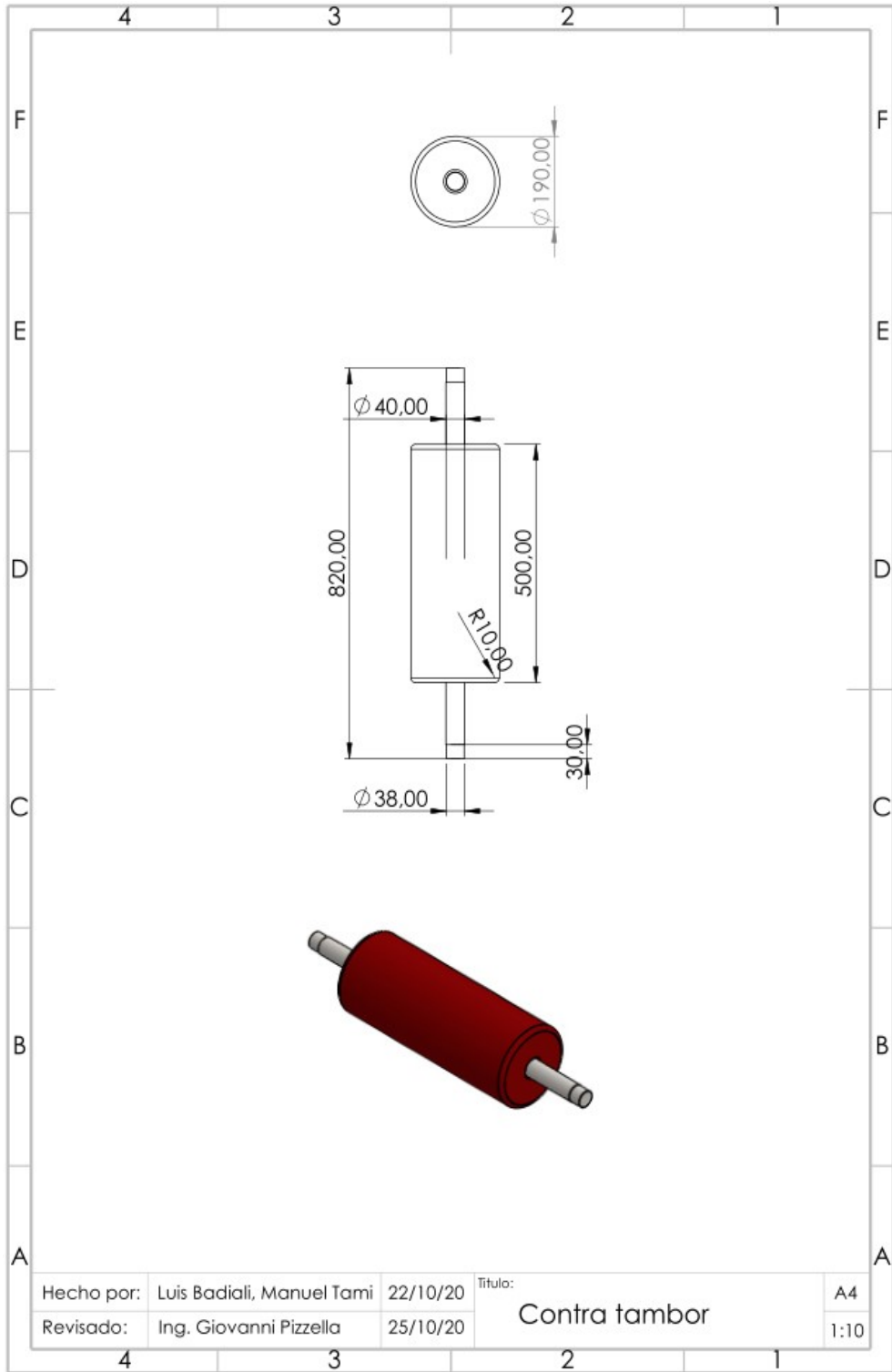
Datos nominales del motor de 5,5hp.

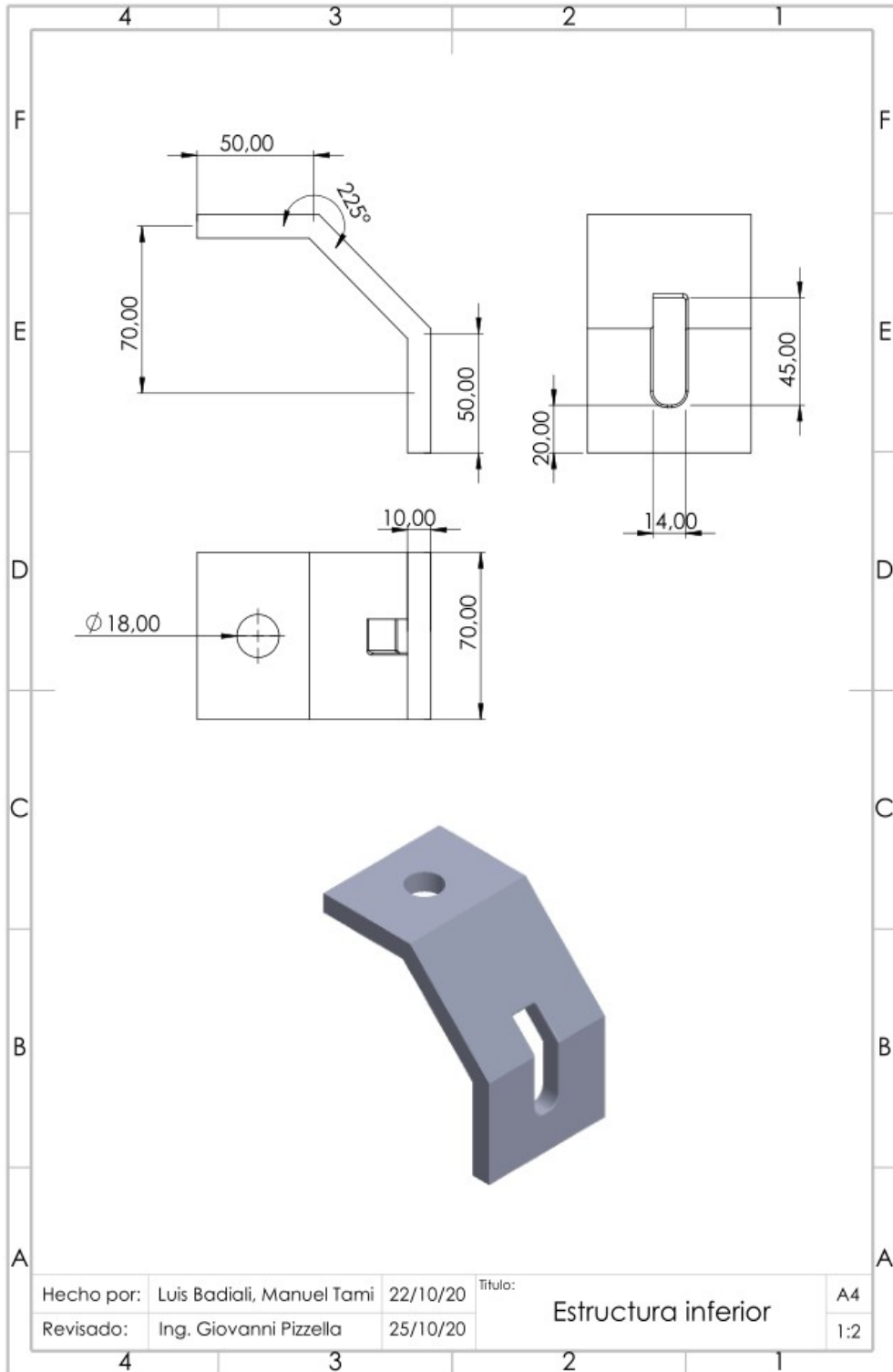
Gear series :	Helical bevel geared motors	
Type :	KH063-11P-132M-06F-TH-TF	
Operation data :		
Ambient temperature :	104	°F
Type of operation :	S1	
Motor data :		
Series :	WEG Modular System Motor (EUSAS)	
Housing material :	Aluminium	
Efficiency class η :	IE3-89.5%	
Type :	11P	
Motor power :	5.5	[hp]
Rated speed :	1165	[rpm]
Rated torque :	290	[lb-in.]
Voltage :	460	[V]
Frequency :	60	[Hz]
Connection :	D	
Rated current :	7.90	[A]
Starting to rated current :	6.6	
'cos ϕ ' :	0.71	
Protection class :	IP 55	
Mounting position of the terminal box :	side 1 cable entry I	
Insulation class :	F	
Mass moment of inertia :	193.45	[lb-in ²]
Further motor executions :		
Fan :	self ventilated	
Temperature controller :	Bimetal switch NCC (TH) and PTC thermistor (TF) for switch off	
Ball bearing :	Standard	
Gear data :		
Max. perm. thermal power limit at 104 °F and S1 operation :	9.4	[hp]
Output speed :	194	[rpm]
Output torque :	1744	[lb-in.]
Service factor :	2.35	
Gear stages :	3	
Ratio :	6.01	
Circumferential backlash (min-max) :	9' - 26'	
Perm. input torque at fB1 :	728.4	[lb-in.]
Max. perm. input speed :	3000	[rpm]
Mounting position :	M1	
Hollow shaft :	Ø 1.500"	
Painting :	LC1 - Indoor installation, neutral atmosphere NDFT 60 μ m (C1 - DIN EN ISO 12944-5)	
Color :	RAL 5009 (Azure blue)	
Total weight :	185.2	[lb]
Input side :		
Type :	Direct mounting	
Input shaft :	Ø 42 k6	
Input flange :	FC160	
Further executions gear unit :		
Lubricant :	Mineral oil - CLP ISO VG 220	

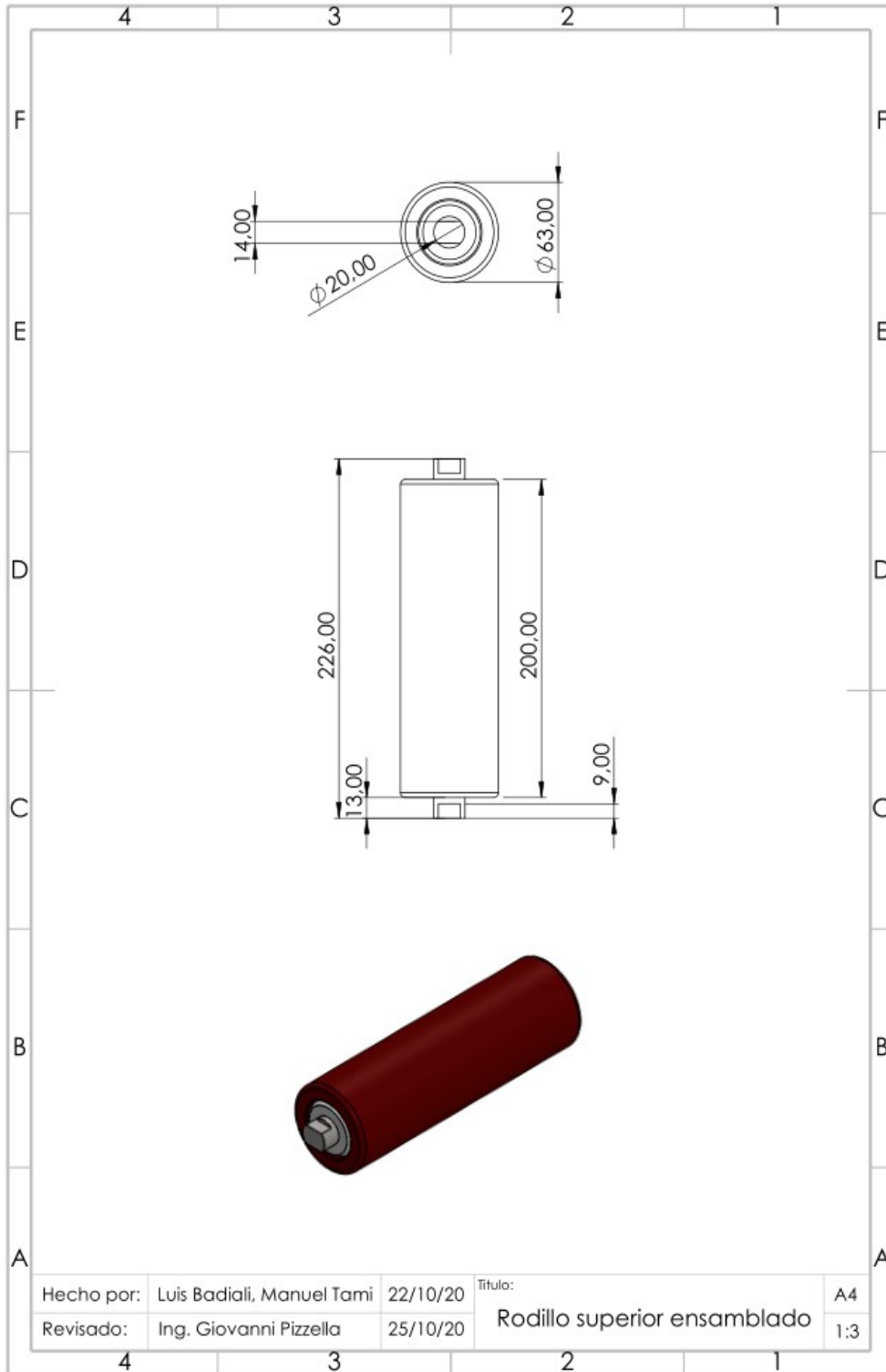
Anexo P

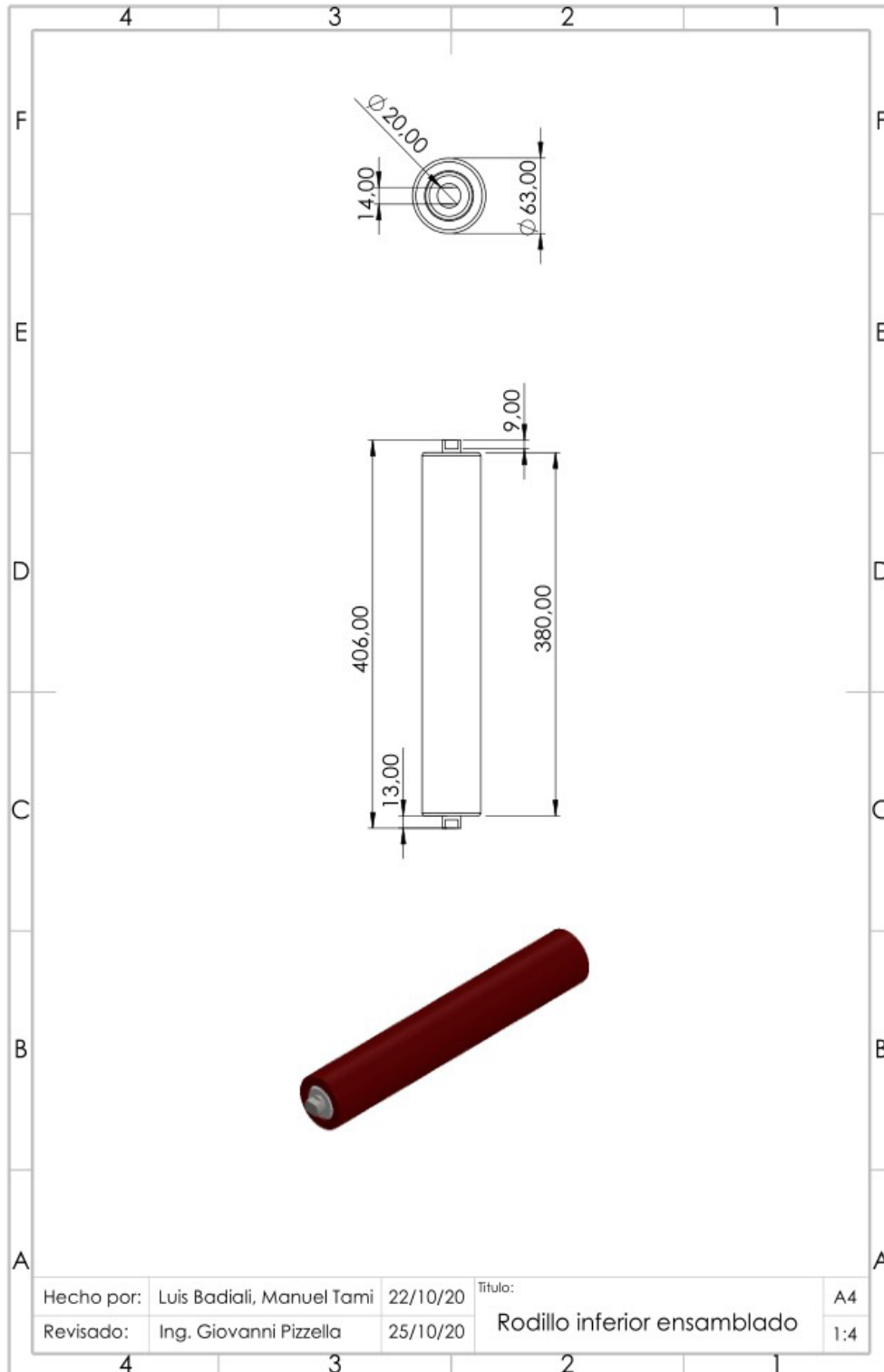
Planos del sistema de transporte.



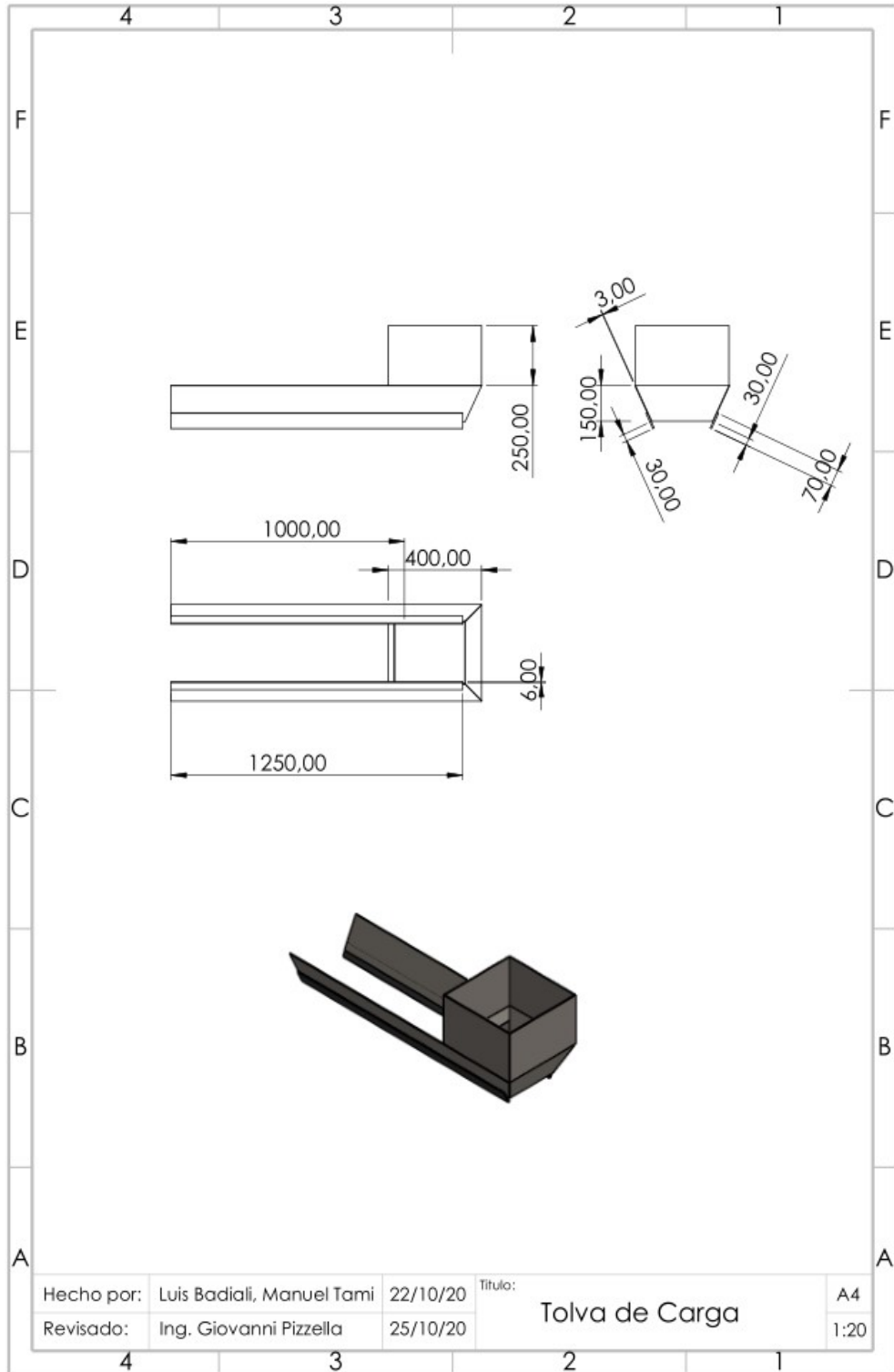








Hecho por:	Luis Badiali, Manuel Tami	22/10/20	Titulo:	A4
Revisado:	Ing. Giovanni Pizzella	25/10/20	Rodillo inferior ensamblado	1:4



Anexo Q

Renderizados del ensamble de un tramo del sistema de transporte.



