



**Diseño y construcción de un sistema automático de pesaje “checkweigher” por
bandas transportadoras con adquisición de datos para la empresa
Precisión Ingeniería Industrial**

Chiluisa Gallardo, Robinson Damián y Meneses García, Edgar Wilfrido

Departamento de Ciencias de la Ingeniería y Mecánica
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Ibarra Jácome Oswaldo Alexander

19 de mayo de 2022

COPYLEAKS

Tesis_Chiluisa_Meneses.pdf

Scanned on: 19:56 May 18, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text



visado electrónicamente por:
OSWALDO
ALEXANDER IBARRA
JACOME

Identical Words	456
Words with Minor Changes	250
Paraphrased Words	191
Omitted Words	249



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: “**Diseño y construcción de un sistema automático de pesaje checkweigher por bandas transportadoras con adquisición de datos para la empresa Precisión Ingeniería Industrial**” fue realizado por los señores **Chiluisa Gallardo, Robinson Damian y Meneses García, Edgar Wilfrido** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de mayo del 2022

Firma



Firmado electrónicamente por:
OSWALDO
ALEXANDER IBARRA
JACOME

.....
Ing. Ibarra Jácome, Oswaldo Alexander

C. C: 1719535427



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Responsabilidad de Auditoria

Nosotros, **CHILUISA GALLARDO, ROBINSON DAMIÁN** con cédula de ciudadanía N° 0550064281, y **MENESES GARCÍA, EDGAR WILFRIDO** con cédula de ciudadanía N° 2100478458 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un sistema automático de pesaje checkweigher por bandas transportadoras con adquisición de datos para la empresa Precisión Ingeniería Industrial”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 19 de mayo del 2022

Firma

Chiluisa Gallardo, Robinson Damián

C.C.: 0550064281

Meneses García, Edgar Wilfrido

C.C.: 2100478458



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **CHILUISA GALLARDO, ROBINSON DAMIÁN** con cédula de ciudadanía N° 0550064281, y **MENESES GARCÍA, EDGAR WILFRIDO** con cédula de ciudadanía N° 2100478458, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un sistema automático de pesaje checkweigher por bandas transportadoras con adquisición de datos para la empresa Precisión Ingeniería Industrial”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 19 de mayo del 2022

Firma

.....
Chiluisa Gallardo, Robinson Damián

C.C.: 0550064281

.....
Meneses García, Edgar Wilfrido

C.C.: 2100478458

Dedicatoria

Robinson

Dedico este trabajo a toda mi familia en especial a mis padres Juan y Laura quienes me entregaron su amor y confianza, gracias por ayudarme a cumplir un sueño más en mi vida.

Wilfrido

Dedico este trabajo a mi madre, hermanas y hermanos quienes me apoyaron constantemente.

Agradecimiento

Robinson

Mi profundo agradecimiento a toda mi familia en especial a mis padres Juan y Laura quienes me apoyaron y me entregaron su confianza a lo largo de toda mi carrera universitaria.

A mi tutor quien con su dirección y conocimiento permitieron el desarrollo de este trabajo

Agradezco a la empresa Precisión Ingeniería Industrial y a su personal, por confiar en nuestras capacidades, abrirme las puertas y permitirme realizar el proyecto en sus instalaciones.

Wilfrido

Un profundo sentimiento de gratitud a mi madre, a mis hermanas y hermanos por su apoyo constante y por la confianza depositada en mí.

Índice de Contenido

<i>Certificación</i>	3
<i>Responsabilidad de Auditoria</i>	4
<i>Autorización de Publicación</i>	5
<i>Dedicatoria</i>	6
<i>Agradecimiento</i>	7
<i>Índice de Contenido</i>	8
<i>Índice de Tablas</i>	11
<i>Índice de Figuras</i>	13
<i>Resumen</i>	18
<i>Abstract</i>	19
<i>CAPÍTULO I</i>	20
<i>Aspectos Generales</i>	20
<i>Antecedentes</i>	20
<i>Descripción del proyecto</i>	22
<i>Justificación</i>	23
<i>Definición del alcance</i>	26
Sistema mecánico.....	26
Sistema control y automatización	27
Sistema informático	27

Objetivos.....	29
Objetivo general.....	29
Objetivos específicos.....	29
<i>CAPITULO II.....</i>	31
<i>Fundamentación Teórica</i>	31
Bandas transportadoras.....	31
Sistemas de pesaje	35
El peso	35
Sistemas estáticos	35
Sistemas dinámicos	36
Celdas de carga	36
Galgas extensiométricas.....	37
Acondicionamiento de las galgas extensiométricas.....	38
Aplicaciones de las celdas de carga.....	40
Selección de celdas de carga.....	43
Tipos de celdas de carga.....	46
Controladores de peso (checkweigher).....	48
Campo de aplicación de un checkweigher en la industria ecuatoriana	51
<i>CAPÍTULO III.....</i>	56
<i>Desarrollo del Sistema.....</i>	56
Requerimientos del sistema.....	56
Diseño del sistema.....	56

	10
Esquema de conexión	57
Definición de los subsistemas e interfases principales.	59
Generación y evaluación de los conceptos	60
Diseño específico.....	71
Diseño del sistema mecánico	71
Diseño del sistema eléctrico, electrónico y de control	138
Diseño del sistema informático	167
Integración de los sistemas	170
Componentes mecánicos	174
Componentes eléctricos, electrónicos y de control	177
Diagrama de proceso	178
<i>CAPÍTULO IV.....</i>	181
<i>Pruebas y Resultados.....</i>	181
Protocolo experimental pesaje estático	181
Control estadístico de procesos y resultados	183
<i>CAPÍTULO V.....</i>	194
<i>Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros.....</i>	194
Conclusiones	194
Recomendaciones	196
Trabajos futuros	196
<i>Bibliografía</i>	198

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Requerimientos de la empresa Precisión Ingeniería Industrial ajustados.....</i>	56
Tabla 2 <i>Selección de concepto. Sistema de rechazo.....</i>	65
Tabla 3 <i>Selección de concepto. Sistema de transmisión de potencia.....</i>	68
Tabla 4 <i>Selección del concepto. Posición de la unidad motriz.....</i>	70
Tabla 5 <i>Características de los elementos que compone el armazón.</i>	73
Tabla 6 <i>Identificación de los materiales para la fabricación de bandas según la norma DIN22102.....</i>	78
Tabla 7 <i>Características de la banda Ropanyl EM 3/1 00+02 White AS FG.....</i>	80
Tabla 8 <i>Cinta transportadora.....</i>	81
Tabla 9 <i>Parámetros conocidos de diseño para las poleas dentadas</i>	85
Tabla 10 <i>Factores de servicio básicos para diversas máquinas</i>	86
Tabla 11 <i>Selección para transmisiones estándar de tiempo XL (1/5´).....</i>	89
Tabla 12 <i>Capacidad de transmisión en hp por cada pulgada de ancho de la correa</i>	90
Tabla 13 <i>Ancho de correa de acuerdo el factor de ancho.....</i>	90
Tabla 14 <i>Resumen de selección de los elementos de transmisión.....</i>	91
Tabla 15 <i>Datos del producto y el entorno de operación.....</i>	92
Tabla 16 <i>Especificaciones del tambor principal motriz.....</i>	92
Tabla 17 <i>Especificaciones de la transmisión de potencia.</i>	92
Tabla 18 <i>Parámetros mínimos para seleccionar el motor.....</i>	97
Tabla 19 <i>Especificaciones de las dos alternativas para el motor.</i>	97
Tabla 20 <i>Selección del motor.....</i>	101
Tabla 21 <i>Resumen de fuerzas cortantes y momentos flectores para el eje motriz.....</i>	109
Tabla 22 <i>Características de las celdas de cargas.....</i>	130
Tabla 23 <i>Selección de la celda de carga.</i>	131
Tabla 24 <i>Masas de los elementos que van sobre de la estructura.....</i>	132

Tabla 25 <i>Fuerzas aplicadas en el bastidor</i>	133
Tabla 26 <i>Componentes para el sistema neumático de rechazo</i>	137
Tabla 27 <i>Características importantes de los controladores</i>	138
Tabla 28 <i>Selección del Controlador lógico programable</i>	139
Tabla 29 <i>Características importantes de las HMI proporcionadas</i>	140
Tabla 30 <i>Selección de la HMI</i>	141
Tabla 31 <i>Características de los transmisores de peso</i>	142
Tabla 32 <i>Selección del Transmisor</i>	142
Tabla 33 <i>Selección del tipo de sensor</i>	143
Tabla 34 <i>Características del sensor a usar</i>	144
Tabla 35 <i>Conexión de la celda de carga con el transmisor</i>	145
Tabla 36 <i>Parámetros para la calibración de peso</i>	145
Tabla 37 <i>Parámetros de comunicación del transmisor</i>	146
Tabla 38 <i>Parámetros de configuración para el pesaje dinámico</i>	148
Tabla 39 <i>Características del sistema de comunicación</i>	151
Tabla 40. <i>Elementos del checkweigher</i>	172
Tabla 41 <i>Especificaciones técnicas del checkweigher CH3000-XL</i>	173
Tabla 42 <i>Medida de pesos según peso patrón en los 5 puntos de prueba de la banda</i>	182
Tabla 43 <i>Muestreo de 4 piezas en el sistema checkweigher a una velocidad de muestreo de 30paq/min</i>	183
Tabla 44 <i>Diseño factorial completo de dos factores con 3 niveles</i>	191
Tabla 45 <i>Tabla de combinación del diseño factorial completo con 3 corridas</i>	191

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Checkweigher referencial de la empresa</i>	20
Figura 2 <i>Esquema del sistema</i>	28
Figura 3 <i>Dimensiones preliminares para el checkweigher</i>	28
Figura 4 <i>Elementos de un tambor de banda transportadora</i>	34
Figura 5 <i>Celdas de carga</i>	37
Figura 6 <i>Galga extensiométrica</i>	38
Figura 7 <i>Diagrama de bloques de un circuito de acondicionamiento de señales</i>	39
Figura 8 <i>Transmisor de peso CAS WTM500</i>	40
Figura 9 <i>Plataforma de pesaje de camiones. Medición del primer eje</i>	41
Figura 10 <i>Celda de carga en cinta transportadora de un verificador de peso</i>	42
Figura 11 <i>Sistema dosificador</i>	43
Figura 12 <i>Certificaciones para celdas de carga</i>	45
Figura 13 <i>Plataforma de pesaje de una celda off-center</i>	47
Figura 14 <i>Tipos de celdas de carga</i>	48
Figura 15 <i>Checkweigher con tres cintas transportadoras</i>	50
Figura 16 <i>VAB Industria Manufacturera</i>	52
Figura 17 <i>Empresas Líderes en la Industria Alimenticia en Ecuador año 2019</i>	53
Figura 18 <i>Esquema de conexión del sistema</i>	58
Figura 19 <i>Diagrama funcional del sistema</i>	59
Figura 20 <i>Sistema de rechazo con cilindro neumático</i>	61
Figura 21 <i>Sistema de rechazo de tipo paleta</i>	62
Figura 22 <i>Sistema de rechazo de tipo doble paleta</i>	63
Figura 23 <i>Sistema de rechazo de tipo inclinable</i>	64
Figura 24 <i>Transmisión de potencia mediante un sistema de correa y poleas</i>	66
Figura 25 <i>Transmisión de potencia mediante un sistema de cadena</i>	67

Figura 26	<i>Unidad motriz en posición central respecto a la longitud de la cinta</i>	69
Figura 27	<i>Unidad motriz en posición central respecto a la longitud de la cinta</i>	70
Figura 28	<i>Vista isométrica del armazón</i>	73
Figura 29	<i>Vista inferior del armazón</i>	73
Figura 30	<i>Condiciones de contorno</i>	74
Figura 31	<i>Resultados de los desplazamientos</i>	74
Figura 32	<i>Resultados del factor de diseño</i>	75
Figura 33	<i>Características del método adaptativo aplicado</i>	76
Figura 34	<i>Resultados de las tensiones de Von-Mises</i>	76
Figura 35	<i>Gráfico de convergencia de las tensiones de Von-Mises</i>	77
Figura 36	<i>Factores operacionales</i>	82
Figura 37	<i>Factores de temperatura para diferentes materiales</i>	83
Figura 38	<i>Selección del paso para transmisiones de tiempo</i>	87
Figura 39	<i>Composición de una banda transportadora</i>	91
Figura 40	<i>Angulo de inclinación del sistema</i>	93
Figura 41	<i>Fuerzas externas del sistema</i>	93
Figura 42	<i>Rodillo motriz</i>	102
Figura 43	<i>Rodillo conducido</i>	102
Figura 44	<i>Fuerza ejercida por la banda (F) en los rodillos motriz y conducido</i>	103
Figura 45	<i>Geometría del eje motriz</i>	103
Figura 46	<i>Diagrama de cuerpo libre del eje del rodillo motriz</i>	104
Figura 47	<i>Angulo de transmisión de la banda con respecto a la horizontal</i>	105
Figura 48	<i>DCL eje motriz</i>	106
Figura 49	<i>Diagrama de fuerza cortante. Plano XZ</i>	107
Figura 50	<i>Diagrama de momento flector. Plano XZ</i>	108
Figura 51	<i>Diagrama de momento flector. Plano XY</i>	108

Figura 52 <i>Diagrama de momento flector. Plano XY</i>	109
Figura 53 <i>Tipos de cargas variables</i>	110
Figura 54 <i>Resultados de pruebas a la fatiga de muestras sometidas a flexión y torsión combinadas</i>	111
Figura 55 <i>Parámetros que interfieren en el cálculo de los concentradores de esfuerzos.</i>	114
Figura 56 <i>Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t para un eje con filete de hombro en flexión</i>	115
Figura 57 <i>Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t para un eje con filete de hombro en torsión</i>	115
Figura 58 <i>Factores de sensibilidad a la muesca en aceros</i>	117
Figura 59 <i>Factores de sensibilidad a la muesca en aceros</i>	118
Figura 60 <i>Límites de resistencia a la fatiga</i>	119
Figura 61 <i>Coefficientes del factor de superficie</i>	120
Figura 62 <i>Factores de confiabilidad</i>	121
Figura 63 <i>Montajes de los rodamientos</i>	123
Figura 64 <i>Diámetros de hombros y filetes permitidos</i>	123
Figura 65 <i>Dimensiones de un rodamiento rígido de bolas</i>	124
Figura 66 <i>Tabla de relaciones de cargas dinámicas y estáticas</i>	125
Figura 67 <i>Modelo 3D del bastidor</i>	132
Figura 68 <i>Condiciones de contorno</i>	133
Figura 69 <i>Simulación de los desplazamientos generados por las cargas</i>	134
Figura 70 <i>Simulación del factor de seguridad</i>	134
Figura 71 <i>Sistema neumático para el rechazador</i>	135
Figura 72 <i>Diagrama de fuerzas para el cilindro neumático</i>	136
Figura 73 <i>Calibración del peso usando el software SWIFT-PC</i>	146

Figura 74 Configuración de los parámetros de comunicación (Modbus RS-485) usando el software SWIFT-PC.....	147
Figura 75 Configuración de los parámetros para el modo de pesaje dinámico, usando el software SWIFT-PC.....	148
Figura 76 Conexión del motor con el driver.	149
Figura 77 Códigos de función Modbus	151
Figura 78 Conexión de la comunicación del sistema mediante una topología estrella.	151
Figura 79 Arquitectura de navegación de pantallas.	152
Figura 80 Pantalla de bienvenida e ingreso.....	154
Figura 81 Pantalla de monitoreo y visualización	156
Figura 82 Pantalla de tendencias	157
Figura 83 Pantalla de configuración	158
Figura 84 Configurar Productos.....	159
Figura 85 Importar/Exportar lista de productos.....	160
Figura 86 Agregar/Eliminar un producto	161
Figura 87 Configurar usuarios	162
Figura 88 Importar/Exportar lista de usuarios	163
Figura 89 Agregar/Eliminar un usuario	164
Figura 90 Configurar tiempos	166
Figura 91 Configurar velocidades	167
Figura 92 Lista de productos en la base de datos online	169
Figura 93 Establecer conexión con una base de datos online	170
Figura 94 Componentes del verificador de peso o checkweigher	171
Figura 95 Bastidor	174
Figura 96 Cintas transportadoras	175
Figura 97 Sistema neumático de rechazo.....	176

Figura 98 <i>Montaje de la celda de carga Sensocar</i>	176
Figura 99 <i>Montaje de la banda transportadora sobre la celda de carga</i>	177
Figura 100 <i>Componentes electrónicos del checkweigher</i>	178
Figura 101 <i>Diagrama de flujo del checkweigher</i>	179
Figura 102 <i>Puntos de prueba para la banda de pesaje</i>	182
Figura 103 <i>Histograma para la pieza de 100 [g]</i>	185
Figura 104 <i>Histograma para la pieza de 200 [g]</i>	186
Figura 105 <i>Histograma para la pieza de 500 [g]</i>	187
Figura 106 <i>Histograma para la pieza de 1000 [g]</i>	188
Figura 107 <i>Histograma para una muestra de 100g en 3 tiempos diferentes</i>	189
Figura 108 <i>Informe de capacidad para el producto BA1345</i>	190
Figura 109 <i>Efectos de los factores sobre la exactitud del sistema checkweigher</i>	193
Figura 110 <i>Gráfica de interacción de factores para la exactitud del checkweigher</i>	193

Resumen

En la gran mayoría de las industrias de producción ecuatorianas, es notable la falta de control de calidad de procesos, hecho por el cual, no pueden crecer competitivamente con las grandes industrias. Debido a esta problemática, el presente proyecto, tiene como objetivo principal, diseñar y desarrollar un sistema de pesaje automático denominado checkweigher, el cual es ideal para la implementación al término líneas de producción de alimentos empaquetados, brindando soporte en el control de calidad de los productos. El sistema de pesaje checkweigher consta de tres cintas transportadoras, cada una con una función específica, estas son: la cinta de entrada encargada de recibir los productos directamente desde la línea de producción y trasportarlos a la velocidad ideal para el resto de sistemas, la cinta de pesaje cuya función es medir el peso de los paquetes en movimiento y la cinta de salida, en la cual se ha implementado un cilindro neumático para retirar de la línea de producción aquellos paquetes que no cumplen una condición de peso establecida, posee además diversas herramientas de conectividad para la implementación de recetas, consultas y registros en base de datos online gracias a la conectividad a internet. La capacidad del sistema checkweigher es de 100g a 1000g con una resolución de 1g y con una tasa de producción máxima de 60 paquetes por minuto, siendo estas características fácilmente escalables, haciendo del checkweigher una opción atractiva para las industrias.

Palabras clave: checkweigher, pesaje dinámico, control de calidad.

Abstract

In the vast majority of Ecuadorian production industries, the lack of process quality control is notable, which is why they cannot grow competitively with large industries. Due to this problem, the main objective of this project is to design and develop an automatic weighing system called checkweigher, which is ideal for the implementation at the end of packaged food production lines, providing support in the quality control of the products. The checkweigher weighing system consists of three conveyor belts, each with a specific function, these are: the input belt in charge of receiving the products directly from the production line and transporting them at the ideal speed for the rest of the systems, the whose function is to measure the weight of the packages in movement and the output conveyor, in which a pneumatic cylinder has been implemented to remove from the production line those packages that do not meet an established weight condition, also has various tools connectivity for the implementation of recipes, queries and records in online database thanks to internet connectivity. The capacity of the checkweigher system is from 100g to 1000g with a resolution of 1g and a maximum production rate of 60 packages per minute, these characteristics being easily scalable, making the checkweigher an attractive option for industries.

Key words: checkweigher, dynamic weighing, quality control.

CAPÍTULO I

Aspectos Generales

A continuación, en el presente capítulo se desarrollan los antecedentes, la descripción del proyecto de titulación, así como su justificación y definición del alcance del mismo, el objetivo general y los objetivos específicos.

Antecedentes

La empresa Precisión Ingeniería Industrial se enfoca en el desarrollo e implementación de proyectos de ingeniería. Presta un servicio en todo el campo industrial mediante la asesoría, venta, calibración y servicio técnico de todo tipo de equipos y sistemas industriales que son fundamentales en la obtención de productos de calidad (*Precisión Ingeniería Industrial - Inicio, 2021*).

Mediante una visita de campo en las instalaciones de la fábrica de Confiteca C.A., se pudo apreciar un sistema de pesaje dinámico de la marca LOCK, utilizado para el control de calidad en paquetes de chicles agogó. En la Figura 1 se puede apreciar el sistema verificador de peso implementado en la empresa.

Figura 1

Checkweigher referencial de la empresa



El checkweigher lleva en funcionamiento cerca de 10 años y sus prestaciones están limitadas para un único producto. Posee un cilindro neumático para implementar el sistema de rechazo de aquellos paquetes fuera de rango, el cual puede maltratar las cajas de los productos empaquetados. La tasa de muestreo es de 1 paq/s, siempre y cuando se trabaje bajo el producto especificado.

El método de pesaje utilizado, es con un sistema dinámico que cuenta con tres bandas transportadoras, la banda de ingreso, la banda de pesaje y la banda de salida, además, la visualización de los parámetros y el accionamiento se lo realiza mediante una HMI.

El funcionamiento del sistema de control de peso actual que posee la empresa, inicia con una banda de entrada a la cual ingresan los productos desde cualquier línea de producción, posteriormente ingresa a la banda de pesaje en donde un sensor difuso inicia el conteo para que el producto sea pesado. Es de suma importancia mantener la misma velocidad de desplazamiento lineal entre las bandas de entrada y pesaje para evitar errores en la medición. Si el producto está dentro del rango aceptable se lo dejará pasar por la banda de salida, caso contrario se accionará el cilindro neumático para el rechazo.

El sistema debe cumplir con los tiempos de producción deseados por la empresa, esto provoca errores en la medición de los pesos, poca precisión en el sistema de rechazo neumático, esto es debido a los controladores desactualizados y poco precisos ya que es un sistema antiguo, tampoco cuenta con un registro de los parámetros diarios en una base de datos por lo que los pesos son registrados en cartas de control provocando pérdidas de tiempo en la producción diaria de la empresa.

Para los sistemas de control y monitoreo de peso de productos como de chicles, chupetes entre otros se lo realiza con un sistema de pesaje estático, en donde una muestra del producto se retira de la línea de producción para su respectivo control.

Actualmente la empresa Precisión es un distribuidor nacional de balanzas de pesaje de alta precisión ideales para este tipo de industrias. Tomando como muestra el checkweigher implementado en Confiteca C.A., la empresa Precisión se plantea desarrollar y comercializar controladores de peso dinámico dentro de una empresa ecuatoriana en el ámbito alimenticio, en línea de producción de productos empaquetados.

Descripción del proyecto

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema verificador de peso conocido comercialmente como checkweigher. Para el diseño se inicia evaluando los requerimientos de la empresa beneficiaria del producto, *Precisión Ingeniería Industrial*, la cual ha planteado como parámetros de desempeño la velocidad de producción y la precisión en el pesaje. Con estos datos definidos iniciamos con el sistema mecánico que consiste el diseño estructural, el diseño de las tres bandas transportadoras que serán la banda de ingreso, pesaje y salida, y la estructura del sistema de pesaje, siendo este último de suma importancia ya que se debe tener en cuenta que el peso de este sistema debe ser el mínimo posible. Una vez diseñada la parte mecánica se procede con la parte electrónica y de control. En este diseño se dimensiona el indicador de peso según las siguientes características: resolución, capacidad de peso y velocidad de respuesta. En la parte de control se programan los drives de cada motor y el controlador lógico programable. Por último, se programa la HMI (Human-Machine Interface, por sus siglas en inglés) tomando en cuenta la implementación de IoT (Internet Of Things, por sus siglas en inglés) para la toma de datos y su posterior almacenamiento en una base de datos online. Una vez diseñado todos los sistemas se procede con la integración de los mismos para obtener un sistema Mecatrónico, y finalmente se realizarán las pruebas de funcionamiento y refinamiento.

Justificación

De acuerdo al artículo 277 de Constitución Nacional Ecuatoriana (*CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR (2008), 2021*) serán deberes generales del Estado, promover e impulsar la ciencia, la tecnología, las artes, los saberes y en general las actividades de la iniciativa comunitaria, asociativa, cooperativa y privada. Siendo este proyecto de integración de saberes y tecnologías, nos apoyamos en los artículos que faciliten y promuevan el desarrollo nuevos productos tecnológicos e innovadores, algunos artículos referentes al desarrollo de este proyecto son:

Artículo. 334.- El Estado promoverá el acceso equitativo a los factores de producción, para lo cual le corresponderá:

- Impulsar y apoyar el desarrollo y la difusión de conocimientos y tecnologías orientados a los procesos de producción
- Evitar la concentración o acaparamiento de factores y recursos productivos, promover su redistribución y eliminar privilegios o desigualdades en el acceso a ellos.
- Desarrollar políticas específicas para erradicar la desigualdad y discriminación hacia las mujeres productoras, en el acceso a los factores de producción.
- Desarrollar políticas de fomento a la producción nacional en todos los sectores, en especial para garantizar la soberanía alimentaria y la soberanía energética, generar empleo y valor agregado.
- Promover los servicios financieros públicos y la democratización del crédito.

Art. 350.- El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las

culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo.

Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

- Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.
- Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir

Art. 387.- Será responsabilidad del Estado:

- Facilitar e impulsar la incorporación a la sociedad del conocimiento para alcanzar los objetivos del régimen de desarrollo.
- Promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica, y potenciar los saberes ancestrales, para así contribuir a la realización del buen vivir, al sumak kawsay.
- Asegurar la difusión y el acceso a los conocimientos científicos y tecnológicos, el usufructo de sus descubrimientos y hallazgos en el marco de lo establecido en la Constitución y la Ley.
- Garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza, el ambiente, y el rescate de los conocimientos ancestrales.
- Reconocer la condición de investigador de acuerdo con la Ley

La realización de un proyecto de tesis con una aplicación industrial, resulta atractiva ya que es en este ámbito donde se pueden aplicar y demostrar todos los conocimientos adquiridos durante la carrera alineados a los estándares de aprendizaje

del ministerio de educación ecuatoriano, además de ser una oportunidad ideal para entrar en el campo laboral con un producto altamente demandado en la industria y que durante todas sus fases desde la planeación hasta la implementación, se habrá de adquirir nuevas experiencias, conocimientos y habilidades que muchas veces no se han alcanzado en el transcurso de la formación académica. Es por esto que el tema de tesis de diseño y construcción de un checkweigher es una oportunidad valiosa para nosotros como futuros ingenieros.

La industria ecuatoriana, principalmente la industria de la producción alimenticia, posee en su inventario de maquinaria una gran cantidad de sistemas de pesaje por bandas transportadoras, los mismos que muchas veces son importados en su totalidad o de manera parcial debido a la falta de producción local de estos sistemas. El artículo 281. Soberanía alimentaria tiene como fin asegurar el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica apropiadas para garantizar la soberanía alimentaria, ámbito en el cual un verificador de peso es ampliamente utilizado.

Con el desarrollo e implementación de este proyecto buscamos integrar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo académico en una aplicación industrial, con la cual nos beneficiaremos directamente adquiriendo nuevas experiencias del campo industrial. El desarrollo del checkweigher abarca varias etapas tanto de la parte mecánica, así como también en la parte electrónica y de control, aspectos que cumplen un rol importante para la ingeniería mecatrónica. Por otra parte, este proyecto es una necesidad presente en la industria ecuatoriana, donde se carece de fabricantes que comercialicen estos sistemas, debido a esto la empresa Precisión ha optado por la construcción de un checkweigher con el objetivo de brindar soluciones atractivas para sus clientes potenciales entre los cuales destacan las empresas ecuatorianas Confiteca y Pronaca.

Definición del alcance

La empresa Precisión Ingeniería Industrial ofrece servicios diferenciados en todo el campo industrial mediante la asesoría, venta, calibración y servicio técnico de todo tipo de equipos y sistemas industriales que son fundamentales en la obtención de productos de calidad. Dentro de este ámbito la empresa requiere de un verificador de peso por bandas transportadoras (Checkweigher) capaz de medir con alta precisión el peso correspondiente a cajas de diferentes productos con pesos nominales de entre 100g y 1000g. Algunos requerimientos preliminares para el sistema de pesaje son:

- Largo Total:1075[mm]
- Banda entrada: 355[mm]
- Banda de pesaje: 355[mm]
- Banda salida: 355[mm]
- Distancia entre bandas: 5[mm]
- Ancho de las bandas: 250[mm]
- Capacidad de carga: 1000[g]
- Material: Acero Inoxidable
- Velocidad de Muestreo: 30 paq/min
- Sistema de registro de información en una base de datos
- Sistema de monitoreo

Esto se engloba en un sistema total con sus componentes mecánicos, electrónica y control, y de software descritos a continuación.

Sistema mecánico

- Diseño de la estructura en acero galvanizado e inoxidable
- Diseño de las bandas transportadoras: alimentación, pesaje y salida
- Diseño del sistema de rechazo

- Calibración e implementación de la celda de carga

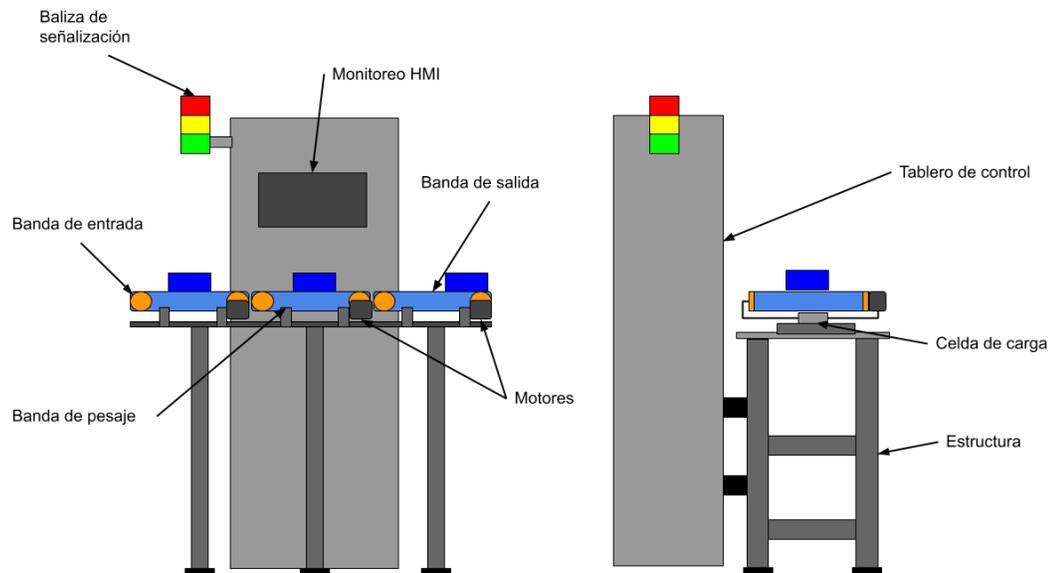
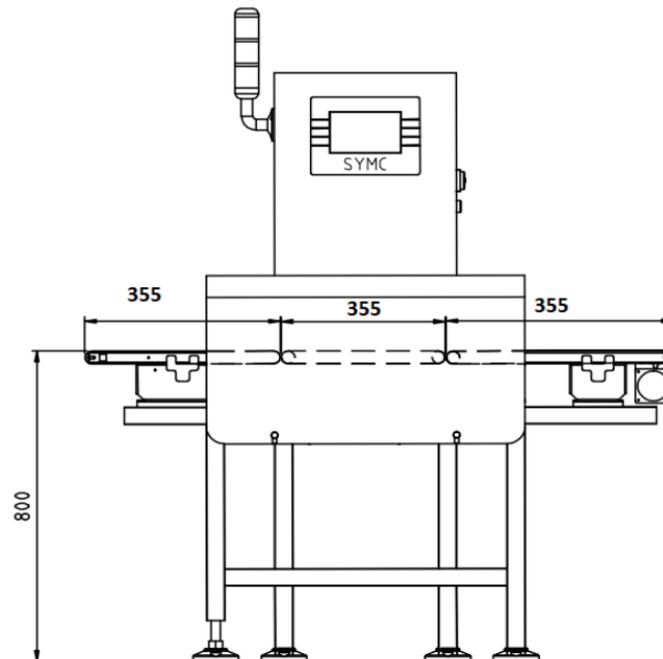
Sistema control y automatización

- Programación del PLC
- Calibración y programación de los indicadores de peso
- Adquisición de datos mediante sensores
- Control de posición para el sistema de rechazo
- Diseño de la HMI

Sistema informático

- Desarrollo de una base de datos

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente podemos definir la meta principal del proyecto, la cual consiste es construir un sistema verificador de peso por bandas transportadoras para productos de hasta 1000g con un sistema de rechazo para aquellos productos fuera de un rango predeterminado y que disponga de un sistema de registro de información en una base de datos online o local. Un esquema preliminar del sistema checkweigher se presenta en la Figura 2 y Figura 3, en la cual se integran sus componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de software.

Figura 2*Esquema del sistema***Figura 3***Dimensiones preliminares para el checkweigher*

Para este proyecto se cuenta con apoyo de personal especializado en sistemas de pesaje de la empresa Precisión Ingeniería Industrial, así como el acceso a los

laboratorios de metrología de la empresa y del uso de las instalaciones y software necesario para el desarrollo del proyecto. La empresa precisión ha puesto a nuestra disposición los componentes para pruebas como HMI, balanzas de calibración, pesos patrones de varias medidas y una base de datos online en un servidor web.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema automático controlador de peso (checkweigher) por bandas transportadoras para cajas de productos con un rango de pesos de entre 100g y 1000g con adquisición de datos mediante la incorporación de sistemas mecatrónicos para la empresa Precisión Ingeniería Industrial.

Objetivos específicos

- Diseñar una banda transportadora de pesaje con una capacidad máxima de 1000g con base en una investigación previa de materiales, componentes y normas vigentes, haciendo uso de conocimientos de software CAD/CAM/CAE y Diseño de Elementos y Maquinas.
- Construir el sistema de pesaje de acuerdo al diseño realizado, basándonos en normas y estándares ecuatorianos, para garantizar confiabilidad y seguridad del sistema.
- Validar el correcto funcionamiento del checkweigher bajo diversas condiciones a través de la implementación de diseños experimentales (DOE) y diversas herramientas estadísticas con el fin de determinar características importantes como la precisión, exactitud, linealidad, normalidad, etc.

- Implementar el sistema checkweigher en las instalaciones de la empresa Precisión durante un período de prueba y análisis para su posterior comercialización por parte de la empresa propietaria.
- Realizar la documentación necesaria del sistema checkweigher como lo son los manuales de usuario para su puesta en marcha, para pruebas de calibración, mantenimientos preventivo y correctivo, y además los planos a detalle del sistema.

CAPITULO II

Fundamentación Teórica

Continuando con el desarrollo de este proyecto de titulación, en el presente capítulo se describe los fundamentos teóricos sobre los cuales se desarrolla el proyecto.

Bandas transportadoras

El uso de las primera bandas transportadoras data del año 1795, época en la cual eran utilizadas para el transporte de carbón y otros materiales para la industria minera. Generalmente eran utilizadas en cortas distancias y su sistema era rústico. Los materiales que predominaron la construcción de estos sistemas fueron la lona, cuero y madera sobre la cual se deslizaba la cinta (Barreda Aguilera et al., 2019).

En la industria existen diferentes sistemas de transporte continuo, entre los cuales destacan los sistemas de transporte por cintas transportadoras por muchas razones que los hacen ideales para su objetivo (Hernández, 1969), entre las cuales podemos resaltar como principales las siguientes:

- 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.
- Poco mantenimiento. consecuencia de su robustez. (Hernández, 1969).

Los mecanismos de bandas transportadoras constan generalmente de los mismos elementos en la gran mayoría de diseños, pudiendo algunos integrar componentes adicionales. Algunos de los componentes indispensables para una banda transportadora son:

Banda o cinta de transporte

La banda o cinta es la encargada de arrastrar el material o producto desde el punto de carga hasta su lugar de destino. Las cintas poseen características específicas según el producto que se plantea desplazar, según la superficie de contacto sobre la cual se desliza, entre otras.

La clasificación de las cintas se puede separar según el tipo de tejido y según la superficie portante de la carga (Castro et al., 2011).

Según el tipo de tejido:

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

Según el aspecto de la superficie

- Lisas
- Rugosas
- Con nervios, o bordes laterales

Rodillos

Los rodillos generalmente son utilizados en bandas transportadoras una longitud considerable. Son uno de los componentes principales de un sistema de banda transportadora. El giro de estos componentes determina en gran medida el buen funcionamiento del sistema transportador, si el giro de los mismos no es el adecuado, puede incurrir en desgastes de la cinta por fricción, además de aumentar el gasto de energía y por consiguiente, genera la reducción de la vida útil del sistema.

Las funciones principales de los rodillos de una banda transportadora son:

- Soportar la banda y el material a transportar por la misma en el ramal superior, y soportar la banda en el ramal inferior; los rodillos del ramal superior situados en la zona de carga, deben soportar además el impacto producido por la caída del material.
- Contribuir al centrado de la banda, por razones diversas la banda está sometida a diferentes fuerzas que tienden a decentarla de su posición recta ideal. El centrado de la misma se logra en parte mediante la adecuada disposición de los rodillos, tanto portantes como de retorno.
- Transmitir el movimiento a través de la banda (Castro et al., 2011)

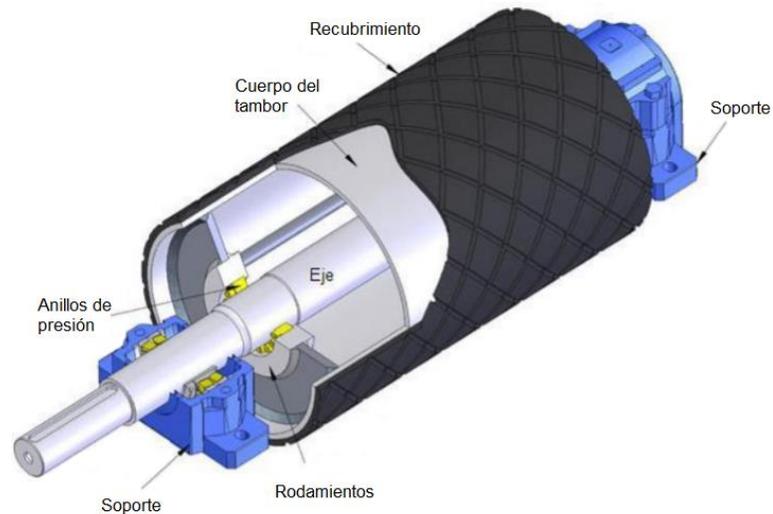
Tambores

Los tambores son similares a los rodillos, con la única diferencia que estos se utilizan para conducir el movimiento de la manera más eficiente y para tensar la cinta.

Existen dos tipos de tambores que se pueden utilizar para una cinta transportadora, estos son; tambores motrices. Son los encargados de transmitir la fuerza tangencial del actuador motriz hacia la banda. Estos están conectados directamente a la flecha del motor a través de poleas, catarinas con cadenas o mediante un acoplamiento directo al motor, tambores conducidos o de retorno. Su función principal es la de implementar un cambio de trayectoria y su movimiento es inducido por el tambor motriz. Generalmente son usados para tensar la cinta transportadora. En la Figura 4 se pueden ver los componentes de un tambor conducido.

Figura 4

Elementos de un tambor de banda transportadora



Nota. Tomado de *Tambor, Castro et al., 2011.*

Bastidor

Los bastidores son la parte estructural principal que constituye el soporte de la banda transportadora y sus elementos. Este suele ser el componente más sencillo y generalmente es metálico. Su función es soportar las cargas de material y los componentes de la banda. Es una estructura rígida y se fija directamente sobre el suelo.

Actuador motriz

El elemento motriz, generalmente es un motorreductor capaz de aumentar o disminuir la velocidad y torque necesarios para el funcionamiento de la cinta transportadora. De la correcta elección de este componente dependerá en gran medida el buen funcionamiento del sistema. Es indispensable realizar previamente una selección y dimensionamiento del motor para la aplicación correspondiente, asegurándose de proveer la potencia requerida y con las prestaciones necesarias para su implementación.

Sistemas de pesaje

Es la actividad en donde se cuantifica la masa de un cuerpo u objeto, este proceso tiene como objetivo medir el peso de dicho objeto, para luego ser usado en control y monitoreo, ya sea de productos terminado o materia prima (Aguas & Naranjo, 2011).

El peso

Se define como la cantidad o porción de materia, medida por el valor de su empuje hacia abajo debido a la gravedad, en otras palabras “Peso” es un resultado de la fuerza gravitatoria. Dentro de un sistema de pesaje se pueden considerar tres tipos de peso.

- **Peso muerto:** es el peso del recipiente en el cual se deposita el material, más conocido como tara.
- **Peso neto:** Es el peso real del material a pesar, excluyendo el peso muerto.
- **Peso bruto:** Es el peso total que mide la celda de carga, es decir es la suma del peso muerto y el peso neto.

Sistemas estáticos

Los sistemas estáticos tienen una gran precisión y confiabilidad, estos sistemas son las tradiciones usadas en la mayoría de las industrias, en esta categoría se encuentran las basculas de plataforma, basculas de mesa, balanzas, entre otros.

Estos tipos de sistemas son apropiados cuando se necesita pesar (en modo manual o automático), uno o varios productos desde, sacos, silos, etc., para dosificar a otros equipos como reactores, mezcladores u otro tipo de equipos que requieran adicionar varios productos

Sistemas dinámicos

Los sistemas de pesaje dinámico es una actualización de los procesos estáticos tradicionales, estos sistemas dinámicos permiten tener una mayor eficiencia en la producción ya que permite pesar en la línea de producción, en esta categoría se encuentran los checkweigher los cuales pesan mediante el paso del producto sobre una banda transportadora.

Celdas de carga

Una célula o celda de carga es un transductor electrónico utilizado como medidor de fuerza. Las celdas miden una carga utilizando como principio la Ley de Hooke, aprovechando las características elásticas de un material conductor, generalmente metálico (Carro & Tioli, 2012). Su funcionamiento se basa en el uso de galgas extensiométricas (strain gages) que, al sufrir una deflexión en los filamentos metálicos a partir de su deformación unitaria, reacciona generando un cambio en su resistencia y por ende un cambio en el circuito conectado a elemento. Por lo tanto, se tiene que, dado un circuito con una tensión de entrada conocida, la tensión de salida del circuito varía en relación a la carga aplicada sobre la galga extensiométrica (Esquivel, 2005), es decir, una celda de carga es un transductor que convierte la magnitud de la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible.

Los diferentes tipos de celdas de carga se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de señal que se genera a la salida ya sea neumático, hidráulico, eléctrico o de acuerdo con la forma en que detectan la carga aplicada ya sea por flexión, cizalladura, compresión, tensión, etc. (Troconis, 2019).

Figura 5

Celdas de carga



Nota. Tomado de *Celdas de carga*, Troconis J., 2019

Las celdas de carga se basan en el principio resistivo de las galgas extensiométricas, son estos elementos los responsables de convertir una señal mecánica como la fuerza en una señal eléctrica. Estos elementos se encuentran unidos al cuerpo metálico de la celda el cual se deforma al estar sometido a una carga como puede una carga debido al peso de un elemento. En una celda de carga se encuentran dispuestas varias galgas extensiométricas, generalmente en configuraciones de 4, esto con el fin de obtener la máxima sensibilidad y compensación por perturbaciones como los efectos de la temperatura sobre el elemento resistivo. Para los efectos de compensación, la disposición de las galgas está por lo general en pares, dos trabajan a tensión y dos a compresión.

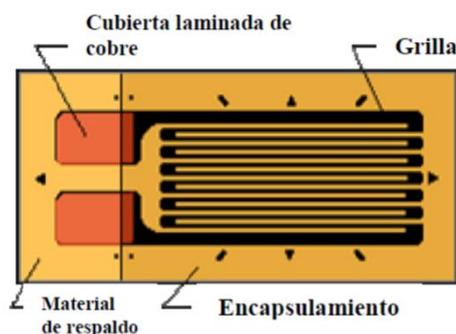
Galgas extensiométricas

“Es frecuente emplear elementos elásticos a fin de indicar la magnitud de una fuerza aplicada midiendo el desplazamiento” (Holman & Gajda, 1986). La galga extensométrica consiste en una lámina de un material a la cual se le ha impreso un

circuito eléctrico resistivo. La galga se adhiere firmemente al elemento sometido a cargas de tracción o compresión (célula o celda de carga). Al aplicar carga sobre el elemento con la galga adherida, esta última registra un cambio en su resistencia que se asocia a la deformación unitaria del elemento. El valor de deformación unitaria está directamente asociado con la carga aplicada. Se basan en el principio piezorresistivo. Son construidas forma que sea sensible a la deformación en una dirección determinada (Troconis, 2019).

Figura 6

Galga extensiométrica



Nota. Tomado de galgas extensiométricas, Troconis J., 2019

Generalmente, son de tipo de lámina, y posee una fina capa de hilos metalizados de una aleación conductora depositada sobre una lámina de material plástico aislante, de forma que ésta se pueda adherir fácilmente a una superficie. El material conductor sufrirá las deformaciones, siendo posible medir esfuerzos a partir de la variación de resistencia.

Acondicionamiento de las galgas extensiométricas

La medición de Galgas Extensométricas se basa en la variación de su resistencia eléctrica, como efecto de la deformación mecánica. Se requiere utilizar un puente resistivo para poder medir los pequeños cambios en su resistencia; para ello se

utiliza el puente de Wheatstone, inventado por el físico inglés Charles Wheatstone en 1843 (Orellana et al., 2005).

La variación de resistencia eléctrica de estos transductores, generan una señal de salida muy pequeña, por lo que es necesario el uso de un sistema de acondicionamiento para manipular esta señal. El circuito de acondicionamiento incluye varias etapas. En la Figura 7 se muestra un diagrama con algunas de las etapas más comunes en un circuito de acondicionamiento para señales provenientes de galgas extensiométricas.

Figura 7

Diagrama de bloques de un circuito de acondicionamiento de señales



Nota. Adaptado de, *Diagrama de bloques del circuito*, Orellana, J., 2005.

El acondicionamiento trabaja con las señales analógicas provenientes de los sensores. Los circuitos que conforman esta etapa deben ser capaces de controlar por lo menos uno de los tres parámetros que describen a una señal analógica: amplitud, frecuencia y fase (Orellana et al., 2005). Los circuitos de acondicionamiento de señal son utilizados para la amplificación de una señal pequeña, para el filtrado de señales donde se requiere reducir el ruido, aislamiento de señales de alto voltaje, entre otros.

Para el caso de una celda de carga, se requiere amplificar la señal proveniente del puente de Wheatstone. Las celdas de carga comerciales, brindan una señal de salida estandarizada según la capacidad y resolución de la misma, por lo general poseen una sensibilidad alrededor de 2mV/V. Una alternativa para amplificar la señal es usar un amplificador de instrumentación con alta impedancia de entrada, alta ganancia

diferencial, alto CMRR, bajo offset, baja desviación y baja corriente de polarización (Orellana et al., 2005).

Esta tarea de acondicionamiento de señales suele ser una etapa con un minucioso desarrollo, sin embargo, en la actualidad existen dispositivos electrónicos programables que simplifican de manera significativa la adquisición y manipulación de la señal de una celda de carga, tal es el caso del transmisor CAS WTM500, en el cual se programan los filtros adecuados ya sean, filtros pasa bajos, pasa altos o pasa bandas, únicamente accediendo al menú de calibración del dispositivo y configurando las frecuencias necesarias. El transmisor realiza todas las etapas del acondicionamiento y como resultado, genera en sus salidas una señal digital que puede ser leída por un controlador lógico a partir de la comunicación serial entre ambos. En la Figura 8 se muestra el transmisor de peso de la marca CAS.

Figura 8

Transmisor de peso CAS WTM500



Nota. Tomado de CAS WTM500, CAS, 2021. <http://www.globalcas.com>

Aplicaciones de las celdas de carga

Los campos de aplicaciones de las celdas o celdas de carga, no está delimitada para una industria en específico. Generalmente son utilizadas como elementos de pesaje, sin embargo, no es su única aplicación, también se usan como medidores de

fuerza y torque en mecanismos donde se requiere aplicar una fuerza determinada a un elemento. Algunas aplicaciones más comunes para las celdas de carga son:

Plataformas de pesaje para vehículos

Las celdas de carga se disponen bajo una plataforma de pesaje de grandes dimensiones, donde reposará el vehículo en cuestión. Las capacidades de estas celdas de carga son considerables llegando hasta capacidades en el orden de las toneladas.

En la Figura 9, se muestra una báscula de pesaje de camiones. Esta Báscula no puede proporcionar el peso total del camión PBV (Peso Bruto Vehicular) en una sola operación, se puede obtener la sumatoria de los ejes o grupo de ejes. Báscula de plataforma corta para pesar cada eje o grupo de ejes de manera independiente, requiere menor espacio para su instalación y menor inversión (Revuelta, 2021).

Figura 9

Plataforma de pesaje de camiones. Medición del primer eje



Nota. Tomado de Medición del primer eje, Revuelta, 2021.

<https://www.revuelta.com.mx/basculas-y-soluciones-de-pesaje/soluciones-de-pesaje/pesaje-por-ejes>

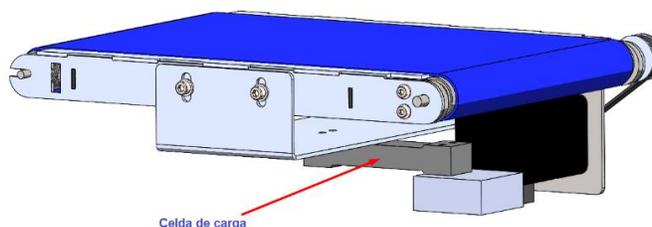
Cintas transportadoras

Las celdas de carga en cintas transportadoras se emplean como un método de control de calidad. Son considerados sistemas de pesaje dinámicos. Las celdas de

carga se disponen bajo el cuerpo de la cinta transportadora, por lo cual soporta el peso muerto de la estructura y el peso vivo (peso del producto) de esta forma se tiene una lectura del peso de cada producto en una línea de producción.

Figura 10

Celda de carga en cinta transportadora de un verificador de peso

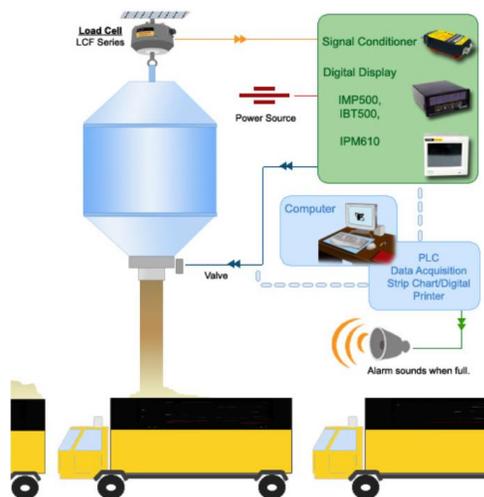


Sistemas de dosificación

En esta aplicación las celdas de carga son usadas para controlar la distribución del material mientras se está monitoreando el nivel del contenido de tanque. La celda de carga con un amplificador en línea puede estar directamente conectada a un PLC o computadora para la retroalimentación del control o a uno de los instrumentos con opción de alarma o salida analógica. Un sonido de alarma puede ser conectado a el PLC, computadora o el display para avisar cuando el proceso está completo o cuando el tanque está lleno o vacío (Logicbus S. A., 2021).

Figura 11

Sistema dosificador



Nota. Tomado de *Sistema dosificador*, Logicbus S. A., 2021.

<https://www.logicbus.com.mx/LSB200.php>

Selección de celdas de carga

Se deben tomar en cuenta consideraciones importantes para la selección de una celda de carga, estas son; el ambiente de trabajo, el tipo de pesaje, material de construcción, tipo de protección y capacidades.

Ambiente de trabajo

Es necesario conocer previamente el ambiente en el cual se pretende instalar una celda de carga, por ejemplo, si se pretende utilizar para la industria alimentaria o química vamos a excluir celdas de carga fabricadas en aleaciones de acero y consideraremos aquellas en acero inoxidable y con un cierto grado de protección IP necesario, por el contrario, si la aplicación es para pesaje en ambientes secos y no alimenticios podemos considerar celdas en aleaciones de acero o aluminio (LAUMAS Innovation in Weighing, 2021).

Si la aplicación es para la industria petrolera o gasoducto, casi es seguro que se necesita utilizar celdas certificadas para ambientes explosivos

Tipo de sistema de pesaje

El siguiente paso es entender el tipo de sistema que se posee, por ejemplo, si se trata de una cinta transportadora, de una báscula puente, un sistema de dosificación u otros. Además, se debe conocer si el sistema es estático o dinámico, si es susceptible a vibraciones (LAUMAS Innovation in Weighing, 2021).

Certificaciones

Generalmente las certificaciones de para las celdas de carga, se requieren cuando se precisa en un equipo que está a la venta bajo estándares de calidad. Existen celdas homologadas en clase C3, C4, C5 y C6. Entre más alta es la clase de precisión de celda, más alta es la resolución del sistema. Sin embargo, el 90% de las veces en el sector industrial, las celdas son para uso interno, por lo cual no es necesario una homologación de la celda (LAUMAS Innovation in Weighing, 2021).

Existen varias certificaciones según el campo de aplicación de la celda. Las certificaciones para uso legal en transacciones comercializaciones son OIML, NTEP y EAC PAC. La certificación OIML es propia del mercado de la unión europea y es reconocida en gran parte del mundo, la certificación NTEP es aplicada para el mercado de Estados Unidos y la certificación EAC se emplea en el mercado euroasiático. Otro tipo de certificaciones son específicas para entornos explosivos, estas son IECEx EAC ex y ATEX. Por último, la certificación 3A cumple con estándares sanitarios e higiénicos, es requerido para los entornos médicos (LAUMAS Innovation in Weighing, 2021).

Figura 12

Certificaciones para celdas de carga



Nota. Tomado de Certificaciones para las celdas de carga, LAUMAS Innovation in Weighing, 2021. <https://www.laumas.com/es/videos-webinar-formacion/>

Materiales

Considerando el entorno y el campo de aplicación, se pueden requerir materiales como:

- Acero inoxidable AISI 420. Para entornos con un grado de corrosión no muy alto
- Acero inoxidable 17-4 PH. Para entornos muy agresivos
- Aluminio
- Aceros aleados. Para aplicaciones comunes
- Aceros especiales. Para ambientes explosivos

Protección IP y capacidad

También, en relación al entorno debemos tomar en cuenta la protección IP. La protección IP varía de acuerdo al fabricante. Se puede encontrar desde IP20 hasta IP69K.

Por otra parte, la capacidad de la celda deberá poseer un rango mayor al máximo peso que se pretende medir, usualmente es recomendable seleccionar una celda con una capacidad de carga de un 20% mayor al máximo valor que se tiene previsto. Existen celdas de carga desde 0.1Kg hasta 2000000 Kg.

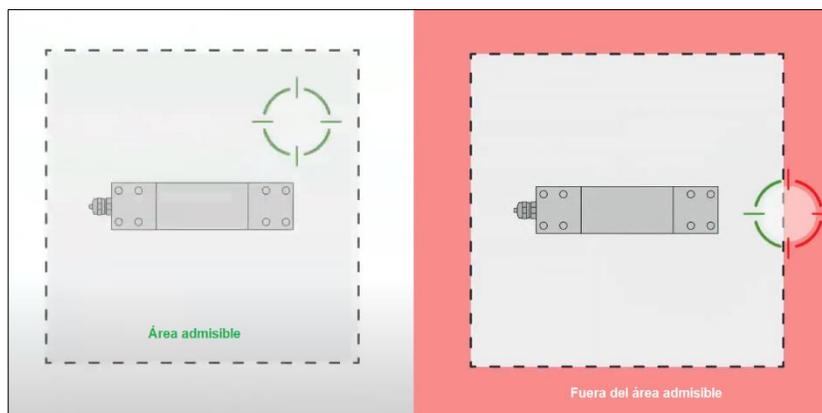
Tipos de celdas de carga

Existen diversos tipos de celdas de carga, cada una se caracteriza por su modo de operación y campo de aplicación.

Una de las familias de celdas de carga más utilizadas son de tipo Off Center. Este tipo de celdas se usa por lo general por sí solas, sin embargo, también se pueden utilizar en configuraciones de hasta 6 celdas. Su característica principal es la capacidad de pesar objetos en cualquier punto de un área determinada, esta área está definida por la capacidad de carga de la plataforma y se especifica en la hoja técnica de cada celda (LAUMAS Innovation in Weighing, 2021).

Figura 13

Plataforma de pesaje de una celda off-center



Nota. Tomado de *Plataforma de pesaje de una celda off-center*, LAUMAS Innovation in Weighing, 2021. <https://www.laumas.com/es/videos-webinar-formacion/>

Si la carga se sitúa fuera del espacio especificado para la celda de carga, se corre el riesgo de dañar la celda y se pueden dar lecturas erróneas de peso.

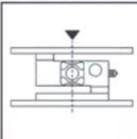
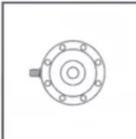
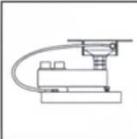
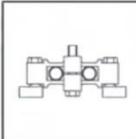
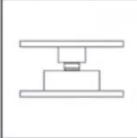
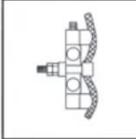
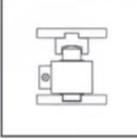
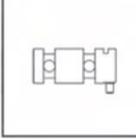
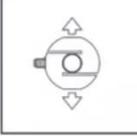
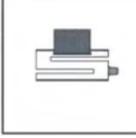
Normalmente este tipo de celdas son utilizadas para baja capacidad por ejemplo 0.25Kg-100Kg, sin embargo, se pueden encontrar celdas off-center de hasta 2000Kg (LAUMAS Innovation in Weighing, 2021).

Las aplicaciones típicas para este tipo de celdas son:

- Plataformas de pesaje/balanzas comerciales
- Transportadores de rodillos
- Pequeñas tolvas/tanques
- Máquinas de embalaje
- Sistemas de pesaje dinámico
- Sistemas de tensado

A continuación, la Figura 14 muestra algunos de los tipos de celdas de carga más comunes, y más usados en la industria.

Figura 14*Tipos de celdas de carga*

	OFF-CENTER		COMPRESIÓN / TRACCIÓN
	FLEXIÓN / CIZALLAMIENTO		DOBLE CIZALLAMIENTO
	COMPRESIÓN		PARA TIRANTES
	COMPRESIÓN PARA PIE		PARA MEDICIÓN CABLE
	COLUMNA		EJES DINAMOMÉTRICOS
	TRACCIÓN		PARA PEDAL DE FRENO

Nota. Tomado de *Tipos de celdas de carga*, LAUMAS Innovation in Weighing, 2021.

<https://www.laumas.com/es/videos-webinar-formacion/>

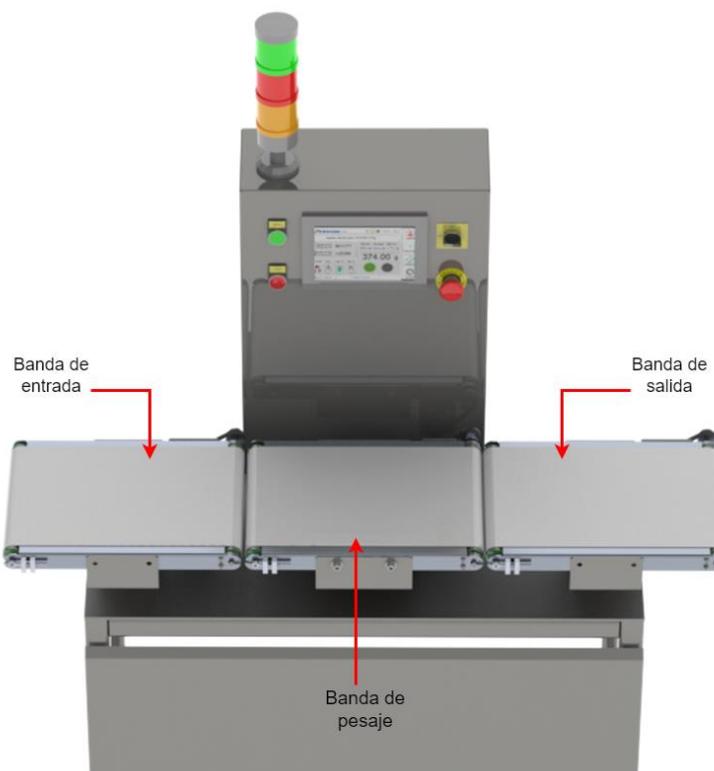
Controladores de peso (checkweigher)

Un controlador de peso o checkweigher es un tipo de sistema de pesaje dinámico cuyo funcionamiento se basa en el uso de celdas de carga de tipo Off-Center, sobre la cual reposa una cinta transportadora. A principios de los años 80, cuando se empezaron a usar este tipo de equipos, se podía esperar una resolución de 500mg para un rango de pesaje de 0 a 1000g con una tasa de muestreo máxima de 300 paquetes por minuto en aquellos de equipos de alta gama, ahora con el avance de la tecnología

se puede obtener controladores de peso con una resolución de hasta 20mg (25 veces mejor) para el mismo rango de pesaje y la tasa de rendimiento se ha duplicado a 600 paquetes por minuto (Tariq et al., 1995).

El equipo verificador de peso está diseñado para reaccionar solamente con las componentes verticales de las fuerzas que le están siendo aplicadas. En esencia este sistema consiste en una estructura de apoyo fija (estática) y una estructura viva (dinámica) consistente en las cintas transportadoras (Vassaux Castro, 2007).

Además de la cinta de pesaje, un checkweigher generalmente posee otras dos cintas transportadoras adicionales como lo son la cinta de entrada y la de salida. La cinta de entrada es utilizada para acoplarse a la línea de producción y transportar el producto hasta el sistema de pesaje y para actuar como un acondicionador cuando la línea de producción posee diferentes velocidades, de este modo se evita lecturas incorrectas de peso debido a las fuerzas de arrastre o empuje que generarían las cintas al no poseer la misma velocidad lineal. La cinta de salida también es utilizada para acoplar el checkweigher a la línea de producción, sin embargo, usualmente cumple la función de implementar un sistema de rechazo. En la Figura 15, se muestra un checkweigher con tres cintas transportadoras para el pesaje dinámico de productos.

Figura 15*Checkweigher con tres cintas transportadoras*

En la cinta de transportadora de salida, usualmente se integra un sistema de rechazo para aquellos productos que no se encuentren dentro un rango admitido según se disponga.

Existen diversos sistemas de rechazo para un checkweigher, estos pueden ser:

- Mediante el accionamiento de un cilindro neumático con una carrera suficiente para retirar el producto
- Un sistema de paleta accionado por un servomotor
- Sistema de doble paleta accionado por servomotores
- Accionamiento con levantamiento vertical de la cinta de salida
- Sistema de rechazo por aire, entre otros.

En un checkweigher se utilizan diversos sensores necesarios para realizar la operación de pesaje correctamente. Es necesario determinar el instante en el que un paquete entra a la cinta de pesaje, para esto se usan sensores difusos en los laterales de la cinta. Desde el momento en que el paquete ingresa a la cinta, la celda de carga se deforma en relación al peso de la carga y genera una señal eléctrica proporcional a la deformación que se ha producido, el transmisor de peso es el encargado de recibir esta señal, filtra el ruido generado por las vibraciones del sistema y acondiciona la señal de tal forma que se pueda interpretar la salida en unidades de [g] o [Kg]. Parte esencial del funcionamiento, es la implementación de los filtros adecuados según la señal de salida de la celda. El tiempo de aplicación del filtro debe ser lo suficientemente largo para que los valores medidos sean lo más estables posible. El tiempo de medición, es el tiempo que se establece para la toma de datos, este se debe de dar antes de que el producto a pesar salga de la mesa de pesaje (Quintero, 2019).

Campo de aplicación de un checkweigher en la industria ecuatoriana

Existe un amplio campo en la industria ecuatoriana en donde es requerido controlar el peso de sus productos, el checkweigher está enfocado a productos ya terminados como por ejemplo cajas de confitería, fundas de aceite, bebidas en general, productos congelados, harinas entre otros.

El área de la industria alimenticia es uno de los sectores que más uso les da a los sistemas de pesaje, es fundamental en la cadena de producción, cada vez son más los negocios que utilizan estos sistemas, para cumplir con las políticas y normas de empaquetado (PRECISUR, 2021).

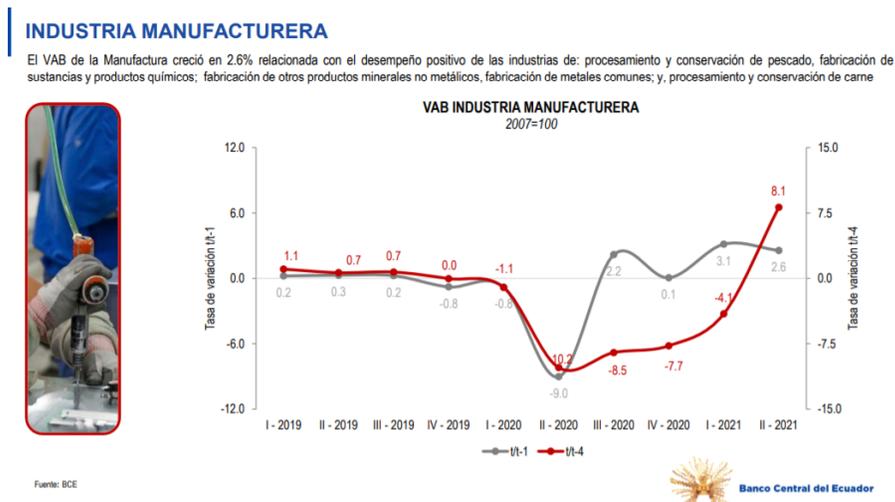
La industria de los alimentos y bebidas tiene el mayor peso dentro del sector manufacturero (38%) esto es debido a que Ecuador genera una gran cantidad de alimentos y ha desarrollado una industria en esta rama. La producción más grande de alimentos en Ecuador es el procesamiento y conservación de pescado, camarones y

otras especies acuáticas (27%), la segunda actividad es la de productos cárnicos con un peso de 14%, la producción de grasas y aceites ha tenido un buen desempeño gracias al acceso a mercados externos con un peso del 10%, la producción de bebidas tiene un peso del 15% gracias a su variedad (EKos, 2018).

Según el Banco Central del Ecuador en las Cuentas Nacionales Trimestrales Resultados Segundo trimestre 2021 indica que el año 2021 el sector de la manufactura creció un 2.6 % en el valor agregado bruto.

Figura 16

VAB Industria Manufacturera



Nota. Tomado de *VAB Industria Manufacturera, Banco Central del Ecuador, 2021.*

La revista Vistazo nos muestra los ingresos percibidos por las compañías líderes en la industria alimentaria en el año 2019 en el Ecuador, estas 100 empresas facturaron 14.303 millones de dólares en el año 2019, la mayoría de estas empresas realizan sus controles de peso para cada uno de sus productos, para cumplir con las normas ecuatorianas.

Figura 17

Empresas líderes en la Industria Alimenticia en Ecuador año 2019

				En millones de dólares		
	Razón Social	Ciudad	Segmento	Ingresos 2019	Ingresos 2018	Variación %
1	Pronaca	Quito	Industria de Alimentos	930,90	961,16	-3
2	Industrial Pesquera Santa Priscila	Guayaquil	Pesca y acuicultura	673,73	534,22	26
3	Omarsa	Durán	Cultivo de camarones	573,68	422,24	36
4	AC Bebidas Arca Continental	Quito	Comercio de bebidas no alcohólicas	540,40	535,70	1
5	La Fabril	Montecristi	Producción y ventas de aceites vegetales	474,63	474,71	-0
6	Nestlé Ecuador	Quito	Industria de productos alimenticios	465,04	499,23	-7
7	Expalsa	Durán	Pesca y acuicultura	415,30	381,01	9
8	Ubesa	Guayaquil	Comercio de banano	397,37	354,88	12
9	Negocios Industriales Real NIRSA	Guayaquil	Pesca y acuicultura	363,03	397,42	-9
10	Holding Tonicorp	Guayaquil	Industria de productos alimenticios	353,00	362,60	-3
11	Compromiso Nacional (antes Cervecería Nacional)	Guayaquil	Industria de bebidas	350,24	541,61	-35
12	Sociedad Nacional de Galápagos	Guayaquil	Pesca y Acuicultura	303,92	246,25	23
13	The Tesalia Springs Company	Quito	Industria de bebidas	283,99	282,31	1
14	Unilever Andina Ecuador	Guayaquil	Producción de helados y comestibles	279,11	305,96	-9
15	Industrial Danec	Quito	Industria de aceites vegetales	247,43	276,78	-11
16	Reybanpac	Guayaquil	Producción de banano	240,50	191,00	26
17	Promarisco	Montecristi	Industria pesquera	236,85	226,18	5
18	Sálica del Ecuador	Guayaquil	Pesca y acuicultura	182,68	176,92	3
19	Frutadeli	Guayaquil	Producción de frutas	176,44	105,43	67
20	Empagran	Guayaquil	Acuicultura	167,75	146,39	15
21	Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos	Guayaquil	Industria azucarera	160,78	128,60	25
22	Moderna Alimentos	Quito	Industria de productos alimenticios	158,52	150,98	5
23	Conservas Isabel Ecuatoriana	Manta	Industria atunera	156,01	172,13	-9

Nota. Tomado de Empresas líderes en la Industria Alimenticia en Ecuador año 2019, VISTAZO, 2020.

El uso de los checkweigher ayuda a maximizar la eficiencia, reducir los errores y minimizar los tiempos muertos, lo que implica mayor producción en los sectores de bebidas y alimentos, productos químicos y productos farmacéuticos, así como de otros sectores no alimentarios.

El checkweigher pesa cada paquete para verificar que estén incluidas todas las piezas. Lo hacen almacenando el peso de cada producto, incluidas las tolerancias para cada producto y todos los materiales de embalaje, en una base de datos, con estos valores calculan el peso de cada envío.

Toda industria, no importa a qué se dedique, aspira a mantener su producción al 100%. El pesaje y el control mediante software de automatización e instrumentos de medida adecuados juegan un papel fundamental en la industria alimentaria. Cabe destacar que en este campo hay que medir cada detalle, porque saltarse el más mínimo trabajo y hacerlo mal puede afectar la seguridad alimentaria o incluso la imagen de la empresa (PRECISUR, 2021).

Los diversos procesos que se realizan para poner un producto en circulación en la industria alimentaria requieren instrumentos de medición de masa que puedan garantizar la calidad del producto al ser humano. Solo así se podrá cumplir con los requisitos legales, asegurar que la cantidad contenida sea la misma que se indica en el paquete, y tomar las medidas necesarias para su conservación.

Los controles de seguridad e higiene son cada vez más estrictos, por lo que la industria alimentaria necesita proveedores de equipos de medición de peso y volumen que permitan controlar muchas variables a lo largo de toda la cadena de producción. Ya sea una balanza, un manómetro o un termómetro, la tecnología innovadora, diseñada para facilitar el trabajo de estas industrias, muestra su aplicabilidad. No hay duda que una de las tareas vitales de un proceso productivo, en la industria en general, es el pesaje.

Según la resolución No 15.277 del Ministerio de Industrias y Productividad señala lo siguiente: “Las personas tienen derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como a una información precisa y no engañosa sobre su contenido y características” (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2015).

El INEN u otras entidades autorizadas por ley, directamente o por delegación, en cualquier tiempo, inspeccionarán y verificarán las mercaderías empaquetadas, envasadas, almacenadas, ofrecidas o expuestas a la venta,

vendidas o en el proceso de entrega, para determinar si ellas contienen las cantidades representadas y si son ofrecidas o expuestas para la venta de acuerdo con esta Ley y sus reglamentos; para este fin aplicarán los reglamentos técnicos sobre procedimientos de muestreo.”

En Ecuador se verifica el contenido neto de los productos que salen a la venta, este trabajo lo realiza El Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN, a fin de garantizar que la información proporcionada por el productor en la etiqueta de cualquier producto alimenticio es la correcta, la norma que se usa para este respectivo control es la del Reglamento Ecuatoriano INEN 284, “Cantidad de producto en pre-empacados/pre-envasados”.

La norma INEN 284 establece los requisitos metrológicos, métodos de prueba y procedimientos para la comprobación de los contenidos netos de los productos pre-empacados/pre-envasados nacionales e importados, la propiedad general a medir es la masa o volumen de los productos. Los productos pre-empacados son aquellos productos que han sido medidos antes de ser ofrecidos al consumidor y están en un empaque cerrado.

CAPÍTULO III

Desarrollo del Sistema

El desarrollo del sistema contempla el planteamiento de los requerimientos del proyecto, además contempla las etapas de generación, evaluación y selección de conceptos y la integración de los subsistemas en un producto mecatrónico.

Requerimientos del sistema

La empresa Precisión Ingeniería Industrial requiere que el sistema automático de pesaje por bandas transportadoras (Checkweigher) tenga los siguientes requerimientos:

Tabla 1

Requerimientos de la empresa Precisión Ingeniería Industrial ajustados

N°	Requerimientos	Unidad
1	Longitud total: 1150	[mm]
2	Longitud de las bandas: 380	[mm]
3	Ancho de las bandas: 250	[mm]
4	Altura regulable rango 1-100	[mm]
5	Velocidad de muestreo: 30	[paquetes/min]
6	Capacidad de carga: 1000	[g]
7	Resolución: 1	[g]
9	Alimentación 110-120 AC	[V]
10	Materiales adecuados para alimentos	-
11	Larga vida útil	-
12	Fácil manejo	-
13	Fácil mantenimiento	-
14	Repuestos accesibles en el mercado local	-
15	Sistema de rechazo	-
16	Sistema de registro de información en una base de datos	-

Diseño del sistema

En esta etapa es posible la realización de un diagrama funcional o de caja negra del sistema a partir de cual se puede particionar en subsistemas.

El diseño del sistema contempla la realización minuciosa de conceptos para cada subsistema presente en el proyecto, estos subsistemas o también considerados

módulos, pueden ser mecánicos, hidráulicos, eléctricos, térmicos, etc. En esta etapa se incluye la selección de componentes para cada módulo, así como también el software que será utilizado.

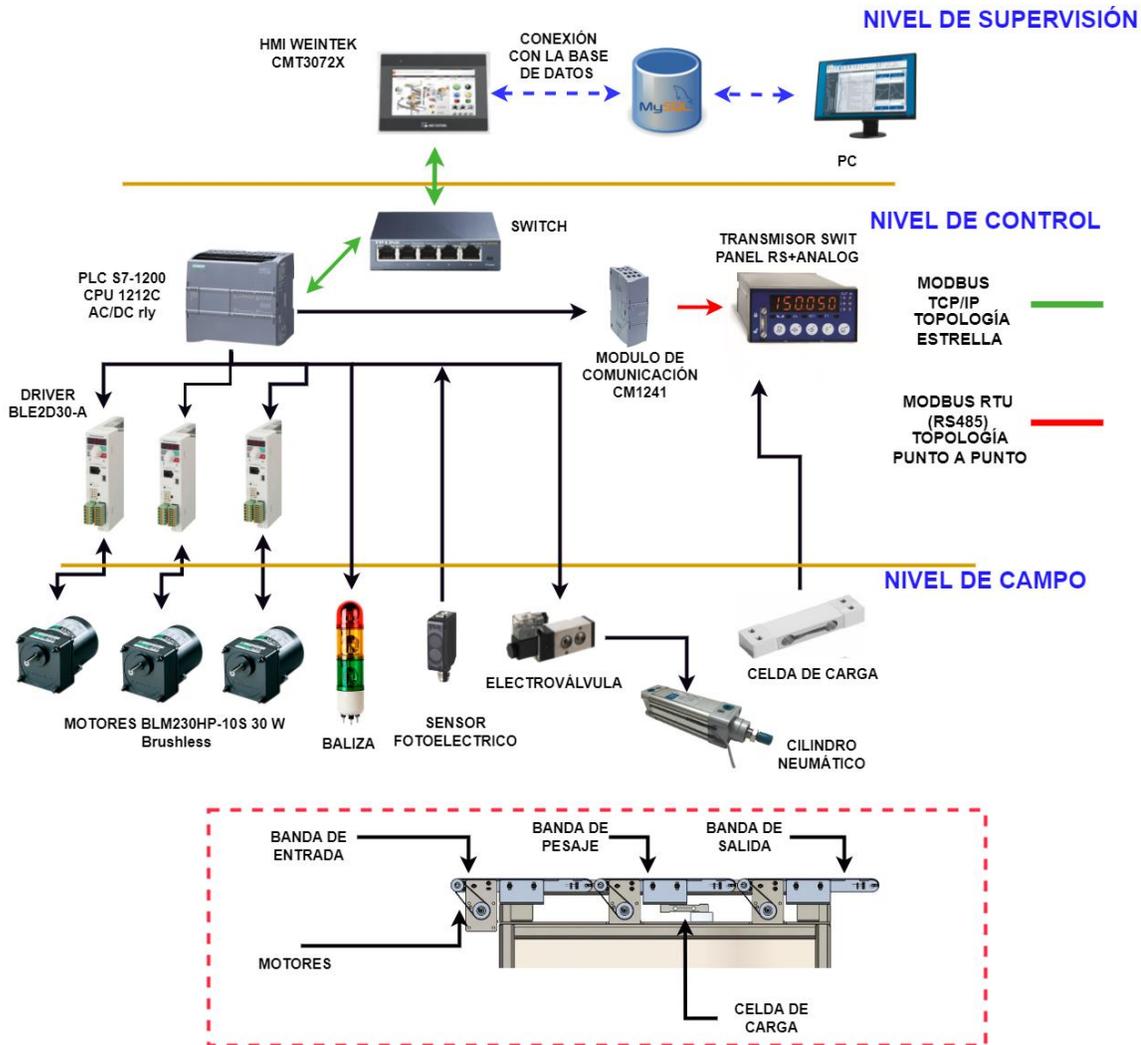
Esquema de conexión

A continuación, en la Figura 18 se encuentra el esquema de conexión basado en los niveles de la pirámide de automatización, el sistema automático de pesaje constará de tres niveles, en el nivel más bajo se encuentran todos los actuadores y sensores, en el nivel de control se encuentra el PLC (Controlador Lógico Programable), los driver para cada motor, el switch y el transmisor de peso, finalmente el nivel de supervisión constará de una HMI (Interfaz humano-maquina) para el manejo y visualización de los datos, el sistema estar conectado a la nube en donde se podrá visualizar y obtener los datos del proceso.

Figura 18

Esquema de conexión del sistema

Proceso: Controlador de peso por bandas transportadoras (Checkweigher)

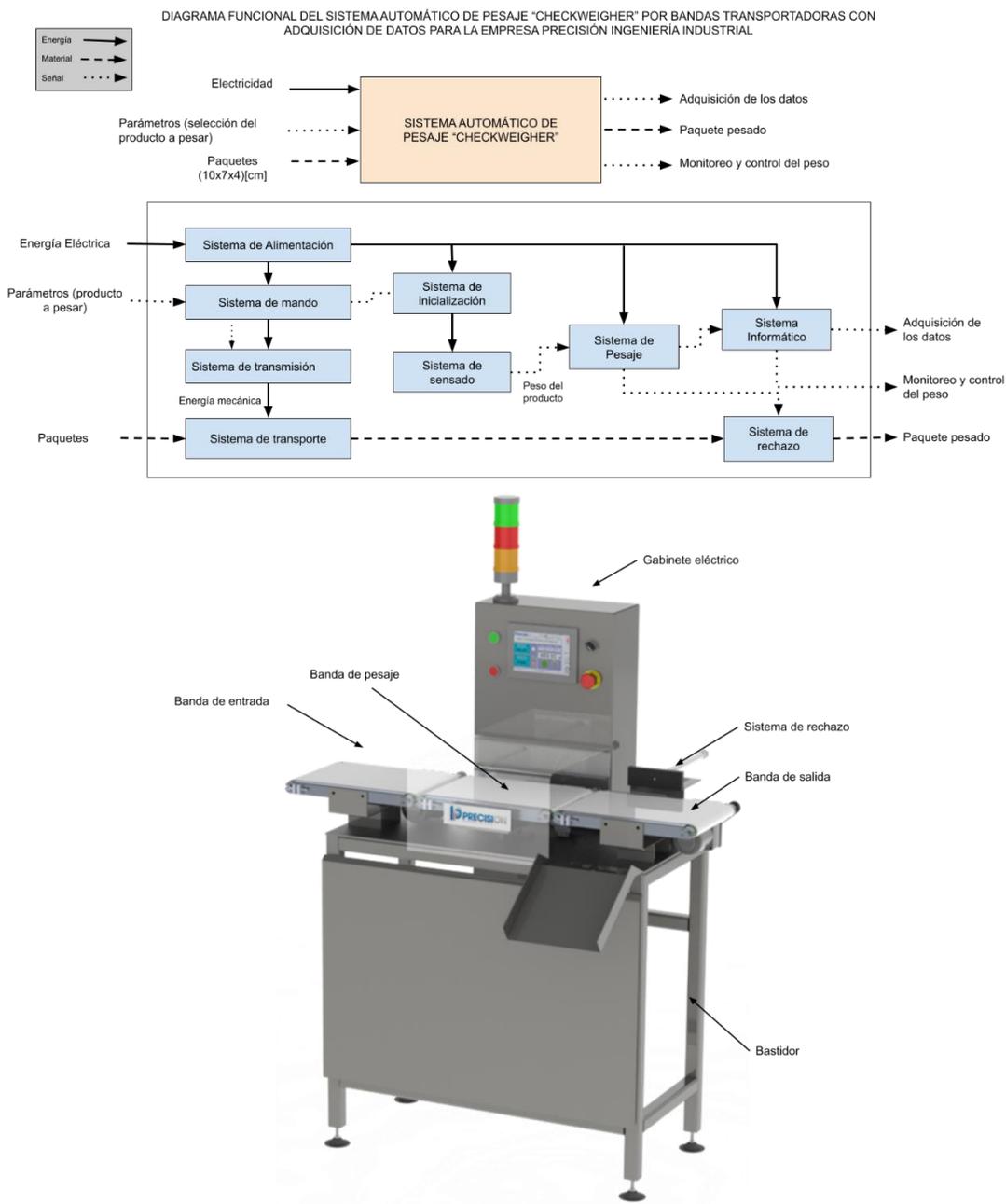


Definición de los subsistemas e interfaces principales.

A continuación, en la Figura 19 se presenta los subsistemas que constaran en el Checkweigher, tanto de la parte mecánica, eléctrica, electrónica e informática.

Figura 19

Diagrama funcional del sistema



Generación y evaluación de los conceptos

A continuación, se presenta el desarrollo de conceptos para el diseño del checkweigher. Los conceptos aquí presentados, son una descripción aproximada de la tecnología, materiales y forma del producto. Posteriormente, a partir de un análisis de cada uno de los conceptos, se realizará la construcción de un prototipo de aquel concepto con mayor aceptación.

Sistema de rechazo

El sistema de rechazo es parte esencial del checkweigher. Con este sistema se integra la posibilidad de mantener en la línea de producción, únicamente aquellos paquetes con el peso correcto. Todos los sistemas de rechazo presentados en este apartado, son accionados mediante el controlador Lógico cuando se haya estabilizado el peso del paquete en la cinta de pesaje y dependiendo de la condición de aceptación.

Existen diversos sistemas de rechazo para un checkweigher, estos pueden ser:

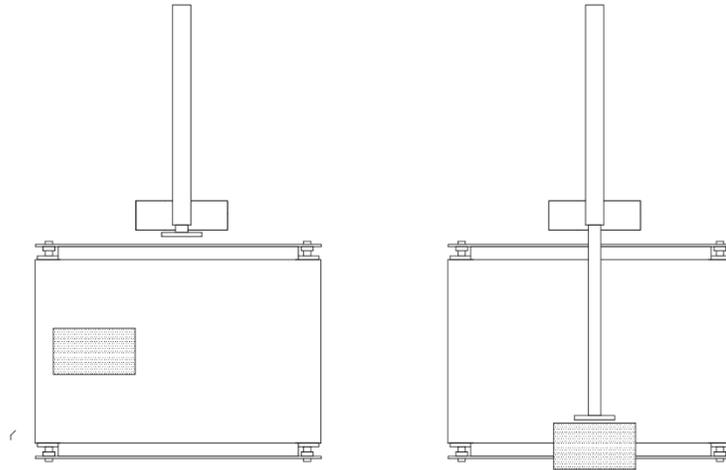
Accionamiento por cilindro neumático

Este sistema posee un actuador lineal neumático con una carrera suficiente para desplazar el paquete a través de la totalidad del ancho de la cinta, hasta el depósito de almacenaje. Los productos que se encuentren fuera de un rango de peso determinado, serán retirados de la cinta, caso contrario, continúan a lo largo de la línea de producción.

El actuador deberá tener la fuerza requerida para desplazar el producto considerando el peso del mismo, así como también, las fuerzas ejercidas por efectos de la fricción y del movimiento continuo del producto.

Figura 20

Sistema de rechazo con cilindro neumático



Ventajas

- Alta velocidad de accionamiento
- Fácil programación del PLC
- Fácil instalación
- Bajo costo

Desventajas

- Es necesario incluir un sistema de alimentación neumática
- Es de gran tamaño
- Puede maltratar el producto
- Rechazo productos bajo una sola clasificación (pasa/no pasa)

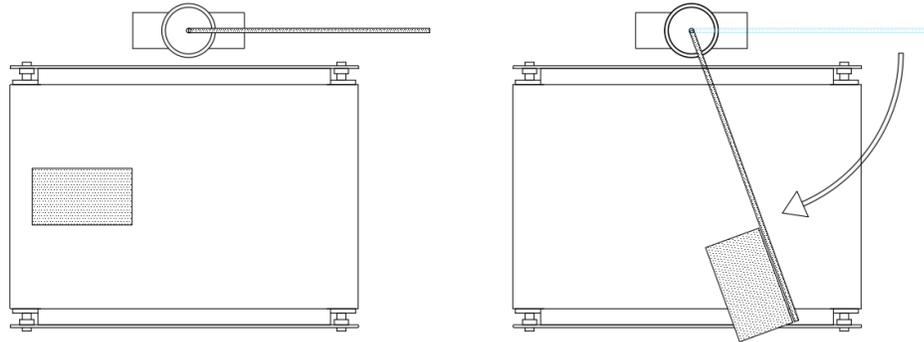
Sistema de paleta accionado por un servomotor

El sistema de paleta utiliza un actuador rotatorio, generalmente eléctrico como puede ser un servomotor. Este sistema suele ser más lento que un cilindro neumático

debido a que el producto debe deslizarse sobre la paleta a medida que se desplaza por la cinta.

Figura 21

Sistema de rechazo de tipo paleta



Ventajas

- Puesta en marcha simple
- Fácil instalación
- No ocupa mucho espacio
- Bajo costo

Desventajas

- Lento con respecto al rechazador por cilindro neumático
- Genera más torque en el motor de la cinta
- Rechazo productos bajo una sola clasificación (pasa/no pasa)
- Requiere una reducción en la velocidad de la cinta

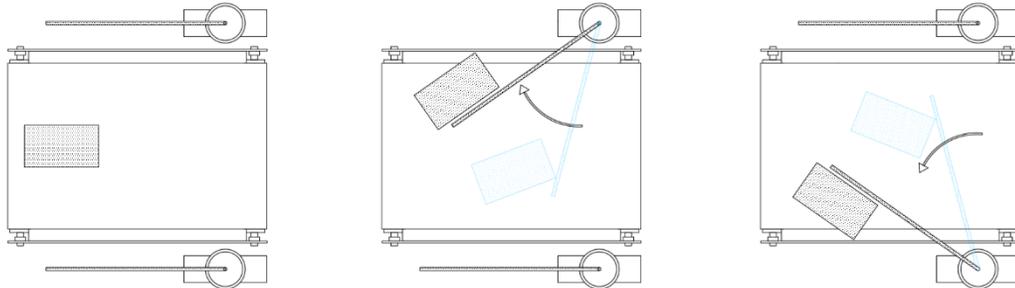
Sistema de doble paleta accionado por servomotores

El sistema de doble paleta utiliza dos actuadores rotatorios, por lo que suele incrementar el costo. La principal característica de este sistema, es la posibilidad de

implementar un sistema de rechazo con clasificación doble (por encima del rango/por debajo del rango).

Figura 22

Sistema de rechazo de tipo doble paleta



Ventajas

- Puesta en marcha simple
- Fácil instalación
- Clasificación doble

Desventajas

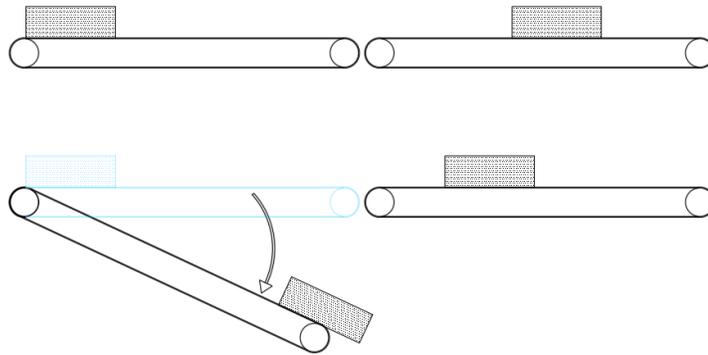
- Lento con respecto al rechazador por cilindro neumático
- Genera más torque en el motor de la cinta
- Mayor espacio de almacenamiento de productos
- Requiere una reducción en la velocidad de la cinta
- Costo elevado

Accionamiento con levantamiento vertical de la cinta de salida

Es un sistema más complejo que los antes mencionados. Utiliza un actuador neumático o eléctrico para permitir el giro de la cinta. Posee un giro de hasta 45° en sentido horario, lo que genera que el producto caiga en un depósito por debajo de la estructura.

Figura 23

Sistema de rechazo de tipo inclinable



Ventajas

- Menor espacio

Desventajas

- Instalación compleja
- Sistema costoso con relación a los anteriores
- Requiere una reducción en la velocidad de la cinta
- Rechazo productos bajo una sola clasificación (pasa/no pasa)

Selección del concepto

A continuación, en la Tabla 2 se realiza una ponderación de cada uno de los conceptos presentados. Los criterios tomados en la ponderación tienen un nivel de importancia y su calificación posee un rango entre 0 y 4, donde 4 indica el mejor desempeño en cuanto al criterio correspondiente.

Tabla 2*Selección de concepto. Sistema de rechazo*

Concepto Criterio	Peso %	Cilindro neumático		Paleta simple		Paleta doble		Cinta reclinable	
		Calif	Parcial	Calif	Parcial	Calif	Parcial	Calif	Parcial
Facilidad de construcción	30	4	1.2	4	1.2	4	1.2	1	0.3
Facilidad de puesta en marcha	5	3	0.15	4	0.2	3	0.15	2	0.1
Costo (mayor costo/menor calif)	20	3	0.6	1	0.2	2	0.4	1	0.2
Espacio (menor espacio/mayor calif)	20	1	0.2	3	0.6	2	0.4	4	0.8
Mantenimiento	5	1	0.05	2	0.1	3	0.15	2	0.1
Estética	5	1	0.05	3	0.15	4	0.2	4	0.2
Velocidad de accionamiento	15	4	0.6	2	0.3	0	0	1	0.15
	100		2.85		2.75		2.5		1.85

Nota. La calificación de cada uno de los criterios de selección es subjetiva. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 2, podemos deducir que la mejor opción para implementar un sistema de rechazo es mediante un sistema de cilindro neumático, siendo también una alternativa viable la utilización de rechazo mediante paleta.

Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión se enfoca en la forma de conducir el movimiento generado por el motor hacia el mecanismo móvil, ya sea mediante un acople directo de la flecha del motor con el mecanismo, mediante la transmisión por banda o cadenas. Un punto a tener en cuenta en los sistemas de transmisión de potencia es que la energía generada por el motor, ha de ser transmitida con la mayor eficiencia posible.

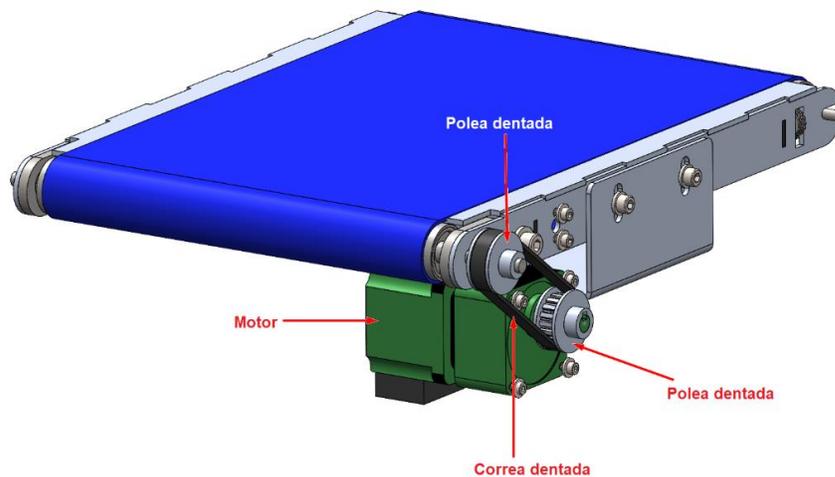
A continuación, se detallan dos conceptos a tomar en cuenta para la transmisión de potencia.

Transmisión por correa

El sistema se compone de dos poleas de tiempo diseñadas con una relación de transmisión específica para conseguir la velocidad adecuada. Estas poleas se diseñan bajo un número de dientes adecuado para acoplarse correctamente a la correa. Usualmente se utilizan para conducir movimiento a cortas distancias y su principal ventaja frente a la transmisión por bandas en V, es que las correas dentadas no deslizan. Las transmisiones con bandas síncronas se usan cada vez más en aplicaciones en las que antes se usaban transmisiones de engranes o de cadenas (Mott, 2006).

Figura 24

Transmisión de potencia mediante un sistema de correa y poleas



Ventajas

- No necesita lubricación
- No necesita mantenimiento
- No genera ruido ni vibraciones
- No tiene deslizamiento frente a una banda lisa
- Mayor eficiencia
- Instalación sencilla

- Mayor disponibilidad de materiales para fabricación

Desventajas

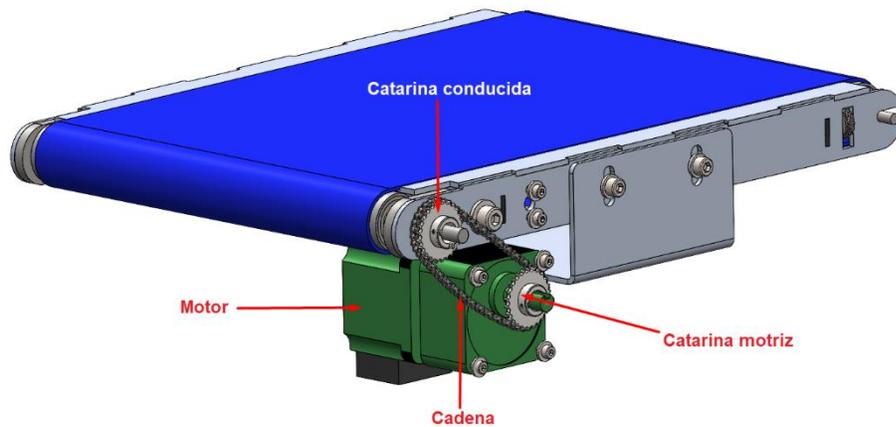
- Está limitada por la tensión máxima

Transmisión por cadena

El sistema se compone de dos catarinas diseñadas con una relación de transmisión específica para conseguir la velocidad adecuada. Estas catarinas se diseñan bajo un número de dientes adecuado para acoplarse correctamente a la cadena. La cadena se compone de una serie de eslabones acoplados por uniones de pasador.

Figura 25

Transmisión de potencia mediante un sistema de cadena



Ventajas

- Las transmisiones de cadena se pueden reparar o reemplazar fácilmente.
- Capacidad de operación en entornos agresivos.
- No tiene deslizamiento
- Instalación sencilla
- Disponibilidad de materiales y accesorios para fabricación

Desventajas

- Son ruidosas
- Puede causar vibraciones
- Necesita lubricación y mantenimiento frecuente

Selección del concepto

A continuación, en la Tabla 3 se realiza una ponderación de cada uno de los conceptos presentados. Los criterios tomados en la ponderación tienen un nivel de importancia y su calificación posee un rango entre 0 y 4, donde 4 indica el mejor desempeño en cuanto al criterio correspondiente.

Tabla 3

Selección de concepto. Sistema de transmisión de potencia

Concepto Criterio	Peso %	Transmisión por banda		Transmisión por cadena	
		Calif	Parcial	Calif	Parcial
Facilidad de construcción	30	2	0.6	3	0.9
Facilidad de puesta en marcha	10	4	0.4	3	0.3
Costo (mayor costo/menor calif)	20	2	0.4	2	0.4
Mantenimiento	10	3	0.3	1	0.1
No genera ruido	5	4	0.2	1	0.05
Sin lubricación	10	4	0.4	1	0.1
Sin vibraciones	15	3	0.45	1	0.15
	100		2.75		2

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 3, podemos deducir que la mejor opción el sistema de transmisión de potencia es mediante un sistema poleas y banda dentada.

Conceptos del posicionamiento del motor

La correcta ubicación del motor de transmisión es de suma importancia, ya que a partir de este se determinaron otros componentes como lo son, el sistema de

transmisión de banda o cadena, y las dimensiones del elemento de soporte de la cinta. Cabe destacar que el cuerpo la unidad motriz siempre estará orientada hacia adentro de la cinta transportadora, esto con el fin de no generar cargas fuera de la plataforma admisible de la celda de carga. A continuación, se presentan dos opciones en cuanto el posicionamiento de la unidad motriz.

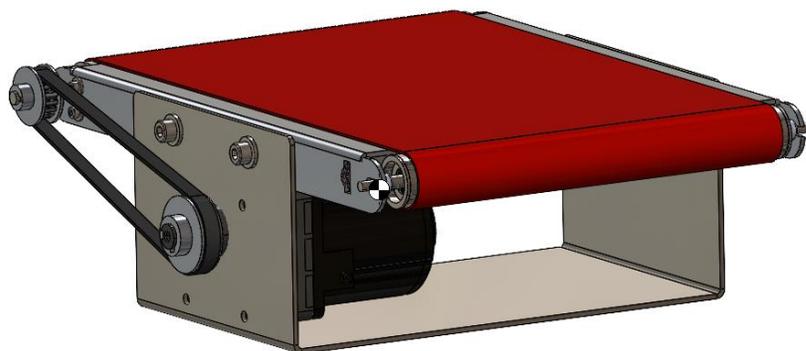
Posición central

El motor se encuentra centrado longitudinalmente. Por consecuencia, el soporte de la cinta se ve afectado en cuanto a sus dimensiones.

En cuanto a las ventajas que presenta este acoplamiento, podemos mencionar que; el centro de masa de la cinta queda centrado respecto a la horizontal por lo cual no genera un momento significativo en el empotramiento. Por otra parte, la principal desventaja que presenta es el incremento de las dimensiones del soporte y por consiguiente requiere mayor material.

Figura 26

Unidad motriz en posición central respecto a la longitud de la cinta



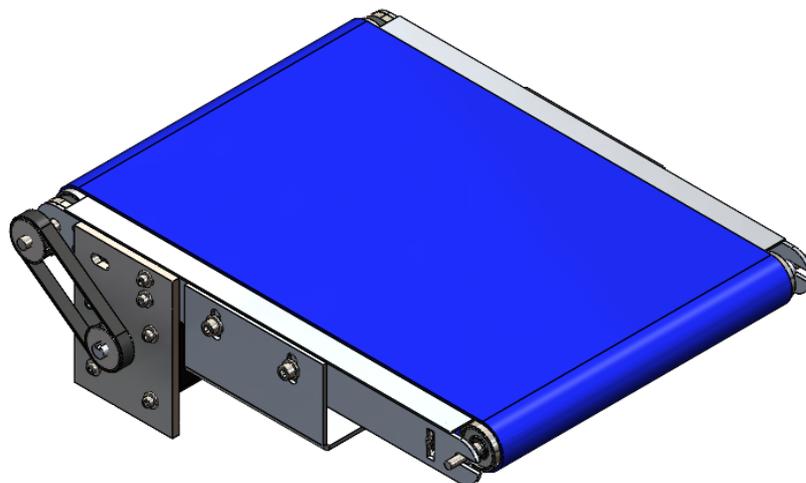
Posición de esquina

En esta posición el motor, se encuentra fuera del principal de la cinta, acoplado a la estructura principal, por lo que la altura total de la cinta transportadora se reduce, además, al estar más cerca el elemento impulsado la transmisión es más efectiva. Sin

embargo, al no estar centrado, genera un momento debido al peso del motor en el empotramiento con la celda de carga.

Figura 27

Unidad motriz en posición central respecto a la longitud de la cinta



Selección del concepto

A continuación, en la Tabla 3 se realiza una ponderación de cada uno de los conceptos presentados. Los criterios tomados en la ponderación tienen un nivel de importancia y su calificación posee un rango entre 0 y 4, donde 4 indica el mejor desempeño en cuanto al criterio correspondiente.

Tabla 4

Selección del concepto. Posición de la unidad motriz

Concepto Criterio	Peso %	Posición de esquina		Posición central	
		Calif	Parcial	Calif	Parcial
Facilidad de construcción	5	4	0.2	4	0.2
Material	15	3	0.45	3	0.45
Peso	30	3	0.9	2	0.6
Menor momento	20	2	0.4	3	0.6
Tamaño	30	4	1.2	1	0.3
	100		3.15		2.15

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 4, podemos deducir que la mejor opción para el posicionamiento del sistema motriz es en una esquina de la estructura, disminuyendo la altura de la cinta.

Diseño específico

Durante el diseño de cada disciplina se debe tomar en cuenta su futura interacción en sistema como un todo, por lo cual el diseño debe considerar aspectos ajenos a la disciplina correspondiente para permitir su interacción.

Diseño del sistema mecánico

En este apartado se desarrolla la selección y dimensionamiento de componentes y piezas que integran los sistemas de transmisión, sistema de rechazo, sistema de pesaje y la parte estructural del checkweigher.

Diseño de la estructura de las bandas

Para el diseño de este sistema se hará uso del software SolidWorks Simulation, hoy en día es uno de los softwares más utilizados para el modelado y análisis mecánico.

El software de elementos finitos subdivide el modelo a analizar en pequeñas partes llamadas elementos, cada elemento está conectado mediante nodos, este proceso es conocido como mallado, las configuraciones y características del mallado es muy importante para obtener un análisis confiable.

- Elementos: Pueden ser tetraedros o triangulares, utilizados como herramientas de medición dentro del mallado.
- Malla: Representación aproximada de la geometría CAD mediante elementos de malla.
- Nodos: Puntos en donde se unen los elementos de malla.

Tipo de malla basado en las características geométricas

El programa asigna automáticamente el tipo de malla apropiado a los sólidos basándose en sus operaciones de geometría.

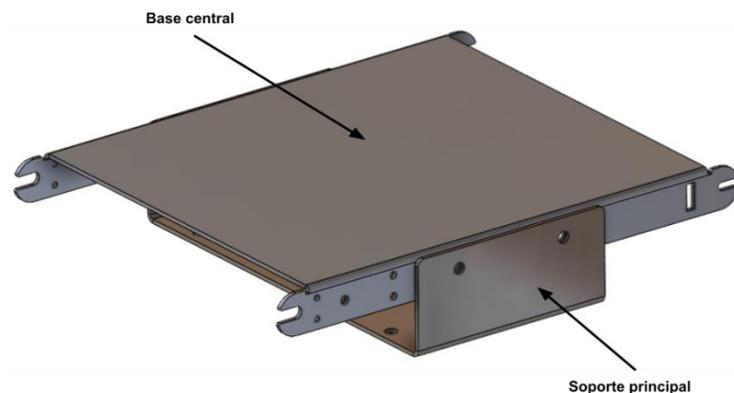
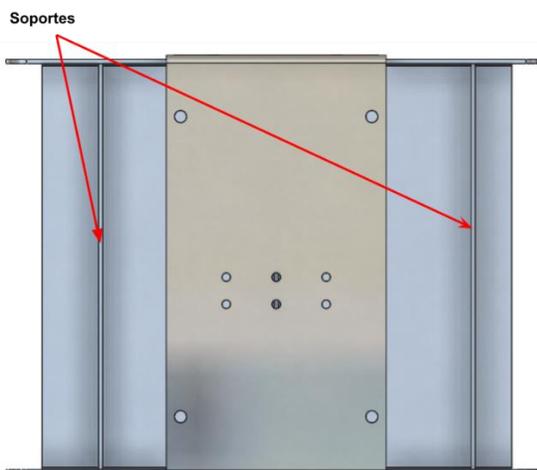
- **Malla solida:** Se aplica en modelos sólidos, se mallan con elementos sólidos (tetraédricos).
- **Malla de vaciado:** Se aplica en modelos de superficies y chapa metálica con espesor uniforme, se mallan con elementos de vaciado triangulares.
- **Malla de viga:** Se aplica en miembros estructurales y soldaduras, se mallan con elementos en viga.

Métodos adaptativos para estudios estáticos

Estos métodos ayudan a obtener una solución apropiada para los estudios estáticos. Existen dos tipos: método-h y método-p. El método-h utiliza elementos más pequeños en regiones con errores relativos altos. El método-p aumenta el orden polinomial de los elementos con errores relativos altos, este método no altera la malla, sino que cambia el orden de los polinomios para aproximar el campo de desplazamiento.

A continuación, se diseñará el armazón de las bandas, acogiendo la selección de los conceptos siguientes: la transmisión de potencia será mediante bandas y el posicionamiento del motor será en la esquina.

Se utilizará un análisis estático y, dado que el armazón está compuesto de partes solidas se usará una malla sólida, el método adaptivo a aplicar será el método h con un 95% de precisión. Peso de los componentes que van sobre el armazón 3[kg], peso de la carga 1[kg]

Figura 28*Vista isométrica del armazón***Figura 29***Vista inferior del armazón*

A continuación, se procederá a realizar un análisis por elementos finitos al armazón de soporte con los siguientes parámetros:

Tabla 5*Características de los elementos que compone el armazón.*

Elemento	Material	Limite elástico $\left[\frac{N}{mm^2}\right]$
Base central y pasadores	Aleación de aluminio 1060	27.5742
Soporte principal	Acero Inoxidable 304	206.87

A continuación, en la Figura 30 se observan las fuerzas aplicadas al amarzon: 4 [kgf] y la aplicación de las sujeciones en el soporte principal.

Figura 30

Condiciones de contorno

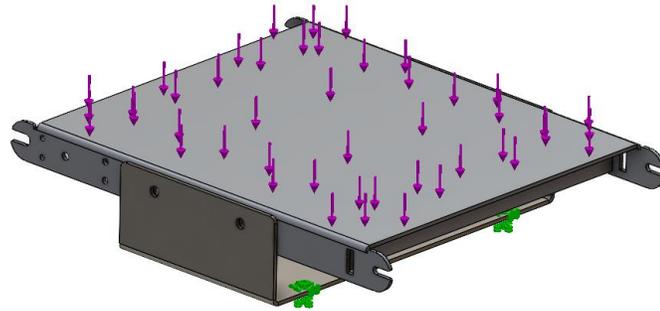


Figura 31

Resultados de los desplazamientos

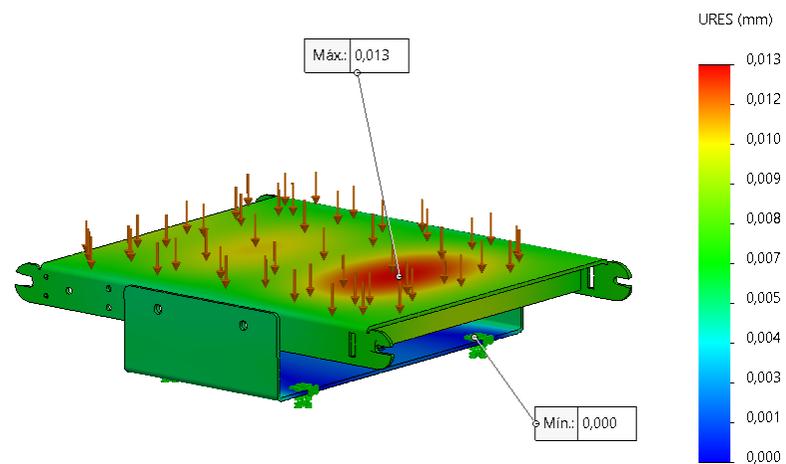
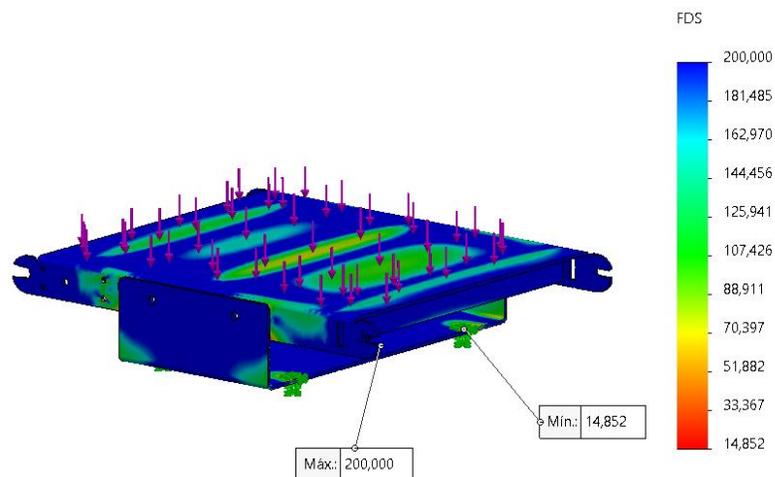


Figura 32

Resultados del factor de diseño



En la Figura 31 se observa que los desplazamientos en el armazón de pesaje son insignificantes siendo el máximo de 0.013[mm] en la parte superior donde va a circular el producto. En la Figura 32 se muestra los resultados del factor de diseño, siendo el mínimo de 14.852 el cual se encuentra muy arriba de lo mínimo que es de 3 para diseños de esta categoría, podemos afirmar que el armazón soportara sin problemas las cargas aplicadas.

Análisis de malla y convergencia.

El análisis de convergencia del mallado nos ayudara a comprobar que tan bien refinado esta nuestra malla, como se mencionó anteriormente se aplicara el método adaptativo h, los parámetros aplicados se encuentran en la Figura 33.

Figura 33

Características del método adaptativo aplicado.

Método adaptativo

Ninguno

Método-h

Método-p

Opciones del método-h

Nivel de precisión: 95 %

Bajo Alto

Local (más rápido) Global (más lento)

Balance de precisión:

Máximo n.º de bucles

Aplicación de grosor de malla

Figura 34

Resultados de las tensiones de Von-Mises

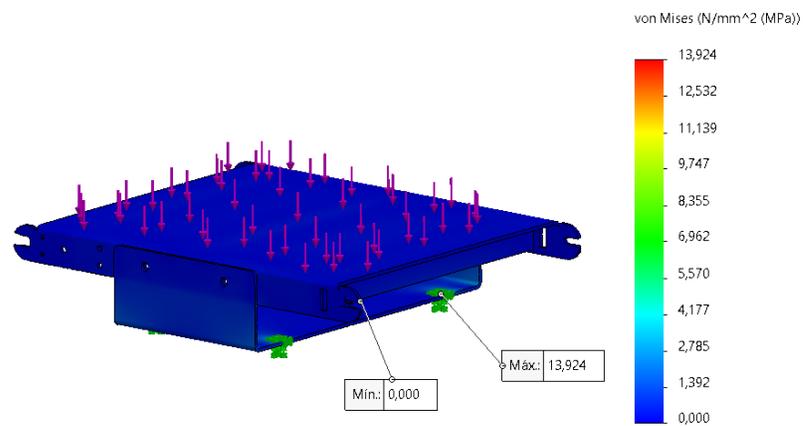
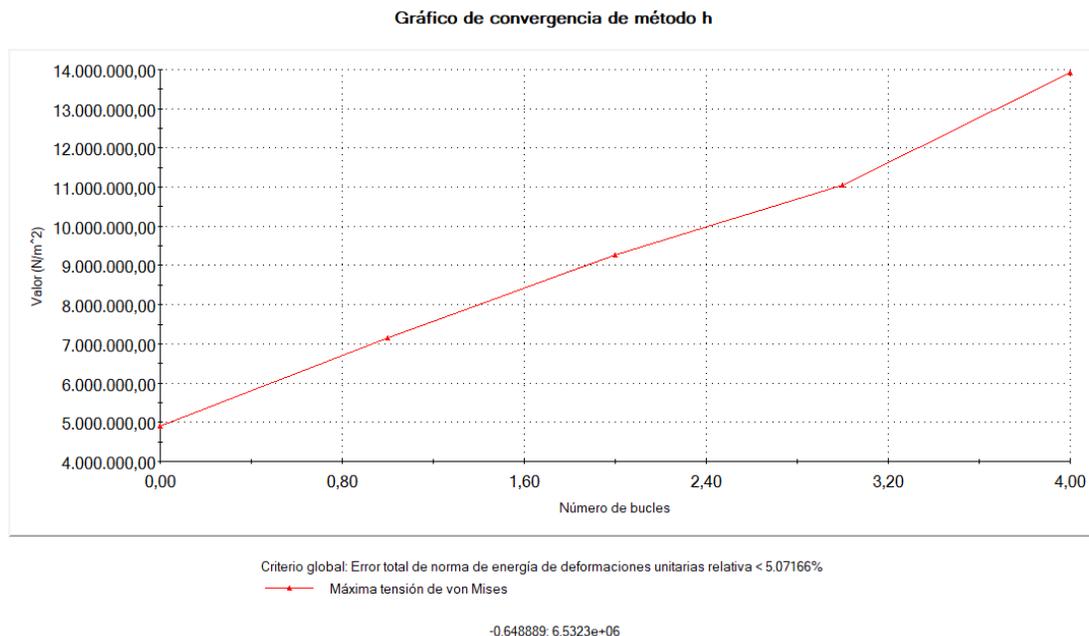


Figura 35

Gráfico de convergencia de las tensiones de Von-Mises



El análisis de la Figura 34 se realizó en un ensamble que consta de 5 piezas de geometría compleja, por lo cual existe puntos en donde el esfuerzo es mínimo en contraste con otros donde el esfuerzo es significativo, en consecuencia el gráfico de la Figura 35 no se puede apreciar la convergencia del ensamblaje, esto debido a que el software SolidWorks nos limita a 5 iteraciones siendo estas iteraciones insuficientes para analizar la convergencia, sin embargo este análisis al ser realizado con un nivel de precisión del 95%, se concluye que este estudio es satisfactorio.

Selección de la banda

Para seleccionar la banda se requiere de algunos criterios, estos criterios son respecto a las condiciones de trabajo y al producto a transportar.

- Productos a transportar: alimenticio
- Resistente a daños por desgaste e impactos
- Buena adherencia

- Peso ligero
- Buena capacidad de elongación

Existen algunas normas que ayudan a seleccionar las cintas transportadoras, una de las más usadas es la norma DIN 22102, (Deutsches Institut für Normung), lo cual significa Instituto Alemán de Normalización y la norma ISO-14890 está regida la fabricación en general de las bandas transportadoras, esta describe las especificaciones para el recubrimiento de las bandas.

Los materiales más utilizados para el recubrimiento son PVC, Poliuretano, Nitrilo. Poliéster y Algodón, para la fabricación de los tejidos se utilizan materiales combinados, por ejemplo: tipo EP, formado por fibras de poliéster (E) en sentido longitudinal, y poliamida (P) en sentido transversal, este tipo de tejido proporciona una alta resistencia a la rotura y al impacto, también ayuda a que la banda tenga una gran flexibilidad.

Tabla 6

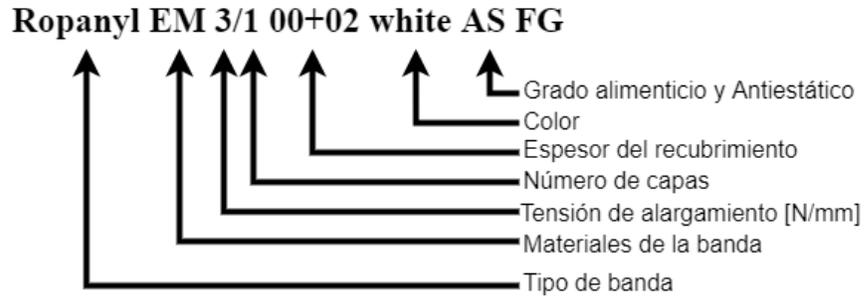
Identificación de los materiales para la fabricación de bandas según la norma DIN22102.

Material del Tejido	Letra identificativa
Algodón	B
Viscosilla	Z
Rayón	R
Poliamida	P
Poliéster	E
Aramida	D
Fibra de vidrio	G

Nota. Adaptado de (DIN 22102-2:2014 - Conveyor belts with textile plies for bulk goods - Part 2: Testing, s. f.)

Para seleccionar la respectiva banda se hará uso de los catálogos del fabricante **Ammeraal Beltech** el cual está dedicado al diseño, manufactura y mantenimiento de bandas transportadoras de alto rendimiento y calidad.

Con el asesoramiento del asistente técnico por parte de la empresa se seleccionó la banda Ropanyl EM 3/1 00+02 White AS FG.



Ventajas de las bandas sintéticas:

- Resistente a la abrasión
- Resistente a la temperatura altas y bajas
- Grado alimenticio
- Resistente aceites y grasas
- Para trayectos inclinados
- Gran flexibilidad

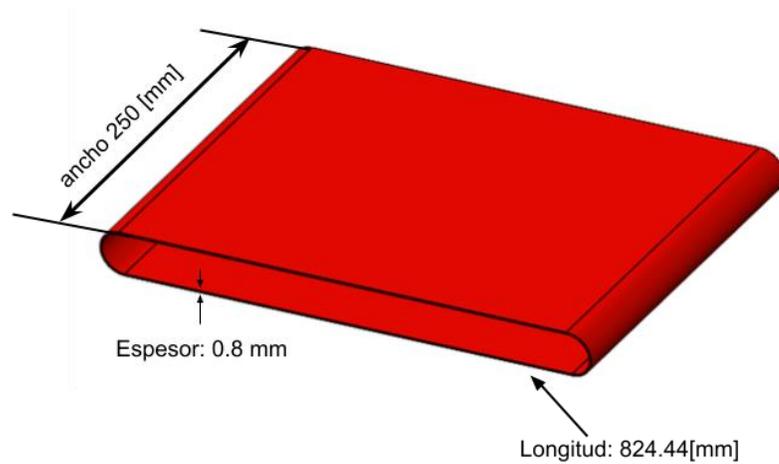
Tabla 7

Características de la banda Ropanyl EM 3/1 00+02 White AS FG

Aplicación y estándares	
Tipo de banda	Sintéticas
Aplicación	Alimentos
Grado alimenticio	EC 1935/2004 ^a , EU 10/2011 ^b ; FDA ^c
Datos de manufactura	
Capa de tensión	Poliéster estable
Número de capas	1
Lado superior	Ropanyl (TPU), liso
Lado inferior	Ropanol (PUR), impregnación
Datos técnicos	
Dureza	85A shore ISO 868 ^d
Tensión al 1% de alargamiento	8 $\left[\frac{N}{mm}\right]$ ISO 21181 ^e
Grosor	0.8 [mm]
Peso	2.1 $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$
Temperatura de funcionamiento	-20 a 90 °C
Diámetro mínimo de la polea	6[mm]

Nota. ^aNorma EC 1935/2004, Materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos. ^bNorma EU 10/2011, Plásticos Destinados a Estar en Contacto con Alimentos. ^cFDA, Administración de Medicamentos y Alimentos. ^dNorma ISO 868, Plásticos y ebonita - Determinación de la dureza de indentación mediante un durómetro (dureza Shore). ^eNorma ISO 21181, Cintas transportadoras ligeras - Determinación del módulo elástico relajado

Geometría de la banda

Tabla 8*Cinta transportadora*

- Longitud: 824.45 [mm]
- Ancho: 250 [mm]
- Espesor: 0.8 [mm]
- Masa: 0.5[kg]

A continuación, se procede a verificar si resiste las fuerzas aplicando las fórmulas del Manual de Ingeniería de la empresa Forbo quien es un proveedor a nivel global de bandas de transporte y de procesamiento (Forbo Holding, 2020).

Tracción Efectiva

$$F_U = \mu_s * g * (m_p + M_B) \quad [N] \quad (1)$$

Donde:

F_U : Tracción efectiva de la banda

μ_s : Coeficiente de fricción

g : Gravedad

m_p : Masa del producto

M_B : Masa de la banda

Para calcular la fuerza se aplica la ecuación (1), en donde el coeficiente de fricción de la cinta la guía de la banda (poliuretano/Aluminio) es $\mu_s = 0.3$, la gravedad $g = \frac{9.81m}{s^2}$, la masa del producto $m_p = 1[kg]$ y masa de la banda $m_B = 0.5[kg]$

$$F_U = 0.5 * 9.81m/s^2 * (1 + 0.5)$$

$$F_U = 0.5 * \frac{9.81m}{s^2} * (1 + 0.5)kg = 7.3575 \left[kg * \frac{m}{s^2} \right] = 7.3575 [N]$$

Tracción ajustada de la banda

$$F_{adj} = F_U * C_{op} [N] \quad (2)$$

C_{op} : Factor operacional

Haciendo uso de la Figura 36 se procederá a obtener el factor operacional. Operación de arranque-parada (arranque cuando este cargado) + 0.2

$$C_{op} = 1 + 0.2 = 1.2$$

$$F_{adj} = 7.3575 * 1.2 = 8.829[N]$$

Figura 36

Factores operacionales.

Factor operacional C_{Op}

	C_1
Condiciones operativas adecuadas (arranque suave)	+ 0
Operación arranque-parada (arranque cuando está cargado)	+ 0,2
Velocidad de banda superior a 30 m/min (100 ft/min)	+ 0,2
Barra de punta en un extremo	+ 0,4
Barra de punta en ambos extremos	+ 0,8
Transportador inclinado de cuello de cisne	+ 0,4
Seleccione configuración de accionamiento:	
Estándar	+ 0
Accionamiento centro de banda (bidireccional)	+ 0,2
Unidad de accionamiento inferior	+ 0,1
Accionamiento de cola (configuración de empuje)	+ 0,4
$1 + \sum C_1$	

Nota. Tomado de (Forbo Holding, 2020).

https://forbo.blob.core.windows.net/forbodocuments/211462/888_PEM_ES_05-20.pdf

Tracción ajustada de la banda por milímetro de ancho de banda

$$F'_{adj} = \frac{F_{adj}}{W_B} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad (3)$$

W_B : Ancho de la banda

$$F'_{adj} = \frac{8.829[N]}{250[mm]} = 0.0353 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Factor de temperatura

El factor CT factor se establece en 1.0 a temperaturas por debajo de 20 °C.

Figura 37

Factores de temperatura para diferentes materiales

Celsius [°C] de	Fahrenheit [°F] de	Material de banda					
		PE	PP	POM	PA	PA HT	TPC1
-60	-76	1,0	-	-	-	-	-
-40	-40	1,0	-	1,0	-	-	-
-20	-4	1,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0
0	32	1,0	1,0*	1,0	1,0	1,0	1,0
+20	68	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
+40	104	0,90	1,0	1,0	1,0	1,0	0,87
+60	140	0,62	0,85	0,96	0,95	1,0	0,75
+80	176	-	0,62	0,75	0,72	1,0	0,67
+100	212	-	0,45	-	0,50	1,0	-
+120	248	-	-	-	0,40	1,0	-
+140	284	-	-	-	-	1,0	-
+155	311	-	-	-	-	1,0	-

Nota. Tomado de (Forbo Holding, 2020).

https://forbo.blob.core.windows.net/forbodocuments/211462/888_PEM_ES_05-20.pdf

Tracción admisible de la banda

$$F'_{adm} = F'_{nom} * C_T \left[\frac{N}{mm} \right] \quad (4)$$

F'_{nom} : Tensión nominal de la banda (fabricante)

C_T : Factor de temperatura

La tensión nominal F'_{nom} para la banda seleccionada es de $3 \left[\frac{N}{mm} \right]$, como la banda está compuesta de poliéster y las condiciones de trabajo serán a temperaturas menores a 50 °C, el factor de temperatura será $C_T = 1$.

$$F'_{adm} = 3 * 1 = 3 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Validación de la selección de banda

$$F'_{adj} < F'_{adm} \quad (5)$$

Si no se cumple este criterio la solución es cambiar el material o el modelo de banda con un valor de F'_{nom} superior y repita el proceso desde el primer paso.

$$0.0353 \left[\frac{N}{mm} \right] < 3 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Con esto se puede verificar que la banda soportara las fuerzas aplicadas, como se puede notar la banda está sobredimensionada, esta banda es la única disponible en el mercado nacional.

Selección del sistema de transmisión por poleas

A partir del desarrollo de conceptos se ha optado por utilizar un sistema de transmisión de potencia mediante una correa dentada, para lo cual a continuación se realiza el respectivo dimensionamiento de las poleas y de la correa para el sistema de transmisión.

Para empezar con el dimensionamiento, es necesario conocer algunos datos preliminares del sistema como las velocidades de la unidad motriz y de la unidad impulsada.

El primer paso es determinar la máxima velocidad lineal requerida en el tambor de la unidad impulsada o conducida. Para este caso, debido a que uno de los requerimientos del diseño de la cinta es la tasa de muestreo de 30paq/min y conociendo la longitud total de la cinta $l = 350mm$, obtenemos una velocidad lineal $v = 175mm/s$.

Sin embargo, tomaremos como la máxima velocidad lineal $v = 800\text{mm/s}$, tomando en cuenta un excedente por consecuencia de la longitud de las cajas de productos, esto con el fin de obtener una tasa de muestreo de hasta 2paq/s , brindando así la posibilidad de poseer un equipo de mayores prestaciones.

A partir de este valor podemos determinar la velocidad rotacional requerida para la polea conducida n_2 .

$$v = r_{tambor} \cdot \omega_2 \quad (6)$$

$$\omega_2 = \frac{v}{r_{tambor}} \quad (7)$$

$$\omega_2 = \frac{800 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]}{31.8/2 \text{ [mm]}}$$

$$\omega_2 = 50.3937 \text{ [rad/s]}$$

$$n_2 = \omega_2 \cdot \frac{60}{2\pi}$$

$$n_2 = \omega_2 \cdot \frac{60}{2\pi} = 481.22 \text{ [rpm]} \approx 480 \text{ [rpm]}$$

A continuación, procedemos con el diseño y selección de las poleas y correa de tiempo, siguiendo el procedimiento definido por el fabricante de sistemas de transmisión por correas, Intermec. El proceso según (Intermec, 2021) es el siguiente

1. Datos preliminares de diseño

Tabla 9

Parámetros conocidos de diseño para las poleas dentadas

Parámetro	Valor
Potencia nominal de la unidad motriz	30 [W]
Velocidad de la unidad motriz	360 [rpm]
Velocidad de la unidad conducida	480 [rpm]
Diámetro del eje motriz	10 [mm]
Diámetro del eje conducido	8 [mm]
Distancia entre centros disponible	72.39-78.48 [mm]
Tipo de máquina	Cinta transportadora

2. Calcular la potencia de diseño a partir de un factor de servicio

Para determinar el factor de servicio de la máquina hacemos uso de la Tabla 10, proporcionada por el fabricante Intermecc.

Tabla 10

Factores de servicio básicos para diversas máquinas

Sistema	Tipo	Factor
Agitadores, batidores de pala o propulsor	Líquido	1.6
	Semilíquido	1.7
Maquinaria de panadería	Batidoras de masa	1.6
Maquinaria para ladrillos y barro	Taladros, batidoras y granuladores	1.7
		2
Centrifugadoras		1.9
Compresores	Recíprocos	2.2
	Centrífugos	1.7
Transportadores	Banda de carga ligera	1.5
	Bandas para hornos: mineral o carbón	1.7
	Apron cangilón, espiral, helicoidal	1.8
	Centrífugas, propulsores, ventiladores	1.8
	Ventiladores, sopladores	Para minas, sopladores positivos
Generadores y excitadores		1.8
Molinos de martillos		1.9
Grúas, elevadores		1.8
Maquinaria para lavandería	General	1.6
	Extractores, lavadoras	1.8
Ejes de línea		1.7
Máquinas herramientas	Taladros, tornos	1.6
	Máquinas de tornillo, esmeril, fresas, cepillos	1.7
	Troqueladoras	1.7
Bombas	Centrífugas, engranes rotarias	1.7
	Tubulares, recíprocas	2.2

Nota. Adaptado de *Factores de servicio básicos para máquinas, Intermecc, 2021.*

<https://www.intermec.com.co>

Debido a que nuestra máquina es una cinta transportadora de carga ligera, el factor de servicio correspondiente de acuerdo a la Tabla 10, es 1.5. Por consiguiente, la potencia de diseño P_d es:

$$P_d = P_n * F_s \quad (8)$$

$$P_d = \frac{1}{25} [hp] * 1.5$$

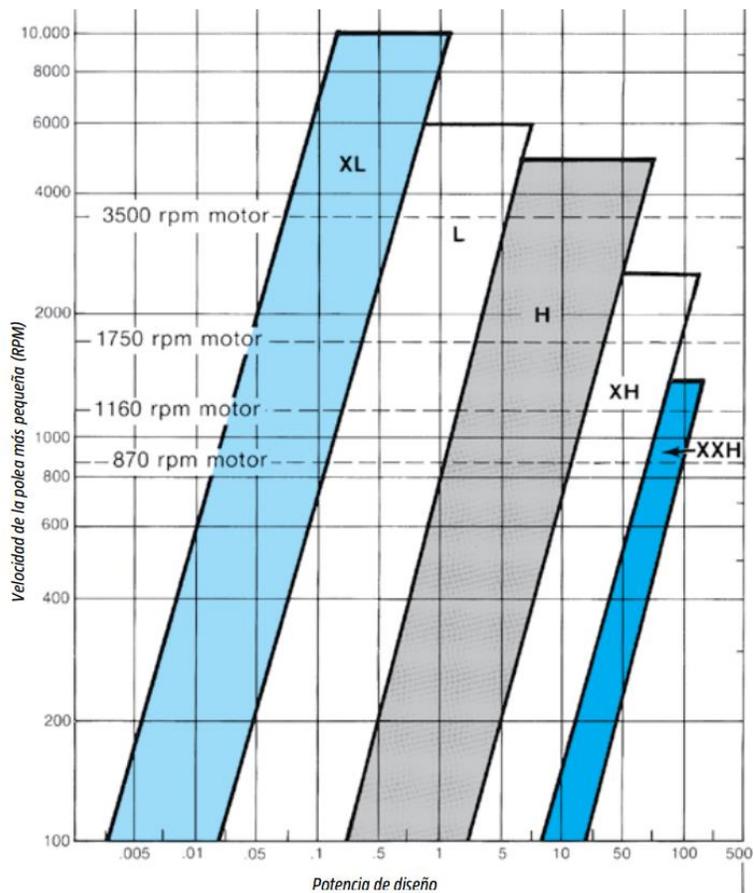
$$P_d = 0.06 [hp]$$

3. Determinar el paso de la polea y correa

El paso de las poleas y de la correa se determina a partir de potencia de diseño P_d y de la mayor velocidad de transmisión. En este caso $P_d = 0.06hp$ y $n_2 = 480 rpm$.

Figura 38

Selección del paso para transmisiones de tiempo



Nota. La gráfica indica los pasos estándar más convenientes a utilizar, según la velocidad y potencia que se aplican, si en algún caso la localización en la gráfica se encuentra cerca de una línea de separación de dos pasos, puede considerar ambos.

Tomado de *Selección del paso para transmisiones de tiempo, Intermec, 2021.*

<https://www.intermec.com.co>

El paso indicado para una potencia de 0.06hp y a una velocidad de 400rpm es

$$paso = XL = 1/5''$$

4. Calcular la relación de transmisión

Tomando como velocidad motriz $n_1 = 300$ [rpm] y velocidad conducida $n_2 = 480$ [rpm] podemos determinar la relación de transmisión entre el elemento motriz y el elemento impulsado m .

$$m = \frac{n_2}{n_1} \quad (9)$$

$$m = \frac{480}{360} = 1.33$$

5. Seleccionar el par de poleas

El siguiente paso consiste en determinar una combinación de poleas que cumpla con la relación de transmisión y seleccionar la longitud de la correa adecuada a partir de la distancia entre centros disponibles de la Distancia entre centros disponible: 72.39-78.48 [mm]=2.85-3.09 [in]

Tabla 11, para ello es necesario conocer la distancia entre centros en pulgadas.

Distancia entre centros disponible: 72.39-78.48 [mm]=2.85-3.09 [in]

Tabla 11

Selección para transmisiones estándar de tiempo XL (1/5'')

XL Relaciones de Velocidad de 1.31 a 1.78

Relación de Velocidad	Combinación de Poleas		Distancias entre centros en pulgadas usando correas estándar																							
	Matriz	Impulsado																								
	No. Dientes	No. Dientes	60 XL	70 XL	80 XL	90 XL	100 XL	110 XL	120 XL	130 XL	140 XL	150 XL	160 XL	170 XL	180 XL	190 XL	200 XL	210 XL	220 XL	230 XL	240 XL	250 XL	260 XL			
1.31	16XL	21XL	—	1.64	2.14	2.65	3.15	3.65	4.15	4.65	5.15	5.65	6.15	6.65	7.15	7.65	8.15	8.65	9.15	9.65	10.15	10.65	11.15			
1.33	30XL	40XL	—	—	—	—	—	—	2.48	2.98	3.49	3.99	4.49	4.99	5.49	5.99	6.49	6.99	7.49	7.99	8.49	8.99	9.49			
1.33	24XL	32XL	—	—	—	—	2.19	2.69	3.19	3.69	4.19	4.69	5.19	5.69	6.19	6.70	7.20	7.70	8.20	8.70	9.20	9.70	10.20			
1.33	21XL	28XL	—	—	—	2.04	2.54	3.04	3.54	4.04	4.54	5.05	5.55	6.05	6.55	7.05	7.55	8.05	8.55	9.05	9.55	10.05	10.55			
1.33	18XL	24XL	—	1.39	1.89	2.39	2.89	3.39	3.90	4.40	4.90	5.40	5.90	6.40	6.90	7.40	7.90	8.40	8.90	9.40	9.90	10.40	10.90			
1.33	15XL	20XL	1.24	1.74	2.24	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75	8.25	8.75	9.25	9.75	10.25	10.75	11.25			
1.33	12XL	16XL	1.59	2.10	2.60	3.10	3.60	4.10	4.60	5.10	5.60	6.10	6.60	7.10	7.60	8.10	8.60	9.10	9.60	10.10	10.60	11.10	11.60			
1.36	22XL	30XL	—	—	—	1.88	2.39	2.89	3.39	3.89	4.39	4.89	5.39	5.89	6.39	6.90	7.40	7.90	8.40	8.90	9.40	9.90	10.40			
1.36	11XL	15XL	1.70	2.20	2.70	3.20	3.70	4.20	4.70	5.20	5.70	6.20	6.70	7.20	7.70	8.20	8.70	9.20	9.70	10.20	10.70	11.20	11.70			
1.38	16XL	22XL	—	1.59	2.09	2.59	3.09	3.59	4.10	4.60	5.10	5.60	6.10	6.60	7.10	7.60	8.10	8.60	9.10	9.60	10.10	10.60	11.10			
1.40	30XL	42XL	—	—	—	—	—	—	2.37	2.87	3.38	3.88	4.38	4.89	5.39	5.89	6.39	6.89	7.39	7.89	8.39	8.89	9.39			
1.40	20XL	28XL	—	—	1.58	2.08	2.59	3.09	3.59	4.09	4.59	5.09	5.59	6.09	6.60	7.10	7.60	8.10	8.60	9.10	9.60	10.10	10.60			
1.40	15XL	21XL	1.18	1.69	2.19	2.69	3.19	3.70	4.20	4.70	5.20	5.70	6.20	6.70	7.20	7.70	8.20	8.70	9.20	9.70	10.20	10.70	11.20			
1.43	28XL	40XL	—	—	—	—	—	—	2.57	3.08	3.58	4.08	4.58	5.09	5.59	6.09	6.59	7.09	7.59	8.09	8.59	9.09	9.59			
1.43	21XL	30XL	—	—	—	1.93	2.43	2.94	3.44	3.94	4.44	4.94	5.44	5.94	6.44	6.94	7.44	7.94	8.45	8.95	9.45	9.95	10.45			

IMPORTANTE: 1- Al seleccionar el juego de poleas, verifique que su diámetro exterior (pág. 9) 2- Tengo en cuenta el mínimo diámetro de la polea recomendada (pág. 11) 3- Las distancias entre centros son teóricas y en la práctica pueden

Nota. Adaptado de *Tablas de selección para transmisiones estándar de tiempo XL (1/5'')*, Intermec, 2021. <https://www.intermec.com.co>

La combinación entonces será:

- Polea motriz: 18XL
- Polea conducida: 24XL
- Longitud de correa: 100XL
- Distancia entre centros: 2.89in

6. Seleccionar el ancho de correa

En la Tabla 12, se muestra la capacidad de transmisión por cada pulgada de ancho que transmite la correa seleccionada cruzando el número de dientes de la polea más pequeña con las RPM de la misma. Para determinar el ancho de correa necesario, se divide la potencia de diseño (punto 2) entre los HP por pulgada. Seleccione el ancho estándar más próximo que se muestra en la

Tabla 12

Capacidad de transmisión en hp por cada pulgada de ancho de la correa

RPM Eje más Rápido	No. de Dientes de la Polea Pequeña												
	10XL	11XL	12XL	14XL	15XL	16XL	18XL	20XL	21XL	22XL	24XL	28XL	30XL
	Diámetro permitido de la polea pequeña												
	.637	.700	.764	.891	.955	1.019	1.146	1.273	1.337	1.401	1.528	1.783	1.910
100	.02	.02	.02	.03	.03	.03	.04	.04	.04	.04	.05	.06	.06
200	.04	.04	.05	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.09	.10	.11	.12
300	.06	.07	.07	.09	.09	.10	.11	.12	.13	.13	.14	.17	.18
400	.08	.09	.10	.11	.12	.13	.14	.16	.17	.17	.19	.23	.24
500	.10	.11	.12	.14	.15	.16	.18	.20	.21	.22	.24	.29	.30
600	.12	.13	.14	.17	.18	.19	.22	.24	.26	.27	.29	.34	.37
700	.14	.15	.17	.20	.21	.23	.26	.28	.30	.31	.34	.40	.43
800	.16	.17	.19	.23	.24	.26	.30	.33	.34	.36	.40	.46	.49
900	.18	.20	.22	.26	.27	.30	.33	.37	.39	.40	.44	.51	.55
1000	.20	.22	.24	.29	.31	.33	.37	.41	.43	.45	.49	.57	.62
1100	.22	.25	.26	.31	.34	.36	.40	.45	.47	.49	.54	.63	.68
1160	.23	.26	.28	.33	.36	.38	.42	.46	.50	.52	.56	.66	.71
1200	.24	.27	.29	.34	.37	.39	.44	.49	.52	.54	.59	.68	.74
1300	.26	.29	.31	.37	.40	.42	.48	.53	.56	.58	.64	.74	.80
1400	.28	.31	.34	.40	.43	.46	.52	.57	.60	.63	.69	.80	.86
1500	.30	.34	.36	.43	.46	.49	.55	.61	.64	.67	.74	.86	.92
1600	.33	.36	.40	.46	.49	.53	.59	.65	.69	.72	.79	.91	.98
1700	.35	.38	.42	.49	.52	.56	.63	.67	.73	.77	.83	.97	1.04
1750	.36	.39	.43	.50	.53	.58	.64	.72	.75	.79	.86	1.00	1.07
1800	.37	.40	.44	.51	.55	.59	.66	.74	.77	.81	.88	1.03	1.10

Los valores impresos en azul pueden ser usados si una reducción de la vida útil de la correa es permitida

Nota. Adaptado de Capacidad de transmisión en hp por cada pulgada de ancho de la correa, Intermec, 2021. <https://www.intermec.com.co>

Tabla 13

Ancho de correa de acuerdo el factor de ancho

Factores de Ancho											
Ancho Correa	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1-1/4	1-1/2
Factor de Ancho	.15	.21	.28	.35	.42	.57	.71	.86	1.0	1.29	1.56

Nota. Tomado de Ancho de correa de acuerdo el factor de ancho, Intermec, 2021.

<https://www.intermec.com.co>

$$\text{ancho} = \frac{Pd}{\text{capacidad de transmisión}} \quad (10)$$

$$\text{ancho} = \frac{0.06}{0.18} = 1/3 \text{ in}$$

El ancho de correa inmediatamente superior 1/3 es 3/8 in

7. Especificar los detalles finales de los elementos de transmisión, como bridas, tipo y tamaño de bujes, tamaño del orificio, entre otros.

Tabla 14

Resumen de selección de los elementos de transmisión

Elemento	Denominación	Características	Tipo
Polea motriz	24XL037	$De = 38.3 \text{ mm}$ $Di = 10 \text{ mm}$	Polea de tiempo tipo B-1
Polea conducida	18XL037	$De = 28.6 \text{ mm}$ $Di = 8 \text{ mm}$	Polea de tiempo tipo B-1
Correa	100XL037	$Z = 50$	Correa de tiempo

Nota. Las poleas motriz y conducida incluyen un chavetero y barreno. Para conocer a detalle estos elementos, diríjase al Anexo A (Plano de poleas).

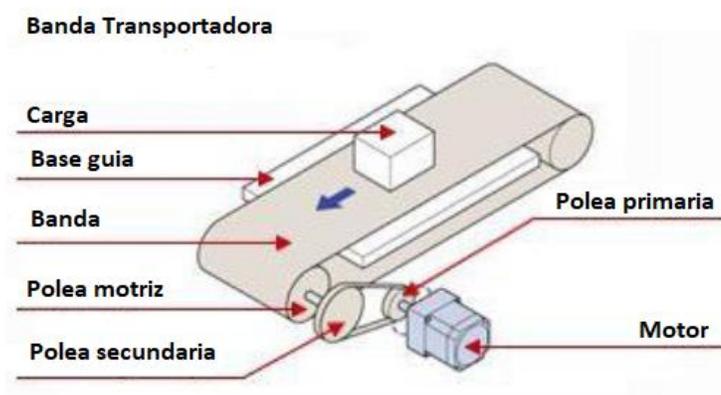
Dimensionamiento y selección del motor

Datos para el dimensionamiento del motor:

A continuación, en la Figura 39 se observa las partes principales que compone una banda transportadora, la cual es accionada mediante una transmisión por banda. Hay tres factores que se deben determinar al dimensionar un motor; momento de inercia, torque y velocidad, se utilizaran las fórmulas propuestas por el fabricante Oriental motor.

Figura 39

Composición de una banda transportadora.



Nota. Adaptado de Tang, 2020. <https://blog.orientalmotor.com/motor-sizing-basics-part-4-radial-load-and-axial-load>

Según (Tang, 2020) para realizar el dimensionamiento y selección del motor se requiere de los siguientes datos:

Tabla 15

Datos del producto y el entorno de operación

Características	Valor
Masa de la carga y de la cinta transportadora	$m_t = 1.5$ [Kg]
Coefficiente de fricción de la cinta sobre la base guía	$\mu = 0.5^*$
Velocidad lineal de operación	$V_1 = 800$ [mm/s]
Aceleración /desaceleración	$t_1 = 5$ [s]
Factor de seguridad	$F_s = 2$

Nota. * Este valor es un aproximado ya que no se encontró el coeficiente de fricción μ del aluminio/poliuretano.

Tabla 16

Especificaciones del tambor principal motriz.

Diámetro del tambor motriz	$D_p = 31.75$ [mm]
Masa del tambor motriz	$m_p = 0.72$ [kg]
Número de tambores motrices*	$n = 2$
Eficiencia	$\eta = 85$ [%]

Nota. * Para este dato se toma al tambor conducido como si fuera un tambor motriz.

Tabla 17

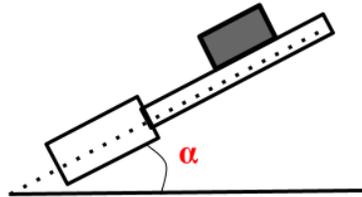
Especificaciones de la transmisión de potencia.

	Polea primaria	Polea secundaria
Diámetro Primitivo [mm]	$D_{p1} = 38.3$	$D_{p2} = 28.6$
Masa [kg]	$m_{p1} = 0.0527$	$m_{p2} = 0.02560$

Ángulo de inclinación del mecanismo

Figura 40

Angulo de inclinación del sistema.



$$\alpha = 0$$

Fuerza externa

Figura 41

Fuerzas externas del sistema



$$F_A = 0[N]$$

Cálculos:

Inercia de carga:

El momento de inercia es la medida de la resistencia de un objeto a los cambios en su velocidad de rotación.

Para calcular la inercia de la carga (masa del producto) y de la cinta transportadora se hizo uso de la ecuación (11), para aplicar esta ecuación se requiere la masa total $m_t = 1.5 [kg]$ y el diámetro de la polea motriz $D_p = 31.75[mm]$

Inercia de carga y la cinta transportadora

$$J_m = m_t * \left(\frac{D_p * 10^{-3}}{2} \right)^2 \quad (11)$$

$$J_m = 1.5[kg] * \left(\frac{31.75[mm] * 10^{-3}}{2} \right)^2 = 3.7802 * 10^{-4} [kg * m^2]$$

Para calcular la inercia de la polea motriz se hizo uso de la ecuación (12), para aplicar esta ecuación se requiere la masa de la polea $m_p = 0.72 [kg]$, el diámetro de la polea motriz $D_p = 31.75[mm]$ y el número de poleas motriz $n = 2$.

Inercia de la polea motriz

$$J_{D_p} = \frac{1}{8} * m_p * (D_p * 10^{-3})^2 * n \quad (12)$$

$$J_{D_p} = \frac{1}{8} * 0.72[kg] * (31.75[mm] * 10^{-3})^2 * 2 = 1.8145 * 10^{-4} [kg * m^2]$$

Para calcular la inercia de la poleas primaria y secundaria se hizo uso de la ecuación (13) y (14), para aplicar estas ecuaciones se requiere la masa de las poleas $m_{p1} = 0.0527 [kg]$, $m_{p2} = 0.02560[kg]$, el diámetro de las poleas $D_{p1} = 38.3[mm]$, $D_{p2} = 28.6[mm]$.

Inercia de las poleas primarias y secundarias

$$J_{D_{p1}} = \frac{1}{8} * m_{p1} * (D_{p1} * 10^{-3})^2 \quad (13)$$

$$J_{D_{p1}} = \frac{1}{8} * 0.0527[kg] * (38.3[mm] * 10^{-3})^2 = 9.6631 * 10^{-6} [kg * m^2]$$

$$J_{D_{p2}} = \frac{1}{8} * m_{p2} * (D_{p2} * 10^{-3})^2 \quad (14)$$

$$J_{D_{p2}} = \frac{1}{8} * 0.02560[kg] * (28.6[mm] * 10^{-3})^2 = 2.6175 * 10^{-6} [kg * m^2]$$

Resultado de la inercia de carga:

Una vez obtenido las inercias individuales de cada elemento que va a rotar, se procede a combinar estas inercias y obtener la inercia de carga total, para esto se aplica la ecuación (15).

$$J_C = (J_m + J_{Dp} + J_{Dp2}) * \left(\frac{D_{p1}}{D_{p2}}\right)^2 + J_{Dp1} \quad (15)$$

$$J_C = (3.7802 * 10^{-4} + 1.8145 * 10^{-4} + 2.6175 * 10^{-6}) * \left(\frac{38.3}{28.6}\right)^2 + 9.6631 * 10^{-6}$$

$$J_C = 1.0177 * 10^{-3} [kg * m^2]$$

Velocidad requerida:

Para obtener la velocidad requerida que nos permita mover 2 paq/s aplicaremos la ecuación (16).

$$V_m = V_1 * \left(\frac{60}{\pi * D_p}\right) \left(\frac{D_{p2}}{D_{p1}}\right) \quad (16)$$

$$V_m = 800 \left[\frac{mm}{s}\right] * \left(\frac{60}{\pi * 31.75[mm]}\right) \left(\frac{28.6[mm]}{38.3[mm]}\right)$$

$$V_m = 359.3[rpm] \approx 360 [rpm]$$

Torque:

El torque es la fuerza de rotación a una distancia del eje de rotación, es la capacidad para realizar un trabajo.

El torque requerido se divide en 2 componentes: torque de aceleración y el torque de carga. El torque de aceleración es el par necesario para la velocidad de aceleración y desaceleración de la carga. El torque de carga es el par constante que se requiere para la aplicación (Tang, 2020).

Torque de aceleración:

Para calcular el torque de aceleración se hizo uso de la ecuación (17), para aplicar esta ecuación se requiere la Inercia de carga $J_C = 4.7291 [kg * m^2]$, la velocidad $V_m = 359.3[rpm]$ y el tiempo de aceleración/desaceleración $t_1 = 5[s]$.

$$T_a = J_C * \left(\frac{V_m}{9.55 * t_1}\right) \quad (17)$$

$$T_a = 1.0177 * 10^{-3} * \left(\frac{359.3[rpm]}{9.55 * 5}\right) = 7.6588 * 10^{-3} [N.m]$$

Torque de carga:

Para calcular el torque de carga se hizo uso de las ecuaciones (18) y (19), se inicia calculando la fuerza que va ejercer el sistema ecuación (19), para este cálculo es necesario de la fuerza externa $F_A = 0$, la masa de la carga y de la cinta transportadora $m_t = 1.5[kg]$ y el ángulo de inclinación del sistema $\alpha = 0$, una vez obtenido la fuerza se procede a calcular el torque de carga con la ecuación (18).

$$T_c = \frac{F * D_p * 10^{-3}}{2 * \eta * 0.01} * \left(\frac{D_{p1}}{D_{p2}}\right) \quad (18)$$

$$F = F_A + \left(m_t * 9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) (\sin\alpha + \mu\cos\alpha) \quad (19)$$

$$F = 0 + \left(1.5[kg] * 9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) (\sin(0) + 0.5 * \cos(0))$$

$$F = 7.350[N]$$

$$T_c = \frac{7.350[N] * 31.75[mm] * 10^{-3}}{2 * 85 * 0.01} * \left(\frac{38.3}{28.6}\right)$$

$$T_c = 0.1838 [N.m]$$

Torque requerido:

Para calcular el torque de carga se hizo uso de la ecuación (20), esta ecuación es la suma de los torques ya calculados, la cual es multiplicada por un factor de seguridad.

Ta: Torque de aceleración

Tc: Torque de carga

$$T = (T_a + T_c) * F_s \quad (20)$$

$$T = (7.6588 * 10^{-3} + 0.1838) * 2$$

$$T = 0.3830[N.m]$$

Potencia

La potencia es la rapidez con la que se puede realizar un trabajo y se calcula usando la ecuación (21), en donde se multiplicando el torque requerido por la velocidad

$$P = T * \omega \quad (21)$$

$$P = 0.3830[N.m] * 359.3 \left[\frac{rev}{min} \right] * \frac{2 * \pi [rad]}{60 [seg]}$$

$$P = 14.41 \frac{N.m}{s}$$

$$P = 14.41 [W]$$

A continuación, en la Tabla 18 están los parámetros mínimos requeridos para seleccionar el motor.

Tabla 18

Parámetros mínimos para seleccionar el motor

Parámetros	Valor
Torque [N/m]	0.3830
Potencia[W]	14.41
Velocidad angular [rpm]	359.3
Inercia de carga [kg.m ²]	1.0177 * 10 ⁻³

Para seleccionar el motor se usó los catálogos del fabricante Oriental motor, haciendo uso de los parámetros mínimos se encontró dos alternativas: BLM230HP-10S/BLE2D30-A, 30 W (1/25 HP) y SCM425UA-5/ DSCD25UA, 25 W (1/30 HP), las especificaciones de estos motores se encuentran en la Tabla 19.

Tabla 19

Especificaciones de las dos alternativas para el motor.

	BLM230HP-10S/BLE2D30-A, 30 W (1/25 HP)*	SCM425UA-5/ DSCD25UA, 25 W (1/30 HP)**
Número de motor	Motor 1	Motor 2

Imagen del motor



Tipo de motor	Motor DC sin escobillas	Motor AC / Inducción
Tamaño del bastidor del motor	60 [mm]	80 [mm]
Longitud del motor sin considerar el eje	80 [mm]	142.5 [mm]
Masa del motor	0.85 [kg]	2.3 [kg]
Potencia de salida	30 W (1/25 CV)	25 W (1/30 HP)
Fuente de alimentación	Monofásico 100-120 VCA	Monofásico 110/115 VCA
Frecuencia (Hz)	N/A	60
Tipo de eje / engranaje	Reductor de eje paralelo (eje de acero inoxidable)	Reductor de eje paralelo
Relación de engranajes (X: 1)	10: 1	5 : 1
Diámetro del eje de salida	10 [mm]	15 [mm]
Par nominal	1.1 N · m	0.92 N · m
Rango de velocidad variable (r / min)	8 ~ 400	18 ~ 320
Inercia de carga permitida	$50 * 10^{-4} [kg \cdot m^2]$	$22 * 10^{-4} [kg \cdot m^2]$
Carga radial admisible	10 mm desde el extremo del eje = 150 N	10 mm desde el extremo del eje = 300 N

	20 mm desde el extremo del eje = 200 N	20 mm desde el extremo del eje = 350 N
Carga axial permitida	40 [N]	100 [N]
Componentes	BLM230HP-GFV [Motor] GFV2G10S [Reductor] BLE2D30-A [Driver]	SCM425UA-5 [Motor] 4FV5B [Reductor] DSCD25UA [Driver] CH65CFAUL2 [Capacitor]
Estándares	RoHS, UL, CSA, CE	RoHS, c-UL, CCC, CE
Rango de temperatura ambiente	Motor: (0 °C ~ 40 °C), sin congelación Controlador: (0 °C ~ 50 °C)	Motor: (-10 °C ~ 40 °C), sin congelación Controlador: (0 °C ~ 50 °C)
Humedad ambiental	85% o menos, sin condensación	85% máx. (sin condensación)
Grado de protección	Motor: IP66 Controlador: IP20	Motor: IP54 Controlador: IP20
Características del controlador		
Modelo de controlador	BLE2D30-A	DSCD25UA
Modos de control de velocidad	Configuración digital: <ul style="list-style-type: none"> Panel de control Software MEXE02 Configuración analógica: <ul style="list-style-type: none"> Potenciómetro de velocidad externo Fuente DC externa: [0~10]VDC, 1 mA min 	Configuración digital: <ul style="list-style-type: none"> A través del panel de control Configuración analógica: <ul style="list-style-type: none"> Potenciómetro de velocidad externo: (20 kΩ, 1/4 W)

- Fuente DC externa:
[0~5]VDC o [0~10] VDC

Número de ajustes de velocidad	Max. 16 puntos	Max. 4 puntos
Tamaño	160x40x143 [mm]	100x35x94 [mm]
Peso del controlador	0.8[Kg]	0.2[Kg]
Tiempo de aceleración / desaceleración	[0.0~15.0] s	[0.0~15.0] segundos El tiempo de aceleración / desaceleración varía con la condición de carga del motor.

[0 ~ 300]% (ajuste de fábrica: 300%)
Ajuste digital:

Limitación de par

- Panel de control
- Software MEXE02

N/A

Configuración analógica:

- Potenciómetro de velocidad externo
- Fuente DC externa:
[0~10] VDC, 1 mA min

*Nota. Las especificaciones de los motores fueron tomadas de, *(Oriental motor, 2020).**(Oriental motor, 2019).*

Selección del motor:

A continuación, en la Tabla 20 se realiza una ponderación de cada una de las alternativas del motor. Los criterios tomados en la ponderación tienen un nivel de

importancia y su calificación posee un rango entre 0 y 4, donde 4 indica el mejor desempeño en cuanto al criterio correspondiente.

Tabla 20

Selección del motor

Criterio	Motor	Peso %	Motor 1		Motor 2	
			Calif	Parcial	Calif	Parcial
Acople con componentes del mercado local		5	3	0.15	2	0.1
Peso (menor peso/mayor calif)		10	3	0.3	1	0.1
Disponibilidad		30	4	1.2	0	0
Facilidad de puesta en marcha		5	3	0.15	3	0.15
Costo (mayor costo/menor calif)		20	1	0.2	4	0.8
Tamaño (menor tamaño/mayor calif)		10	4	0.4	1	0.1
Mantenimiento		5	4	0.2	2	0.1
Grado de protección		15	3	0.45	2	0.3
		100		3.05		1.65

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 20, podemos concluir que la mejor alternativa es el motor 1, BLM230HP-10S/BLE2D30-A, 30 W (1/25 HP), debido a que cuenta con un peso y tamaño reducido.

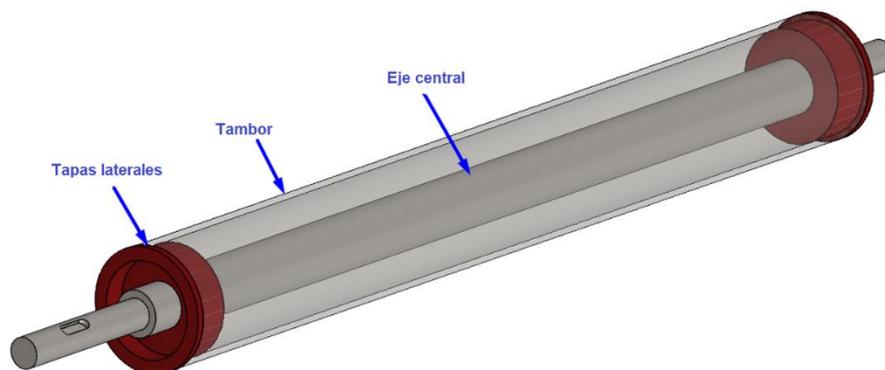
Diseño de ejes para los rodillos

Cada una de las tres cintas transportadoras, utiliza un rodillo motriz y un rodillo conducido.

El rodillo motriz es aquel que se encuentra acoplado al sistema de poleas en la transmisión de potencia, este rodillo es el encargado de transmitir el movimiento rotatorio a la banda. Está conformado por un eje central, dos tapas laterales y un tambor. En la Figura 42 se muestra cada uno de estos elementos

Figura 42

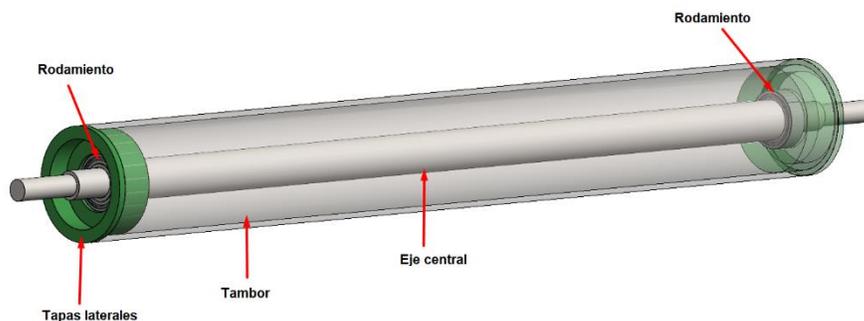
Rodillo motriz



El rodillo conducido por su parte, tiene como función principal la de servir como temple para la banda. Está conformado por un eje central, dos tapas laterales, dos rodamientos rígidos de bolas y el tambor. En la Figura 43 se muestra cada uno de estos elementos.

Figura 43

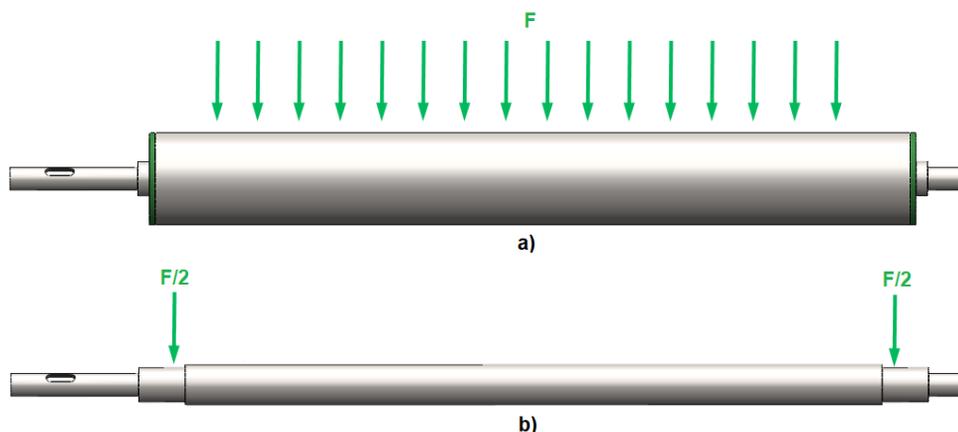
Rodillo conducido



La principal carga que deben soportar los rodillos, es la fuerza de tensión de la banda, la cual se transmite uniformemente a lo largo de toda la superficie de contacto entre el tambor del rodillo y la banda, por lo tanto, el tambor deberá ser capaz soportar esta carga. Por otra parte, la tensión ejercida en el tambor, es transmitida al eje del rodillo en los puntos de apoyo con las tapas laterales.

Figura 44

Fuerza ejercida por la banda (F) en los rodillos motriz y conducido



Nota. a) Fuerza ejercida por la banda en el tambor del rodillo, b) Fuerza ejercida por la banda en el eje del rodillo

Diseño de la flecha

Adicionalmente, el eje del rodillo motriz, debe transmitir el torque generado por el motor hacia la banda, por lo cual debe soportar esta carga adicional que se conduce a través de la polea dentada como se muestra en el DCL de la Figura 46.

Figura 45

Geometría del eje motriz

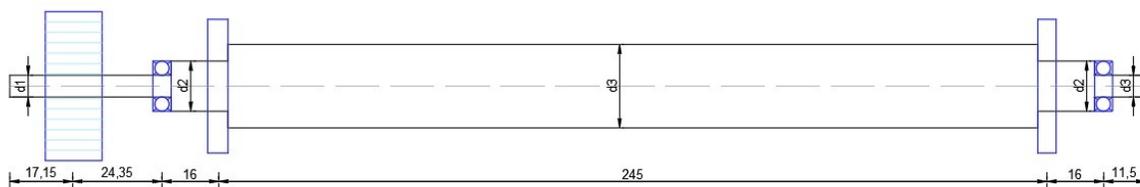
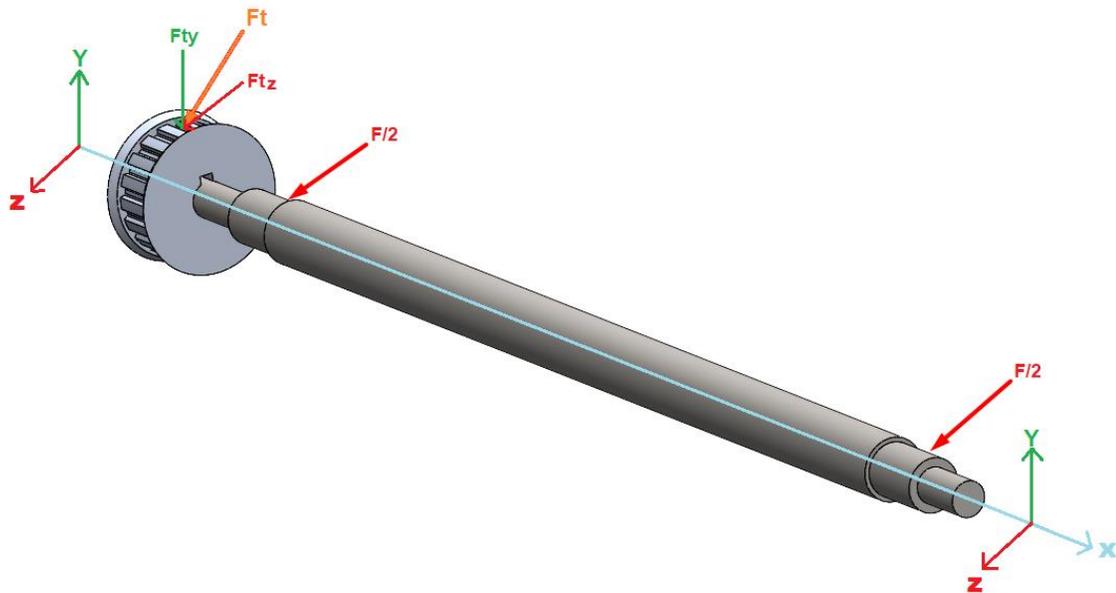


Figura 46

Diagrama de cuerpo libre del eje del rodillo motriz



Nota. F es la fuerza ejercida por la banda sobre el tambor del rodillo. Ft es la fuerza tangencial resultante de la transmisión de potencia del motor hacia la polea.

La fuerza tangencial ejercida sobre la polea, se determina a partir de la potencia entregada por el motor, y la velocidad de giro de la misma.

$$P = T \cdot \omega \text{ [W]} \quad (22)$$

$$Ft = \frac{T}{r} \text{ [N]} \quad (23)$$

Donde:

P: Potencia entregada por el motor seleccionado = 30W

T: Torque generado

ω : Velocidad angular de la polea motriz = 360rpm

Ft: Fuerza tangencial de la polea motriz

r: Radio de la polea motriz

A partir de estos datos, el torque y la fuerza tangencial transmitida son:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{30 [W]}{360 [rpm]} \cdot \frac{60}{2\pi}$$

$$T = 0.7957 [N \cdot m]$$

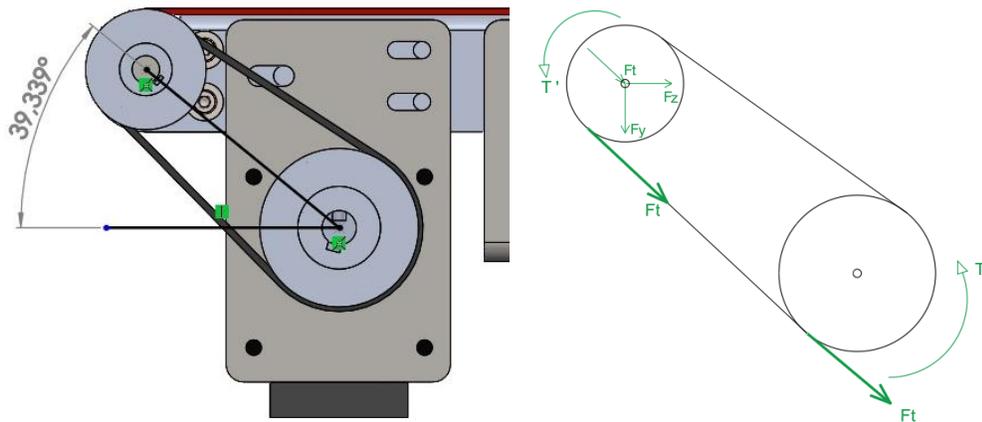
$$F_t = \frac{0.7957 [Nm]}{\frac{38.3}{2} [mm]} \cdot 1000$$

$$F_t = 41.55 [N]$$

Debido al acople del motor y el rodillo conducido, la transmisión por banda posee un ángulo de inclinación entre centros de 39.34° , mientras que la banda tiene 43.12° como se puede ver en la Figura 47. A partir de este dato podemos determinar las componentes de la fuerza transmitida en los ejes Z e Y.

Figura 47

Angulo de transmisión de la banda con respecto a la horizontal



A partir de estos datos se realiza el diagrama de cuerpo libre para el eje de transmisión del rodillo motriz y procedemos calcular el diámetro mínimo necesario del eje para soportar estas cargas.

El torque en la polea conducida es:

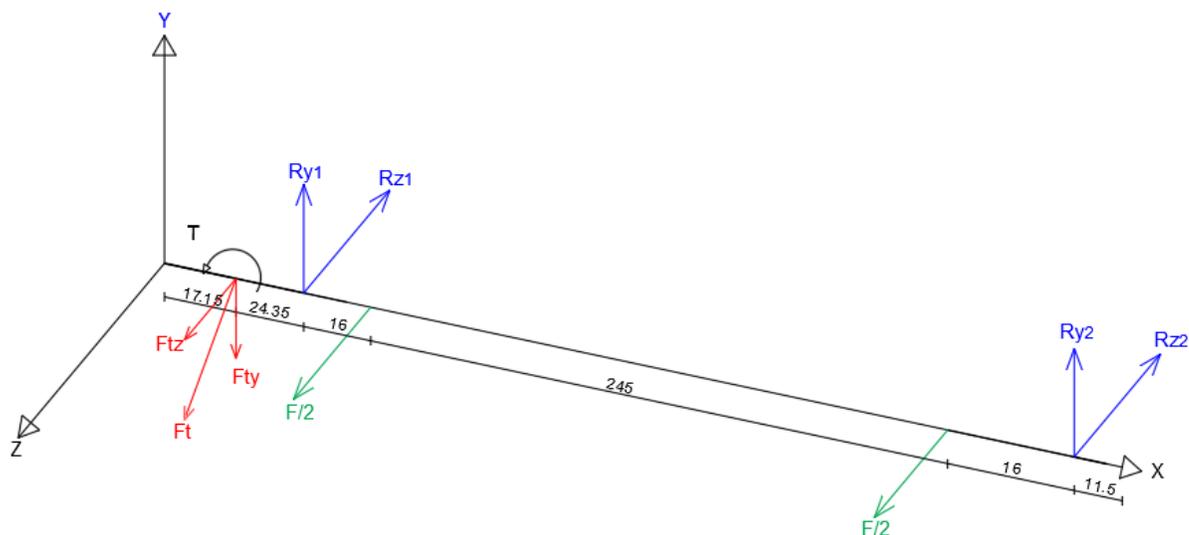
$$T' = F_t \cdot r \quad (24)$$

$$T' = F_t \cdot r = 41.55 [N] \cdot 0.0143 [m]$$

$$T' = 0.594 Nm$$

Figura 48

DCL eje motriz



Ecuaciones de equilibrio estático

$$\sum F_z = Ft_z + 2 \cdot F/2 - R_{z1} - R_{z2} = 0 \quad (25)$$

$$\sum F_y = -Ft_y + R_{y1} + R_{y2} = 0 \quad (26)$$

Plano X-Z

$$\sum M_{C+\varnothing} = Ft_z(24.35\text{mm}) - \frac{F}{2}(16\text{mm}) - \frac{F}{2}(261\text{mm}) - R_{z2}(277\text{mm}) = 0$$

Plano X-Y

$$\sum M_{C+\varnothing} = -Ft_y(24.35\text{mm}) - R_{y2}(277\text{mm}) = 0$$

A partir de la fuerza de tensión para la banda calculada (3), conocemos que la fuerza de tensión que se debe aplicar en la banda es de 0.03369 [N/mm] y conociendo el ancho de banda de 250mm , tenemos que:

$$F = 0.03369 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right] * 250[\text{mm}] = 8.42[\text{N}]$$

Por otra parte, las componentes de la fuerza tangencial F_t son:

$$F_{tz} = F_t \cdot \cos(43.12)$$

$$F_{tz} = 41.55 \cdot \cos(43.12) = 30.33 \text{ [N]}$$

$$F_{ty} = F_t \cdot \sin(43.12)$$

$$F_{ty} = 41.55 \cdot \sin(43.12) = 28.4 \text{ [N]}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones, tenemos:

$$R_{z1} = 37.21 \text{ [N]}$$

$$R_{z2} = 1.53 \text{ [N]}$$

$$R_{y1} = 30.89 \text{ [N]}$$

$$R_{y2} = -2.49 \text{ [N]}$$

A continuación, se presentan los diagramas de fuerza cortante y momento flector

Figura 49

Diagrama de fuerza cortante. Plano XZ

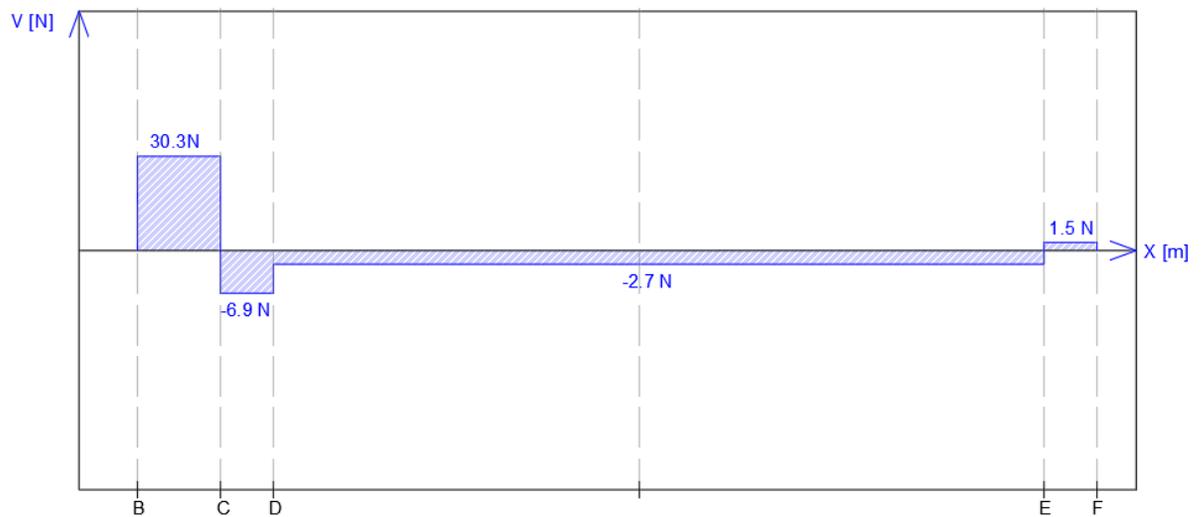


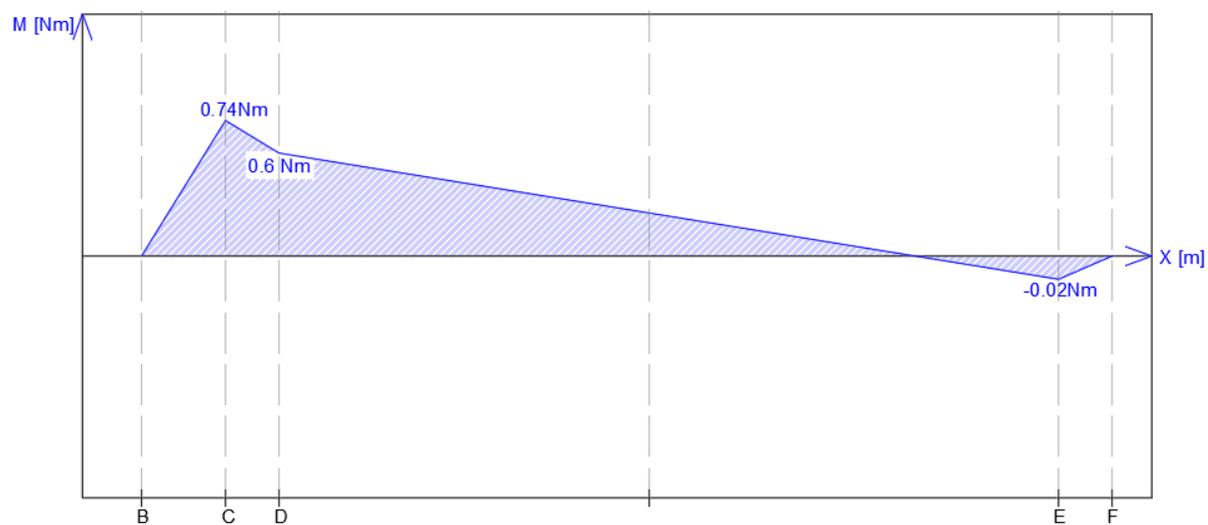
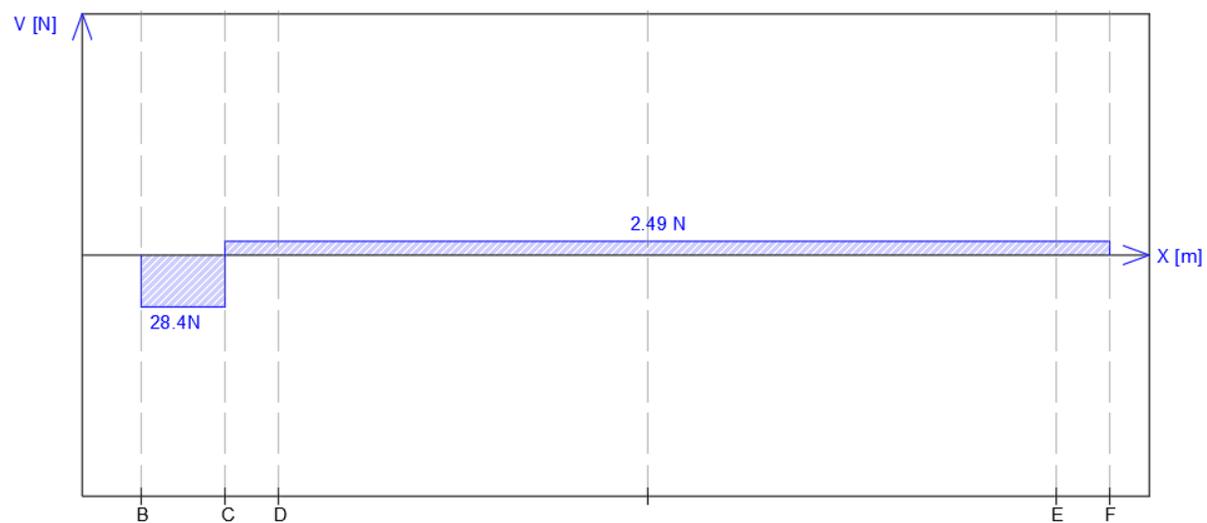
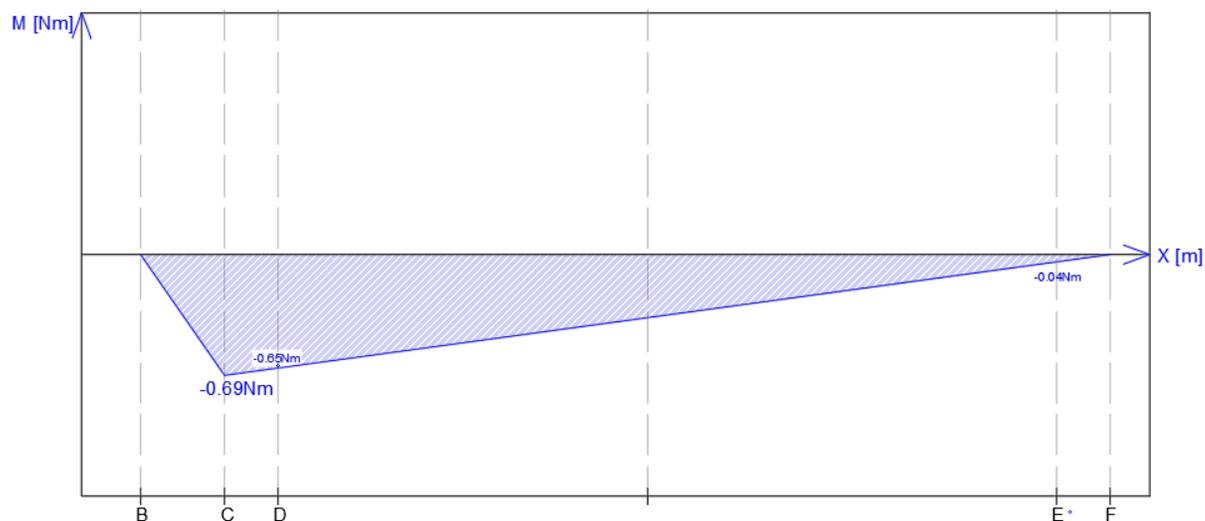
Figura 50*Diagrama de momento flector. Plano XZ***Figura 51***Diagrama de momento flector. Plano XY*

Figura 52

Diagrama de momento flector. Plano XY



A partir de los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores en las Figura 49 hasta la Figura 52, determinamos las fuerzas y momentos resultantes en cada punto del eje.

$$M_{yz} = \sqrt{M_y^2 + M_z^2} \quad [\text{Nm}] \quad (27)$$

$$V_{yz} = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} \quad [\text{N}] \quad (28)$$

Aplicando las ecuaciones (27) y (28) obtenemos los siguientes fuerzas y momentos resultantes presentados en la Tabla 21.

Tabla 21

Resumen de fuerzas cortantes y momentos flectores para el eje motriz

Punto	Plano X-Z	Plano X-Y	Resultante
B [17.15mm]	$V = 30.33 \text{ [N]}$ $M = 0 \text{ [Nm]}$	$V = -28.4 \text{ [N]}$ $M = 0 \text{ [Nm]}$	$V = 41.55 \text{ [N]}$ $M = 0 \text{ [Nm]}$
C [41.5mm]	$V = -6.9 \text{ [N]}$ $M = 0.74 \text{ [Nm]}$	$V = 2.49 \text{ [N]}$ $M = -0.69 \text{ [Nm]}$	$V = 7.33 \text{ [N]}$ $M = 1.01 \text{ [Nm]}$
D [57.5mm]	$V = -2.7 \text{ [N]}$ $M = 0.6 \text{ [Nm]}$	$V = 2.49 \text{ [N]}$ $M = -0.65 \text{ Nm]}$	$V = 3.67 \text{ [N]}$ $M = 0.88 \text{ [Nm]}$
E [302.5mm]	$V = 1.5 \text{ [N]}$ $M = -0.02 \text{ [Nm]}$	$V = 2.49 \text{ [N]}$ $M = -0.04 \text{ [Nm]}$	$V = 2.9 \text{ [N]}$ $M = 0.044 \text{ [Nm]}$

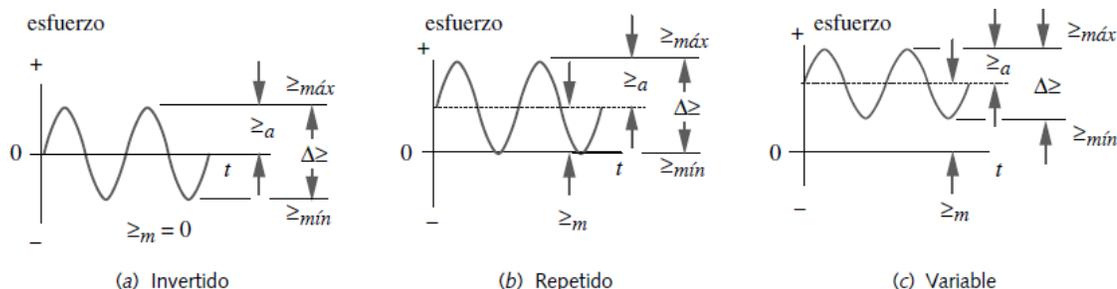
F [318.5mm]	$V = 0 [N]$ $M = 0 [Nm]$	$V = 0 [N]$ $M = 0 [Nm]$	$V = 0 [N]$ $M = 0 [Nm]$
Momento máximo			$M = 1.01 [Nm]$
Cortante máximo			$V = 41.55 [N]$

Diseño de la flecha para torsión constante y ciclo de flexión invertida

En el sistema no existe cargas axiales, se usará acero para vida infinita (AISI 304), como el torque es constante y el momento de flexión es de ciclo invertido, se debe usar el método ASME de la ecuación (38), se comparará con el método de Goodman Modifica de la ecuación (41)

Figura 53

Tipos de cargas variables



Nota. Tomado de (Norton, 2011)

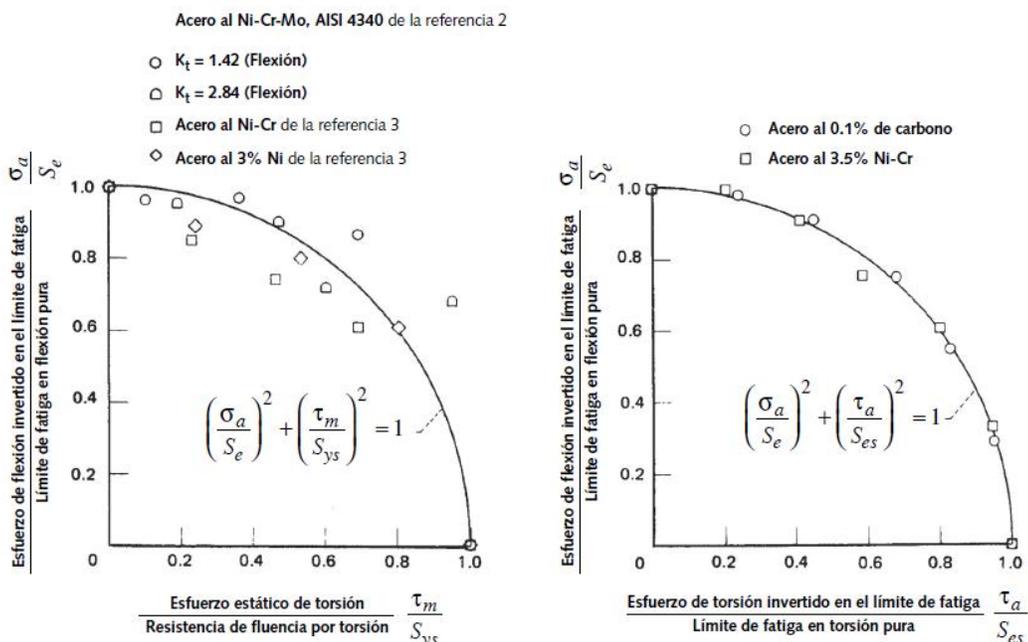
Método de falla ASME

El estándar ANSI/ASME presenta un procedimiento simplificado para el diseño de ejes, este método supone que la carga es de ciclo de flexión invertida (componente media de tensión $\sigma_m = 0$) y el torque constante (componente del torque alternante $\tau_a = 0$), a un nivel que genera esfuerzos por debajo de la resistencia a la fluencia por torsión del material, este método usa la curva elíptica de la Figura 54, normalizada por la resistencia física a la flexión sobre el eje σ_a y la resistencia a la fluencia por tensión sobre el eje σ_m . La resistencia a la fluencia por tensión se sustituye por la resistencia a

la fluencia por torsión empleando la relación de Von Mises de la ecuación (31) (Norton, 2011).

Figura 54

Resultados de pruebas a la fatiga de muestras sometidas a flexión y torsión combinadas.



Nota. Resultados de pruebas a la fatiga de muestras de acero sometidas a flexión y torsión combinadas, (Design of Transmission Shafting, Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos, Nueva York, ANSI/ASME Estándar B106.1M-1985, con autorización).

La deducción de la ecuación ASME del eje es como sigue.

Partiendo de la relación de la envoltura de falla mostrada en la Figura 54.

$$\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1 \quad (29)$$

Introducimos el factor de seguridad N_f .

$$\left(N_f \frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(N_f \frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1 \quad (30)$$

Considerando la relación de Von Mises para S_{ys} de la ecuación (31).

$$S_{ys} = 0.577S_y \quad (31)$$

La sustituimos en la ecuación (30).

$$\left(N_f \frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(N_f \sqrt{3} \frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1 \quad (32)$$

Sustituyendo las ecuaciones (33) a la (36) obtenemos la ecuación (37).

$$\sigma_a = k_f = \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (33)$$

$$\sigma_m = k_{fm} = \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad (34)$$

$$\tau_a = k_{fs} * \frac{T_a * r}{J} \quad (35)$$

$$\tau_a = k_{fsm} * \frac{T_m * r}{J} \quad (36)$$

$$\left[\left(k_f * \frac{32M_a}{\pi d^3}\right) \left(\frac{N_f}{S_e}\right)\right]^2 + \left[\left(k_{fsm} * \frac{16T_m}{\pi d^3}\right) \left(\frac{N_f \sqrt{3}}{S_y}\right)\right]^2 = 1 \quad (37)$$

Replanteando la ecuación para obtener el diámetro se obtiene.

$$d = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} * \left[\left(k_f * \frac{M_a}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(k_{fsm} * \frac{T_m}{S_y}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (38)$$

Método de falla Goodman Modificada

Cuando el torque no es constante, el componente alternante crea esfuerzos multiaxiales, un eje giratorio con flexión y torsión combinadas se encuentra en estado de esfuerzo biaxial, aplicando las ecuaciones de Von Mises (Norton, 2011).

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (39)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} \quad (40)$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$d = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(k_f M_a)^2 + \frac{3}{4} (k_{fs} T_a)^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{(k_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4} (k_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (41)$$

Cálculo del diámetro en la sección crítica

En la Tabla 21 se observa que el momento máximo es de 1.01 [N.m] y se encuentra ubicado en el punto C, se realizara el análisis en esta sección, una vez obtenido el diámetro de la sección crítica se imponer los diámetros en las demás secciones, se debe tener en cuenta que la diferencia entre los diámetros no exceda al 30%.

Como el sistema es para un ambiente alimenticio el material debe ser Acero inoxidable AISI 304 con un esfuerzo último de $S_{ut} = 520$ [MPa] y un esfuerzo de fluencia $S_y = 230$ [MPa].

Análisis del punto C

$$M_m = 1.01 \text{ [N.m]}$$

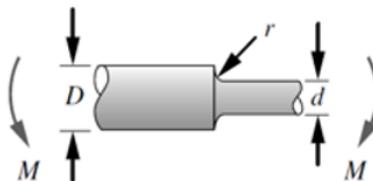
$$T_a = 0.594 \text{ [N.m]}$$

Determinación de los factores de concentradores de esfuerzos geométricos

Debido a que el eje tiene varios componentes como son: la polea, los rodamientos y las tapas, es necesario que el eje tenga varios diámetros, por lo cual se calcular el factor de concentración de esfuerzos. Cualquiera cambio en la geometría de la sección transversal provocará concentraciones de esfuerzos localizados.

Figura 55

Parámetros que interfieren en el cálculo de los concentradores de esfuerzos.



Nota. Adaptado de (Norton, 2011)

Para calcular el factor K_t se aplicará la ecuación (42).

$$K_t = A \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad (42)$$

Donde:

r : es el tamaño de radio del filete o radio de muesca.

$\frac{r}{d}$, $\frac{D}{d}$: son razones adimensionales.

A, b : son coeficientes que se obtienen de las respectivas graficas.

El escalón en el punto C tiene un radio $r = 1[mm]$, los diámetros son impuestos $D = 12[mm]$ y $d = 8[mm]$, recordando que la diferencia entre los dos diámetros no debe ser mayor al 30%.

Calculo de K_t (concentrador de esfuerzo para flexión)

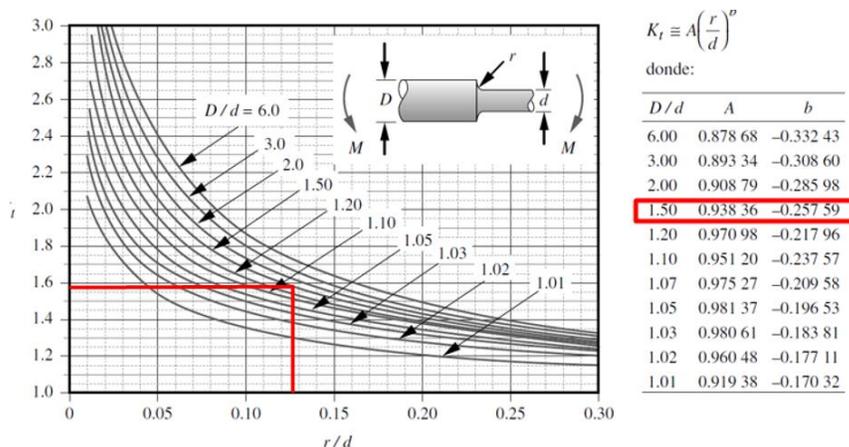
$$\frac{D}{d} = \frac{12}{8} = 1.5$$

Usando la ecuacion (42) y la Figura 56 se obtene el siguiente valor.

$$K_t = 0.93836 \left(\frac{1}{8} \right)^{-0.25759} = 1.60$$

Figura 56

Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t para un eje con filete de hombro en flexión



Nota. Adaptado de (Norton, 2011).

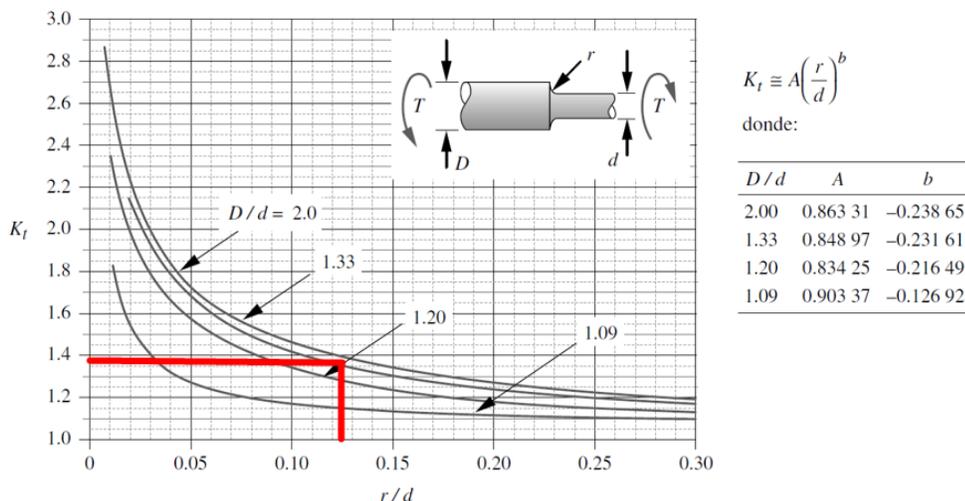
Calculo de K_{ts} (concentrador de esfuerzo para torsión)

Usando la ecuacion (42) y la Figura 57 obtenemos el siguiente valor:

$$K_{ts} = 0.93836 \left(\frac{1}{8} \right)^{-0.25759} = 1.35$$

Figura 57

Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t para un eje con filete de hombro en torsión.



Nota. Adaptado de (Norton, 2011).

Sensibilidad de la muesca

Los materiales tienen diferente sensibilidad a la concentración de esfuerzos, lo cual se conoce como sensibilidad a la muesca del material. La sensibilidad a la muesca depende del radio de la muesca, si el radio de la muesca se aproximan a cero, disminuye la sensibilidad a la muesca y se aproxima a cero (Norton, 2011).

(Neuber, 1946) hizo el primer estudio metódico de los efectos de la muesca y publicó una ecuación (43) para el factor de concentración de esfuerzos de fatiga en 1937. La sensibilidad a la muesca q varía entre 0 y 1.

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad (43)$$

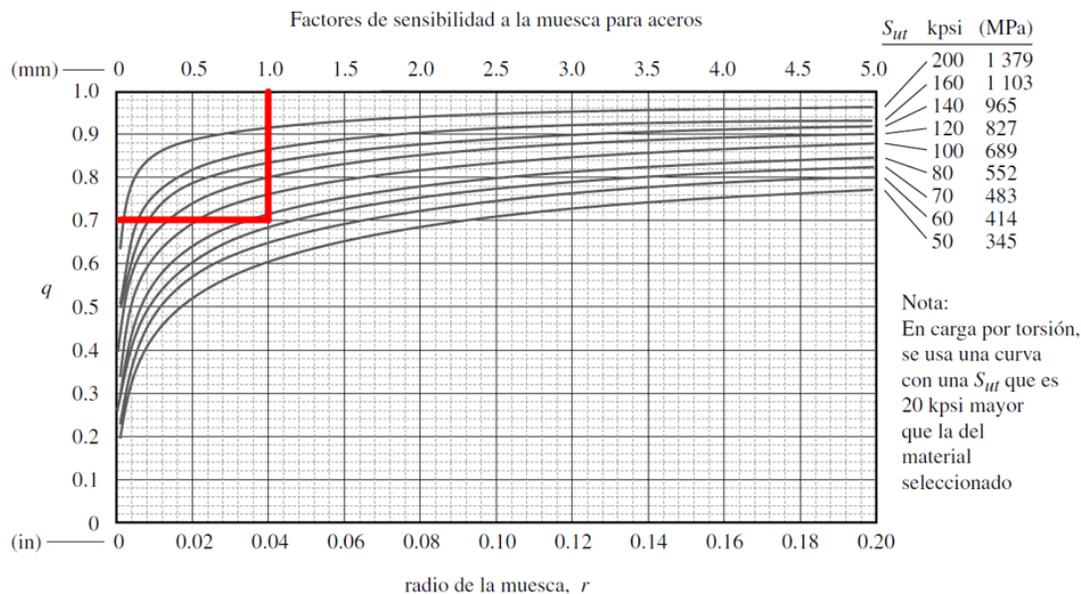
Cálculo de la sensibilidad de la muesca q para flexión.

Para obtener el valor de q para flexión usamos la Figura 58, el material de nuestro eje es AISI 304 con un $S_{ut} = 520$, y el radio de la muesca es $r = 1[mm]$

$$q = 0.7$$

Figura 58

Factores de sensibilidad a la muesca en aceros



Nota. Adaptado de, Curvas de sensibilidad a la muesca para aceros, calculadas a partir de las ecuaciones 4.13 con los datos de la figura 4-35, como lo propuso originalmente R. E. Peterson en “Notch Sensitivity”, capítulo 13, en Metal Fatigue, por G. Sines y J. Waisman McGraw-Hill, Nueva York, 1959.

Determinación de la sensibilidad de la muesca q_s para torsión.

Según (Norton, 2011) en casos de carga de torsión se usa una curva con un S_{ut} que es 20[Kpsi] mayor al material seleccionado.

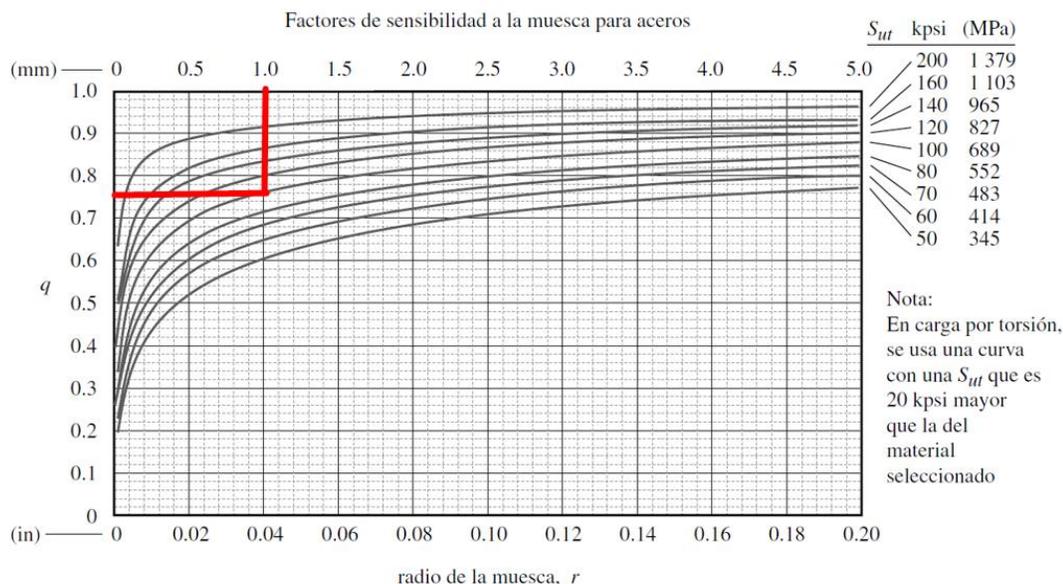
Nuestro S_{ut} vendría a ser:

$$S_{ut} = 520 [MPa] + 138 [MPa] = 658 [MPa]$$

$$q_s = 0.74$$

Figura 59

Factores de sensibilidad a la muesca en aceros



Nota. Adaptado de, Curvas de sensibilidad a la muesca para aceros, calculadas a partir de las ecuaciones 4.13 con los datos de la figura 4-35, como lo propuso originalmente R. E. Peterson en “Notch Sensitivity”, capítulo 13, en Metal Fatigue, por G. Sines y J. Waisman McGraw-Hill, Nueva York, 1959.

Determinación de los concentradores de esfuerzos para fatiga

A continuación, se obtendrá el factor de concentración de esfuerzos por fatiga con las ecuaciones (44) y (45).

$$K_f = 1 + q_f(K_t - 1) \quad (44)$$

$$K_{fS} = 1 + q_{fS}(K_{tS} - 1) \quad (45)$$

Aplicando los valores obtenidos anteriormente.

$$K_f = 1 + 0.7(1.6 - 1) = 1.42$$

$$K_{fS} = 1 + 0.74(1.35 - 1) = 1.259$$

A partir de la ecuación se encuentra que, en este caso, se debería usar el mismo factor sobre la componente del esfuerzo medio por torsión:

$$K_{fsm} = K_{fs}$$

Límite de resistencia a la fatiga

Obtendremos la resistencia a la fatiga S_e

$$S_e = C_{carga} \cdot C_{tamaño} \cdot C_{sup} \cdot C_{temp} \cdot C_{conf} \cdot S_{\dot{\epsilon}}$$

Factores de corrección para la resistencia a la fatiga teórica o el límite de resistencia a la fatiga. Para obtener $S_{\dot{\epsilon}}$ usaremos las ecuaciones de la Figura 60, como nuestro S_{ut} es 520[MPa] usaremos la ecuación (46).

$$S_{\dot{\epsilon}} = 0.5 * S_{ut} \quad (46)$$

Figura 60

Límites de resistencia a la fatiga

aceros:	$\left\{ \begin{array}{l} S_e \cong 0.5 S_{ut} \\ S_e \cong 100 \text{ kpsi (700 MPa)} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{para } S_{ut} < 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ \text{para } S_{ut} \geq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \end{array} \right.$
hierros:	$\left\{ \begin{array}{l} S_e \cong 0.4 S_{ut} \\ S_e \cong 24 \text{ kpsi (160 MPa)} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{para } S_{ut} < 60 \text{ kpsi (400 MPa)} \\ \text{para } S_{ut} \geq 60 \text{ kpsi (400 MPa)} \end{array} \right.$
aluminios:	$\left\{ \begin{array}{l} S_{f@5E8} \cong 0.4 S_{ut} \\ S_{f@5E8} \cong 19 \text{ kpsi (130 MPa)} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{para } S_{ut} < 48 \text{ kpsi (330 MPa)} \\ \text{para } S_{ut} \geq 48 \text{ kpsi (330 MPa)} \end{array} \right.$
aleaciones de cobre:	$\left\{ \begin{array}{l} S_{f@5E8} \cong 0.4 S_{ut} \\ S_{f@5E8} \cong 14 \text{ kpsi (100 MPa)} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{para } S_{ut} < 40 \text{ kpsi (280 MPa)} \\ \text{para } S_{ut} \geq 40 \text{ kpsi (280 MPa)} \end{array} \right.$

Nota. Tomado de, (Norton, 2011)

$$S_{\dot{\epsilon}} = 0.5 * 520[MPa] = 260[MPa]$$

Factor de carga:

$$\text{flexión:} \quad C_{carga} = 1$$

$$\text{carga axial:} \quad C_{carga} = 0.7$$

Como nuestro sistema está bajo una carga a flexión se tomará el valor de 1.

$$C_{carga} = 1$$

Factor de tamaño:

$$\text{para } d \leq 8 \text{ [mm]:} \quad C_{\text{tamaño}} = 1$$

$$\text{para } d < d \leq 250 \text{ [mm]:} \quad C_{\text{tamaño}} = 1.189d^{-0.097}$$

Como aun no tenemos definido el diámetro (Norton, 2011) recomienda usar el factor de tamaño como 1.

$$C_{\text{tamaño}} = 1$$

Factor de superficie:

Los acabados rugosos disminuyen la resistencia a la fatiga debido a la introducción d concentraciones de esfuerzos, para obtener este factor se hará uso de la ecuación (47)

$$C_{sup} = A * (S_{ut})^{-b} \quad (47)$$

Donde:

A y b: son coeficientes que se determina según el acabado superficial, ver Figura 61.

Figura 61

Coeficientes del factor de superficie

Acabado superficial	Para S_{ut} en MPa se usa		Para S_{ut} en kpsi (no psi) se usa	
	A	b	A	b
Esmerilado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o rolado en frío	4.51	-0.265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

Nota. Adaptado de (Norton, 2011).

$$C_{sup} = 4.51(520 \text{ [MPa]})^{-0.265} = 2.65$$

(Norton, 2011) Factor de temperatura:

Shigley sugiere las siguientes ecuaciones para obtener el factor de temperatura:

$$\begin{cases} \text{para } T \leq 450^{\circ}\text{C}: & C_{temp} = 1 \\ \text{para } 450 < T \leq 550^{\circ}\text{C}: & C_{temp} = 1 - 0.0058(T - 450) \end{cases}$$

Como el sistema va a ser usado en temperatura inferiores a 450°C tomamos:

$$C_{temp} = 1$$

Factor de confianza:

Usaremos un %99.99 de confiabilidad, haciendo uso de la Figura 62 se obtiene:

$$C_{conf} = 0.702$$

Figura 62

Factores de confiabilidad

Tabla 4-4

Factores de confiabilidad
para $S_d = 0.08 \mu$

% de confiabilidad	C_{conf}
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Nota. Adaptado de (Norton, 2011)

Calculamos la resistencia a la fatiga S_e .

$$S_e = 1 * 1 * 2.65 * 1 * 0.720 * 260 = 483.756[MPa]$$

Determinación del diámetro para el punto crítico aplicando la Teoría de falla

ASME. Para aplicar la ecuación (38) usaremos un factor de seguridad $N=5$.

$$d = \left\{ \frac{32 * 5}{\pi} * \left[\left(1.42 * \frac{1.01[N.m]}{483.756[MPa]} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1.259 * \frac{0.594[N.m]}{220 [MPa]} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 5.972 \times 10^{-3} [m] = 5.972 [mm]$$

Teoría de falla de Goodman modificada

$$d = \left\{ \frac{32 * 5}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(1.42 * 1.01)^2 + \frac{3}{4} (1.259 * 0.594)^2}}{483.756} + \frac{\sqrt{(1.42 * 1.01)^2 + \frac{3}{4} (1.259 * 0.594)^2}}{520} \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 6.842 \times 10^{-3} [m] = 6.842 [mm]$$

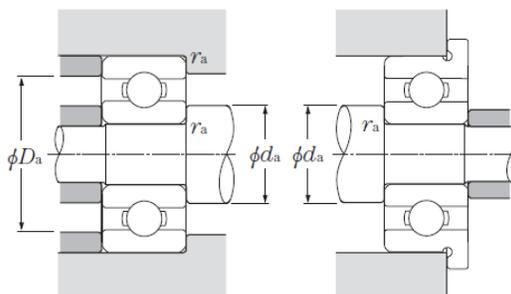
De las teorías de falla de ASME y Goodman modificado se obtuvo un diámetro de 5.972[mm] y 6.842[mm] respectivamente, siendo ASME una teoría optimista y Goodman modificada una teoría conservadora se elige el diámetro mayor o igual a 6.842[mm]. En esta sección del eje se aloja un rodamiento, según los catálogos de rodamientos NTN para rodamientos miniatura el diámetro interno de los rodamientos óptimos son: 6[mm] u 8[mm] por ende, el diámetro para esta sección del eje es $d_1 = 8[mm]$.

Como se observa en la Figura 45 se debe cumplir lo siguiente: $d_1 < d_2 < d_3$, con el fin de que el rodamiento y la tapa tengan donde apoyarse axialmente, nos basaremos en los parámetros de los diámetros de hombros permitidos para este rodamiento ver Figura 63 y Figura 64. Por lo cual el diámetro $d_2 = 10[mm]$ y el diámetro $d_3 = 12[mm]$.

Debido a que el eje conducido no está sometido a esfuerzos de fatiga, este se comporta como una viga simplemente apoyada, por ende, se utilizaran los mismos diámetros del eje motriz.

Figura 63

Montajes de los rodamientos



Nota. Tomado de, NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS, NTN, 2022.

<https://grupodoyma.com/catalogos-web/NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS.pdf>

Figura 64

Diámetros de hombros y filetes permitidos

Números de rodamientos						Dimensiones de hombros y filetes					Masa (aprox.)	
abiertos	una sola tapa	doble tapa	tipo brida abierto	tipo brida con una sola tapa	tipo brida con dos tapas	mm					g	
						min	d_a max ²⁾	D_a max	r_{as} max	abierta	tipo abierta con brida	
678A	W678AZ	ZZ	FL678A	FLAW678AZ	ZZ	8.8	9.1	11.2	0.1	0.75	0.86	
BC8-14	WBC8-14Z	ZZ	FLBC8-14	FLWBC8-14Z	ZZ	9.2	9.5	12.8	0.15	1.8	1.9	
688A	W688AZ	ZZ	FL688A	FLW688AZ	ZZ	9.6	10.0	14.4	0.2	3.1	3.5	
698	698Z	ZZ	FL698	FL698Z	ZZ	10	10.6	17	0.3	7.3	8.4	
608	608Z	ZZ	FL608	FL608Z	ZZ	10	12.2	20	0.3	12	13	
628	628Z	ZZ	—	—	—	10	12.1	22	0.3	17	—	

Nota. Adaptado de, NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS, NTN,

2022. <https://grupodoyma.com/catalogos-web/NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS->

[BOLAS-RODILLOS.pdf](https://grupodoyma.com/catalogos-web/NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS.pdf)

Selección de rodamientos

La selección del rodamiento se realizó con base al manual de rodamientos NTN en el cual se indica la relación entre fuerzas axiales y radiales que puede soportar los rodamientos. Además, se realizó la comprobación de vida útil.

Las fórmulas se encuentran en la pag.20 a la 23 (Capacidad de Carga y Vida) del manual de rodamientos NTN. En el Anexo B, se puede ver el proceso que indica el manual de rodamientos NTN.

A continuación, se dimensionará el rodamiento en el punto C.

$$n = 480 \text{ [rpm]}$$

$$F_r = \sqrt{R_{x1}^2 + R_{y1}^2}$$

$$F_r = \sqrt{(37.21)^2 + (30.89)^2} = 48.361 \text{ [N]}$$

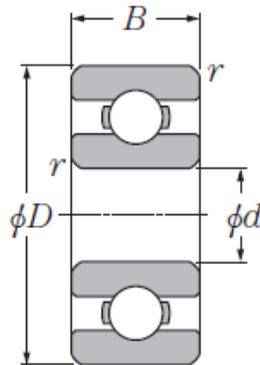
$$F_a = 0 \text{ [N]}$$

Para la selección de los rodamientos se ha de tomar en cuenta que las mayores cargas soportadas son en la posición del rodamiento.

El código **NTN F W688 ATZZ**

Figura 65

Dimensiones de un rodamiento rígido de bolas



Nota. Tomado de, *NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS*, NTN, 2022.

<https://grupodoyma.com/catalogos-web/NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS.pdf>

Se elige un rodamiento de acuerdo a su diámetro interno el cual debe coincidir con el diámetro del eje en el punto C, el rodamiento elegido tiene las siguientes características:

$$d = 8 [mm] \quad D = 16[mm] \quad B = 5 [mm]$$

$$Velocidad_{max} = 35000 [rpm]$$

$$C_r = 1610 [N]$$

$$C_{or} = 715 [N]$$

$$f_0 = 14$$

Donde:

C_r : capacidad básica de carga dinámica

C_{or} : capacidad básica de carga dinámica axial

f_0 : es un factor de diseño

La capacidad básica de carga dinámica muestra la capacidad de un rodamiento de asimilar carga dinámica. Dicha capacidad expresa la carga constante que un rodamiento puede soportar por un periodo de 1 millón de revoluciones.

Figura 66

Tabla de relaciones de cargas dinámicas y estáticas.

Carga radial dinámica equivalente
 $P_r = XF_r + YF_a$

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_{or}}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19				2.30
0.345	0.22				1.99
0.689	0.26				1.71
1.03	0.28				1.55
1.38	0.30	1	0	0.56	1.45
2.07	0.34				1.31
3.45	0.38				1.15
5.17	0.42				1.04
6.89	0.44				1.00

Carga radial estática equivalente

$$P_{or} = 0.6F_r + 0.5F_a$$

Cuando $P_{or} < F_r$ use $P_{or} = F_r$

Nota. Tomado de, NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS, NTN, 2022.

<https://grupodoyma.com/catalogos-web/NTN-CATALOGO-RODAMIENTOS-BOLAS-RODILLOS.pdf>

Carga radial dinámica y estática equivalente

La carga radial dinámica equivalente se expresa por la ecuación (48).

$$P_r = XF_r + YF_a \quad (48)$$

Donde:

P_r : Carga radial dinámica equivalente, N

F_r : Fuerza radial aplicada, N

F_a : Fuerza axial aplicada, N

X : Factor de carga radial

Y : Factor de carga axial

Los valores de X y Y , son listados en la tabla

La carga radial estática equivalente se expresa por la ecuación (49).

$$P_{or} = 0.6F_r + 0.5F_a ; \text{ Si } P_{or} < F_r; P_{or} = F_r \quad (49)$$

Vida nominal básica:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (50)$$

Donde:

L_{10} : vida nominal básica 10^6 revoluciones

C : capacidad básica de carga dinámica (C_r : para rodamientos radiales), N

P : Carga dinámica equivalente, (P_r : para rodamientos radiales), N

n : Velocidad de rotación, r.p.m.

A continuación, procedemos a calcular la carga y vida útil de los rodamientos

$$\frac{F_{ac}}{F_{rc}} = \frac{0 [N]}{48.361[N]} = 0[N]$$

$$\frac{F_{ac}}{F_{rc}} < e$$

Como $\frac{F_{ac}}{F_{rc}}$ es menor a los valores de e que se encuentran en la Figura 66,

obtenemos los siguientes valores para X y Y :

$$X = 1$$

$$Y = 0$$

Aplicando la ecuación (48) y (49) obtenemos:

$$P_{rc} = 1 * 48.361 = 48.361[N]$$

$$P_{orc} = 0.6 * 48.361 = 29.01[N]$$

$$\text{como } P_{orc} < F_{rc}$$

$$P_{orc} = 48.361[N]$$

Se utilizará un factor de seguridad $S_o = 3$

$$P_{rc} = 3 * P_{rc} = 145.083[N]$$

Aplicando la ecuación (50).

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 480} * \left(\frac{1610[N]}{145.083[N]} \right)^3 = 47450.236 h \quad (51)$$

Con una carga máxima de 48.361[N] el rodamiento tendrá una vida útil de 47450.236h. Para cumplir con la simetría del diseño se utiliza el mismo tipo de rodamiento en los demás apoyos.

Dimensionamiento de la chaveta

Como criterio de diseño para las chavetas se eligió el material Aluminio aleación 1060.

$$S_{y_{chaveta}} = 30 \text{ MPa}$$

Dimensiones de la chaveta seleccionada: **DIN 6885 A 51A-3-3-10**

$$w = 3 \text{ mm}$$

$$h = 3 \text{ mm}$$

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

Cálculo de cortante y esfuerzos:

$$F_{chaveta} = \frac{T_m \cdot 2}{d_1} \quad (52)$$

$$\tau_{chaveta} = \frac{F_{chaveta}}{L \cdot w} \quad (53)$$

$$\sigma_{aplastamiento_{chaveta}} = \frac{F_{chaveta} \cdot 2}{L \cdot h} = \quad (54)$$

Para calcular la fuerza aplicada a la chaveta debido a la torsión utilizaremos la ecuación (52).

$$F_{chaveta} = \frac{0.594[N \cdot m] \cdot 2}{8[mm]} = 275[N]$$

A continuación, se obtendrá el esfuerzo cortante

$$\tau_{chaveta 3} = \frac{275[N]}{10[mm] \cdot 3[mm]} = 9.167 [MPa]$$

$$\sigma_{aplastamiento_{chaveta 3}} = \frac{275[N] \cdot 2}{10[mm] \cdot 3[mm]} = 18.33 [MPa]$$

$$FS_{ssy_{chaveta}} = \frac{0.58 \cdot 30[MPa]}{9.167[MPa]} = 1.898$$

$$FS_{sy_{chaveta}} = \frac{30[MPa]}{18.33[MPa]} = 1.636$$

Los factores de seguridad tanto para esfuerzos cortantes como para esfuerzo de aplastamiento son superiores a 1 pero menor a 5 que es factor de seguridad del eje, con esto se prevé que el elemento que a fallar sea la chaveta.

Selección de la celda de carga

Antes de seleccionar una celda de carga se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones: capacidad máxima y mínima que requiere el sistema, ambiente de trabajo, tipo de pesaje o aplicación, tamaño de la plataforma, material de construcción, clase de precisión, tipo de señal de salida y tipo de protección.

Dimensionamiento de la capacidad mínima y máxima para evitar daños en la celda de carga. A continuación, se aplicará algunas fórmulas que entregan los fabricante de celdas (Utilcell, 2016) para poder obtener la capacidad nominal.

$$Capacidad\ nominal = \frac{K * Peso_{bruto}}{N} \quad [kg] \quad (55)$$

Donde:

K : es el coeficiente de seguridad [1~2.25]

$Peso_{bruto}$: es la suma del $Peso_{producto}$ y el $Peso_{muerto}$

N : es el número de apoyos sobre el que se sujeta la estructura de pesaje.

$Peso_{muerto}$: es el peso de la estructura que se encuentra sobre la celda.

$Peso_{producto}$: peso del producto, el máximo peso a medir.

Nota. Si el $Peso_{muerto}$ es superior al 50% del $Peso_{bruto}$ se recomienda usar el $k = 2$

Características de nuestro sistema:

- $Peso_{muerto} = 6[kg]$
- $Peso_{producto} = 1[kg]$
- $Peso_{bruto} = 7[kg]$
- Como el peso muerto es superior al 50% del peso bruto se usará un $k = 2$.
- El número de apoyos será 1.

Aplicando la ecuación (55) se obtiene la capacidad nominal para nuestro sistema.

$$Capacidad\ nominal = \frac{2 * 7[kg]}{1} = 14 [kg]$$

Consideraciones para seleccionar la celda de carga.

- Trabajo en interiores, temperatura: [0 a 40] °C ,rango de temperatura en Ecuador.

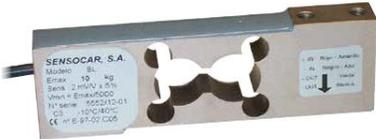
- Capacidad de carga:14 [kg].
- Tamaño de la plataforma de pesaje: 270x355[mm].
- Número mínimo de divisiones 3000.
- Pesaje dinámico (checkweigher), cargas en dirección vertical.
- Material para ambientes industriales (acero inoxidable o aluminio).
- Salida Analógica.
- Protección para trabajar en la industria alimenticia.

Analizando los requerimientos anteriores se puede seleccionar el tipo de celda a usar, para esta aplicación el tipo de celda debe ser de Unipunto o también llamado off-center, esta celda se utiliza para pesaje de cargas pequeñas y medianas de hasta 2000[kg].

Debido a que la empresa Precisión Ingeniera Industrial cuenta con varios modelos y tipos de celdas, nos proporcionaron las celdas de carga BP022 y BL-C, en la Tabla 22 se presenta las características importantes.

Tabla 22

Características de las celdas de cargas

	BP022 Baykon	BL-C SENSOCAR
Imagen referencial		
Número de celda	Celda 1	Celda 2
Tipo de celda	Unipunto off-center	Unipunto off-center
Intervalos de verificación	3000	6000
Señal de salida	Analógica	Analógica
Capacidad	15 [kg]	18 [kg]
Material	Aluminio	Acero inoxidable, tratamiento anticorrosión de níquel químico

Máximo tamaño de plataforma	250x350 [mm]	380x380 [mm]
Protección	IP65	IP67
Tamaño	22x130x30[mm]	40x125x16[mm]
Sensibilidad	2.0 ± 0.2 [mV/V]	2.0 ± 0.2 [mV/V]
Temperatura de operación	[-20 ~50°C]	[-20 ~70°C]
Voltaje de excitación	[5 ~15 V]	[5 ~15 V]
Sobrecarga segura	22.5[kg]	N/A

Tabla 23

Selección de la celda de carga.

Criterio	Celda	Peso %	Celda 1		Celda 2	
			Calif	Parcial	Calif	Parcial
Precisión		30	2	0.6	4	1.2
Disponibilidad		10	4	0.4	4	0.4
Facilidad de puesta en marcha		5	3	0.15	3	0.15
Costo (mayor costo/menor calif)		15	2	0.3	3	0.45
Tamaño (menor tamaño/mayor calif)		5	2	0.1	2	0.1
Área de pesaje (mayor área/mayor calif)		20	3	0.6	4	0.8
Grado de protección		15	3	0.45	4	0.6
		100		2.6		3.7

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 23, podemos deducir que la mejor opción para la celda de carga es la celda 2 BL-C SENSOCAR, siendo su precisión la característica más importante para ser elegida.

Diseño del bastidor

A continuación, se diseñará el bastidor, se hará uso del software SolidWorks Simulation en el cual se realizar dos tipos de análisis: análisis estático y análisis de frecuencia, como el bastidor está compuesto de tubos cuadrados se utiliza un mallado de viga, como estos elementos son homogéneos y tiene una sección transversal constante en toda su longitud no se aplicará ningún método adaptivo.

El bastidor está conformado de tubo cuadrado $40 \times 40 [mm]$ con un espesor de $2 [mm]$ y un radio de $5 [mm]$, el material es acero inoxidable AISI 304 con las siguientes características mecánicas: $S_{ut} = 520 [MPa]$, $S_y = 220 [MPa]$.

En la Tabla 24 se muestra el peso de cada uno de los elementos que van a ir sobre el bastidor.

Tabla 24

Masas de los elementos que van sobre de la estructura

Elemento	Masa
Masa de las tres bandas	18.35[kg]
Masa de los soportes de las bandas	1.30[kg]
Masa del tablero eléctrico y componentes electrónicos.	30[kg]
Masa de la base de la estructura	8.48[kg]
Masa del sistema de rechazo	6[kg]
Masa Total	62.91[kg]

Figura 67

Modelo 3D del bastidor



Análisis Estático

Realizado el modelo 3D, se procederá a crear un análisis estático, se definirá las condiciones de contorno del sólido en donde se aplicará sujeciones inamovibles en cada una de las bases de las columnas, se aplicarán las siguientes tres fuerzas:

Tabla 25

Fuerzas aplicadas en el bastidor

Causas de las fuerzas	Masa [kg]	Fuerza [N]
Fuerza debido a los componentes que van montados sobre el bastidor	32	313.8128
Fuerza debido a la masa del tablero eléctrico.	30	294.3
Fuerza debido al peso del bastidor	20	196.2

Figura 68

Condiciones de contorno

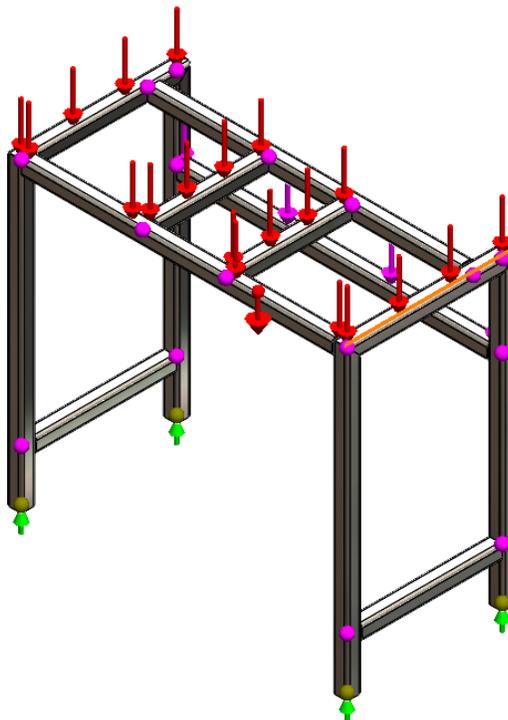
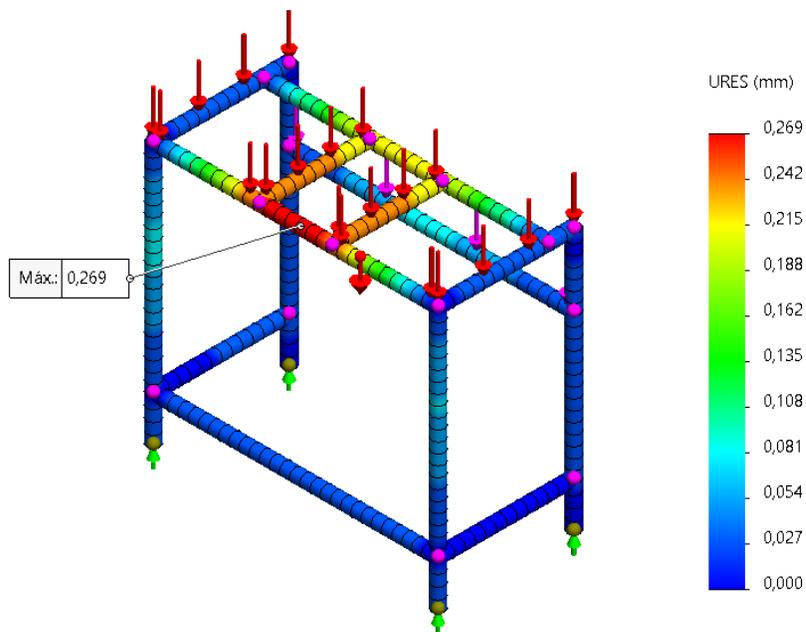
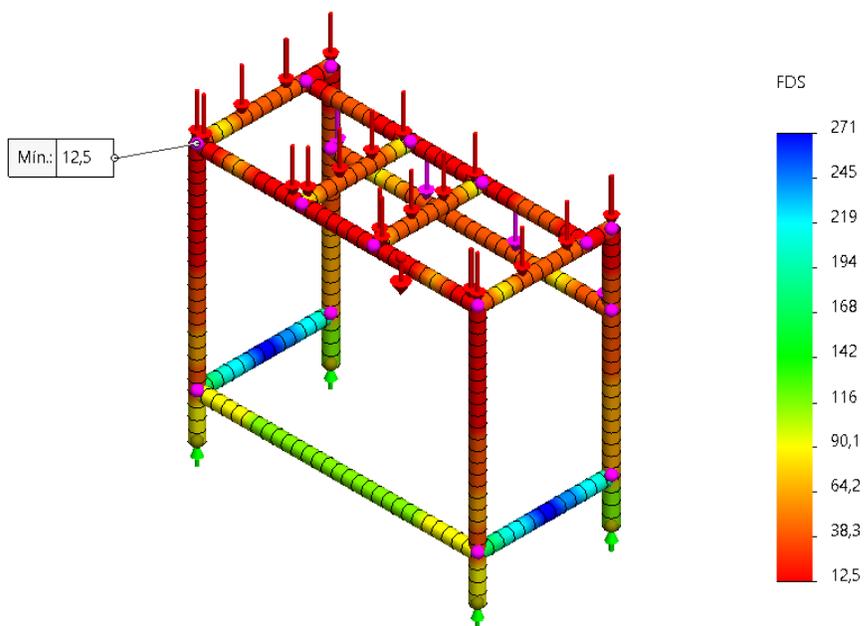


Figura 69

Simulación de los desplazamientos generados por las cargas.

**Figura 70**

Simulación del factor de seguridad



Resuelto el análisis estático, se puede concluir que los desplazamientos son insignificantes ver Figura 69, el desplazamiento máximo es de 0.269[mm], finalmente en

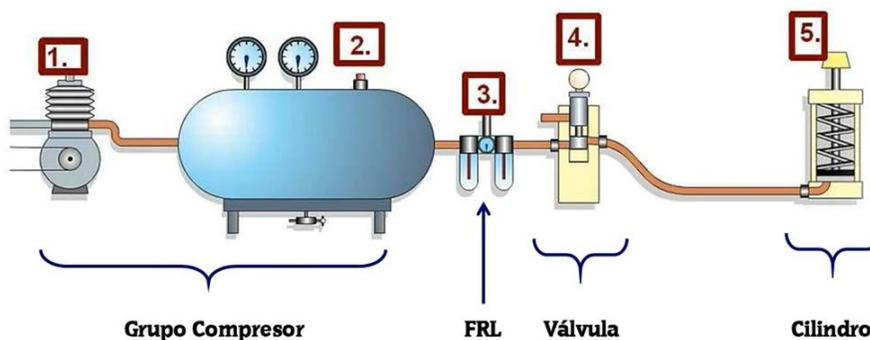
la Figura 70 se observa el factor de seguridad, como se observa es mayor a 3 que es lo recomendable. Debido a que la empresa contaba con los tubos de acero inoxidable, se procedió a hacer el diseño con base en este.

Diseño del sistema neumático

El sistema neumático del checkweigher, es el encargado de realizar el rechazo de productos o paquetes que no cumplen con una condición de pasa/no pasa, preestablecida por el controlador lógico. Para la implementación de este sistema de rechazo accionado por un cilindro neumático, es necesario disponer de una línea de alimentación de aire a una presión de 6[bar] puesto que no forma parte del equipo como tal, a diferencia de otros componentes como lo son la unidad de mantenimiento FRL, la válvula de control direccional y el cilindro neumático. Un esquema de estos elementos se muestra en la Figura 71.

Figura 71

Sistema neumático para el rechazador



Nota. Tomado de, Sistemas neumáticos, Neheyler Mechatronics, 2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=gbQ3JBcjHFI>

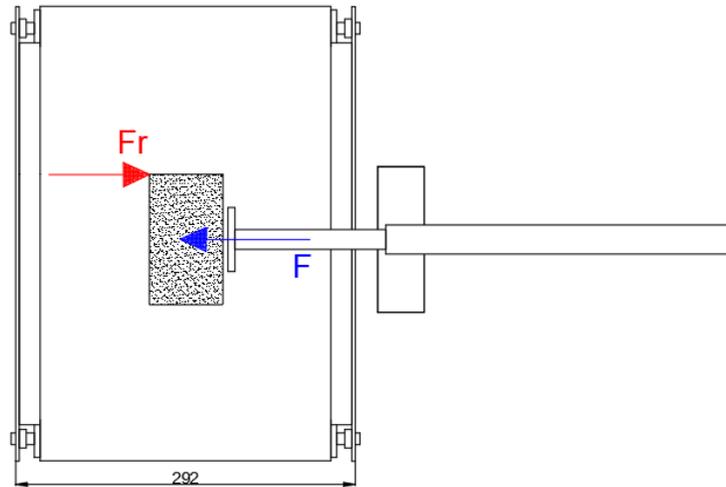
Dimensionamiento y selección del cilindro neumático

Asumiendo una presión de aire a 6 [bar], determinamos la fuerza requerida para desplazar un producto de 1[Kg] fuera de la cinta transportadora de 292mm y el diámetro

mínimo del cilindro necesario. En la Figura 72, se muestra las fuerzas que se oponen a la fuerza del cilindro.

Figura 72

Diagrama de fuerzas para el cilindro neumático



A partir del diagrama de fuerzas, tenemos:

$$F = Fr \quad (56)$$

Donde, F es la fuerza necesaria para retirar el producto y Fr es la fuerza de rozamiento entre el producto y la cinta transportadora.

$$F = \mu \cdot N \quad (57)$$

$$F = 0.8(9.81 N)$$

$$F = 7.84 [N]$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} \quad (58)$$

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot P}} = \sqrt{\frac{7.84 N}{\pi(600000 Pa)}}$$

$$r = 4.16 [mm]$$

Por lo tanto, requerimos un cilindro con un diámetro mínimo de 8.32[mm] capaz de brindar una fuerza mínima de 7.84 [N] y con una carrera de al menos 250mm.

Selección de componentes

Tabla 26

Componentes para el sistema neumático de rechazo

Cilindro neumático	
Marca	Airtac
Denominación	MI16x250 S CA
Tipo	Doble efecto
Diámetro cilindro	16mm
Diámetro vástago	6mm
Fluido	Aire (filtrado por 40um)
Presión de trabajo	1.5-10 bar
Temperatura de trabajo	-20° a 70° C
Carrera	250mm
Tolerancia de la carrera	0-150 (+1.0) >150 (+1.5,0)
Racores	M5x0.8
Norma	ISO6432
Material	Acero inoxidable
Electroválvula	
Marca	Airtac
Modelo	MV210
Tipo	5/2 retorno por muelle
Fluido	Aire (filtrado por 40um)
Presión de trabajo	21-114psi
Temperatura de trabajo	-20° a 70° C
Max. Frecuencia	3ciclos/s
Peso	120g
Racores	1/4x8
Material	Aleación de aluminio
Unidad de mantenimiento	
Marca	Airtac
Modelo	GAC200-C-06
Grado de filtro	40um
Fluido	aire
Presión de trabajo	20-130psi
Temperatura de trabajo	-5° a 70°C
Capacidad del tanque de drenaje	25CC
Capacidad del tanque de aceite	36CC
Lubricante recomendado	ISO VG 32 o equivalente
Peso	750G

Componentes	Filtro-GAF30010 Regulador-GAF30010 Lubricador-GAF30010
-------------	--

Diseño del sistema eléctrico, electrónico y de control

En este apartado se desarrolla la selección de los componentes y piezas que integran los sistemas de pesaje, sistema de mando y diseño de HMI.

Selección de componentes

Selección del PLC (Controlador Lógico Programable)

Para controlar el sistema se requiere que el PLC cuente con los siguientes parámetros:

- Número de entradas digitales: 4 a 24[VDC].
- Número de salidas digitales: 6 tipo relé.
- Nivel de alimentación: 110[VAC].
- Índice de protección: superior a IP55.
- Capacidad de ampliaciones futuras.
- Comunicación Modbus TCP/IP.

La empresa Ingeniería Precisión Industrial nos proporcionó los siguientes controladores: PLC S7-1200-cpu 1212C AC/DC/Relé y el Logo! 8 12/24 RCE

Tabla 27

Características importantes de los controladores

Nombre	S7-1200-cpu 1212C AC/DC/Relé	Logo! 8 12/24 RCE
Imagen referencial		
Alimentación	110/220 VAC	12/24

Memoria de trabajo	75 KB	75 KB
Entradas digitales	8DI a 24VDC	8DI a 24VDC
Salidas digitales	6DO tipo relé	4DO tipo relé
Entradas analógicas	2AI (voltaje)	4AI (voltaje)
Contadores rápidos	3@100KHz y 3@30KHz	N/A
Comunicación integrada	Profinet/Industrial Ethernet, Modbus TCP	Profinet/Industrial Ethernet, Modbus TCP

Nota. Tomado de Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos (febrero 1 de 2021), Siemens.

Tabla 28

Selección del Controlador lógico programable

Criterio	PLC	Peso %	PLC 1		PLC 2	
			Calif	Parcial	Calif	Parcial
Capacidad de memoria		20	4	0.8	2	0.4
Disponibilidad		10	4	0.4	4	0.4
Facilidad de puesta en marcha		10	4	0.4	3	0.3
Costo (mayor costo/menor calif)		20	1	0.2	4	0.8
Capacidad de ampliación		15	4	0.6	2	0.3
Disponibilidad del software		15	3	0.45	3	0.45
Grado de protección		10	3	0.3	3	0.3
		100		3.15		2.95

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal. PLC 1: S7-1200-cpu 1212C AC/DC/Relé, PLC 2: Logo! 8 12/24 RCE.

De acuerdo a la Tabla 28, podemos observar que el PLC S7-1200 es la mejor opción, siendo su capacidad de memoria y la capacidad de ampliación las características más importantes para ser elegida.

Selección de la HMI (Interfaz Humano-Maquina)

La HMI a usar en el sistema debe tener los siguientes parámetros:

- Tamaño de display: mínimo 7 pulgadas.
- Pantalla táctil.
- Puertos de comunicación: Modbus TCP.

- Puerto USB.
- Alimentación 24VDC.
- Servicio de base de datos.
- Disponibilidad de acceso remoto.
- Índice de protección: superior a IP55

La empresa Precisión Ingeniería Industrial nos proporcionó las siguientes HMI's:

CMT3072X Weintek y la KTP700 PN Basic Siemens.

Tabla 29

Características importantes de las HMI proporcionadas.

Nombre de la HMI	CMT3072X ^a	KTP700 PN Basic ^b
Imagen referencial		
Numero de HMI	HMI 1	HMI 2
Tamaño de display	7 pulgadas	7 pulgadas
Pantalla	TFT ^c , 17.6M de colores.	TFT ^c , 64000 colores.
Alimentación	24 VDC	24VDC
Consumo	800mA	230mA
Elemento de mando	Pantalla táctil.	Pantalla táctil y 8 teclas de función.
Memoria	64 MB	10 MB
Puertos de comunicación	Profinet/Industrial Ethernet (RJ45), RS-485 2W/4W, CAN Bus, RS-232 2W/4W	Profinet/Industrial Ethernet (RJ45)
Memoria de recetas	Flash integrada 4GB	Flash integrada 256KB
Índice de protección	IP66 (en la parte frontal)	IP65 (en la parte frontal)
Puerto USB	Si	Si
Software de programación	EasyBuilder Pro V6.04.02 (gratis)	TIA PORTAL WinCC Basic V16. (de pago)

Nota. ^a Tomado de, *Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos (febrero 1 de 2021)*, Siemens. ^b Tomado de, *cMT3072X_Datasheet_ENG_20200706*, Weintek.

^c TFT (Thin Film Transistor, Transistor de película delgada).

Tabla 30

Selección de la HMI.

Criterio	HMI	Peso %	HMI 1		HMI 2	
			Calif	Parcial	Calif	Parcial
Capacidad de memoria		10	4	0.4	2	0.2
Disponibilidad		10	4	0.4	4	0.4
Facilidad de puesta en marcha		5	2	0.1	4	0.2
Costo (mayor costo/menor calif)		30	4	1.2	2	0.6
Rendimiento		15	3	0.45	2	0.3
Disponibilidad del software		20	4	0.8	2	0.4
Grado de protección		10	3	0.3	3	0.3
		100		3.65		2.4

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal. La HMI 1 es CMT3072X, la HMI 2 es KTP700 PN Basic.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 30, podemos deducir que la mejor opción es la HMI CMT3072x, siendo su costo la característica más importante para ser elegida.

Selección del transmisor de peso

Para la tarea de acondicionamiento de la señal analógica proveniente de la celda de carga, se utilizará un transmisor el cual realiza todas las etapas del acondicionamiento y como resultado, genera en sus salidas una señal digital que puede ser leída por un controlador lógico a partir de la comunicación serial entre ambos.

Para la selección del transmisor se requieren los siguientes parámetros:

- Alimentación 24VDC.
- Comunicación serial.
- Alta velocidad del convertidor analógico digital, mínimo 320 veces/seg.
- Filtros digitales integrados.
- Alta resolución.

Tabla 31

Características de los transmisores de peso

Nombre	WTM-500 CAS	SWIFT PANEL RS UTILCELL
Imagen referencial		
Alimentación	10~24 VDC	10~28 VDC
Consumo	70 mA	60 mA
Montaje	Riel DIN	Panelable
Resolución	1/10.000	1/100.000
Velocidad del A/D	1600 veces/seg	2400 veces/seg
Protocolos de comunicación	Ethernet/Modbus (RS485, RS232, TCP/IP).	Modbus RTU
Filtros digitales	Pasa bajos, pasa bandas, Filtro aditivo	Filtro pasa bajos.
Entradas y salidas	2 DI, 4 DO	3DI, 3DO
Conexión con la celda de carga	4 o 6 hilos	4 o 6 hilos
Configuración	PC, teclas del instrumento	PC, teclas del instrumento
Temperatura de operación	-10 ~ 40 °C	-20 ~ 50 °C

Nota. Tomado de CAS WTM500, CAS, 2021. <http://www.globalcas.com>, Tomado de UTILCELL SWIFT PANEL, 2022. <https://www.utilcell.es/en/electronic-accessories/swift/>

Tabla 32

Selección del Transmisor

Criterio	Transmisor	Peso %	Transmisor 1		Transmisor 2	
			Calif	Parcial	Calif	Parcial
Resolución		20	2	0.4	4	0.8
Disponibilidad		10	3	0.3	3	0.3
Facilidad de puesta en marcha		5	4	0.2	4	0.2
Costo (mayor costo/menor calif)		20	3	0.6	4	0.8

Capacidad de filtrado	20	3	0.6	5	1
Velocidad del ADC	20	3	0.6	5	1
Grado de protección	5	3	0.15	3	0.15
	100		2.85		4.25

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal. Transmisor 1: WTM-500, Transmisor 2: SWIFT PANEL RS UTILCELL.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 32, podemos deducir que la mejor opción es el transmisor SWIFT PANEL RS siendo la capacidad de filtrado y la velocidad del ADC las características más importantes para ser elegida.

Selección del sensor de proximidad

Para la selección del Sensor de Proximidad que es el encargado de detectar los productos al inicio de la banda de pesaje, se realiza una evaluación para determinar cuál es el sensor que más conviene de acuerdo a sus características técnicas y criterios económicos para determinar así cual sensor se utilizará.

Parámetros que debe tener el sensor de proximidad:

- Alcance: mayor a 25cm.
- Naturaleza de materiales a detectar: todos
- Grado de protección mayor a IP50.

Tabla 33

Selección del tipo de sensor.

Criterio	Sensor	Peso %	Inductivo		Capacitivo		Fotoeléctrico		Ultrasónico	
			Calif	Parcial	Calif	Parcial	Calif	Parcial	Calif	Parcial
Alcance		40	1	0.4	1	0.4	4	1.6	4	1.6
Facilidad de puesta en marcha		10	4	0.4	4	0.4	4	0.4	3	0.3
Costo (mayor costo/menor calif)		20	4	0.8	4	0.8	2	0.4	2	0.4
Naturaleza de materiales detectados		20	1	0.2	3	0.6	4	0.8	4	0.8
Grado de protección		10	2	0.2	2	0.2	3	0.3	3	0.3
		100		2		2.4		3.5		3.4

Nota. 0 Muy malo, 1 Malo, 2 Bueno, 3 Muy bueno, 4 Ideal.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 33, podemos deducir que la mejor opción es el sensor fotoeléctrico, siendo el alcance y la facilidad de puesta en marcha las características más importantes para ser elegido.

Se usará el sensor BJ300-DDT-P de la marca Autonics el cual se encuentra disponible en el mercado nacional.

Tabla 34

Características del sensor a usar.

Nombre del sensor	BJ300-DDT-P Autonics
Imagen de referencia	
Tipo de sensor	Fotoeléctrico, difuso
Alcance	30 cm
Alimentación	12-24 VDC
Salida	PNP-NA
Modo de operación	Light ON/Dark ON
Índice de protección	IP 65

Configuración del Transmisor de peso

El transmisor ofrece dos modos de configurar, mediante el software y mediante las teclas del instrumento, se utilizará las teclas del instrumento para calibrar el peso y las configuraciones de comunicación, por otro lado, se utilizará el software para la sintonización y configuración de los filtros digitales, para lo cual se seguirán los siguientes pasos:

Conexión física con la celda de carga

En la Tabla 35 se observa la forma de conectar la celda de carga con el transmisor, como nuestra celda de carga es de 4 hilos, EXC- debe ir puenteado con

SEN- y EXC+ debe ir puenteado con SEN+, las señales SEN+ y SEN- se utilizan para compensar pérdidas ya sean por temperatura o por longitud del cable.

Tabla 35

Conexión de la celda de carga con el transmisor

Designación	Número de pin	Código célula UTICELL
SIG+	21	Rojo
SIG-	22	Blanco
SENSE+	23	Verde (puente con EXC+)
SENSE-	24	Negro (puente con EXC-)
EXC-	25	Negro
EXC+	26	Verde
SHIELD	20	Malla

Nota. Adaptado de *Manual Swift_V1.006X_ES_UTILCELL,2017.*

Calibración de peso.

Para calibrar el peso usaremos el manual de usuario del transmisor, en donde se configurar los siguientes parámetros:

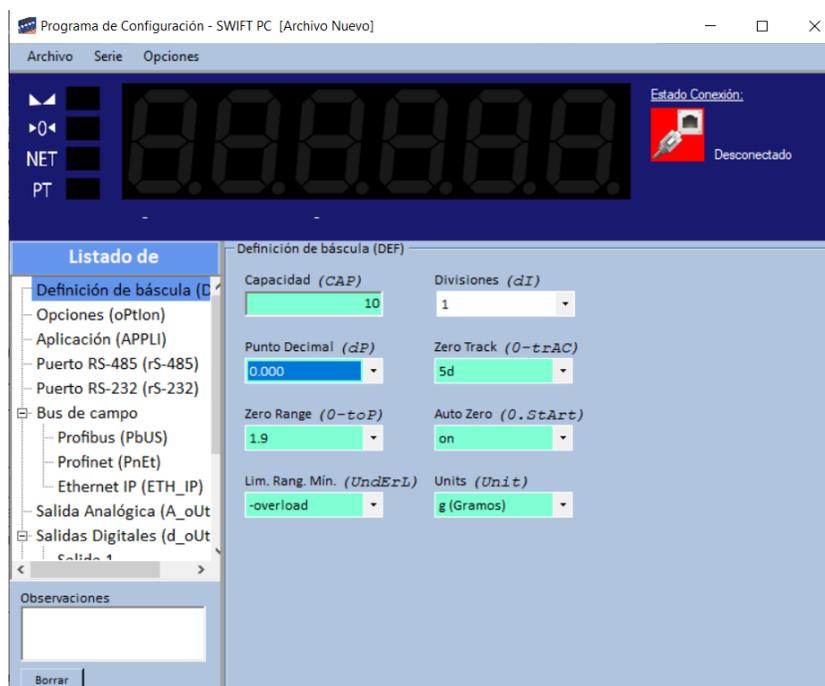
Tabla 36

Parámetros para la calibración de peso.

Parámetro	Configuración
Capacidad máxima de la báscula MAX (CAP):	10 [kg]
Valor del escalón de la báscula dI (DIV):	1
Punto decimal DP (dp):	0.001
Unidad (Unit):	g
Peso de la carga patrón:	1[kg]

Figura 73

Calibración del peso usando el software SWIFT-PC.



- Configuración de los parámetros de comunicación

Para poder acceder al dispositivo mediante el software se requiere la configuración de la comunicación, se utilizará la comunicación Modbus RTU protocolo RS485, en donde se configuran los siguientes parámetros:

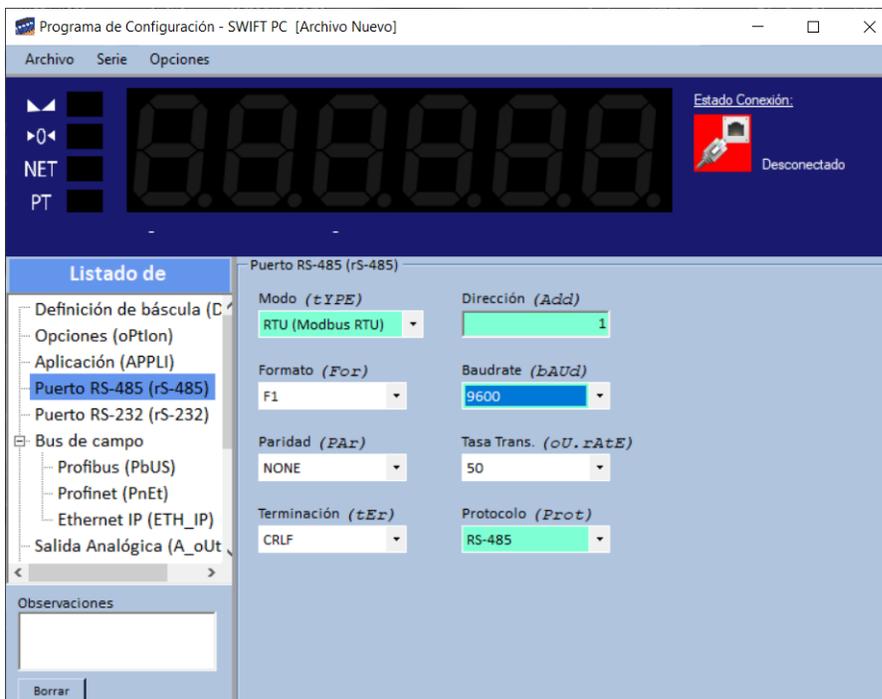
Tabla 37

Parámetros de comunicación del transmisor.

Parámetro	Configuración
Modo:	RTU
Dirección:	1
Baud:	9600
Paridad:	none (8 bits datos, sin paridad)
Protocolo:	RS-485
Tasa de transmisión:	50

Figura 74

Configuración de los parámetros de comunicación (Modbus RS-485) usando el software SWIFT-PC.



3. Configuración de los parámetros para el pesaje dinámico

En los sistemas de pesaje dinámico se requiere una buena precisión por lo cual el sistema debe superar vibraciones, perturbaciones que son generadas por los motores y la estructura, para solucionar este problema se aplicara filtros digitales los cuales vienen integrados en el transmisor de peso SIWFT PANEL RS, se hará uso del software (SWIFT PC) proporcionado por el fabricante del transmisor para configurar los parámetros deseados.

En la Figura 75 ingresaremos los parámetros de configuración para el modo checkweigher.

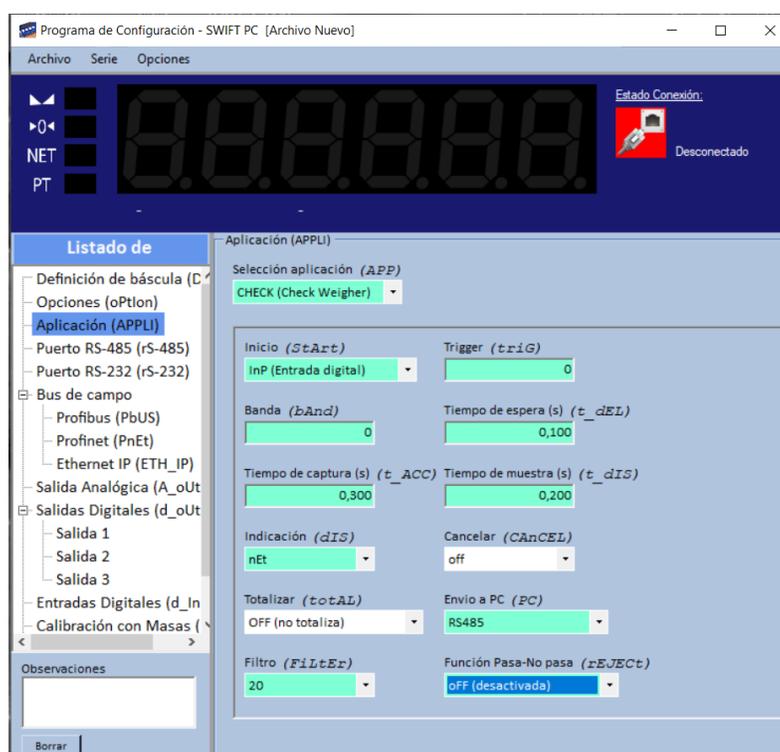
Tabla 38

Parámetros de configuración para el pesaje dinámico

Parámetro	Configuración
Inicio:	(Inp) Entrada digital
Tiempo de espera:	100 [ms]
Tiempo de captura:	300 [ms]
Tiempo de muestra:	200 [ms]
Indicación:	nEt (peso neto)
Comunicación:	Modbus RTU RS-485
Grado de Filtro	20

Figura 75

Configuración de los parámetros para el modo de pesaje dinámico, usando el software SWIFT-PC.



Aplicando estos parámetros logramos eliminar de manera significativamente las vibraciones en el sistema.

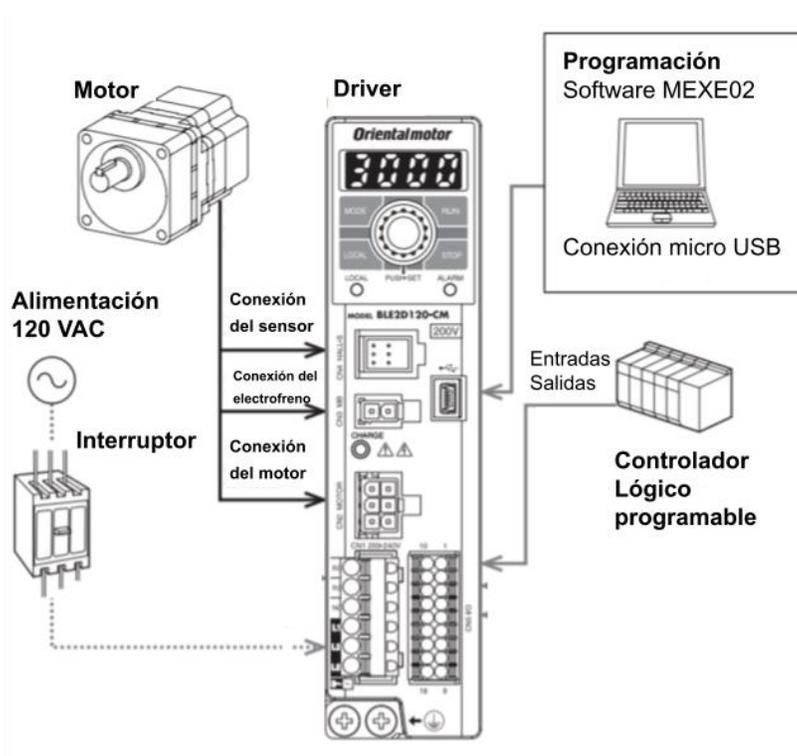
Comunicación del PLC con el motor

Para la comunicación del PLC con el motor será mediante las salidas relé del PLC, como son tres motores se requiere de 3 salidas, una salida para encender y apagar los motores, dos salidas para configurar la velocidad, el driver seleccionado permite configurar 4 velocidades.

A continuación, en la Figura 76 se puede observar el esquema de conexión del motor con el driver, el driver tiene dos modos de configuración: mediante el software MEXE02 o mediante las teclas del instrumento, la configuración se lo hará mediante las teclas de instrumento.

Figura 76

Conexión del motor con el driver.



Nota. Adaptado de (Oriental motor, 2022)

Comunicación del PLC con la HMI (Modbus TCP/IP)

Para la comunicación entre los componentes principales: PLC y la HMI se utilizará el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, la conexión se realizará mediante una topología estrella, los tres componentes estarán conectadas directamente a un punto central que es el Switch.

Un protocolo de comunicación industrial es un conjunto de reglas que permiten las interferencias e intercambios de datos entre varios dispositivos que forman una red. (Estrada, 2019).

Modbus TCP/Ip: Es una estructura creada por Modicon, se usa para establecer una conexión entre cliente y servidor, Modbus TCP/IP está diseñado para conectar equipos industriales como PLC's, drives, Pc. El protocolo Modbus es una estructura de mensajería, es un estándar de facto, verdaderamente abierto y el protocolo de red más utilizado en el entorno de fabricación industrial (*Modbus, 2004*).

Códigos de Función

Estos códigos permiten al dispositivo servidor intercambiar información con los clientes, sea para escribir o para leer registros, cumplen una acción específica, en la Figura 77 se puede observar los códigos más significantes.

Figura 77*Códigos de función Modbus*

Código	Nombre	Descripción
01	Leer estado de bit	Permite leer el valor de los bits de salida
02	Leer estado de entrada	Permite leer el valor de los bits de entrada.
03	Leer registros de retención	Permite leer el valor de palabra de los registros de retención.
04	Leer registro de entrada	Permite leer el valor de palabra de los registros de entrada.
05	Escribir bit de salida	Permite escribir 1 bit de salida
06	Escribir registro de retención	Permite escribir 1 registro de retención
07	Leer estado de excepción	Permite leer el estado de 8 bits de excepción.
08	Funciones de Diagnostico	Permite a través de subfunciones cumplir tareas de diagnóstico en los esclavos.
11	Contador de Eventos	Permite reconocer si el esclavo ha manejado correctamente los mensajes a través de un registro contador de eventos.
12	Registrador de Eventos	Retorna una palabra de estado, contador de eventos, contador de mensajes y un campo de eventos de byte.
15	Escribir varios bits de salida	Permite escribir varios bits de salida.
16	Escribir varios registros	Permite escribir 1 o más registros de retención.

Nota. Tomado de, *Códigos de función Modbus*, (Sarmiento, 2016).

Figura 78*Conexión de la comunicación del sistema mediante una topología estrella***Tabla 39***Características del sistema de comunicación*

Característica	Configuración
Medio físico	Cable par trenzado Cat 6, conector Rj45

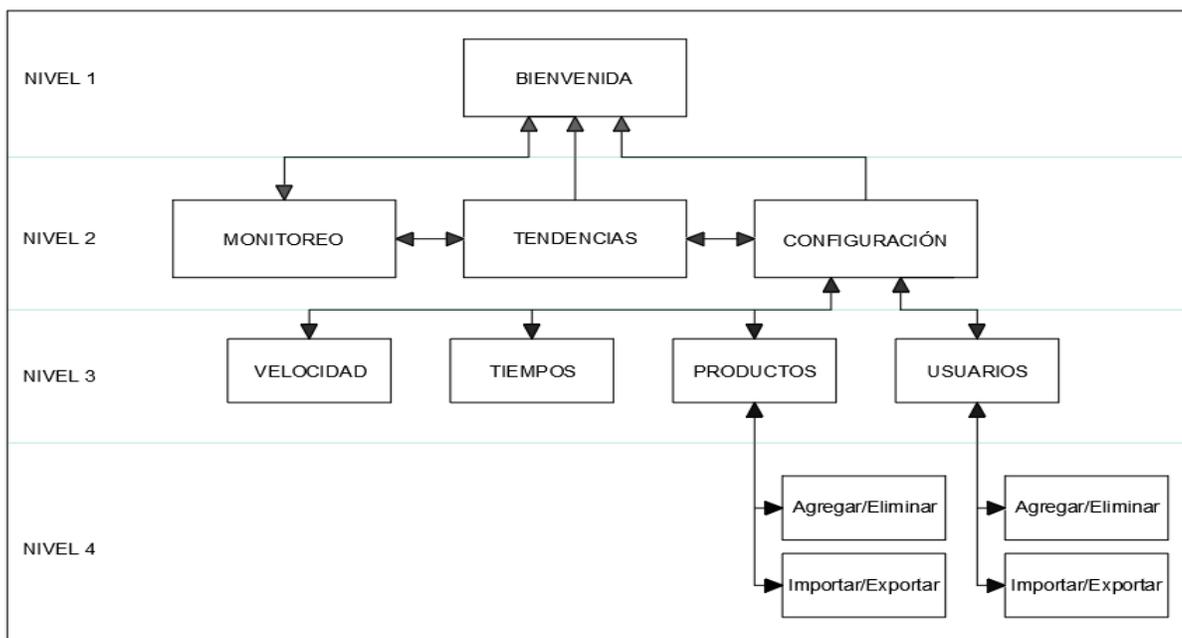
Método de acceso al medio	Sondeo y selección.
Velocidad de transmisión	100Mbps/s
Sistema de control	Centralizado

Diseño de la interfaz de la HMI

El diseño de la interfaz gráfica para monitoreo, se realiza en la pantalla HMI de la marca Weintek. Posee una pantalla táctil de 7" dos puertos de comunicación RJ45 y dos puertos de comunicación serial DB9. El diseño de la HMI se ha realizado con base en la guía GEDIS y en los requerimientos de la empresa, para lo cual se plantea la arquitectura presentada en la Figura 79, en la cual se definen de manera general las diferentes pantallas con la que cuenta la HMI para la interacción del operador con el proceso de pesaje. Este diagrama establece las relaciones de navegación entre cada una de las pantallas disponibles.

Figura 79

Arquitectura de navegación de pantallas.



En el desarrollo de cada una de las pantallas, se cumple con las siguientes directrices según la guía GEDIS

- Se cumple lo establecido por el diagrama de Gutenberg. Arriba/abajo, izquierda/derecha
- Información importante arriba
- Densidad de gráficos menor al 50%
- Teclas de navegación en una posición fija para todas las pantallas
- Se utiliza una sola fuente en la interfaz
- Tamaño de fuente mayor a 8pts
- No se utilizan más de tres tamaños de fuente en una misma pantalla.
- Color de texto siempre en contraste con el fondo
- Combinación de colores con alto contraste.

Pantalla de bienvenida

Es la pantalla inicial que se presenta al usuario. En esta pantalla el operador debe ingresar su usuario y contraseña para comenzar el proceso de pesaje.

Dependiendo el nivel de acceso del usuario que ingresa, se activará o no el acceso a la pantalla de configuración.

En la Figura 80 se muestra la pantalla de bienvenida, la cual permite el ingreso de dos cadenas de texto correspondientes al usuario y contraseña, posee dos pulsadores para iniciar o cerrar sesión y dos luces indicadoras, una de color verde para indicar el acceso correcto y un indicador de color rojo para indicar el acceso incorrecto o cierre de sesión.

Figura 80*Pantalla de bienvenida e ingreso*

- 1) Logotipo de la empresa
- 2) Campo de ingreso de usuario
- 3) Campo de ingreso de la contraseña
- 4) Indicador de acceso correcto
- 5) Indicador de acceso incorrecto
- 6) Botón de ingreso
- 7) Botón de salida
- 8) Botón siguiente ventana

Pantalla de monitoreo

Es la pantalla principal del sistema. En esta se muestra el peso en tiempo real del producto que pasa sobre la cinta transportadora. Permite la consulta de parámetros de un producto en específico a partir del ingreso del ID del producto. Si el producto buscado existe en la base de datos local (base de datos en la memoria de la HMI), se

muestra la información correspondiente a los pesos, mínimo, nominal y máximo, además de la descripción del producto.

Para comenzar con el proceso de pesaje, se debe ingresar el lote de producción del día, se selecciona además una velocidad de operación y a continuación presionar el botón de encendido, de este modo se pone en marcha los actuadores del sistema. Si el peso del paquete sobre la cinta se ha estabilizado, se realiza el registro de la información necesaria en una base de datos local Si el peso está dentro del rango admitido, se encenderá un indicador de color verde, caso contrario se encenderá el indicador de color rojo.

La Figura 81 muestra el desarrollo de la pantalla de monitoreo, en esta además de los datos mencionados anteriormente, se muestra el total de paquetes registrados y la cantidad de paquetes fuera de rango, catalogados como errores. Cabe mencionar que todos estos registros de pesaje, son almacenados de manera local en un disco USB, sin embargo, si se posee conexión a la base de datos online, se realiza una sincronización automática con la tabla correspondiente.

Figura 81

Pantalla de monitoreo y visualización



- 1) Botón que ingresa a la pantalla de inicio
- 2) Botón que ingresa a la pantalla de monitoreo
- 3) Botón que ingresa a la pantalla de tendencias
- 4) Botón que ingresa a la pantalla de Ajustes
- 5) Campo de visualización de la descripción del producto previamente seleccionado
- 6) Campo de ingreso del Id del producto
- 7) Campo de ingreso del lote de producción
- 8) Campo de visualización del peso del producto
- 9) Campos de visualización de los pesos mínimos, nominal y máximo del producto previamente seleccionado
- 10) Interruptores de activación de las velocidades preconfiguradas

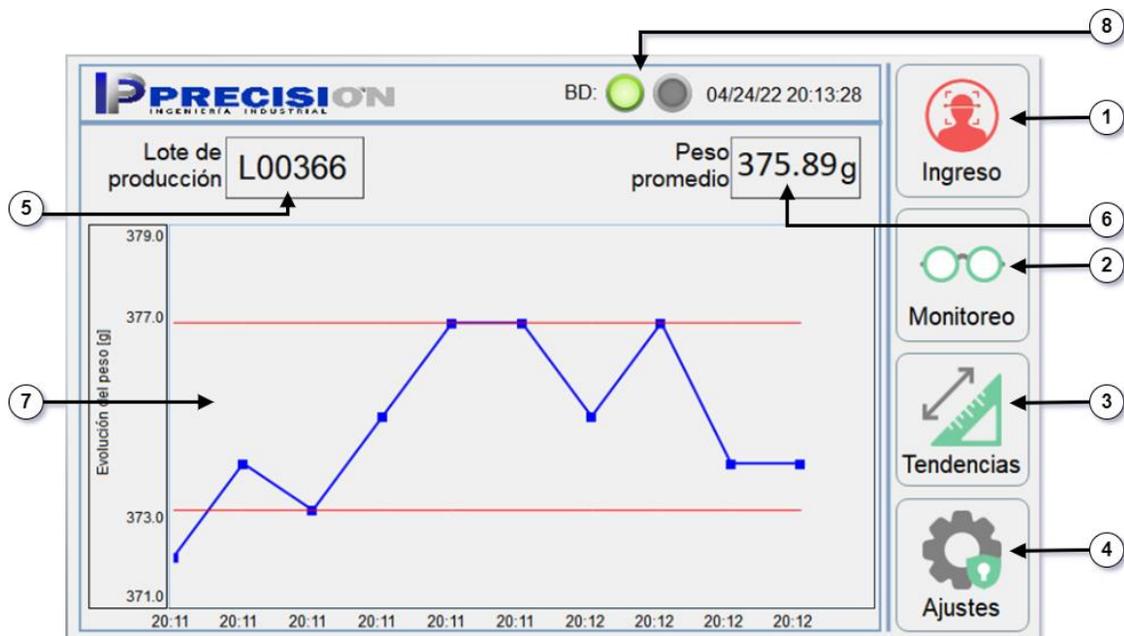
- 11) Interruptor de inicio y apagado del sistema
- 12) Campo de visualización de la cantidad de productos inspeccionados.
- 13) Campo de visualización de la cantidad de producto erróneos
- 14) Lampara indicadora del producto aceptado
- 15) Lampara indicadora del producto rechazado
- 16) Lampara indicadora del estado de la conexión con la Base de datos.

Pantalla de tendencias

La pantalla de tendencias permite visualizar la evolución de la producción del día en cuanto a la totalidad de paquetes y la cantidad de errores. Además, si se cuenta con conexión a internet, se permite visualizar las tendencias del peso promedio del producto, el peso máximo y mínimo, entre otros datos de interés.

Figura 82

Pantalla de tendencias



- 1) Botón que ingresa a la pantalla de inicio
- 2) Botón que ingresa a la pantalla de monitoreo

- 3) Botón que ingresa a la pantalla de tendencias
- 4) Botón que ingresa a la pantalla de Ajustes
- 5) Campo de visualización del lote de producción
- 6) Campo de visualización del peso promedio
- 7) Grafica de tendencias del proceso en tiempo real

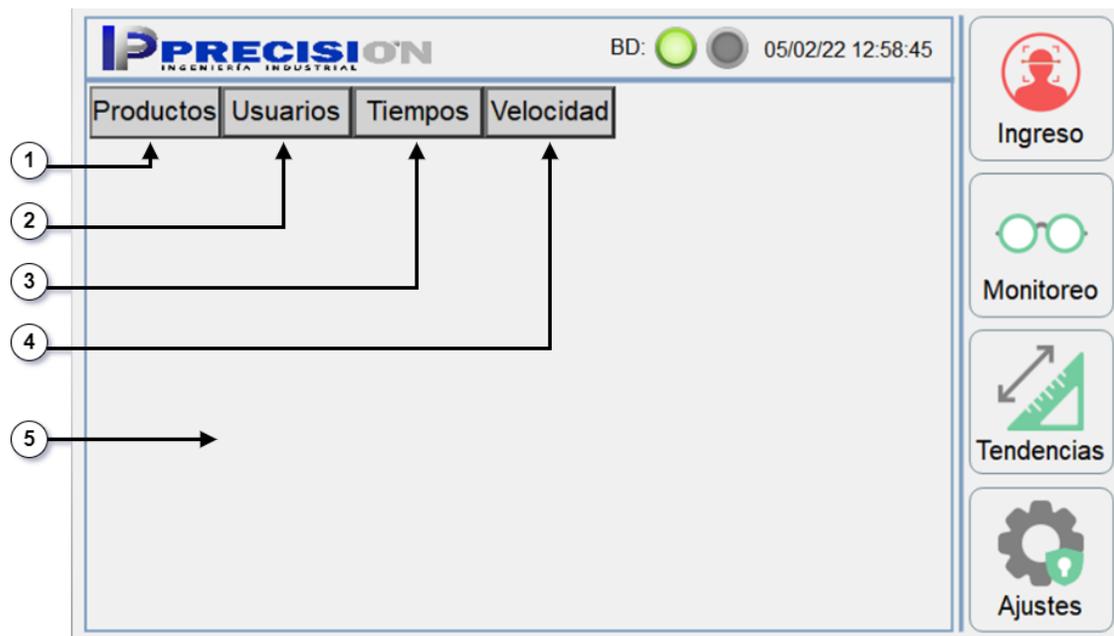
Pantalla de configuración

La pantalla de configuración tiene un acceso restringido y solo aquellos usuarios con nivel de acceso 2, pueden ingresar a la misma. Esta pantalla permite visualizar las tablas de los productos y usuarios registrados en la base de datos local.

En esta pantalla se cuenta con un menú en la parte superior, en la cual se puede seleccionar los diferentes apartados de configuración ya sea de Producto, Usuarios, Tiempos de muestro y Velocidades de operación.

Figura 83

Pantalla de configuración



- 1) Pestaña de ingreso a la configuración de los productos (Recetas)

- 2) Pestaña de ingreso a la configuración de los usuarios
- 3) Pestaña de ingreso a la configuración de tiempos (modo checkweigher)
- 4) Pestaña de ingreso a la configuración de velocidades del sistema
- 5) Entorno de trabajo

Pantalla de configuración de productos

En esta pantalla, se puede visualizar las listas de productos cargados a la base de datos local de la HMI. Posee además, dos pulsadores para realizar acciones de modificación de esta lista, ya sea agregar, eliminar, importar o exportar los datos.

Figura 84

Configurar Productos

The screenshot displays the 'Configurar Productos' interface. At the top, the 'PRECISION INGENIERIA INDUSTRIAL' logo is visible on the left, and the date and time '05/02/22 12:59:20' are on the right. Below the logo, there are four tabs: 'Productos', 'Usuarios', 'Tiempos', and 'Velocidad', with 'Productos' selected. The main area contains a table with the following data:

ITEM	ID	DESCRIPCION	NOMINAL	MINIMO
1	BA4177	Agogo menta blue CD22	375.00	373.00
2	BM3072	Cupete dos	12.00	10.00
3	PR0100	Producto A 100g	100.00	98.00
3	PR0200	Producto A 200g	200.00	198.00
3	PR0500	Producto B 500g	500.00	497.00
3	PR1000	Producto C 1000g	1000.00	996.00
3	PR0375	Producto D 374g	375.00	373.00

Below the table, there are two buttons: 'Importar/Exportar' (labeled with a circled '2') and 'Agregar/Eliminar' (labeled with a circled '1'). On the right side, there are four navigation buttons: 'Ingreso' (with a person icon), 'Monitoreo' (with glasses icon), 'Tendencias' (with a line graph icon), and 'Ajustes' (with a gear icon, labeled with a circled '3').

- 1) Tabla de visualización de los productos
- 2) Botón de ingreso a la ventana de importar o exportar productos de la (USB/DB)
- 3) Botón de ingreso a la ventana de agregar productos de forma manual

Pantalla de configuración de productos - Importar/Exportar

Esta pantalla nos permite realizar acciones de sincronización de datos de los productos registrados con la base online, o mediante un archivo .csv almacenado en un disco USB. Del mismo modo se puede exportar la información actual al disco USB.

Figura 85

Importar/Exportar lista de productos



- 1) Visualizador de archivos de la USB
- 2) Campo de visualización del archivo seleccionado
- 3) Botón de importar los productos desde la Base de datos
- 4) Botón de importar archivos desde la USB
- 5) Botón de exportar los productos a la USB
- 6) Botón de retroceso

Pantalla de configuración de productos - Agregar/Eliminar

La opción de agregar/borrar, permite agregar un producto de forma manual, donde el operador deberá ingresar todos los datos necesarios para realizar el registro.

Por otro lado, si lo que desea es actualizar únicamente un registro desde la base de datos online a la base de datos local, se puede buscar este registro a partir del ID de producto o ID de usuario, de esta manera se completan los campos para agregar el nuevo registro.

La opción de borrar, permite eliminar un registro de la base de datos local ingresando el ID del producto.

Figura 86

Agregar/Eliminar un producto

El diagrama muestra una interfaz de usuario con los siguientes elementos:

- 1:** Botón "Buscar" en el formulario de búsqueda online.
- 2:** Campo de entrada "Ingrese ID" con el valor "BA4177" en el formulario de búsqueda online.
- 3:** Botón "Borrar" en el formulario de eliminación local.
- 4:** Campo de entrada "Ingrese ID" en el formulario de eliminación local.
- 5:** Botón "Agregar" en el formulario HMI.
- 6:** Campo de entrada "ID Producto" con el valor "BA4177" en el formulario HMI.
- 7:** Campos de entrada "Peso nom" (960.00), "Peso min" (955.00) y "Peso max" (965.00) en el formulario HMI.
- 8:** Campo de entrada "Descripción" con el valor "MENTA BLUE COLOR COOL 256G" en el formulario HMI.
- 9:** Mensaje de éxito "Producto agregado exitosamente" en un banner inferior.
- 10:** Botón de retroceso (←) a la izquierda.
- 11:** Botón de avance (→) a la derecha.

- 1) Botón para buscar el producto
- 2) Campo de ingreso del Id de producto a buscar
- 3) Botón para borrar los productos
- 4) Campo de ingreso del Id del producto a borrar
- 5) Botón para agregar un nuevo producto
- 6) Campo de ingreso del Id del nuevo producto
- 7) Campo de ingreso de los parámetros del nuevo producto
- 8) Campo de ingreso de la descripción del nuevo producto

9) Campo de visualización del estado del proceso

10) Botón de retroceso

11) Botón de siguiente ventana

Pantalla de configuración de usuarios

En esta pantalla, se puede visualizar las listas de usuarios cargados a la base de datos local de la HMI. Posee además, dos pulsadores para realizar acciones de modificación de esta lista, ya sea agregar, eliminar, importar o exportar los datos.

Figura 87

Configurar usuarios



1) Tabla de visualización de los usuarios

2) Botón de ingreso a la ventana de importar o exportar usuarios (USB/DB)

3) Botón de ingreso a la ventana de agregar usuarios de forma manual

Pantalla de configuración de usuarios - Importar/Exportar

Esta pantalla nos permite realizar acciones de sincronización de datos de los usuarios registrados con la base online, para lo cual se debe contar con conexión a internet para poder acceder al servidor donde se aloja la base de datos, caso contrario se permite cargar un archivo .csv almacenado en un disco USB. Del mismo modo se puede exportar la información actual al disco USB.

Figura 88

Importar/Exportar lista de usuarios



- 1) Visualizador de archivos de la USB
- 2) Campo de visualización del archivo seleccionado
- 3) Botón de importar los usuarios desde la Base de datos
- 4) Botón de importar archivos desde la USB
- 5) Botón de exportar los usuarios a la USB
- 6) Botón de retroceso

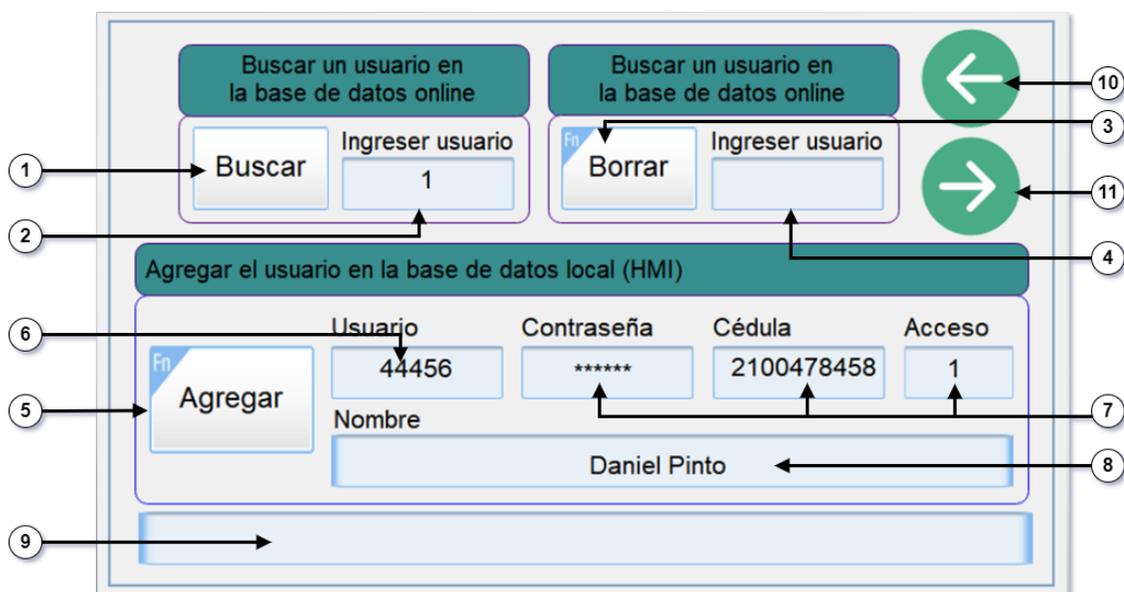
Pantalla de configuración de usuarios - Agregar/Eliminar

La opción de agregar/borrar, permite agregar un usuario de forma manual, donde el operador deberá ingresar todos los datos necesarios para realizar el registro. Por otro lado, si lo que desea es actualizar únicamente un registro desde la base de datos online a la base de datos local, se puede buscar este registro a partir del ID de producto o ID de usuario, de esta manera se completan los campos para agregar el nuevo registro.

La opción de borrar, permite eliminar un registro de la base de datos local ingresando el ID del usuario.

Figura 89

Agregar/Eliminar un usuario



- 1) Botón para buscar el usuario
- 2) Campo de ingreso del Id de usuario a buscar
- 3) Botón para borrar el usuario
- 4) Campo de ingreso del Id del usuario a borrar
- 5) Botón para agregar un nuevo usuario

- 6) Campo de ingreso del Id del nuevo usuario
- 7) Campo de ingreso de los parámetros del nuevo usuario
- 8) Campo de ingreso del nombre del nuevo usuario
- 9) Campo de visualización del estado del proceso
- 10) Botón de retroceso
- 11) Botón de siguiente ventana

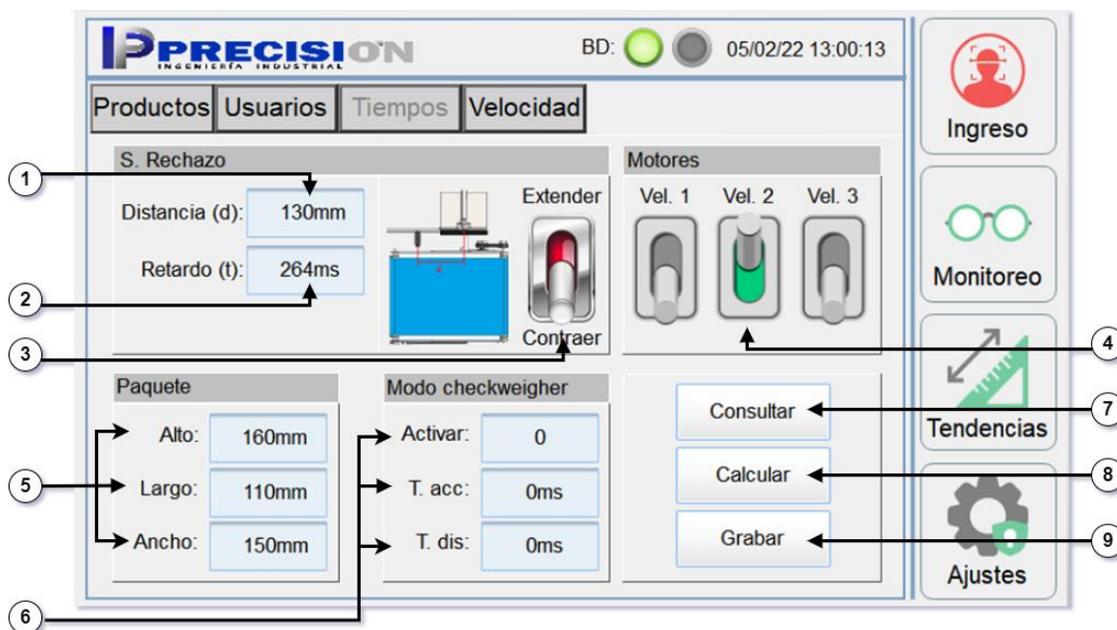
Pantalla de configuración de tiempos

En esta pantalla se realiza la configuración de los tiempos de muestreo para el pesaje dinámico de los productos. El modo checkweigher, nos permite realizar la toma de datos de pesaje durante un tiempo (t_{acc}) a partir del cual se sacará un promedio de todos los datos tomados en este intervalo y se mostrará el resultado en pantalla durante un tiempo (t_{dis}). Para configurar el tiempo de muestreo del modo checkweigher, es necesario conocer las dimensiones del paquete evaluado.

Por otra parte, el sistema de rechazo neumático se activará automáticamente cuando el paquete esté centrado con el vástago del cilindro. Para determinar el tiempo de activación del rechazador es necesario registrar el tiempo de retardo (t) y la distancia del sensor al actuador (d). Todos estos tiempos se pueden ingresar manualmente o se pueden calcular con el botón "Calcular" y guardando los datos con el botón "Grabar".

Figura 90

Configurar tiempos



- 1) Campo de ingreso de la distancia del sensor con el cilindro
- 2) Campo de ingreso del tiempo de retardo
- 3) Interruptor de comprobación del funcionamiento del cilindro
- 4) Interruptores de las velocidades del sistema
- 5) Campos de ingreso de los parámetros del paquete a pesar
- 6) Campos de ingreso de los tiempos de muestro y espera en el modo checkweigher
- 7) Botón de consulta de los parámetros del modo checkweigher del indicador
- 8) Botón de calcular los parámetros del modo checkweigher
- 9) Botón de grabar los parámetros del modo checkweigher en el indicador

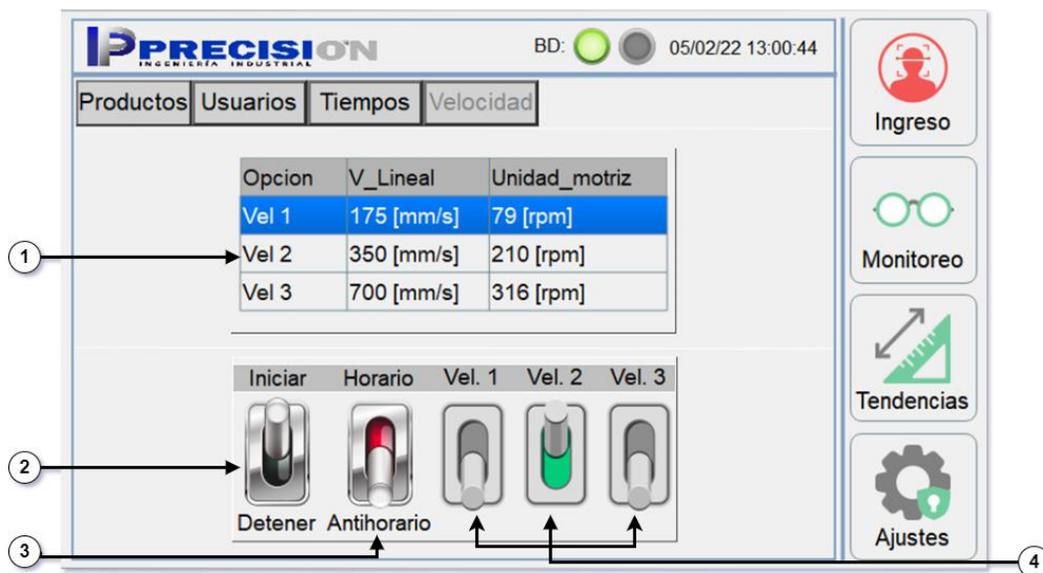
Pantalla de configuración de tiempos

En esta pantalla se presentan los valores de las velocidades lineales de las bandas y su correspondencia en rpm de las respectivas unidades motrices. Además, se

puede cambiar el sentido de giro de los motores para adecuar el checkweigher a la línea de producción.

Figura 91

Configurar velocidades



- 1) Tabla de las velocidades configuradas
- 2) Interruptor de inicio y paro
- 3) Interruptor del sentido del giro del motor
- 4) Interruptores de las velocidades configuradas de la tabla

Diseño del sistema informático

Parte fundamental del sistema de pesaje automático es el acceso a una base de datos online desarrollada en un servidor en MySQL server

Desarrollo de la base de datos

Para el desarrollo de la base de datos, la empresa Precisión posee un servidor con el cual brinda servicios de almacenaje y procesamiento de información a sus clientes para mantener sus aplicaciones de IoT. En este servidor se han creado diversas bases de datos para cada uno de los proyectos en marcha incluyendo una

base de datos para el sistema checkweigher correspondiente a este trabajo de titulación.

La base de datos *checkweigher* posee la información de todos los productos para la sincronización con la máquina, así como también la información de los usuarios y la información de los registros de peso de cada paquete realizado por el checkweigher. Esta base de datos permite, actualizar la información en la memoria local de la HMI, además permite realizar diferentes consultas, filtrado y procesamiento de los datos a partir del desarrollo de Stored Procedures en MySQL Workbench

Figura 92

Lista de productos en la base de datos online

The screenshot shows the MySQL Workbench interface. The Navigator pane on the left displays the database structure, including the 'checkweigher' database and the 'tabla_productos_2' table. The SQL editor contains the query: `SELECT * FROM checkweigher.tabla_productos_2;`. The Result Grid displays the following data:

ITEM	ID	DESCRIPCION	NOMINAL	MINIMO	MAXIMO
1	BA1345	TROQ CHUP KATABOOM PINK LEMONADE 21G	21	20.5	21.5
2	BA1733	TROQ CARD MELO MANDARINA 3.7G	3.7	3.5	3.9
3	BA2123	TROQ CARD JAAZZ CLOROFILA 3.3G	3.3	3.1	3.5
4	BA2126	TROQ CHUP PLOP SANDIA ACIDA 19g	19	18.5	19.5
5	BA2128	TROQ CHUP PLOP FRESA ACIDA 19g	19	18.5	19.5
6	BA2132	TROQ CHUP PLOP CEREZA 19g	19	18.5	19.5
7	BA2134	TROQ CHUP PLOP UVA 19g	19	18.5	19.5
8	BA2136	TROQ CHUP PLOP NARANJA 20G	20	19.5	20.5
9	BA2138	TROQ CHUP PLOP FRESA 19g	19	18.5	19.5
10	BA2144	TROQ CARD AMERICAN NARANJA 3.7G	3.7	3.5	3.9
11	BA2146	TROQ CARD AMERICAN FRESA 3.7G	3.7	3.5	3.9
12	BA2148	TROQ CARD AMERICAN COLA 3.7G	3.7	3.5	3.9
13	BA2150	TROQ CARD AMERICAN LIMON 3.7G	3.7	3.5	3.9
14	BA2152	TROQ CARD AMERICAN PINA 3.7G	3.7	3.5	3.9
15	BA2154	TROQ CARD AMERICAN CEREZA 3.7G	3.7	3.5	3.9
16	BA2158	TROQ CARD MELO LIMA LIMON 4.7 G	4.7	4.5	4.9
17	BA2213	TROQ CARD TORONJA 3.3G	3.3	3.1	3.5
18	BA2215	TROQ CARD MORA 3.3G	3.3	3.1	3.5
19	BA2217	TROQ CARD MELO NARANJILLA 3.7G	3.7	3.5	3.9

The bottom pane shows the table structure for 'tabla_productos_2':

```

Columns:
ITEM      int(11) AI PK
ID        text
DESCRIPCION text
NOMINAL  double
MINIMO   double
MAXIMO   double
  
```

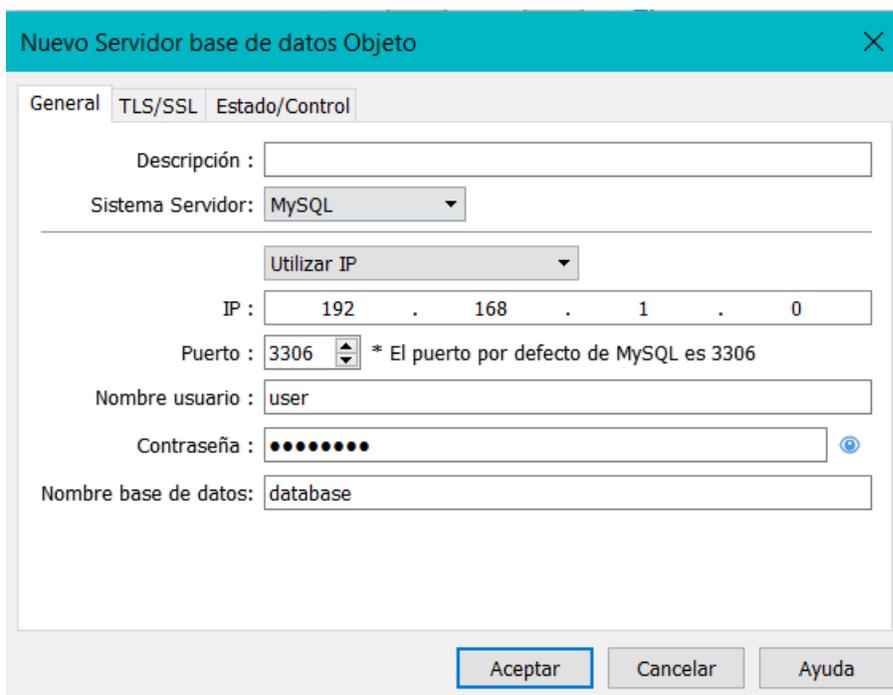
Comunicación de la base de datos con la HMI

La HMI de la marca Weintek posee diversas herramientas de IoT con la cual acceder servicios en la nube. Para este caso, requerimos conexión a una base de datos alojada en un servidor. El software de desarrollo y programación EasyBuilder, posee la herramienta necesaria con la cual establecer conexiones a diversas bases de datos online.

En la Figura 93, se muestra esta herramienta en la cual ingresa la IP del servidor, el nombre de la base de datos, el usuario y contraseña y el puerto de conexión para MySQL. De este modo, al poseer una conexión a internet, podemos acceder a la base datos en el servidor y posteriormente se puede realizar las consultas necesarias.

Figura 93

Establecer conexión con una base de datos online



The image shows a software dialog box titled "Nuevo Servidor base de datos Objeto". It has three tabs: "General", "TLS/SSL", and "Estado/Control". The "General" tab is selected. The dialog contains the following fields and controls:

- Descripción :** An empty text input field.
- Sistema Servidor:** A dropdown menu with "MySQL" selected.
- Utilizar IP :** A dropdown menu with "Utilizar IP" selected.
- IP :** A text input field containing "192 . 168 . 1 . 0".
- Puerto :** A spin box containing "3306" and a note: "* El puerto por defecto de MySQL es 3306".
- Nombre usuario :** A text input field containing "user".
- Contraseña :** A password input field with masked characters (dots) and a "show/hide" icon.
- Nombre base de datos:** A text input field containing "database".

At the bottom of the dialog, there are three buttons: "Aceptar" (highlighted in blue), "Cancelar", and "Ayuda".

Integración de los sistemas

El tema a continuación describe la integración de los sistemas mecánicos, informáticos, eléctrico/electrónico y de control en un único sistema mecatrónico, como lo es el verificador de peso desarrollado a lo largo de este proyecto.

Comenzaremos describiendo el sistema checkweigher mostrado en la Figura 94, el cual ha sido construido mayoritariamente en acero inoxidable de acuerdo al estudio y diseño realizado a y detallado anteriormente.

Figura 94

Componentes del verificador de peso o checkweigher



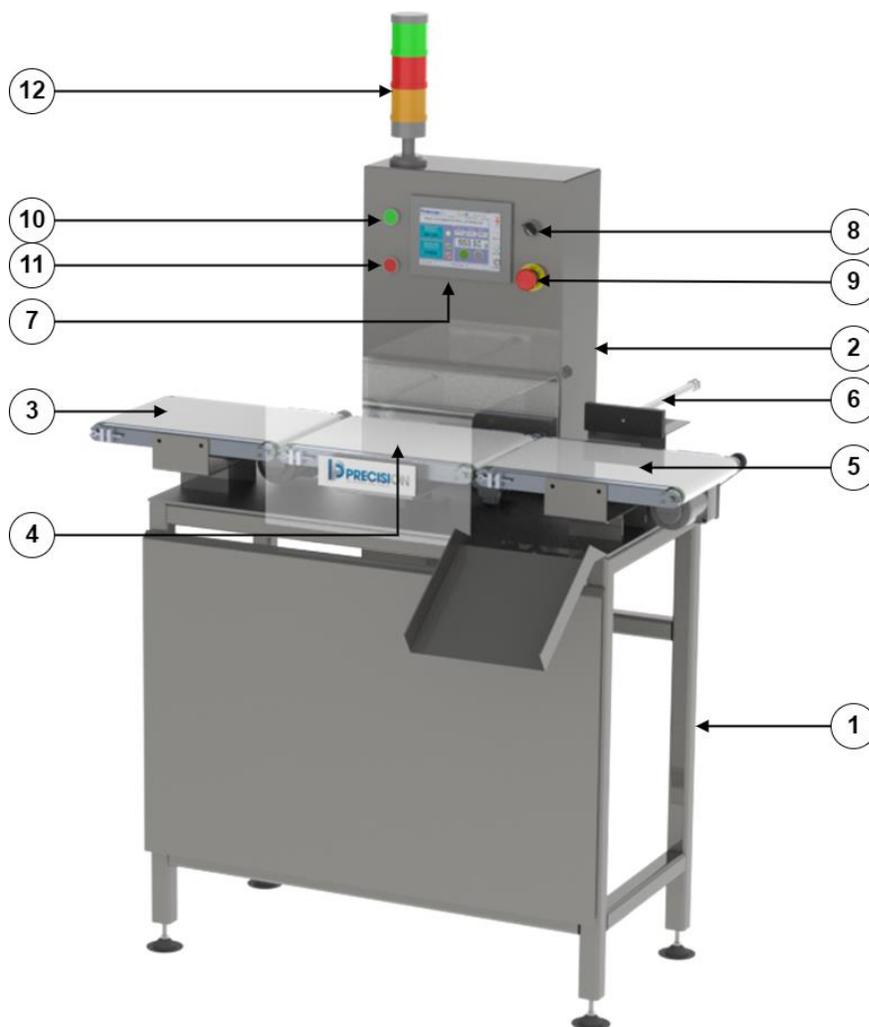


Tabla 40.

Elementos del checkweigher

Parte	Descripción	Materiales	Observación
1	Bastidor	Acero inoxidable AISI 304	
2	Gabinete eléctrico	Acero inoxidable AISI 304	
3	Banda de entrada/Salida	Acero inoxidable AISI 304	
4	Banda de pesaje	Acero inoxidable AISI 304	
5	Banda de Salida/Entrada	Acero inoxidable AISI 304	
6	Sistema de rechazo neumático	Cilindro neumático en acero inoxidable	Cilindro doble efecto

7	Pantalla HMI	Pantalla 7" Marca: Weintek
8	Switch de energización	NO
9	Botón de paro de emergencia	NC
10	Botón de inicio	NO
11	Botón de paro	NO
12	Baliza indicadora	

El sistema verificador de peso o checkweigher es un equipo de pesaje dinámico pensado para acoplarse al término de la línea de producción con productos empaquetados. Los paquetes serán inspeccionados y de cumplirse la condición establecida, el checkweigher permite que continúen su trayectoria en la línea, caso contrario será retirado de la línea de producción. Las especificaciones finales del equipo se describen en la Tabla 41.

Tabla 41

Especificaciones técnicas del checkweigher CH3000-XL

Característica		Mínimo	Máximo
Alimentación	120VAC- 60Hz	-	-
Tamaño de la pantalla HMI	7"		
Dimensiones generales	L=1150mm H=1700mm P=750mm	-	-
Capacidad de pesaje nominal		100g	1000g
Resolución	1g		
Velocidad de operación	-	110mm/s	710mm/s
Número de velocidades configurables	3	-	-
Dimensión de piezas aceptadas	Largo Alto Profundidad	70mm 20mm 20mm	180mm 150mm 150mm
Taza de muestreo nominal	30pza/min		
Temperatura de trabajo	0° a 50°C		
Protección	IP65		
Rechazador	Neumático		
Presión de trabajo	1.5-10 bar		
Carrera	250mm		

Componentes mecánicos

En cuanto a la parte mecánica, el checkweigher cuenta con una estructura robusta en acero inoxidable de 1700mm de alto, 1150mm de largo y una profundidad de 750 mm de acuerdo al diseño realizado en el apartado 3.3.1. (Ver Figura 95)

Figura 95

Bastidor



Posee además tres bandas transportadoras de 380mm de largo y 296mm de ancho, la cual ha sido construida en acero inoxidable y aluminio anodizado. Cada una de las bandas transportadoras posee una cinta de poliuretano de 0.8mm de espesor. Esto en correspondencia con la selección realizada en el apartado 3.1.1. (Ver Figura 96)

Figura 96

Cintas transportadoras



En lo que se refiere al sistema de rechazo, el checkweigher posee un cilindro neumático doble efecto con una carrera de 250mm accionado directamente por el controlador lógico cuando se cumple la condición preestablecida. El sistema total incluye; una electroválvula 5/2 monoestable de 24VDC, un FRL (filtro, regulador, lubricador), un cilindro neumático doble efecto y elementos de conexión. (Ver Figura 97)

Figura 97

Sistema neumático de rechazo



Culminando con la parte mecánica, en la Figura 98 podemos evidenciar el montaje del sistema de pesaje con una celda de carga de 18Kg de capacidad, haciendo uso de alzas en acero inoxidable de 31x90x6 [mm] tal y como recomienda el fabricante.

Figura 98

Montaje de la celda de carga Sensocar



Figura 99

Montaje de la banda transportadora sobre la celda de carga

**Componentes eléctricos, electrónicos y de control**

En relación con la parte electrónica y de control, en la Figura 100 se muestra cada uno de los equipos utilizados para la puesta en marcha del verificador de peso, los cuales han sido seleccionados previamente en el apartado 3.3.2.

Figura 100

Componentes electrónicos del checkweigher

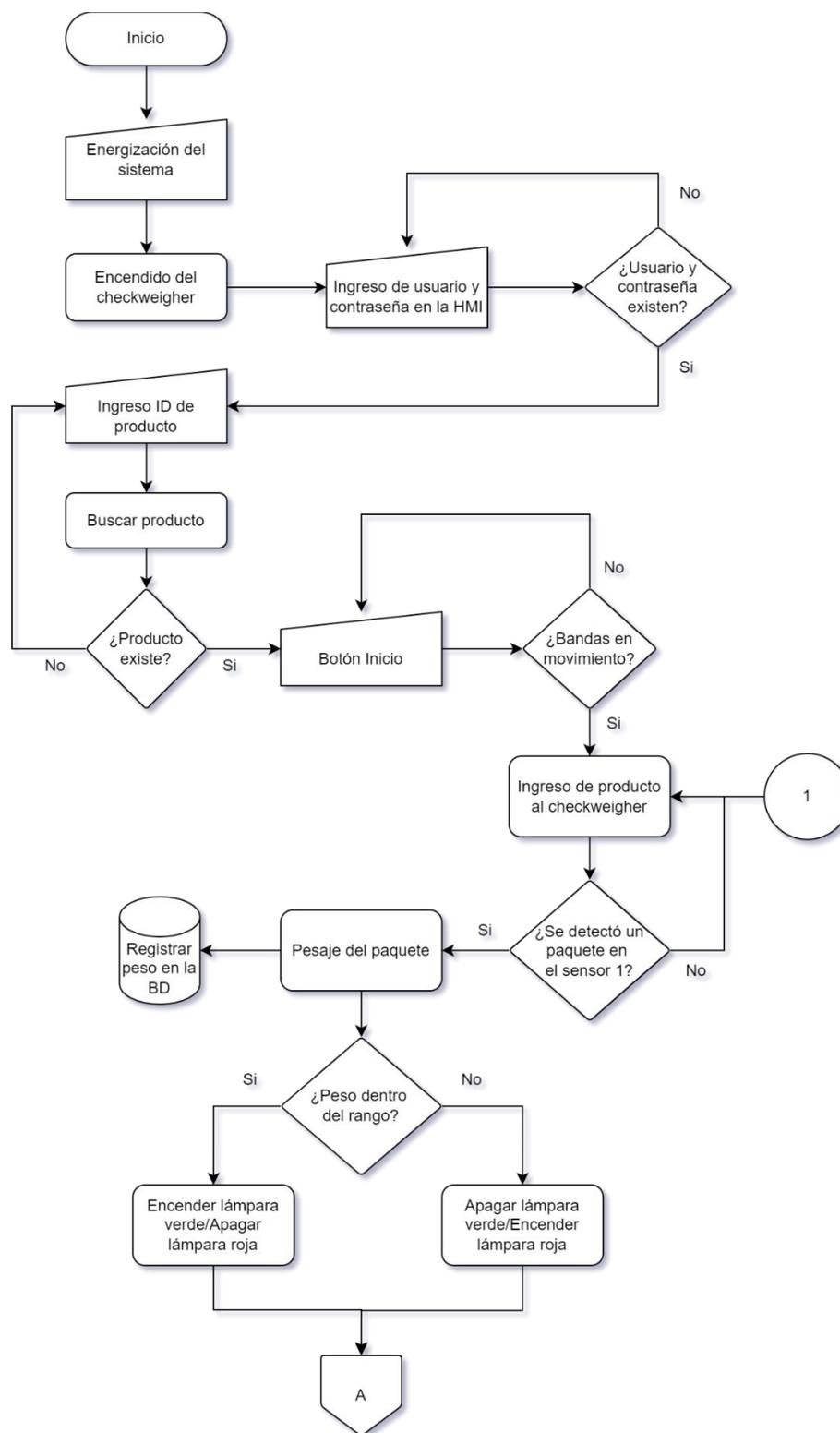


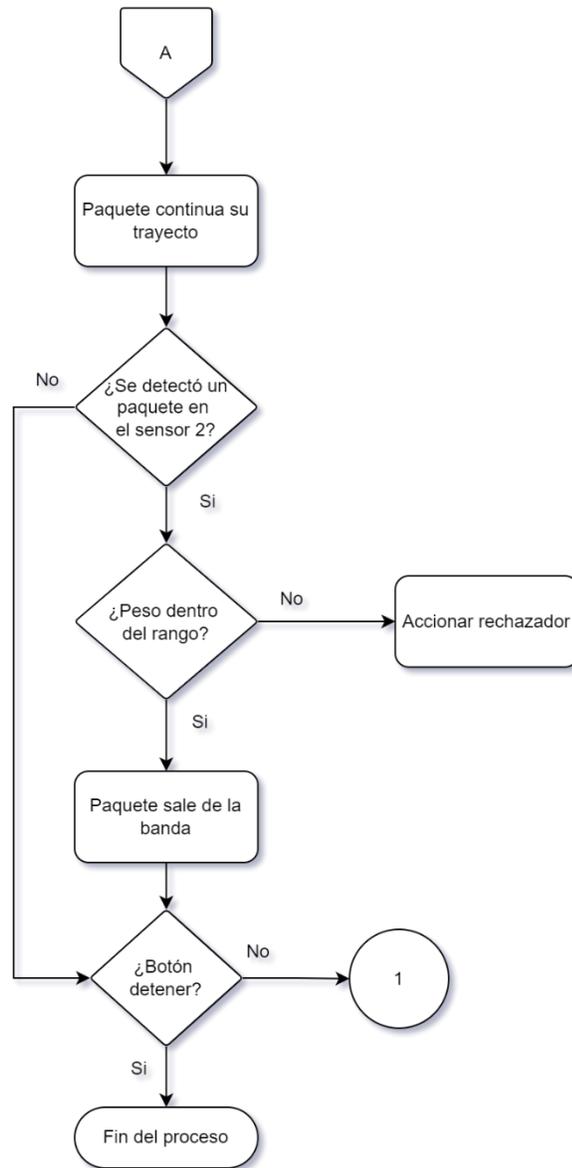
Diagrama de proceso

Cada uno de los sistemas mencionados anteriormente, son parte esencial para el buen funcionamiento del verificador de peso y su interacción se puede entender mediante el diagrama de flujo presentado en la Figura 101.

Figura 101

Diagrama de flujo del checkweigher





CAPÍTULO IV

Pruebas y Resultados

A continuación, en el presente capítulo se desarrollan algunas pruebas estadísticas que nos darán a conocer información importante sobre el comportamiento del checkweigher.

Protocolo experimental pesaje estático

La implementación del protocolo experimental es parte esencial para la puesta en marcha del checkweigher. El incumplimiento de cualquiera de las etapas descritas en este apartado, puede ser causa de un bajo desempeño del equipo.

A continuación se describe la secuencia a seguir para la puesta en marcha y para la realización de las pruebas de funcionamiento del checkweigher.

1. Verificar que el equipo verificador de peso este totalmente desenergizado.
2. Posicione el checkweigher en un lugar ajeno a posibles vibraciones significativas.
3. De ser necesario, utilice las patas niveladoras de tal modo que la mesa este perfectamente horizontal.
4. Montar la celda de carga sobre la mesa haciendo uso de las alzas provistas. Verificar que tenga el ajuste necesario de tal modo que este inmóvil.
5. Montar la banda central (banda #2) sobre la celda de carga. Verificar el paralelismo de la banda con la cara frontal de la mesa.
6. Conectar la celda de carga al indicador de peso.
7. Montar las dos bandas restantes. Verificar el paralelismo de la banda central con las dos restantes.
8. Verifique que cada una de las bandas se encuentren a nivel, tanto horizontal como verticalmente.

9. Con la banda estática, coloque las masas de peso patrón sobre los 5 puntos de prueba de la banda de pesaje, estos son; el centro de la banda y sus cuatro esquinas, como se muestra en la Figura 102. Corrobore el peso marcado en el indicador en cada punto de prueba, estos deberán corresponder con la Tabla 42. Caso contrario deberá contactar con un técnico de calibración del equipo.

Figura 102

Puntos de prueba para la banda de pesaje

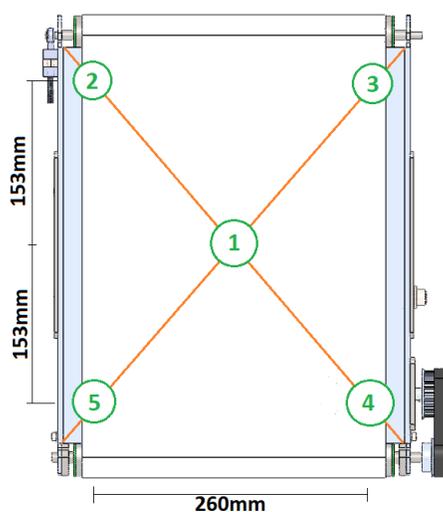


Tabla 42

Medida de pesos según peso patrón en los 5 puntos de prueba de la banda

Peso patrón [g]	Punto de prueba 1 [g]	Punto de prueba 2 [g]	Punto de prueba 3 [g]	Punto de prueba 4 [g]	Punto de prueba 5 [g]
100	100	100	100	100	100
200	200	200	200	200	200
500	500	500	500	500	500
1000	1000	1000	1000	1000	1000

10. Con las 3 bandas en su lugar y conectados a sus respectivas unidades motrices, energice el sistema y haciendo uso de la HMI, configure la velocidad deseada y a continuación presione el botón de inicio.

Control estadístico de procesos y resultados

Una vez que se ha calibrado el equipo verificador de peso, continuamos analizando algunas características importantes como son; la exactitud, precisión y estabilidad, para lo cual realizamos la toma de datos del equipo configurado a una velocidad de muestreo de 30 paquetes/min y con una resolución de 1g.

Exactitud y precisión

ISO 5725 utiliza dos términos "veracidad" y "precisión" para describir la exactitud de un método de medición. "Veracidad" se refiere a la proximidad de la concordancia entre la media aritmética de un gran número de resultados de prueba y el valor de referencia verdadero o aceptado, este valor de veracidad normalmente se puede expresar en términos de sesgo (ISO 5725-1, 1994).

Por otra parte, "precisión" se refiere a la cercanía de los datos entre sí de los resultados de las pruebas.

Para este propósito hacemos uso de 4 pesos patrones de 100g, 200g, 500g y 1000g, cada una de los cuales se ha evaluado en el sistema checkweigher un total de 35 veces y a una velocidad fija de 30paq/min. Los datos obtenidos de este muestreo se registran en la Tabla 43.

Tabla 43

Muestreo de 4 piezas en el sistema checkweigher a una velocidad de muestreo de 30paq/min

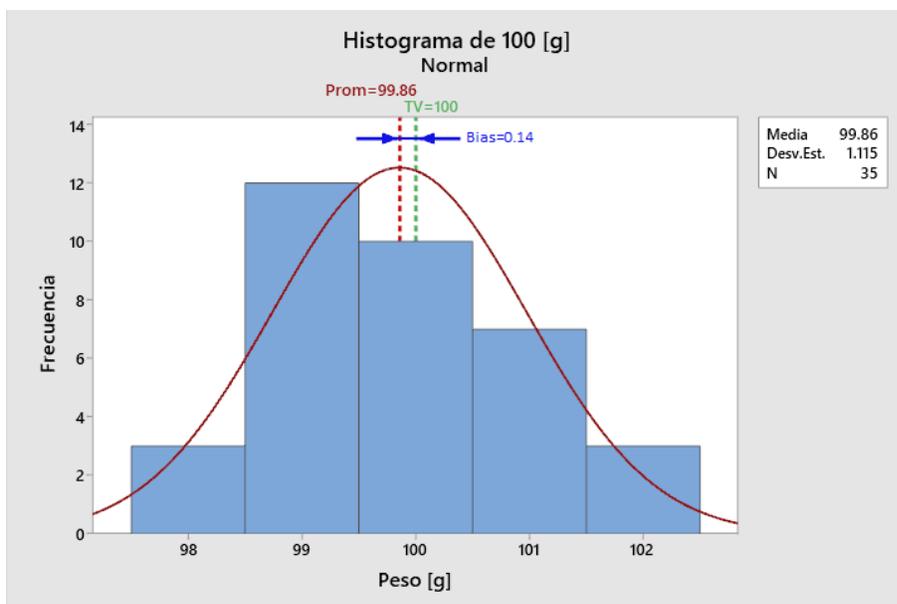
Medición	100 [g]	200 [g]	500 [g]	1000 [g]
1	101	201	500	1000
2	101	202	501	1000
3	102	202	501	998

4	102	202	500	1001
5	102	199	500	998
6	100	202	500	1001
7	98	201	501	999
8	100	200	500	999
9	99	201	500	10000
10	99	200	500	1001
11	99	201	500	999
12	98	201	500	998
13	100	200	500	999
14	100	202	500	999
15	99	199	500	1001
16	99	201	499	998
17	99	202	499	998
18	99	202	499	995
19	100	199	498	1002
20	98	198	499	999
21	101	202	500	1001
22	99	200	502	997
23	99	201	500	999
24	101	200	501	1000
25	99	202	500	1000
26	101	198	500	1000
27	101	200	499	998
28	100	201	502	998
29	100	201	499	999
30	100	199	500	1001
31	100	199	502	1000
32	99	200	500	1002
33	100	198	499	997
34	99	199	498	997
35	101	199	500	998

A partir de estos datos realizamos la gráfica del histograma correspondiente a cada pieza, el resultado se muestra en las Figuras 103-108

Figura 103

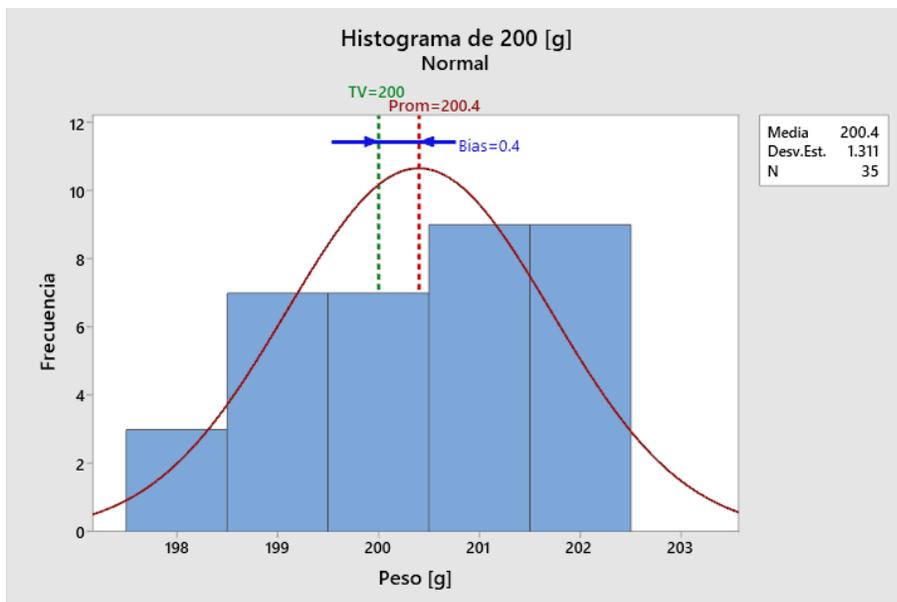
Histograma para la pieza de 100 [g]



Como se puede evidenciar en el histograma presentado en la Figura 103, para la pieza de 100g se ha obtenido un valor de bias=0.14, que, de acuerdo con el peso evaluado, tenemos un error de 0.14% para pesos de 100g. Por esto podemos considerar que el sistema presenta una alta exactitud. Por otra parte, la precisión se determina a partir del valor de la desviación estándar, cuyo valor es de 1.115g concluyendo entonces que el sistema presenta una buena precisión.

Figura 104

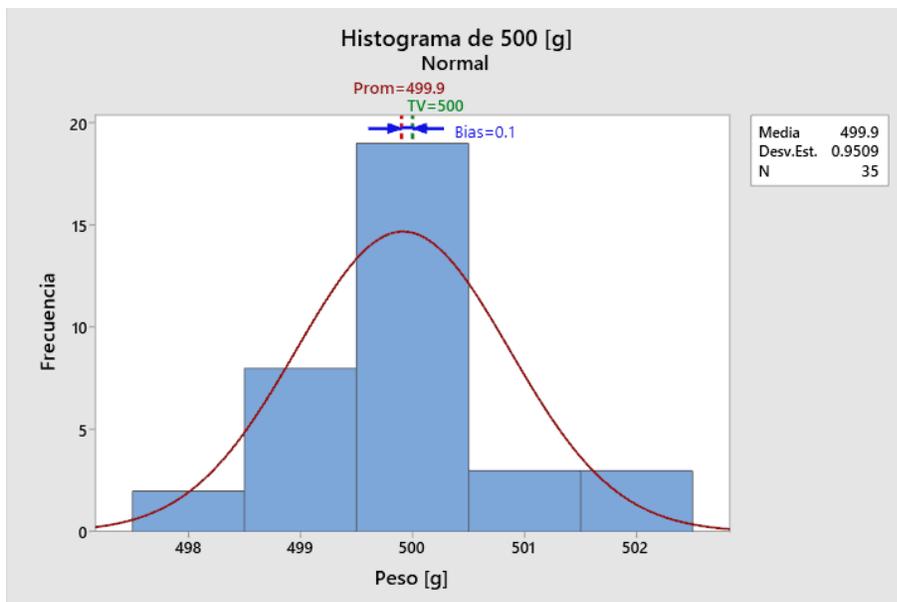
Histograma para la pieza de 200 [g]



Como se puede evidenciar en el histograma presentado en la Figura 104, para la pieza de 300g se ha obtenido un valor de bias=0.4, que, de acuerdo con el peso evaluado, tenemos un error de 0.20% para pesos de 200g, lo cual podemos considerar como una alta exactitud. Así también, la precisión obtenida es de 1.311g concluyendo entonces que el sistema presenta una buena precisión.

Figura 105

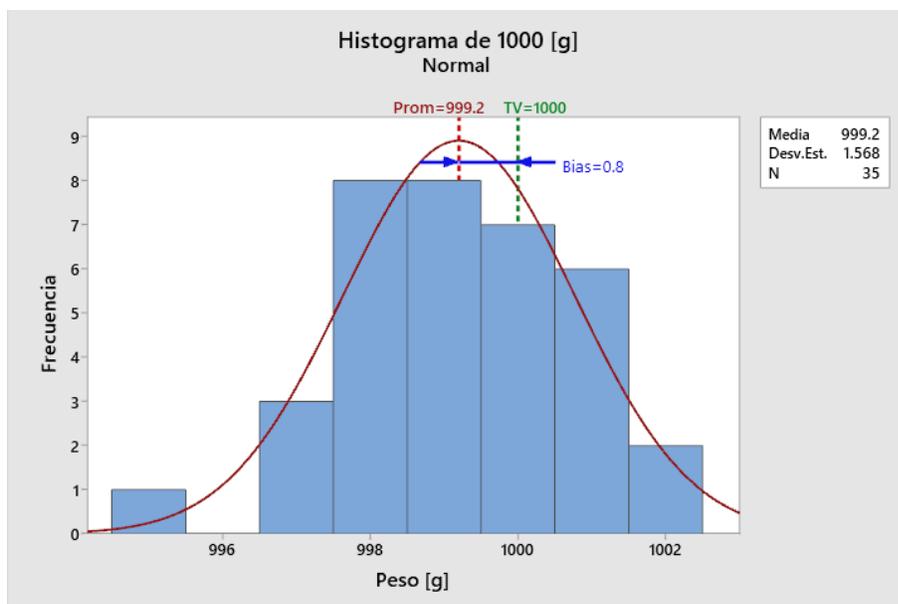
Histograma para la pieza de 500 [g]



Como se puede evidenciar en el histograma presentado en la Figura 105, para la pieza de 500g se ha obtenido un valor de bias=0.1, que, de acuerdo con el peso evaluado, tenemos un error de 0.02% para pesos de 500g lo cual podemos considerar como una alta exactitud. En cuanto a la precisión, se tiene un valor de 0.9509g concluyendo entonces que el sistema presenta una buena precisión.

Figura 106

Histograma para la pieza de 1000 [g]



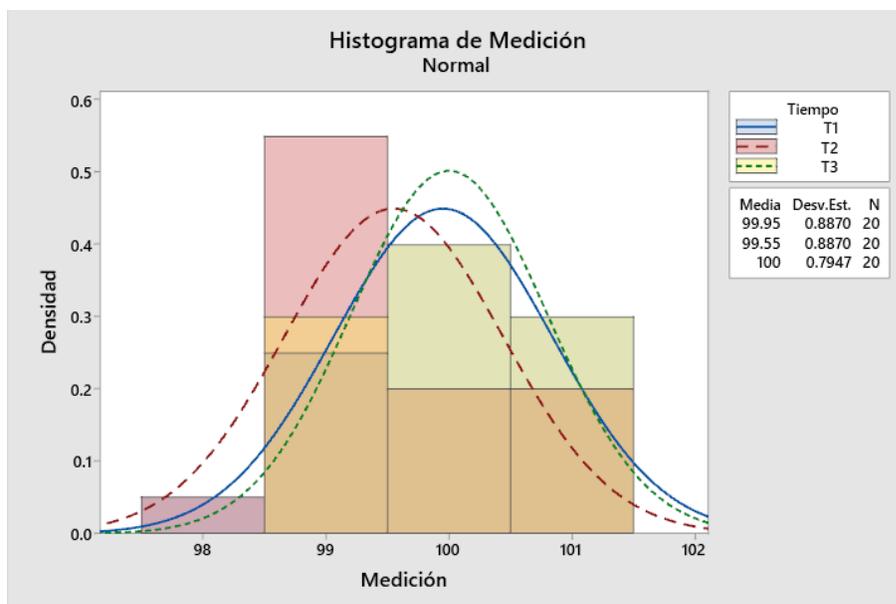
Como se puede evidenciar en el histograma presentado en la Figura 106, para la pieza de 1000g se ha obtenido un valor de bias=0.8, que, de acuerdo con el peso evaluado, tenemos un error de 0.08% para pesos de 1000g y una precisión de 1.568g concluyendo entonces que el sistema presenta una buena exactitud y precisión.

Estabilidad en el tiempo

La estabilidad de la capacidad de medición del sistema checkweigher se mide realizando la toma de datos de una muestra de 100g en diferentes instantes de tiempo. Para este caso se ha realizado 20 mediciones de esta muestra en intervalos de 4h, con lo cual tenemos los resultados mostrados en la Figura 107.

Figura 107

Histograma para una muestra de 100g en 3 tiempos diferentes



De los resultados mostrados obtenemos valores de media de 99.95, 99.55 y 100 para los tiempos, T1, T2 y T3 respectivamente, con esto podemos evidenciar que no existe una diferencia significativa en los valores de peso promedio en la medición en diferentes instantes de tiempo. De la misma forma, la desviación estándar en cada caso, tampoco presenta una diferencia importante, debido a esto, concluimos que el sistema checkweigher es estable en el tiempo.

Análisis de capacidad

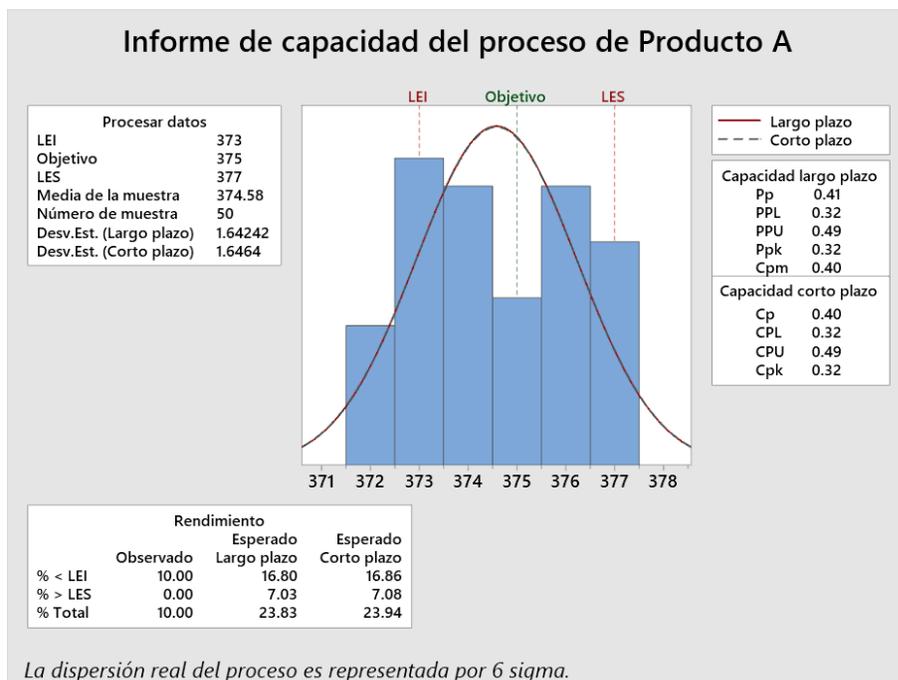
En este apartado se analiza la confiabilidad del equipo en cuanto al sistema de rechazo se refiere. Para este objetivo realizamos la medición de 10 muestras de un producto denominado *BA1345*, cuyo peso nominal es de 375g y con un rango de aceptación de $\pm 2g$. Cabe recalcar que uno de estos paquetes ha sido aumentado su peso de manera intencional para estar fuera del rango aceptable. Los datos tomados fueron de 5 pruebas por cada uno de los paquetes y de forma aleatoria, teniendo un total de 50 pruebas. Estos datos se cargan desde la HMI haciendo una búsqueda

interna en las recetas cargadas. Una vez encontrado el producto, comenzamos el proceso presionando el pulsador de inicio para poner en marcha el sistema.

A partir de los datos recopilados por el sistema, realizamos el informe de la capacidad del proceso del producto *BA1345* para determinar cuántos paquetes están fuera del rango establecido. El resultado se muestra en la Figura 108.

Figura 108

Informe de capacidad para el producto BA1345



Del informe de la Figura 108, podemos destacar la media obtenida de 374.58, valor muy cercano al peso deseado. Por otra parte, en el recuadro de rendimiento, observamos el total de productos fuera de rango cuyo valor porcentual es de 10% equivalente a 5 paquetes. Este valor corresponde al número de paquetes que fueron retirados de la línea de producción por el checkweigher, siendo este el paquete cuyo peso ha sido modificado para estar fuera del rango aceptable. En definitiva, se concluye que el sistema de pesaje checkweigher cumple satisfactoriamente con su función de rechazo.

Cabe destacar que la finalidad del análisis de capacidad de proceso realizado en este apartado es únicamente determinar la correspondencia de los paquetes que fueron rechazados por el checkweigher y los paquetes fuera de rango registrados en la base de datos, más no busca determinar la capacidad de proceso de producción en sí.

DOE

La realización del siguiente diseño experimental, tiene como objetivo determinar la exactitud en la medición cuando se realiza bajo diferentes niveles de velocidad y peso. Para esto, se realiza un diseño factorial de 2 factores, 3 niveles y 3 corridas. Los factores y niveles utilizados se muestran en la Tabla 44.

Tabla 44

Diseño factorial completo de dos factores con 3 niveles

Factor	Unidad	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Velocidad	paq/min	30	60	120
Peso	g	100	500	1000

A continuación, en la Tabla 45 se presenta las combinaciones entre factores para la realización del experimento y la salida resultante en cada una. La salida se ha determinado como la diferencia entre el peso medido y el peso nominal de la pieza.

Tabla 45

Tabla de combinación del diseño factorial completo con 3 corridas

Orden Estadístico	Orden Corrida	Nivel de Velocidad	Nivel de Peso	Error [g]	Error [%]
18	1	3	3	2	0.2
8	2	3	2	3	0.6
16	3	3	1	0	0
14	4	2	2	1	0.2
24	5	2	3	2	0.6
10	6	1	1	0	0
4	7	2	1	0	0
27	8	3	3	3	0.3
6	9	2	3	1	0.1
11	10	1	2	1	0.2

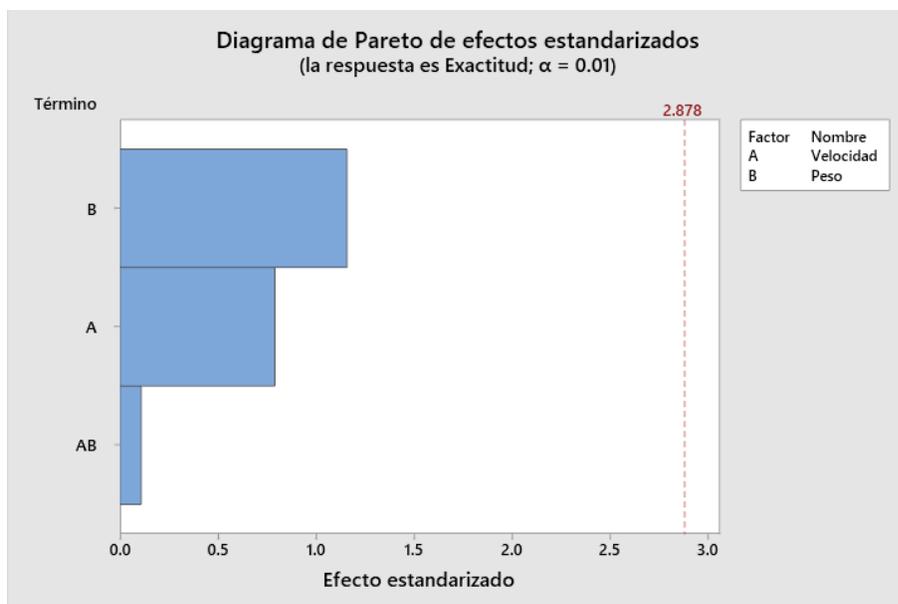
23	11	2	2	0	0
21	12	1	3	2	0.2
15	13	2	3	1	0.1
22	14	2	1	3	0.3
7	15	3	1	2	0.2
1	16	1	1	0	0
26	17	3	2	1	0.2
5	18	2	2	0	0
20	19	1	2	1	0.2
13	20	2	1	0	0
9	21	3	3	2	0.2
19	22	1	1	3	0.3
2	23	1	2	0	0
12	24	1	3	0	0
3	25	1	3	2	0.2
17	26	3	2	0	0
25	27	3	1	1	0.1

Con estos resultados, procedemos con el análisis del diseño factorial mediante el uso de minitab. El resultado del diseño se muestra en la Figura 109, donde se pueden evidenciar cuales factores son los más importantes a la hora de realizar mediciones de peso de los productos. Cabe recalcar que el estudio se ha realizado bajo un nivel de confianza del 95%.

Con base en los resultados obtenidos podemos concluir que los factores de velocidad y peso, no son realmente significativas en la exactitud del sistema de medición checkweigher, debido a que, sin importar la configuración, la precisión del sistema de medición se mantiene.

Figura 109

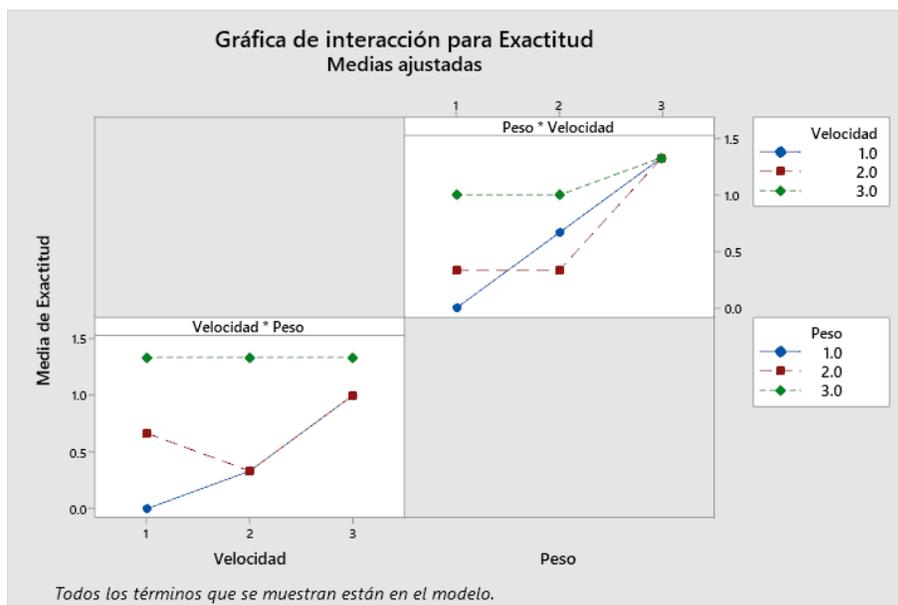
Efectos de los factores sobre la exactitud del sistema checkweigher



Por otra parte, en la Figura 110, podemos determinar la mejor combinación de peso y velocidad con la cual disminuimos el error de exactitud, siendo esta la combinación de los niveles más bajo tanto para la velocidad como para el peso.

Figura 110

Gráfica de interacción de factores para la exactitud del checkweigher



CAPÍTULO V

Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros

En virtud de los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo de titulación, en el presente capítulo se describen las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros sobre el mismo.

Conclusiones

El sistema de pesaje checkweigher ha sido diseñado, construido e implementado en las instalaciones de la empresa Precisión Ingeniería Industrial, cuyas especificaciones finales se describen en la Tabla 41. Uno de los aspectos destacables del checkweigher es la posibilidad de acoplarse a líneas de producción cuyo sentido de producción sea de izquierda a derecha o de derecha a izquierda, ya que se puede configurar el sentido de giro de las bandas y el sistema de rechazo se puede cambiar al lateral opuesto fácilmente, además cuenta con capacidad de conexión a internet, con lo cual permite la consulta y registro de información en la base de datos en un servidor web de la empresa.

El sistema de pesaje checkweigher ha sido construido en su totalidad en acero inoxidable AISI 304 y aluminio según los diseños realizados durante el desarrollo de este proyecto. De los conceptos desarrollados en el capítulo 0, se construyeron 4 prototipos para la cinta de pesaje, esto con fin de obtener el concepto con mejores resultados en cuanto a pesaje se refiere, hecho por el cual se tuvo un retraso en la finalización del proyecto. En general el checkweigher cuenta con tres cintas transportadoras; banda de entrada, banda de pesaje con capacidad de 1000g y resolución de 1g, y la banda de salida con un sistema de rechazo neumático accionado por un cilindro doble efecto con una carrera de 250mm.

Según los resultados de los análisis mecánicos del sistema, el checkweigher tiene la capacidad de pesar productos de hasta 6000g, lo cual brinda a la empresa la

posibilidad de realizar pruebas en productos con pesos mayores a 1000g sin la necesidad de realizar modificaciones en el diseño del mismo.

En el apartado de control, el checkweigher dispone de una pantalla HMI de 7 pulgadas de alta sensibilidad al tacto y de fácil navegación para el usuario, diseñada bajo ciertos lineamientos que presenta la guía GEDIS, además todos los componentes eléctricos y de control se disponen en un gabinete eléctrico donde el cableado y organización de los elementos está en correspondencia con la norma IEC 60617

A partir de la toma de datos y las pruebas realizadas en el checkweigher durante un período de 5 días en funcionamiento y configurado a una velocidad de muestreo de 30paq/min se conoce que:

- El sistema presenta un error de exactitud de 0.14%, 0.2%, 0.01% y 0.08% en productos de 100g, 200g, 500g y 1000g respectivamente
- El sistema posee en promedio una precisión de 0.7 en productos de 100g, 200g, 500g y 1000g.
- El sistema es estable en el tiempo ya que no presenta una variación significativa en los valores de peso promedio y desviación estándar calculados en el apartado de control estadístico de proceso.
- Por otra parte, de una muestra de 50 paquetes con un peso nominal de 375g de los cuales 5 paquetes están fuera del rango admitido, el sistema checkweigher ha rechazado 5 paquetes los cuales concuerdan con el registro. Hecho por el cual podemos concluir que el sistema de rechazo es confiable.

Se realizó la documentación necesaria del sistema de pesaje automático checkweigher donde se incluye el manual de usuario, calibración, de mantenimiento correctivo y preventivo. Además, se realizó los planos técnicos del equipo.

Recomendaciones

Instalar el sistema de pesaje checkweigher sobre una base sólida ajena a vibraciones significantes que pudieran afectar el rendimiento del sistema, de ser necesario utilice las patas niveladoras para ajustar el bastidor de tal modo que se encuentre totalmente nivelada. Mantenga el checkweigher alejada de líneas de producción que pudieran ocasionar caídas de material sobre el equipo.

Previo a cada proceso de pesaje, verificar la excentricidad de la banda de pesaje en sus 5 puntos de prueba en estado estático. Se recomienda realizar el proceso de calibración y mantenimiento del equipo periódicamente.

El equipo checkweigher posee dos sensores fotoeléctricos, uno como indicador de presencia para el transmisor de peso y uno más para la activación del rechazador. Se recomienda no obstruir los sensores con objetos, ni pasar la mano frente a estos sensores, ya que puede ocasionar la activación indeseada del cilindro ocasionando accidentes.

Ajustar los parámetros de trabajo del sistema neumático de rechazo del checkweigher, de acuerdo a la velocidad de accionamiento que se requiera tomando en cuenta además la fragilidad de los productos.

Trabajos futuros

El sistema de pesaje checkweigher cuenta con una pantalla HMI de 7" desde la cual, es posible acceder a los registros del indicador de peso a través de la conexión con el PLC, por lo cual, de ser necesario a futuro se puede incluir entre las diferentes pantallas de la HMI, una pantalla específica para leer y escribir sobre estos registros sin la necesidad de manipular físicamente el indicador dentro del gabinete eléctrico. Las posibilidades más relevantes que nos brinda esta opción, son las escribir comandos esenciales en el indicador como; encerrar, configurar tara, configurar tiempo de

muestreo, seleccionar pesaje dinámico o estático, configurar parámetros de conexión serial, entre otros.

El sistema checkweigher cuenta con conexión a internet a través de la HMI implementada. Con esta herramienta, es posible diseñar e implementar una aplicación web que pueda acceder a la información registrada por el checkweigher en la base de datos online, y con esto, visualizar en tiempo real toda la información relevante, como tendencias e históricos de la línea de producción en la cual se establezca el checkweigher.

El sistema checkweigher posee una capacidad de pesaje máxima de 6Kg por lo que, si se requiere posteriormente, se puede realizar un nuevo estudio para verificar el desempeño bajo esta capacidad de pesaje.

La certificación del equipo es una ventaja competitiva para la empresa, cuyo fin es la comercialización del mismo, hecho por el cual, si se requiere, el equipo puede ser sometido a pruebas de certificación realizando las modificaciones que el organismo regulatorio considere necesarias.

Bibliografía

- Aguas, M. F., & Naranjo, R. R. (2011). Diseño e implementación de un módulo didáctico de pesaje dinámico, con selección y etiquetado de acuerdo a las características del producto. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4056>
- Barreda Aguilera, I. Y., Blandón Zeledón, J. del R., & Salgado Bucardo, X. M. (2019). Diseño de bandas transportadoras de cajas de madera para evitar accidentes laborales y mejorar la organización en el área de fabricación de cajas en la Tabacalera PERDOMO S.A, en el I semestre del año 2019. [Diploma, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/11458/>
- Carro, A. N., & Tioli, H. (2012). Diseño y construcción de celdas de carga para comprobaciones intermedias de máquinas de fuerza. *Ingeniería*, 22(1), 57-68. <https://doi.org/10.15517/ring.v22i1.8394>
- Castro, J., Martínez, G., & Ravelo, F. (2011). DISEÑO DE UNA BANDA TRANSPORTADORA SEMIAUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE TANQUES DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS DE CARGA [Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10563/1/100.pdf>
- CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR (2008). (2021). https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- DIN 22102-2:2014—Conveyor belts with textile plies for bulk goods—Part 2: Testing. (s. f.). Recuperado 22 de diciembre de 2021, de <https://webstore.ansi.org/standards/din/din221022014->

1647898?gclid=CjwKCAiAtouOBhA6EiwA2nLKH-pWTO8Gn4_U-

1tIAdbJbrHpY6xLYvbSxrdbH_d7uJ0Of29JhYGAdBoCoG0QAvD_BwE

EKos. (2018, febrero 6). Industria de alimentos y bebidas: La mayor industria del país.

Ekos Negocios. <https://www.ekosnegocios.com/articulo/industria-de-alimentos-y-bebidas-la-mayor-industria-del-pais>

Esquivel, M. E. (2005). Diseño y construcción de una celda de carga. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.

Estrada, J. A. (2019). Protocolos de comunicaciones industriales. 5.

Forbo Holding. (2020). Prolink Engineering Manual—Forbo Siegling GmbH - PDF

Catalogs | Technical Documentation | Brochure.

<https://www.forbo.com/movement/es-es/productos/bandas-modulares-de-plastico/documentacion/p7587e>

Hernández, A. (1969). Bandas transportadoras.

<https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/4032>

Holman, J. P., & Gajda, W. J. (1986). METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS. MCGRAW - HILL.

Intermec. (2021). Manual de selección de transmisiones por correas dentadas de tiempo y síncronas. <https://www.intermec.com.co>

ISO 5725-1. (1994). ISO 5725-1:1994(en), Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results—Part 1: General principles and definitions. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5725:-1:ed-1:v1:en>

LAUMAS Innovation in Weighing. (2021, octubre 5). Guía para elegir las células de carga LAUMAS. <https://www.youtube.com/watch?v=RP7LD3vZmrM>

Logicbus S. A. (2021). Sensores, Transductores y Acondicionadores—Celdas de carga—LSB200—Logicbus S.A de C.V. Logicbus.

<https://www.logicbus.com.mx/LSB200.php>

- Modbus. (2004). <https://modbus.org/faq.php>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas (4ta ed)*. Pearson Educación.
- Neuber, H. (1946). *Theory of Notch Stresses: Principles for Exact Stress Calculation*.
J.W. Edwards.
- Norton, R. L. (2011). *DISEÑO DE MÁQUINAS*. Pearson.
- Orellana, J., Yapur, M., & Tello, D. (2005). *Medición de Esfuerzos y Deformaciones en Barras Metálicas Utilizando Galgas Extensométricas*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Oriental motor. (2019). SCM425UA-5 / DSCD25UA, 25 W (1/30 HP) AC Speed Control Motor and Controller (5:1 Gear Ratio) (Single-Phase 110/115 VAC). Oriental Motor USA. https://catalog.orientalmotor.com/item/dsc-series-ac-speed-control-motors/25w-dsc-speed-control-motors/dsci425ua-5-3v?plpver=1082&__hstc=62166835.66aea62cb44cf1271b352edf9a4e058b.1636742037908.1637940761547.1638040254760.19&__hssc=62166835.1.1638040254760&__hsfp=423254519
- Oriental motor. (2020). BLM230HP-10S / BLE2D30-A 30 W (1/25 HP) Brushless DC Motor Speed Control System. Oriental Motor USA.
https://catalog.orientalmotor.com/item/ble2-series-brushless-dc-motor-speed-control/30w-ble2-series-brushless-dc-motors/blm230hp-10s-ble2d30-a?__hstc=62166835.66aea62cb44cf1271b352edf9a4e058b.1636742037908.1640054973949.1640100131175.57&__hssc=62166835.1.1640100131175&__hsfp=2707556283
- Oriental motor. (2022). *OPERATING MANUAL Brushless Motors BLE2 Series*.
<https://www.orientalmotor.com/products/pdfs/opmanuals/HP-5105-4E.pdf>
- Precisión Ingeniería Industrial—Inicio. (2021). *Precisión Ingeniería Industrial*.
<http://www.precision.com.ec/>

- PRECISUR. (2021, febrero 9). La importancia del pesaje en la industria. Balanzas Precisur. <https://balanzasprecisur.com/la-importancia-del-pesaje-en-la-industria/>
- Quintero, M. (2019). Análisis pesadoras dinámicas. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/413>
- Revuelta. (2021). Soluciones para Pesaje por Ejes—Soluciones de Pesaje—Básculas REVUELTA. Básculas Revuelta. <https://www.revuelta.com.mx/basculas-y-soluciones-de-pesaje/soluciones-de-pesaje/pesaje-por-ejes>
- Sarmiento, D. J. (2016). Implementación de los protocolos de comunicación industrial mediante Simatic S7-1200 para el laboratorio de automatización de la Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5479>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2015). REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 284 “CANTIDAD DE PRODUCTO EN PREENVASADOS/PREEMPACADOS”. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-284.pdf>
- Tang, J. (2020, marzo 31). Motor Sizing Basics Part 4—How to Calculate Radial Load and Axial Load. <https://blog.orientalmotor.com/motor-sizing-basics-part-4-radial-load-and-axial-load>
- Tariq, M., Balachandran, W., & Song, S. (1995). Checkweigher modeling using dynamical subsystems. IAS '95. Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications Conference Thirtieth IAS Annual Meeting, 2, 1715-1722. <https://doi.org/10.1109/IAS.1995.530512>
- Troconis, J. A. (2019). Diseño e implementación de sistema de caracterización de células de carga con fines docentes [Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7879/tfg-troconis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Utilcell. (2016). GUÍA DE SELECCIÓN DE UNA CÉLULA DE CARGA PARA TANQUES Y SILOS. https://www.utilcell.es/wp-content/uploads/2017/05/51.-Es_NT_Seleccion-de-una-Celula-de-Carga-para-Tanques-y-Silos_Utilcell.pdf
- Vassaux Castro, L. P. (2007). Instalación de equipos de pesaje en banda transportadora para totalizar la producción de productos terminados [Masters, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- VISTAZO. (2020, octubre 21). Las 100 mayores empresas de la industria alimenticia del Ecuador. www.vistazo.com. <https://www.vistazo.com/enfoque/las-mayores-empresas-de-la-industria-alimenticia-del-ecuador-FEVI205606>

Apéndices