



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA DE UN DISEÑO DE DOSIFICACIÓN EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE
REFRESCOS EN POLVO, PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ANALCOHÓLICAS ARTIFICIALES**

Roberto Carlos Mazariegos Gutiérrez

Asesorado por el Ing. Efraín Andrés Paiz Cano

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN DISEÑO DE DOSIFICACIÓN EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE
REFRESCOS EN POLVO, PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ANALCOHÓLICAS ARTIFICIALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROBERTO CARLOS MAZARIEGOS GUTIÉRREZ
ASESORADO POR EL ING. EFRAÍN ANDRÉS PAIZ CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Laura Rosmery Briones de Díaz
EXAMINADORA	Inga. Milbian Kattina Mendoza Méndez
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera Hernández

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE UN DISEÑO DE DOSIFICACIÓN EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE REFRESCOS EN POLVO, PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ANALCOHÓLICAS ARTIFICIALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 26 de julio de 2017.



Roberto Carlos Mazariegos Gutiérrez

Guatemala, 03 de agosto de 2020

Ingeniero César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente hago de su conocimiento doy por aprobado el trabajo de graduación del estudiante Roberto Carlos Mazariegos Gutiérrez, con DPI 2172-86623-1804 y carné No. 2010-25381, de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, de la escuela de Ingeniería Mecánica Industrial Facultad de Ingeniería, titulado "PROPUESTA DE UN DISEÑO DE DOSIFICACIÓN EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE REFRESCOS EN POLVO, PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ANALCOHÓLICAS ARTIFICIALES", posterior a brindarle asesoría en el desarrollo del mismo.

Sin otro particular

Ing. Efraín Andrés Paiz Cano

Ingeniero Efraín Andrés Paiz Cano

Ingeniero Mecánico Industrial

Colegiado No. 7675



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.102.020

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA DE UN DISEÑO DE DOSIFICACIÓN, EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE REFRESCOS EN POLVO, PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ANALCOHÓLICAS ARTIFICIALES**, presentado por el estudiante universitario **Roberto Carlos Mazariegos Gutiérrez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Renaldo Giron Alvarado
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 5977

Ing. Renaldo Giron Alvarado
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2020.



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.DIR.EMI.086.021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE UN DISEÑO DE DOSIFICACIÓN, EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE REFRESCOS EN POLVO, PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ANALCOHÓLICAS ARTIFICIALES**, presentado por el estudiante universitario **Roberto Carlos Mazariegos Gutiérrez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2021.

/mgp

DTG. 425.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UN DISEÑO DE DOSIFICACIÓN EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE REFRESCOS EN POLVO, PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ANALCOHÓLICAS ARTIFICIALES**, presentado por el estudiante universitario: **Roberto Carlos Mazariegos Gutiérrez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, septiembre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi carrera.
- Mis padres** Carlos Mazariegos y María José Gutiérrez por todo su amor, paciencia, dedicación y sabiduría. Este logro es de ustedes.
- Mis hermanos** Gardenia Mazariegos, Christopher y Silvio Lumbi, por ser ejemplo de esfuerzo y perseverancia.
- Mi novia** Fátima García por su apoyo en los momentos más difíciles, por acompañarme en todo el camino y por ser un pilar para alcanzar mis metas
- Mis amigos** Por su amistad, especialmente a Ricardo Monterroso, por sus consejos, por ser ejemplo de vida y por su valioso apoyo para alcanzar este logro.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi <i>alma máter</i> , por brindarme la oportunidad de formarme como profesional
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los espacios y recursos necesarios para mi formación.
Mis amigos	Kevin Sermeño, Willian Martínez, Jorge y Ángel Castellanos, Edgar López, y Douglas Mansilla, por convertirse en familia y ser siempre apoyo en los momentos difíciles.
Mis amigos	Rosario Escobar y Gustavo Marroquín, por su apoyo incondicional y dejarme ser parte de su equipo.
Mi asesor	Ing. Efraín Paiz, por su tiempo y amable atención durante todo el proceso de revisión de este trabajo.
Familia Mazariegos	Tíos y primos, por sus consejos y apoyo brindado a lo largo de la carrera.
Los catedráticos	Por transferir con vocación todos los conocimientos que hicieron parte de mi formación profesional

Malher, S.A.

Por abrirme sus puertas y brindarme oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en mi carrera

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
HIPÓTESIS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Historia de la Industria de Bebidas en Guatemala.....	1
1.1.1. Historia empresarial.....	2
1.1.2. Procesos.....	2
1.2. Conceptos previos al diseño de un sistema dosificador	3
1.2.1. Dispositivos de flujo	3
1.2.1.1. Tolvas Vibratorias	4
1.2.1.2. Alimentadores de Tornillo Sin-Fin.....	7
1.2.1.3. Alimentadores de Banda	8
1.2.1.4. Alimentadores de Banco.....	9
1.2.1.5. Alimentadores Vibratorios.....	10
1.2.1.6. Alimentadores Estrella.....	10
1.2.2. Materiales en el diseño mecánico.....	11
1.2.2.1. Propiedades físicas	11
1.2.2.2. Propiedades mecánicas	12
1.2.2.3. Clasificación de los materiales.....	13
1.2.3. Controles y Sensores	13

	1.2.3.1.	Sensor.....	14
	1.2.3.2.	Medidores de nivel en sólidos	14
1.2.4.		Actuadores	20
	1.2.4.1.	Actuadores hidráulicos	21
	1.2.4.2.	Actuadores neumáticos	21
	1.2.4.3.	Actuadores eléctricos	22
1.2.5.		Transmisiones y Reductores	29
1.2.6.		Sistema de Control de Procesos	34
	1.2.6.1.	Sistemas de control de lazo cerrado	35
	1.2.6.2.	Sistema de control de lazo abierto	36
	1.2.6.3.	Sistemas de control para procesamiento de señales de sensores.....	36
1.2.7.		Características del Producto	38
	1.2.7.1.	Bebidas artificiales instantáneas	38
	1.2.7.2.	Granulometría	39
	1.2.7.3.	Tamaño de las partículas	40
	1.2.7.4.	Ángulo de reposo estático	41
	1.2.7.5.	Ángulo de reposo dinámico	43
	1.2.7.6.	Características de empaque.....	44
	1.2.7.7.	Densidad de los granulados	45
	1.2.7.8.	Medida de compresibilidad.....	47
	1.2.7.9.	Porosidad	49
	1.2.7.10.	Angulo de contacto.....	49
	1.2.7.11.	Angulo de espátula.....	50
2.		SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	51
	2.1.	Proceso de preparación de mezclas	51
	2.1.1.	Materias primas	52

2.1.2.	Diagrama de operaciones.....	55
2.1.3.	Diagrama de flujo.....	56
2.1.4.	Diagrama de recorrido	57
2.2.	Línea de llenado de refrescos monosabor.....	58
2.2.1.	Material de empaque	59
2.2.2.	Diagrama de operaciones.....	60
2.2.3.	Diagrama de flujo.....	61
2.2.4.	Diagrama de recorrido	62
2.2.5.	Operarios de línea	63
2.3.	Equipo que compone la línea de producción.....	63
2.3.1.	Embudos de alimentación.....	65
2.3.1.1.	Dosificación por tornillo sin-fin	66
2.3.2.	Tubos de dosificación	68
2.3.2.1.	Embuditos de dosificación	69
2.3.3.	Empacadora y selladora	70
2.3.3.1.	Proceso de sellado de sobres.....	71
2.3.3.2.	Proceso de corte de sobres	72
2.3.4.	Banda transportadora	73
2.3.5.	Estiba de ristra automatizada	74
2.3.5.1.	Objetivo del proceso	74
2.3.5.2.	Estructura del sistema	75
2.3.6.	Seguridad de maquinaria.....	76
2.4.	Mantenimiento de la línea de producción	81
2.4.1.	Mantenimiento TPM.....	81
2.4.1.1.	Tiempo medio entre fallos	82
2.4.1.2.	Paros programados	83
2.4.1.3.	Paros no programados	84
2.4.2.	Stock de repuestos	86
2.5.	Productividad actual	87

2.5.1.	Estudio de tiempos.....	87
2.5.2.	Actividades principales del proceso	91
2.5.3.	Capacidad instalada.....	92
2.5.4.	Personal de la línea.....	93
2.5.5.	Cálculo de la productividad	95
2.6.	Demanda.....	96
2.6.1.	Demanda histórica	96
2.7.	Demanda actual	97
3.	CRITERIOS DE SELECCIÓN Y CÁLCULOS	99
3.1.	Cálculo y diseño de la tolva de alimentación.....	99
3.1.1.	Cálculos.....	99
3.1.2.	Selección de material de construcción	99
3.1.3.	Malla para tamizado	100
3.1.4.	Análisis de barras magnéticas para cuerpos extraños.....	101
3.2.	Diseño del dosificador	103
3.2.1.	Selección de material de construcción	103
3.2.2.	Dimensiones de la tolva de dosificación.....	104
3.2.3.	Análisis de dosificación por cucharones volumétricos	106
3.2.3.1.	Dimensiones de los cucharones volumétricos	106
3.2.3.2.	Cálculo de carga del motor para los cucharones.....	107
3.2.3.3.	Referencia de motor comercial.....	109
3.3.	Diseño del recogedor del producto.....	109
3.3.1.	Dimensión del recogedor.....	110
3.3.2.	Selección del material de construcción	113

3.4.	Diseño del mecanismo removedor	114
3.4.1.	Dimensión de las aspas.....	114
3.4.2.	Capacidad de carga del mecanismo de accionamiento.....	115
3.4.3.	Motor del mecanismo removedor	117
3.4.3.1.	Cálculo de carga del motor del mecanismo removedor	117
3.4.3.2.	Referencia del motor comercial	118
3.5.	Vaciado del sistema	118
3.5.1.	Altura de vaciado	118
3.5.2.	Manguera flexible	119
3.6.	Control de calidad externo para verificar la dosificación precisa del producto	119
3.6.1.	Envase para control de calidad.....	120
3.6.2.	Balanza digital	121
4.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	123
4.1.	Área de instalación dentro de la línea de producción	123
4.1.1.	Distribución de equipo	123
4.1.2.	Determinación de mano de obra.....	125
4.1.3.	Determinación de herramienta para instalación....	126
4.1.4.	Limpieza del área donde se realizará el montaje..	126
4.2.	Montaje del equipo	127
4.2.1.	Guía de procedimientos de montaje	127
4.3.	Pruebas preliminares.....	128
4.3.1.	Calibración del equipo	129
4.4.	Capacitación y adiestramiento de operarios.....	129
4.4.1.	Buenas prácticas de manufactura	130
4.4.2.	Uso del equipo.....	131

4.5.	Programa de mantenimiento del equipo.....	134
4.5.1.	Acciones correctivas	134
4.5.2.	Acciones preventivas	136
4.6.	Observación y análisis del proceso.....	137
4.6.1.	Evaluación del proceso	137
4.6.2.	Normativos	137
4.7.	Control.....	138
4.8.	Costos de implementación	140
4.9.	Cronograma de actividades	141
5.	SEGUIMIENTO.....	143
5.1.	Manual de procedimientos para cambio de formato	143
5.1.1.	Paro seguro y desarmado del sistema dosificador	143
5.1.2.	Procedimiento estándar de limpieza, inspección y lubricación	146
5.2.	Indicadores de rendimiento de la línea de llenado	148
5.2.1.	Disponibilidad.....	148
5.2.2.	Velocidad.....	149
5.2.3.	Calidad	151
5.2.4.	Rendimiento global del equipo	152
5.3.	Formatos de control	153
5.4.	Mapa visual de pérdidas en la línea de pérdidas de línea.....	155
5.5.	Manejo de residuos	156
5.6.	Estrategias de seguimiento	157
5.6.1.	5's en áreas técnicas.....	157
5.6.2.	Diagrama de Pareto	158

CONCLUSIONES 161
RECOMENDACIONES 163
BIBLIOGRAFÍA..... 165

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Problemas habituales en silos.....	4
2.	Instalación de motovibradores en tolvas	6
3.	Vibradores electromagnéticos de contacto	7
4.	Sistema tornillo sin-fin	8
5.	Alimentador de banda	9
6.	Alimentador estrella.....	11
7.	Medidor de nivel de diafragma	15
8.	Medidor de nivel capacitivo	16
9.	Medidor de varilla flexible.....	17
10.	Medidor de paletas rotativas	18
11.	Medidor de nivel ultrasónico.....	19
12.	Medidor de nivel radioactivo.....	20
13.	Solenoide	24
14.	Lazo de control cerrado.....	35
15.	Lazo de control abierto.....	36
16.	Análisis granulométrico	40
17.	Funcionamiento de equipo para determinar el ángulo de reposo estático	42
18.	Método de drenado para determinar el ángulo de reposo estático	43
19.	Formas de empaquetamiento de partículas esféricas.....	45
20.	Volumenómetro utilizado para determinar el índice de compresibilidad	48
21.	Diagrama de procesos operativos torre de mezcla	55

22.	Diagrama de flujo de proceso torre de mezcla	56
23.	Diagrama de recorrido del proceso de torre de mezcla	57
24.	Líneas de llenado de refrescos en polvo	58
25.	Estructura de una película trilaminada termosellable.....	59
26.	Diagrama de procesos operativos línea de llenado	60
27.	Diagrama de flujo del proceso línea de llenado	61
28.	Diagrama de recorrido del proceso de llenado	62
29.	Plano de máquina llenadora de bebidas en polvo, vista lateral	64
30.	Plano de máquina llenadora de bebidas en polvo, vista aérea	64
31.	Disposición de tres embudos de alimentación monosabor	65
32.	Tornillo sin-fin visto desde el interior de un embudo	66
33.	Sensor óptico	67
34.	Disposición de los tubos de dosificación, transfiriendo producto desde el segundo nivel.....	68
35.	Embuditos de dosificación	69
36.	Acción de los rodillos de corte vertical y horizontal sobre el empaque dentro de la llenadora vertical	70
37.	Mordaza termoselladora horizontal.....	71
38.	Textura de termosellado en los bordes del sobre de un producto de cocina en polvo.....	72
39.	Diseño de una faja transportadora.....	73
40.	Rodillo de tracción de banda transportadora	74
41.	Presentación de ristra de un producto de cocina en polvo	75
42.	Vista desde la banda transportadora de una estiba de ristra	76
43.	Seguridad de maquinaria. Modo 1.....	77
44.	Guarda de acceso con Interlock de seguridad.....	78
45.	Seguridad de maquinaria. Modo. 2.....	79
46.	Seguridad de maquinaria. Modo. 3.....	80
47.	Seguridad de maquinaria. Modo 4.....	81

48.	Comportamiento de la demanda mensual del producto, 2016	97
49.	Referencia de volumen de un cilindro	105
50.	Referencia de volumen de un cucharón.....	106
51.	Diagrama del mecanismo removedor.....	115
52.	Ejemplo de recipientes utilizados para muestreos de sobres.....	120
53.	Secuencia de distribución final de línea de producción.....	124
54.	Tolva de dosificación de un sistema dosificador volumétrico basculante en un software de simulación.....	132
55.	Mecanismo de cucharones basculantes de un sistema dosificador volumétrico en un software de simulación.....	132
56.	Entrenamiento sobre lubricación dirigido a los operadores de la línea de producción de refrescos en polvo	134
57.	Ficha de puntos de bloqueo y etiquetado.....	143
58.	Estándar de operación para mantenimiento, desarmado del sistema dosificador	144
59.	Estándar de operación para mantenimiento: Desarmado del sistema de abastecimiento	144
60.	Procedimiento estándar de limpieza semanal, sistema dosificador ...	146
61.	Registro de control de limpieza de máquina llenadora.....	153
62.	Registro de control de piezas móviles.....	154
63.	Registro de cuantificación	155

TABLAS

I.	Indicador MTBF de los meses marzo y abril 2017	83
II.	Control de repuestos del sistema dosificador.....	86
III.	Estudio de tiempos de labado de piezas del sistema dosificador de la línea de llenado de referesco	88

IV.	Estudio de tiempos de actividades de mantenimiento correctivo en el sistema dosificador.....	90
V.	Principales actividades del proceso productivo.....	92
VI.	Costo por hora de operarios, área: bebidas en polvo	93
VII.	Costo de sueldo base de operarios de área: bebidas en polvo	94
VIII.	Costo hora extra de operarios área: bebidas en polvo	94
IX.	Costo de oportunidad.....	95
X.	Síntesis de actividades del diagrama de flujo	95
XI.	Producción anual de todos los sabores de refrescos en toneladas, período 2011 a 2016.....	97
XII.	Resumen dimensión del recogedor	113
XIII.	Velocidad de sobres generados en línea	120
XIV.	Características técnicas de balanza digital	121
XV.	Elementos de sujeción del equipo de dosificación basculante.....	126
XVI.	Planificación de programa de entrenamiento operativo	133
XVII.	Parámetros de acciones correctivas	135
XVIII.	Parámetros de acciones preventivas	136
XIX.	Costos de implementación.....	140
XX.	Cronograma de actividades	141
XXI.	Disponibilidad de línea de llenado	148
XXII.	Velocidad de línea de llenado	149
XXIII.	Indicadores de calidad de producto: pérdidas/reclamos	151
XXIV.	Rendimiento global del equipo.....	152
XXV.	Manejo de residuos.....	156

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballo de potencia/medida de potencia
Cm	Centímetro
USD	Dólar estadounidense
°	Grado
°C	Grado Celsius
Kg	Kilogramo
Kw	Kilowatt
±	más/menos
Mm	Milímetro
%	Porcentaje

GLOSARIO

Alimentador	Se refiere a un suceso múltiple que se da en una misma circunstancia temporal.
Anisométrico	Es la maquinaria que carga un producto a procesar a una máquina principal.
Asíncrono	Se refiere al nombre que se le da a una cristalización con dos ejes desiguales o distintos.
Asset Intensity	Indicador de rendimiento de máquina que mide el porcentaje de horas efectivas de producción e incluye factores de horas de paro planeado y no planeado.
Borne	Es una parte metálica de un dispositivo eléctrico o máquina en la que se produce conexión eléctrica al exterior.
Consortio	Unión de personas con un mismo fin que contribuyen a obtener el mismo efecto.
Cohesividad	Se refiere a la acción de mantener unido diversos elementos.

Diafragma	Separación en forma de lámina movable o porosa que obstruye o regulariza la comunicación entre dos partes de determinadas máquinas y aparatos.
Dispositivo	Pieza o conjunto de piezas diseñadas para realizar una función específica, generalmente forman parte de un conjunto más complejo.
Ductilidad	Capacidad de algunos materiales para conducir el calor o la electricidad, la dureza, la maleabilidad.
Estator	Circuito fijo dentro del cual gira el móvil o rotor en dinamos y motores eléctricos.
Fuelle	Instrumento que atrapa aire del exterior y lo lanza con fuerza en una dirección.
Interlock	Dispositivo de seguridad de máquinas que habilita o deshabilita el sistema eléctrico por medio de enclavamiento.
Izaje	Se refiere a la acción que permite el levantamiento y suspensión de cargas de mayor tamaño y peso.
Radiancia	Es la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro que emite con una temperatura específica.

Torque

Medida de fuerza a aplicar a una varilla para hacer girar un objeto.

RESUMEN

En la ingeniería de procesos se analizan diferentes operaciones de transformación de materia prima a producto final. Frecuentemente, el proceso de empaque o envase de productos granulados, húmedos o secos se vuelve complejo para la línea de producción alimenticia, por lo que, es necesario estudiar las operaciones más críticas, sistemas de procesamiento y parámetros de control que garantizan la estabilidad del proceso y la calidad total del producto.

Este estudio se enfoca en la estructuración y diseño del sistema dosificador para la línea de llenado y envasado de bebidas artificiales en polvo de una empresa de alimentos y refrescos de Guatemala. en él se incluyen conceptos, alternativas y soluciones que ofrece el mercado sobre procesos de rendimiento y producción alimenticia.

Se incluyen procedimientos de seguimiento y herramientas para la estandarización de los procedimientos rutinarios de la línea de refrescos en polvo e indicadores para presentación de la misma, además de formatos para la documentación del comportamiento de procesos, a corto plazo y mediano plazo, a fin de obtener la información necesaria para establecer acciones de producción con herramientas de mejora continua.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de dosificación en una línea de llenado de refrescos en polvo, para mejorar el rendimiento en una planta de producción de bebidas no carbonatadas.

Específicos

1. Realizar un análisis de diagnóstico de la situación actual en que se encuentra la línea de llenado.
2. Establecer los parámetros críticos para el procesamiento y dosificación de productos en polvo.
3. Determinar los requerimientos de normativa alimentaria en cuanto a la calidad de los materiales a utilizar en la construcción de sistemas de procesamiento.
4. Establecer el diseño del sistema dosificador simplificado para la línea de llenado.
5. Realizar pruebas de simulación de los mecanismos del sistema mediante un software.

6. Determinar el nuevo procedimiento de limpieza por cambio de producto a procesar en la máquina.
7. Evaluar la relación beneficio costo de implementar el sistema en una línea de producción de llenado de refrescos en polvo.

HIPÓTESIS

Mediante el diseño de un sistema de dosificación para la máquina llenadora aumentará el rendimiento de la línea.

Hipótesis nula:

La eliminación de paros programados por mantenimiento de motores y cajas reductoras aumentará el tiempo de disponibilidad de la máquina para producir.

La simplificación del diseño del sistema reducirá el tiempo en procedimientos del cambio de presentación del producto que procesa la máquina.

La mejora en el indicador de disponibilidad de la máquina para producir representa la recuperación de la inversión en un determinado tiempo.

INTRODUCCIÓN

Una línea de llenado de refrescos en polvo está constituida por grupos funcionales dentro de los que se encuentran: el grupo dosificador, una tolva contenedora del producto, el grupo termosellador, la portabobina (empaquete del producto), la cinta transportadora de salida para los envases producidos y el cuerpo de la maquinaria donde se encuentran instaladas las unidades de control que gobiernan los movimientos de todo el proceso de la máquina.

Uno de los grupos más críticos dentro del proceso es el grupo dosificador. Los sistemas de dosificación utilizados en la Industria Alimenticia tienden a ser diseñados de forma específica, por lo que cambian según las propiedades físicas y químicas del producto que la máquina procese.

En esta investigación se analizará el sistema actual de dosificación de una máquina de llenado de refresco en polvo y se planteará posteriormente, la propuesta de un diseño simplificado con impacto en reducción de costos por mantenimiento, energía eléctrica y procedimientos de limpieza, para aumentar el rendimiento de la línea productiva.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Historia de la Industria de Bebidas en Guatemala

La industria alimentaria de Guatemala ocupa un área relevante en el sector industrial, que cuenta con diversas empresas nacionales de amplia trayectoria dedicadas a la elaboración de productos comestibles de diversa índole, que incluye también la fabricación de bebidas en polvo. Cabe mencionar que Guatemala es reconocida como el país centroamericano de mayor economía debido a su Producto Interno Bruto, esta y otras características de tipo político y geográfico, entre otras, ha permitido que a dicho sector se adhieran empresas multinacionales.

En cuanto a la evolución empresarial, actualmente, las compañías locales operan con sistemas tecnológicos de producción, así como con canales estratégicos de distribución, que les permite permanecer en el mercado, ya que enfocan sus objetivos en cumplir las metas de fabricación y comercialización de sus productos a nivel nacional e internacional. Es por ello que se define como un sector de estructura compleja que engloba funciones logísticas de producción y colocación del producto al consumidor final¹.

¹ MELENDO, María José. *Estudio de Mercado*. [https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde5/ode4/~edisp/doc2019818158.pdf?utm_source=RSS&utm_medium=ICEX.es&utm_content=04-04-2019&utm_campaign=Estudio%20de%20mercado.%20El%20mercado%20de%20la%20distribuci%C3%B3n%20alimentaria%](https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde5/ode4/~edisp/doc2019818158.pdf?utm_source=RSS&utm_medium=ICEX.es&utm_content=04-04-2019&utm_campaign=Estudio%20de%20mercado.%20El%20mercado%20de%20la%20distribuci%C3%B3n%20alimentaria%20).

1.1.1. Historia empresarial

La historia de la empresa guatemalteca en la que se enfocará este estudio inicia su labor productiva como un pequeño negocio familiar, durante la segunda mitad del siglo XX, específicamente en la década de los 60, con la preparación de gelatinas que no necesitaban refrigeración y la producción de chiles jalapeños en escabeche. La venta de gelatinas tuvo mucho éxito por lo que adquirieron su primer vehículo para la distribución del producto. Posteriormente con el objetivo de hacer más rentable la nueva adquisición, lograron incursionar en la venta de algunos productos lácteos ².

Sin embargo, dentro de los nuevos productos, surgió la elaboración de un refresco instantáneo en polvo, procesado con los mismos ingredientes de la gelatina, que se mezclaban en recipientes grandes, de manera que, en el año 1965, oficialmente se funda una nueva empresa en el área de la industria alimenticia guatemalteca. El crecimiento empresarial generó la ampliación de la planta de trabajo, por lo que, al consolidarse en la rama alimenticia durante los años 80, se apertura una planta de producción en una región del interior del país.

1.1.2. Procesos

Actualmente, dicha empresa alimenticia, genera empleo para 1 061 personas a través del enfoque en las líneas de producción, por lo que, cuenta con tres turnos de trabajo para cubrir las 24 horas del día. Incluso cuenta con personal de más de 40 años de labor ininterrumpida, situación que la

² DÍAZ, Javier. *Los Primeros 50 años de Malher: Una gran historia de de éxitos y fracasos*. <https://www.negociosyemprendimiento.org/2010/03/los-primeros-50-anos-de-malher-una-gran.html>.

reconoce como una empresa estable y solidificada³. La capacidad utilizada de esta planta de producción es de 65 % en promedio, lo que permite el margen de crecimiento. Mientras que cuando una línea de producción oscila en un 75 % de capacidad instalada, la política empresarial determina el cambio de equipo y maquinaria, lo que demuestra la visión de crecimiento y permanencia en el mercado⁴.

1.2. Conceptos previos al diseño de un sistema dosificador

A continuación, se presentan los conceptos teóricos, para comprender la estructura y características del diseño de un sistema de dosificación industrial.

Se llama sistema dosificador a los dispositivos que se utilizan en la industria alimenticia para distribuir la materia prima en cantidades exactas y secuencias temporales específicas, es a través del sistema dosificador que tanto los productos sólidos o líquidos son pesados y medidos en cantidades exactas con durante el proceso de su fabricación, con el fin de optimizar tanto la producción como la calidad del producto⁵. Dentro del sistema dosificador industrial, se encuentran los siguientes dispositivos:

1.2.1. Dispositivos de flujo

Este tipo de dispositivos tienen como función transferir y almacenar la materia prima de un producto terminado dentro de una planta de llenado

³ DÍAZ, Javier. *Los Primeros 50 años de Malher: Una gran historia de de éxitos y fracasos.* <https://www.negociosyemprendimiento.org/2010/03/los-primeros-50-anos-de-malher-una-gran.html>.

⁴ Ibid

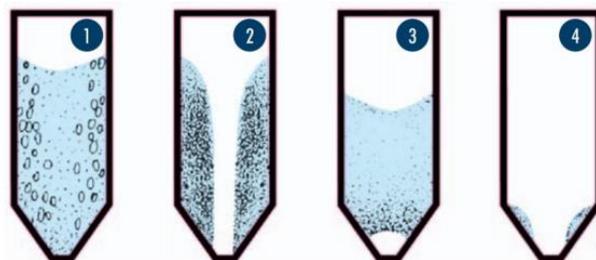
⁵ MCR GROUP. *Qué es la dosificación industrial.* <https://www.mcr.es/que-es-la-dosificacion-industrial/>.

industrial⁶. Existen diferentes tipos de dispositivos, los cuales se describen a continuación:

1.2.1.1. Tolvas Vibratorias

Su función es ensanchar la abertura de depósitos de almacenamiento y generar flujo que romperá los puentes formados por el mismo material⁷. Tanto en una tolva como en un silo, el flujo material almacenado es más rápido en el área central que cerca de la pared. El flujo de la masa central se transfiere uniformemente a la sección externa del silo, aunque con inercia, el material cae sin interrupción, pero más lentamente. Solamente algunos materiales en polvo se deslizan de una manera totalmente fluida.⁸

Figura 1. Problemas habituales en silos



Fuente: VIBROTECH. *Guía de vibrado de tolvas*. <https://vibrotech.com.ar/instructivos/guia-vibrado-de-tolvas.pdf>. Consulta: 14 de marzo de 2020.

⁶ SUIRA, Leesley. *Dispositivos de Flujo Estacionario*. <http://termodinamicautp2016.blogspot.com/2016/06/dispositivos-de-flujo-estacionario.html>.

⁷ SUÁREZ, Willy. *Ingeniería inversa y diseño de la automatización de un dosificador de polvos, utilizando celda de carga a través de microcontrolador Atmega para la empresa JACS*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2104>.

⁸ VIBROTECH. *Guía de vibrado de tolvas*. <https://vibrotech.com.ar/instructivos/guia-vibrado-de-tolvas.pdf>.

Al aplicar un sistema de vibración a una tolva, hay que tener presente que no todas fueron diseñadas para soportar vibraciones. Para agregarle un sistema de vibración es indispensable que la tolva posea aislación elástica, además, debe tener un volumen de al menos 20 metros cúbicos para que soporte vibraciones. Existen varios tipos de sistemas vibratorios, algunos son⁹:

- Vibradores neumáticos

Estos garantizan el mejor flujo del material en un depósito o tolva, para mayor eficiencia, deben ser instalados en el área de la tolva que acumula material. Existe una variedad de vibradores neumáticos, accionados a: bola, rodillo, turbina, pistón y de impacto. Para seleccionarlos, dependerá del tamaño de la tolva y la aplicación ¹⁰.

- Motovibradores

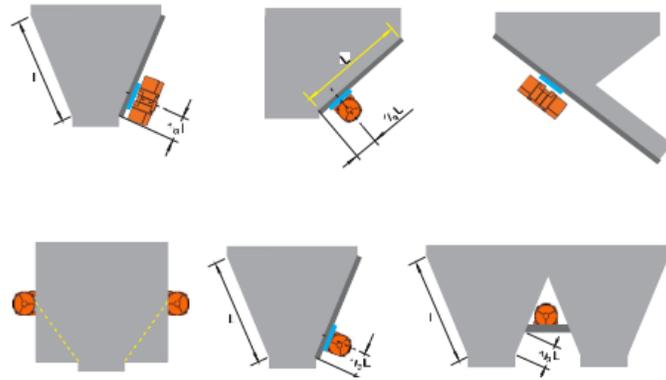
Los motovibradores se caracterizan por resistir altas y bajas temperaturas, están diseñados para trabajar de forma continua e intermitente. Estos dispositivos suelen utilizarse en atmosferas potencialmente explosivas ¹¹.

⁹ VIBROTECH. *Guía de vibrado de tolvas*. <https://vibrotech.com.ar/instructivos/guia-vibrado-de-tolvas.pdf>.

¹⁰ CLEVELAND VIBRATOR. *Manual para vibrador neumático*. <https://www.clevelandvibrator.com/images/documents/spanish%20-%20pneumatics%20manual.pdf>.

¹¹ VIBROTECH. *Guía de vibrado de tolvas*. <https://vibrotech.com.ar/instructivos/guia-vibrado-de-tolvas.pdf>.

Figura 2. **Instalación de motovibradores en tolvas**



Fuente: VIBROTECH. *Guía de vibrado de tolvas*. <https://vibrotech.com.ar/instructivos/guia-vibrado-de-tolvas.pdf>. Consulta: 14 de marzo de 2020.

- Vibradores electromagnéticos de contacto

Se conoce como el método más antiguo para vibrar tolvas, la característica y mayor ventaja de estos equipos se encuentra en la facilidad de colocación y la posibilidad de regulación mediante un regulador de vibración de bajo mantenimiento.¹²

¹² VIBROTECH *Guía de vibrado de tolvas*. <https://vibrotech.com.ar/instructivos/guia-vibrado-de-tolvas.pdf>.

Figura 3. **Vibradores electromagnéticos de contacto**



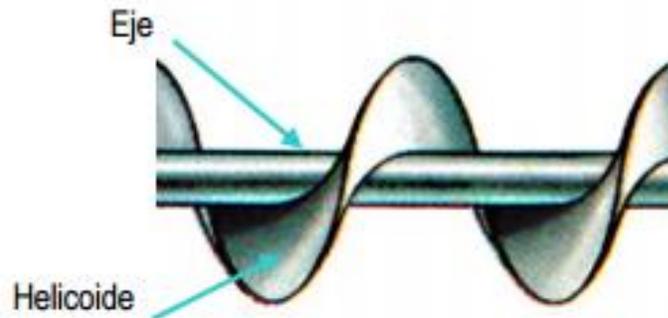
Fuente: VIBROTECH. *Vibradores eléctricos*. www.directindustry.es. Consulta: 11 de abril de 2017.

1.2.1.2. Alimentadores de Tornillo Sin-Fin

Es reconocido como uno de los mecanismos de transporte más antiguos y apropiados para el transporte de toda clase de granos. Su máxima longitud está entre 40 a 45 metros, en el caso que el tornillo sea mayor, necesitara un eje especial para soportar los esfuerzos de torsión, lo cual hace indispensable el uso del tornillo helicoidal de paso variable, esto produce un arrastre uniforme del material, debido a la apertura total de la tolva¹³.

¹³ CASTILLO, Álvaro. *Acondicionamiento de granos: secamiento, almacenamiento y costos*. p.65.

Figura 4. **Sistema tornillo sin-fin**



Fuente: Educación .es. *Sistema tornillo.*

http://agrega.educacion.es/galeriaimg/dc/es_20071227_1_5001708/es_20071227_1_5001708_captured.jpg. Consulta: 14 de marzo 2020.

1.2.1.3. **Alimentadores de Banda**

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares que poseen las instalaciones, estas tienen por objetivo recibir un producto para trasladarlo a otro punto¹⁴, sin embargo, no deben existir puntos muertos que afecten el canal de flujo en la parte superior de la banda del alimentador¹⁵. Los alimentadores de banda se integran básicamente por una faja sinfín y flexible, que se desliza apoyada sobre unos rodillos de giro libre. El proceso de desplazamiento de la banda ocurre por medio de la acción de arrastre, que se transmite por medio del tambor motriz, en el extremo opuesto está situado el tambor retorno.

¹⁴ GONZÁLEZ, Cristina. *Cinta, descripción completa*. <https://es.scribd.com/document/327530482>

¹⁵ SUAREZ, Willy. *Ingeniería inversa y diseño de la automatización de un dosificador de polvos, utilizando celda de carga a través de microcontrolador Atmega para la empresa JACS*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2104>.

Los componentes y accesorios de los alimentadores de banda están instalados sobre un bastidor, lo que les da soporte y cohesión. Existen dos tipos de banda: a) cintas fijas: son aquéllas que no pueden cambiar su instalación, b) cintas móviles: se caracterizan por estar provistas de ruedas u otros sistemas de fácil cambio de ubicación; su altura generalmente se puede regular, por medio de un sistema que permite cambiar la inclinación de transporte según se necesite¹⁶.

Figura 5. **Alimentador de banda**



Fuente: DIRECTINDUSTRY. *Alimentador de banda*. www.directindustry.com. Consulta: 2 abril 2017.

1.2.1.4. Alimentadores de Banco

Su estructura aplica el mismo diseño que el de banda, el faldón está elevado por encima del banco en un patrón en espiral, el cual proporciona una mejor

¹⁶PIZARRO, Nuria. *Seguridad en el trabajo*. https://www.todostuslibros.com/libros/seguridad-en-el-trabajo-2a-edicion_978-84-96743-07-6.

capacidad en la dirección de rotación, además, posee una reja en el exterior del depósito que arrastra el material que fluye fuera del área del faldón.

1.2.1.5. Alimentadores Vibratorios

Tienen como función principal acomodar las partes en una posición que puedan ser recibidas por el equipo industrial que realizará el proceso, así como llevarlas al punto de alimentación en esa posición. En ocasiones los alimentadores vibratorios han sido utilizados para separar partes diferentes, además de detectar defectos en ellas o acumular una gran cantidad de partes disponibles al proceso. Tiene como característica que proporcionar uniformidad en el flujo a lo largo de su abertura ranurada, la cual es de longitud específica, por lo que no es aconsejable utilizarla para materias pegajosas¹⁷.

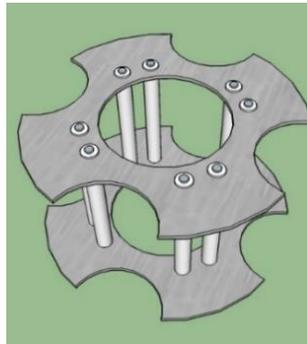
1.2.1.6. Alimentadores Estrella

Se conoce también como alimentador automático de doble tornillo, su función es alimentar procesos de producción industrial con materia prima Comúnmente es utilizada para alimentar botes o botellas en sistemas automatizados, su efectividad se caracteriza por la reducción de costos, así como alcanzar los objetivos de productividad¹⁸.

¹⁷ SUÁREZ, Willy. *Ingeniería inversa y diseño de la automatización de un dosificador de polvos, utilizando celda de carga a través de microcontrolador Atmega para la empresa JACS.* <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2104>.

¹⁸ JOIEPACK. *Rueda de estrella o alimentador automático de doble tornillo.* <http://www.joiepack.com/es/product/>.

Figura 6. **Alimentador estrella**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Sketchup 2018.

1.2.2. Materiales en el diseño mecánico

El diseño mecánico es una labor compleja en la que se deben tomar ciertos aspectos en cuenta que además requiere habilidades matemáticas, físicas y químicas, dependiendo del uso que se pretenda dar al objeto. Uno de los aspectos más importantes es el material de diseño, ya que su resistencia es un factor importante, así como los otros componentes que interactúan con la pieza, de manera que, las características de los materiales influirán tanto en el costo de cuidado y mantenimiento de este para prolongar su vida útil¹⁹.

1.2.2.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas son parámetros medibles, que caracterizan la diferencia entre un material y otro, y que son comúnmente utilizadas en la

¹⁹ CASTRO, Elizabeth. *Diseño Mecánico*. <https://es.slideshare.net/ElizabethCastro59/diseo-mecnico>.

mecánica industrial²⁰. Entre las propiedades físicas de un material se pueden mencionar²¹.

- Textura
- Elasticidad
- Dureza
- Ductilidad
- Punto de ebullición
- Punto de fusión
- Solubilidad
- Radiancia
- Conductibilidad térmica
- Fragilidad
- Temperatura

1.2.2.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son las reacciones de los materiales cuando son sometidos a una fuerza o carga de trabajo. Al igual que las propiedades físicas, estas también son únicas y proporcionan diferencias entre un material y otro. Entre ellas están²²:

²⁰ ZITA, Ana. *Propiedades físicas y químicas de la materia*
<https://www.diferenciador.com/propiedades-fisicas-y-quimicas-de-la-materia/>.

²¹ SUAREZ, Roxana. *Propiedades físicas y químicas de la materia*
<https://es.slideshare.net/RoxanaSurezCampos/propiedades-fsicas-y-qumicas-de-la-materia>.

²² UCLES, Ena. *Criterio de selección de los materiales*
<https://es.slideshare.net/EnaUcles1/criterio-de-seleccion-de-los-materiales>.

- Elasticidad
- Plasticidad
- Resistencia a la fluencia
- Resistencia a la torsión
- Resistencia a la tracción

1.2.2.3. Clasificación de los materiales

Los materiales pueden clasificarse según diversos tipos de parámetros, los cuales pueden agrupar por similitudes que van desde aspectos según propiedades físicas y químicas, desde la perspectiva de la fabricación, etc., las tres formas comunes de clasificar materiales son ²³:

- Según su origen: natural o artificial.
- Según su composición: los materiales pueden clasificarse en elementos compuestos, homogéneos o heterogéneos; compuestos, orgánicos e inorgánicos, metálicos o no metálicos, entre otros.
- Según sus propiedades: rigidez, flexibilidad, tenacidad, fragilidad, conductibilidad, entre otras.

1.2.3. Controles y Sensores

El control de procesos industriales es una herramienta indispensable en la ingeniería, porque permite tomar en cuenta tanto la medición como el análisis de variables de un proceso de producción que determinarán el funcionamiento del

²³ UCLES, Ena. *Criterio de selección de los materiales.*
[https://es.slideshare.net/EnaUcles1/criterio-de-seleccion-de-los-materiales.](https://es.slideshare.net/EnaUcles1/criterio-de-seleccion-de-los-materiales)

mismo, así como la toma de decisiones y aplicación de acciones de control que permitan dirigir el proceso²⁴.

1.2.3.1. Sensor

Es un dispositivo de control, capacitado para detectar variables externas y responder de inmediato, a través del principio de conversión de energía, se tomará una señal física: fuerza, presión, sonido, temperatura, entre otros y la convertirá en otra señal, ya sea eléctrica, mecánica óptica, química o similares, de acuerdo con el tipo de sistema de instrumentación o control implementado²⁵.

1.2.3.2. Medidores de nivel en sólidos

Utilizados en sistemas de control de nivel o volumen disponible, estos se diseñan específicamente según el estado físico en el que el material se encuentre dentro de su recinto de almacenamiento²⁶.

- Tipos de Medidores de Nivel en Sólidos
 - Medidor de diafragma

Consiste en una membrana flexible, conectada a un conjunto de palancas con contrapeso que actúa sobre un interruptor pequeño. Al momento que el nivel de sólido alcanza el diafragma, se cierra el interruptor automáticamente y puede

²⁴ ARBILDO, Aurelio. *El control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento*. [http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bdfde.nsf/OtrosWeb/Ing29Control/\\$file/02-ingenieria-produccion-ARBILDO.pdf](http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bdfde.nsf/OtrosWeb/Ing29Control/$file/02-ingenieria-produccion-ARBILDO.pdf).

²⁵ GUIMERANS, Paola. *¿Qué son los sensores?*, [http://paolaguimerans.com/openeart/2018/05/05/que-son-los-sensores/..](http://paolaguimerans.com/openeart/2018/05/05/que-son-los-sensores/)

²⁶ ROJAS, Ernesto. *Medidores de nivel*. <https://www.monografias.com/trabajos74/medidores-nivel/medidores-nivel2.shtml>.

accionar ya sea una alarma o actuar sobre un transportador o maquinaria específica asociada al depósito, una de sus características es que no admite gránulos mayores a 80 mm²⁷.

Figura 7. **Medidor de nivel de diafragma**



Fuente: SISTEMAMID. *Medidor de diafragma*.

https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-25_05-24-26108083.pdf. Consulta: abril de 2017.

- **Medidor de nivel capacitivo**

Este tipo de medido utiliza la capacitancia entre el sensor y la pared de metal del depósito para el cálculo del nivel según la teoría de la capacitancia, se utiliza tanto para medición de productos líquidos, polvos y sólidos de tipo

²⁷ HIDRAFLUID. *Medidores de Nivel Sólidos*. <http://www.hidrafluid.com/img/pdf/TIPOS%20DE%20MEDIDORES%20DE%20SONIDO%20LIQUIDOS%20Y%20SOLIDOS.pdf>. Consulta: 20 de marzo de 2020.

conductor o no conductor, dentro de sus cualidades presenta buena calidad de trabajo sin interferencia de temperatura o presión, entre otras ²⁸.

Figura 8. **Medidor de nivel capacitivo**



Fuente: Endress y Hausser. *Sondas, sensores, interruptores y transmisores de nivel.*
www.interempresas.net. Consulta: abril de 2017.

- Varilla flexible

Consiste en una varilla de acero que va conectada a un diafragma de latón, el cual contiene un interruptor. Cuando los sólidos presionan, automáticamente se cierra el interruptor, que a su vez actúa de forma inmediata sobre una alarma²⁹.

²⁸ NIKRON Automacion. *Medidores de nivel capacitivos.*
<https://nikron.com.ar/automacion/productos/nivel-medidor-de-nivel-capacitivo/>.

²⁹HIDRAFLUID. *Medidores de Nivel Sólidos.*
<http://www.hidrafluid.com/img/pdf/TIPOS%20DE%20MEDIDORES%20DE%20SONIDO%20LIQUIDOS%20Y%20SOLIDOS.pdf>.

Figura 9. **Medidor de varilla flexible**



Fuente: BinMaster. *Mediciones de Caudal, Presión y Nivel*. www.directindustry.com. Consulta: abril de 2017.

- Medidor de paletas rotativas

Cuando baja de nivel el producto y quedan libres las paletas, el motor volverá a su posición inicial por medio de un resorte, lo cual liberará los microinterruptores, de manera que se activen las paletas y vuelvan a girar y la alarma se desconecte³⁰. Se utiliza en tanques abiertos o a baja presión.

³⁰LEAL Eumar. *Medidores de Nivel*.
<https://instrumentacionunefm.files.wordpress.com/2013/02/medicion-nivel.pdf>.

Figura 10. **Medidor de paletas rotativas**



Fuente: Endress y Hauser. *Medidores de nivel granulados*. www.interempresas.net. Consulta: abril de 2017.

- Medidor de nivel de ultrasonidos

Consiste en un emisor de ultrasonidos que envía un haz horizontal a un receptor colocado al otro lado del tanque³¹. Este tipo de medidor se acciona por medio de ondas sonoras de alta frecuencia, en un rango de 20 y 40 kHz, las cuales se propagan por medio de la fase gas o aire, hasta chocar con el material sólido o líquido, el cual acciona el receptor que se sitúa en el mismo punto que el emisor, ambas partes son unidades piezoeléctricas que captan ondas de presión ultrasónicas.

³¹ CREUS, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 8a. Barcelona : Marcombo. p. 232.

Los sensores de ultrasonido llevan incorporados un sensor de temperatura, con lo cual se realiza la corrección de la velocidad de expansión del sonido³².

Figura 11. **Medidor de nivel ultrasónico**



Fuente: Kobold Instruments. *Medidor de nivel ultrasónico*. www.kobold.com. Consulta: abril de 2017.

- Medidor de nivel de radiación

Consiste en una fuente radiactiva de rayos gamma colocada al exterior e inferior del tanque, la radiación se emite por medio del lecho de sólidos y es captada por un detector externo. El grado de radiación que recibirá dependerá del espesor de los mismos, los cuales se encuentran entre la fuente y el receptor, el cual puede colocarse también en plano horizontal, la detección del aparato es discontinua todo-nada, además, está capacitado para trabajar a temperaturas altas de hasta 1 300 °C y presiones de 130 bar, con la inclusión de materiales peligrosos o corrosivos, este instrumento no requiere ninguna abertura o

³² SALGADO, Nohemí; YANEZ, María Eugenia. *Diseño e Implementación de un medidor de líquidos en tanques a través de un inst. virtual y un sensor de ultrasonido para el laboratorio de máquinas eléctricas de la carrera de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Univ. Técnica de Cotopaxi*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1532/1/T-UTC-1385.pdf>.

conexión por medio del tanque, ya que admite un control neumático o electrónico³³.

Aunque es un sistema de alto costo, no puede utilizarse en materiales que se afecten con radioactividad.

Figura 12. **Medidor de nivel radioactivo**



Fuente: RTS Automation. *Catálogo Minería y afines*. www.rts-auto.com. Consulta: abril de 2017.

1.2.4. **Actuadores**

Un actuador es un dispositivo totalmente mecánico que tiene como objetivo proporcionar fuerza para mover o accionar otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes: presión neumática, presión hidráulica y fuerza motriz eléctrica. Los actuadores pueden ser lineales (pistón) o rotatorios (motor eléctrico)³⁴.

³³ CREUS, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 8ª ed. Barcelona: Marcombo. p. 232.

³⁴ CARO, Claudia. *Actuadores*. <https://prezi.com/nhpbqbgjqtei4/actuadores/>.

1.2.4.1. Actuadores hidráulicos

Este tipo de actuador es el más antiguo, funciona en base a fluidos a presión, lo que provoca un movimiento con fuerza y velocidad o también a través de velocidad angular y momento, esto se da a partir de la pérdida de presión por cierto caudal del fluido³⁵. Los actuadores hidráulicos basan la presión generalmente en líquidos, generalmente en un tipo específico de aceite y se utilizan en aplicaciones que requieren carga pesada, éstos se pueden clasificar en tres grupos: cilindro hidráulico, motor hidráulico y motor hidráulico de oscilación³⁶.

1.2.4.2. Actuadores neumáticos

A través de estos mecanismos, se convierte la energía del aire comprimido en trabajo mecánico. En esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, difieren en el rango de compresión ya que es mayor en este caso, además la estructura y la utilidad es diferente, esto se debe a su poca viscosidad³⁷.

Dentro de estos dispositivos se pueden encontrar los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule. Los actuadores neumáticos se pueden clasificar de la siguiente manera³⁸:

³⁵ CARO, Claudia. *Actuadores*. <https://prezi.com/nhpqbgjqtei4/actuadores/>.

³⁶ ZAPATA, José. *Actuadores Hidráulicos*. <https://prezi.com/oquzefo0dt8m/actuadores-hidraulicos/>.

³⁷ RONDÓN, German, AGUILERA, Daniel, SEGURA, Anderson. *Actuadores Neumáticos*. <https://prezi.com/esg0ijlkmvpz/actuadores-neumaticos/>. Consulta: 19 de marzo de 2020.

³⁸ HOPELCHEN, Tecnm. *Actuadores*. <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r97988.PDF>.

- Cilindro Neumático
 - De efecto simple
 - De efecto doble
- Motor Neumático
 - Con engranaje
 - Con veleta
 - Con pistón
- Motor Rotatorio
 - Con una veleta a la vez
 - Multivalente
 - Con pistón
 - De ranura vertical
 - De embolo
- Fuelles
- Diafragma
- Músculo de hule

1.2.4.3. Actuadores eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico es más simple comparada con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, porque sólo se necesita de energía eléctrica como fuente de poder. Este tipo de actuadores utilizan cables eléctricos para accionar y transmitir electricidad y las señales, es versátil y no funcional respecto a la distancia entra la fuente de poder y el actuador. Existe diversidad de modelos de fácil utilización con motores eléctricos estandarizados según la

necesidad. Regularmente es necesario utilizar reductores, esto se debe a que los motores son de operación continua³⁹..

Para accionar el actuador eléctrico, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección adecuada. Regularmente, poseen un controlador local o botonera que realiza este proceso de forma más sencilla, para la automatización remota del actuador, se debe utilizar el diagrama de cableado que posee el actuador. Las conexiones a considerar son: fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, entre otros.

El torque o fuerza generada por el motor eléctrico se aumenta por medio de un reductor interno o externo para dar salida al torque final según el tiempo seleccionado. Es por ello que los actuadores eléctricos tardan más tiempo que los neumáticos o hidráulicos en recorrer la carrera⁴⁰.

- Relé

Es un interruptor operado electromagnéticamente, tanto el circuito controlado y el circuito controlador se encuentran separados entre sí galvánicamente. Esencialmente su estructura está compuesta por una bobina con núcleo de hierro, un inducido, por el que se da el accionamiento mecánico, un muelle de recuperación y los contactos de conmutación, por la cual el inducido móvil es atraído por el núcleo de la bobina. El inducido interviene sobre los contactos del relé, se debe tomar en cuenta que, de acuerdo al tipo de relé, los

³⁹ HOPELCHEN, Tecnm. *Actuadores*. <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r97988.PDF>.

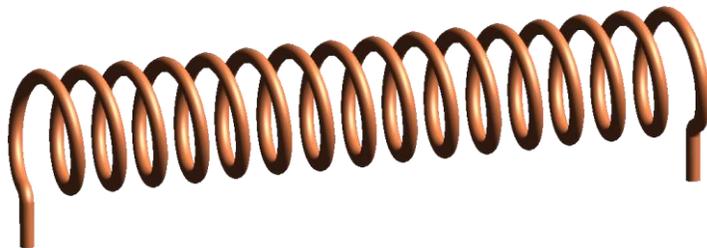
⁴⁰ VILDÓSOLA, Eugenio. *Actuadores*. <http://aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>.

contactos se abren o cierran. Si se obstaculizara el flujo de corriente por medio de la bobina, el inducido restablece su posición inicial por medio la fuerza de un muelle.⁴¹

- Solenoide

Es un dispositivo físico con la capacidad de crear un campo magnético su estructura es totalmente uniforme en su interior es intenso y débil en su exterior, existen dos tipos de solenoides: giratorios y lineales, ambos pueden ser unidireccionales o bidireccionales⁴².

Figura 13. Solenoide



Fuente: Electrictechinfo. *Inductor*. www.electrictechinfo.wordpress.com. Consulta: abril de 2017.

- Motor de corriente continua

Es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores son utilizados para operar o accionar dispositivos de potencia y

⁴¹ EBEL, F., IDLER, S., PREDE, G. y SCHOLZ, D. *Fundamentos de la Técnica de Automatización*. https://www.academia.edu/34603215/Fundamentos_de_la_t%C3%A9cnica_de_automatizaci%C3%B3n_Libro_t%C3%A9cnico.

⁴² PÓVEDA, Diego. *Solenoides y Toroides*. <https://prezi.com/qnylkbuog13e/solenoides-y-toroides/>.

precisión, además, tienen la característica de regular velocidad, la cual puede ser adaptada al tipo de carga mecánica a manejar. Los motores de corriente continua son construidos de la misma manera que los generadores, por lo que, un motor de corriente continua puede trabajar también como un generador⁴³.

La estructura de una máquina de corriente continua se compone de dos partes, el estator y rotor⁴⁴. En el estator se encuentran los polos, que generalmente son imanes permanentes o enroscados con hilo de cobre sobre un núcleo de hierro, el rotor es normalmente de forma cilíndrica, también enroscado y con núcleo, que recibe la corriente por medio de dos escobillas. Este tipo de motor es de los más versátiles en la industria⁴⁵.

Existen formas de conexión a través de las máquinas de corriente continua⁴⁶, estos son:

- Excitación independiente: Se reconoce porque los circuitos inductor e inducido se conectan a motores de corriente continua diferentes.
- Excitación serie: El motor serie posee el devanado de campo conectado en serie con la armadura, el devanado deberá soportar la corriente que incluye la armadura, por lo que el devanado deberá estar hecho con alambre grueso. La velocidad de giro variará según el tipo de carga que posea, el motor serie emplea generalmente un

⁴³ LÓPEZ, José. *Motores Eléctricos*. <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf>.

⁴⁴ PATIÑO, Jorge. *Motores de Corriente Continua*. <https://slideplayer.es/slide/3744913/>.

⁴⁵ LÓPEZ, José. *Motores Eléctricos*. <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf>.

⁴⁶RODRÍGUEZ, Miguel. *Máquinas de corriente continúa*. <https://es.scribd.com/document/392008542/ejercicio-5-2>.

par de arranque de alta potencia, por lo que tiene la capacidad de aceleración de cargas pesadas en menor tiempo.

- Motor de corriente directa en paralelo: Se caracteriza porque los circuitos tanto inductor como inducido se conectan a una única red de corriente continua en paralelo.
 - En el motor compuesto, cada bobina inductora está formada por dos arrollamientos independientes, uno de los cuales va conectado en serie con el inducido y el otro en paralelo con el inducido y el arrollamiento serie. De este modo, el campo inductor resultante es una combinación de los campos creados por cada arrollamiento inductor parcial, el motor compuesto reúne las características de los motores serie y derivación. Se debe tener presente que cada bobinado, la serie y el paralelo, produce su propio campo magnético y por consiguiente dichos campos magnéticos pueden sumarse o restarse. Cuando los campos magnéticos producidos por ambos bobinados suman o dan lugar a campos magnéticos hacia un mismo sentido, se le llama compuesto del tipo aditivo, y si por el contrario si los campos magnéticos de dichos bobinados son sustractivos, se le llama compuesto diferencial⁴⁷.
- Motor corriente alterna

Los dos tipos de motor conocidos como de corriente alterna son: motores síncronos y asíncronos. El motor síncrono es fundamentalmente un alternador

⁴⁷ RODRÍGUEZ, Miguel. *Máquinas de corriente continua*.
<https://es.scribd.com/document/392008542/ejercicio-5-2>.

trifásico que funciona a la inversa, sus imanes magnetizados están colocados sobre un rotor y su excitación es a través de corriente continua, mientras que su armadura está dividida en tres partes, que se alimentan con corriente alterna trifásica. Mientras que el motor asíncrono, genera una reacción magnética en los imanes del campo, que hace un campo magnético giratorio con una velocidad constante, determinado por la frecuencia de la corriente generada en la línea de potencia de corriente alterna, provocada a su vez por la variación de las tres ondas en la armadura⁴⁸. Se llama motor asíncrono por no poseer una misma velocidad sincronizada. Dentro de sus características están:

- Velocidad estable.
- Poseer un buen par de arranque.
- De la frecuencia de la corriente alterna depende su velocidad, para variarla se pueden utilizar variadores electrónicos de frecuencia.
- En el estator se asilan tres bobinas, desfasadas entre sí a 120° . Que individualmente se conectan a cada una de las fases de un sistema trifásico y a su vez generan un campo magnético giratorio, la velocidad de este elemento se denomina velocidad síncrona, la cual depende de la frecuencia de la red eléctrica a la que se encuentre conectado el motor.

En el arranque, al conectar el estator, se genera el campo magnético giratorio, el cual interactúa con los conductores del rotor induciendo en ellos f.e.m. y corrientes muy elevadas de alto amperaje, que al interactuar con el campo magnético producen fuertes fuerzas en los conductores del rotor, lo que provoca un fuerte par de arranque. Al aumentar las corrientes en el rotor, se producen

⁴⁸ LÓPEZ, José. *Motores Eléctricos* <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf>.

fuerzas magnetomotrices, que deben ser compensados desde el estator lo que aumentará también las corrientes que se absorben de la red⁴⁹.

En cuanto a aceleración y carga, al momento que inicia a circular corriente por los conductores del rotor, éste empezará a girar con un movimiento acelerado hacia el mismo sentido que el campo magnético giratorio. El movimiento relativo entre el rotor y el estator empezará a disminuir, así como disminuirá la fuente electromotriz y las corrientes del rotor y estator. El rotor alcanzará el equilibrio cuando se iguale el par resistente ofrecido por la carga y el par motor. Si se sobrepasara el par máximo que puede producir el motor y llegara a detenerse, las corrientes en el rotor y en el estator se elevarán a valores muy elevados que podrían causar su destrucción⁵⁰.

Al conectar el motor a la red, este absorbe una fuerte intensidad de corriente al momento del arranque, lo que provoca sobrecarga en las líneas de distribución, caídas de tensión y sobrecalentamientos. Situaciones perjudiciales tanto para el motor como para la red de distribución. Para reducir la corriente de arranque se debe reducir la tensión aplicada al motor, lo cual reduce el par de arranque porque disminuye el flujo del estator y a su vez la fuente electromotriz inducida en el rotor y la intensidad de corriente hacia el mismo⁵¹.

⁴⁹ PE, Almu. *Máquinas y motores eléctricos*. <https://es.slideshare.net/AlmuPe/tema-9-57531028>.

⁵⁰ *Ibíd.*

⁵¹ *Ibíd.*

1.2.5. Transmisiones y Reductores

- Transmisiones

Como lo indica su nombre, son mecanismos que transmiten el movimiento desde un punto hasta otro totalmente distinto, los mecanismos de transmisión se clasifican en dos grupos⁵²:

- Mecanismos de transmisión lineal: caracterizado porque sus elementos de entrada y salida mantienen un movimiento lineal.
- Mecanismos de transmisión circular: en ellos, sus elementos de entrada y salida mantienen un movimiento circular.

- Tipos de transmisión:

- Palanca: Básicamente consiste en una barra rígida que gira en torno a un punto de apoyo o articulación. Existen tres tipos de palanca: de primero, segundo y tercer género, dependiendo del punto en que se aplique la potencia y el apoyo para vencer la resistencia⁵³.
- Sistemas de poleas: Se reconoce como polea a la estructura mecánica compuesta por una rueda ranurada que gira en torno a un eje por el que pasa una cuerda que permite dominar de forma cómoda una resistencia aplicando una fuerza⁵⁴. Es un mecanismo

⁵²HERNÁNDEZ, Mateo. *Mecanismos de transmisión lineal*.
<https://prezi.com/7e7hc4rytxbe/mecanismos-de-transmision-lineal/>.

⁵³ LUQUE, Andrés. *Mecanismos de transmisión lineal*.
<https://prezi.com/9hxfjeja6avr/mecanismos-de-transmision-lineal/>.

⁵⁴ CAVIEDES, Valeria. *Mecanismos de transmisión de movimiento, su clasificación y su uso*.
<https://prezi.com/axmd0tj0nb-i/mecanismos-de-transmision-de-movimiento-su-clasificacion-p/>.

de transmisión lineal, pues el movimiento de entrada y salida es lineal. Existen tres tipos de poleas, que son⁵⁵:

- Polea simple/fija: La polea fija, como su nombre indica consta de una sola polea fija a algún lugar. Su objetivo es trabajar como una palanca, a través de un movimiento que cambia el sentido de la fuerza, por lo que permite comodidad en levantamientos de cargas⁵⁶.
- Polea móvil: Compuesta por un conjunto de dos poleas, una fija y una móvil, con el fin de reducir la fuerza a la mitad de lo debería utilizarse en esfuerzo para subir algún peso. Este tipo de polea se caracteriza por elevar más peso con menos esfuerzo⁵⁷.
- Polipasto: Es un tipo de polea móvil estructurada por un número par de poleas, la mitad son fijas y la otra mitad son móviles. Se clasifican por Polipasto I, cuando se fija una de las poleas y las demás que la componen son móviles: Polipasto II, cuando el mismo número de poleas son fijas con respecto al número de poleas móviles. Su objetivo es elevar un peso mayor con poca fuerza⁵⁸.
- Sistemas de poleas con correas⁵⁹: son mecanismos de transmisión circular, en las que dos poleas fijas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto de una correa,

⁵⁵ RUTE, Sebastián. *Mecanismos de transmisión línea*.

<https://es.slideshare.net/sebastianruteuribe/mecanismos-de-transmision-lineal>.

⁵⁶ *Ibíd.*

⁵⁷ *Ibíd.*

⁵⁸ *Ibíd.*

⁵⁹ JIMÉNEZ, Álvaro. *Sistema Polea-Correa*.

<https://es.slideshare.net/Alvaro123jimenez/sistema-polea-correa-10162135>.

se considera el sistema más simple de movimiento. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. Se clasifican según su tamaño:

- ✓ Sistema reductor de velocidad: Se caracteriza porque la polea conducida es de mayor tamaño con respecto a la polea motriz, lo que causa que la velocidad de la polea conducida sea menor que la velocidad de la polea motriz.
 - ✓ Sistema multiplicador de velocidad: A diferencia del caso anterior, la polea conducida es menor que la polea motriz, lo que causa que la velocidad de la polea conducida sea mayor que la velocidad de la polea motriz.
-
- Sistemas por ruedas de fricción mecanismo de transmisión circular⁶⁰. Los engranajes son ruedas dentadas son mecanismos que transmiten potencia entre uno y otro componente dentro de una misma maquinaria a través de movimiento circular. El tamaño de los dientes de todos los engranajes debe ser igual. Los engranajes se componen de dos ruedas dentadas una mayor llamada corona y la menor llamada piñón. Una de las dos ruedas conectada a la fuente de energía se le conoce como engranaje motor, mientras que la otra, conectada al eje que recibe el movimiento se le denomina engranaje conducido. En el caso de los

⁶⁰ VARGAS, Francisco. *Engranajes, Partes y Características*. <https://es.slideshare.net/ingmanttovargas/gua-2-engranajes-tipos-y-caracteristicas>.

engranajes, se debe tomar en cuenta el diámetro de la polea y el número de dientes de cada rueda. Existen dos tipos de relación de transmisión por engranajes.

- ✓ Reductor: El piñón es el engranaje motriz y la rueda es el engranaje conducido. Por lo que la velocidad de salida (rueda) será menor que la velocidad de entrada (piñón).
- ✓ Multiplicador: Se da cuando el piñón es el engranaje conducido y la rueda el engranaje motriz. En este caso, la velocidad de salida (piñón) será mayor que la velocidad de entrada (rueda).

- Sistemas de engranajes: mecanismo de transmisión circular compuesto por dos o más elementos de forma cilíndrica o cónica dentada, con el fin de transmitir potencia mecánica desde un punto a otro a una misma máquina. Se clasifican según la disposición de sus ejes de rotación y de acuerdo a los tipos de dentado que poseen⁶¹.

- Reductores

Existen dos tipos de reductores: Tornillo sin-fin y Corona, su función es reducir la cantidad de revoluciones de un accionamiento conductor a un número

⁶¹ ALTO, Carlos. *Sistemas de transmisión por engranajes*. <https://prezi.com/p/h6lkh3di8yef/sistemas-de-transmision-por-engranajes/>.

más bajo en el conducido. La relación de velocidad entre el conducido y el conductor es muy grande en estos mecanismos⁶².

Estos mecanismos se emplean para transmitir fuerza entre un conductor primario y una maquina impulsada. Además, tienen la función de modificar la fuerza, la cual puede transmitirse por medio de:

- Reducción de velocidad y aumento del par de salida.
 - Redireccionar la rotación del eje.
 - Redirigir el ángulo de operación del eje.
- Tipos de reductores y características:

Según el tipo de engranaje utilizado en el mecanismo del reductor existen los siguientes tipos:

- Reductores de corona y tornillo sin-fin.
- Reductores de engranajes externos.
- Reductores de engranajes internos.

Un mecanismo de tornillo sin-fin consta tanto de una pieza de tornillo sin-fin y una rueda helicoidal. Se diferencia de un engranaje de rueda frontal o de una de rueda cónica porque posee piezas de distinto tipo una de otra, ya que en los engranajes de rueda frontal o rueda cónica los laterales de los dientes que ruedan uno sobre otro son de tipo similar. La estructura del tornillo sin-fin y la rueda helicoidal se consideran como mecanismo del tornillo o helicoidal porque en él,

⁶² SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. *Mantenimiento Reductores de Velocidad*. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol14/volumen14.html#.

tanto el flanco como el contra flanco mantienen entre sí un movimiento helicoidal⁶³.

Los reductores de engranajes externos son unidades compactas, en las que el mecanismo de la transmisión de fuerza se integra por diferentes tipos de engranajes diseñados para grandes categorías de transmisión de fuerza clasificadas en: Reducción simple, reducción doble y reducción triple. Este tipo de reductores son funcionales para diversos usos en la industria, por ejemplo: accionar grúas, bombas de pozo profundo, ventiladores para torres de enfriamiento, entre otras.

Los reductores de engranajes interiores llamados también Planetarios, poseen una mayor capacidad en el desempeño de soporte de carga y giro con mayor suavidad. Los engranajes interiores se utilizan con dientes rectos o helicoidales con distancias entre puntos relativamente cortos. Este tipo de reductores también posee de reducción simple, reducción doble y reducción triple⁶⁴.

1.2.6. Sistema de Control de Procesos

El sistema de control es uno de los recursos que el sector industrial utiliza con el fin de gestionar o regular la manera en que se comporta otro sistema para detectar y evitar las posibles fallas. Para lo cual, se establece una lógica sistematizada en base a: un tipo de variable que se debe controlar, un actuador

⁶³ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. *Mantenimiento Reductores de Velocidad*. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol14/volumen14.html#.

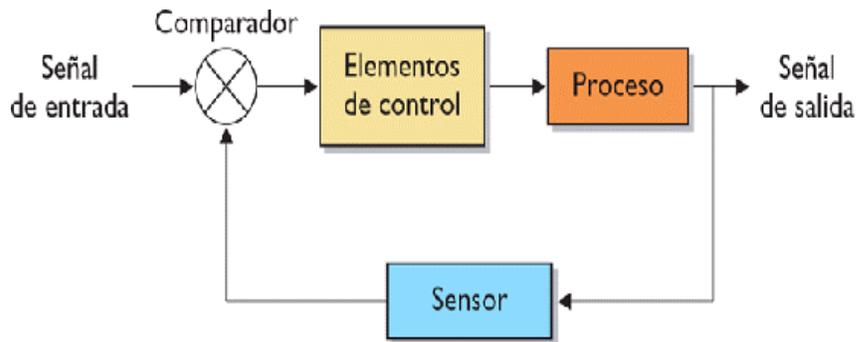
⁶⁴ *Ibíd.*

y un punto de referencia⁶⁵. Existen dos tipos de sistemas de control, ambos poseen su propio método para controlar la variable.

1.2.6.1. Sistemas de control de lazo cerrado

En el caso de este tipo de sistema de control, si existe retroalimentación e información de la variable, la cual se obtiene por medio del uso de sensores colocados estratégicamente, que permiten un proceso totalmente autónomo⁶⁶.

Figura 14. Lazo de control cerrado



Fuente: Guinea-Edeso. *Ejemplos de control en lazo cerrado*. <https://guinea-edeso.blogspot.com/>. Consulta: 3 de abril de 2017.

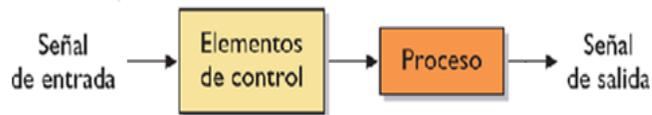
⁶⁵ GANDHI, Mayur. *¿Qué es un sistema de control?* <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>.

⁶⁶ *Ibíd.*

1.2.6.2. Sistema de control de lazo abierto

Este tipo de sistema no se apoya en la retroalimentación de información en cuanto a la variable a controlar, es utilizado en procesos y dispositivos que poseen una variable predecible, ya que la salida no tiene ninguna dependencia con la entrada, es por ello que, admite un amplio margen de error⁶⁷.

Figura 15. Lazo de control abierto



Fuente: Tecnología Gema. *Tipos de sistemas de control.*

<http://tecnologiagama2000seda.blogspot.com/2016/04/tipos-de-sistemas-de-control.html>.

Consulta: 3 de abril de 2017.

1.2.6.3. Sistemas de control para procesamiento de señales de sensores

Un sistema de control tiene como objetivo regir la respuesta de una planta, sin la intervención directa de un operador en relación a sus elementos de salida. El papel del operador será manipular únicamente las magnitudes de consigna y el sistema de control se encargará de regir la salida a través de los accionamientos.

⁶⁷ GANDHI, Mayur. *¿Qué es un sistema de control?* <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>.

El concepto especifica de alguna manera que el sistema de control opera en general, con magnitudes de baja potencia, conocidas también como señales, y rige ciertos accionamientos que modulan la potencia entregada a la planta.⁶⁸

- PLC

Este dispositivo llamado Controlador Lógico Programable o por sus siglas en inglés PLC, es un equipo electrónico de control basado en un microprocesador que fue diseñado para desempeñar un control de maquinaria industrial a tiempo real, con el fin de reemplazar relés y poseen blindajes especiales que no permiten ser afectados por perturbaciones eléctricas ocasionadas por motores⁶⁹.

- Microprocesador

El microprocesador o CPU en sus iniciales en inglés, es un dispositivo electrónico central que constituye el cerebro del computador y es más complejo en un sistema informático. Funcionalmente, es un dispositivo lógico, que, integrado a otras unidades electrónicas, que permite la sistematización de la información almacenada. Este dispositivo a través de un programa de instrucciones es capaz de interpretar y ejecutar los lineamientos controlando a su vez las unidades implicadas en su ejecución.⁷⁰

- Microcontrolador

⁶⁸ BALCELLS, Josep; ROMERAL, José Luis. *Autómatas programables*. <https://edgarjosegarcial.wixsite.com/misitio/automatas>.

⁶⁹ JIMÉNEZ, Josué; RETANA, Allan. *Características principales de los PLC's industriales*. <https://prezi.com/cjt9itb7fz/caracteristicas-principales-de-los-plc-s-industriales/>.

⁷⁰ ALONSO, José. *El Microprocesador*. <http://isa.uniovi.es/~alonsog/Microcontrolador/T2%20EI%20Microprocesador.pdf>.

Es un circuito integrado conocido también como chip, que en su interior posee las tres unidades funcionales de un computador: CPU, Memoria y Unidades de entrada y salida, de manera que, se trata de un computador completo estructurado en un solo circuito, con memoria limitada encargado de controlar uno o más procesos incluidos en su memoria, ya que sus líneas de entrada y salida son capaces de soportar la conexión de sensores y actuadores del dispositivo que deberán controlar⁷¹.

1.2.7. Características del Producto

Para determinar las características de un producto, deben establecerse algunos métodos de análisis, así como establecer un conocimiento básico de los conceptos que conforman las propiedades a analizar para el procesamiento de mezclas en polvo.

1.2.7.1. Bebidas artificiales instantáneas

Las bebidas artificiales instantáneas, se elaboran en base a una mezcla de diferentes aditivos alimentarios, entre ellos el azúcar, colorantes, saborizantes, enturbiantes, acidulantes, preservantes, edulcorantes, entre otros. El fin de los refrescos en polvo es aportar sabor y color al agua, estos son consumidos por niños y adultos de todas las edades. Los enturbiantes, por ejemplo, aportan consistencia al producto, mientras que los edulcorantes proporcionan el sabor dulce a la composición⁷².

⁷¹ TAQUI, Flor. *Microcontrolador*. <https://es.slideshare.net/TaquiWajuyatFlor/microcontrolador-66965994>.

⁷² ZAPATA, Lorena; ESPINOZA, Andrea. *Refrescos en Polvo*. <https://www.odecu.cl/wp-content/uploads/2017/12/2010-estudio-refrescos-polvo.pdf>.

Legalmente, se define a las bebidas artificiales instantáneas son productos constituidos por azúcares o mezclas de estas, así como edulcorantes autorizados o mezclas de los mismos, acidulantes, saborizantes, colorantes con o sin adición de enturbiantes y distintos ingredientes opcionales. Otro concepto es el descrito en la Norma Chilena NCh2729, el cual indica que el refresco en polvo o bebida instantánea es producto granulado compuesto por azúcares, edulcorantes, mezcla de azúcares o edulcorantes y otros ingredientes, que al contacto con el agua o leche se obtenga un refresco o bebida. Dentro de los requisitos del producto, se enfatiza que los gránulos deben ser de tamaño uniforme de manera que fluyan libremente y no muestren aglomeraciones⁷³.

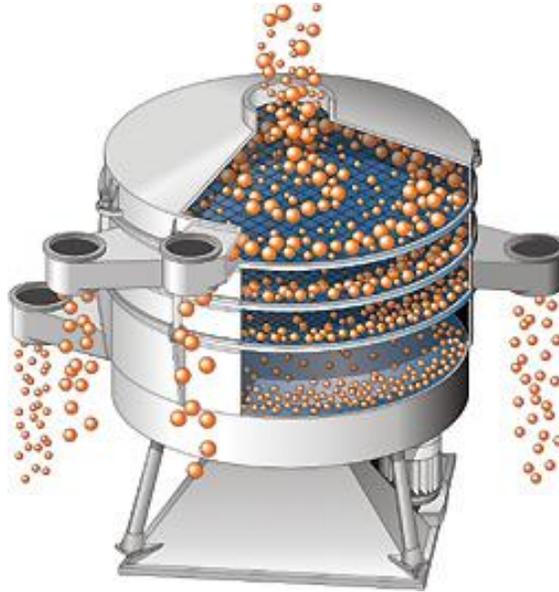
1.2.7.2. Granulometría

La granulometría es un método de medición de partículas o granos por extensión, determinando características físicas de elementos granulados tales como: tamaño, distribución, forma, ángulo de reposo, porosidad, densidad verdadera y aparente, velocidad de descarga. El estudio que se le hace a las partículas es principalmente para conocer sus características para el flujo, con lo cual se reducen problemas en el momento de trabajar con este tipo de materiales.⁷⁴

⁷³ ZAPATA, Lorena; ESPINOZA, Andrea. *Refrescos en Polvo*. <https://www.odecu.cl/wp-content/uploads/2017/12/2010-estudio-refrescos-polvo.pdf>.

⁷⁴ PINTO, Carlos y DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

Figura 16. **Análisis granulométrico**



Fuente: Allgair-Group. *Tamiz de vibración*. <http://www.sjoberg-jonkoping.com/sikta/index.htm>.

Consulta: 7 de abril de 2017.

1.2.7.3. Tamaño de las partículas

Un pensamiento general es que, mientras mayor sea el tamaño de las partículas y se reduzcan las partículas finas, el material fluirá más fácilmente en proceso. El tamaño moderado de partícula y la uniformidad en los tamaños y superficies lisas pueden contribuir a mejorar el flujo.

Aunque resulte conveniente determinar el tamaño de una partícula por medio de una sola dimensión lineal, esto es insuficiente para descubrir objetos irregulares por lo que es necesario alguna otra información. Las formas esféricas, cubos y otras formas regulares se reconocen por medio de una sola dimensión siempre y cuando la forma se especifique. Mientras que las partículas de polvo

raramente muestran una forma uniforme, aunque ocasionalmente se encuentran formas esféricas y cúbicas. Además, la masa, el volumen y el área superficial pueden describir una partícula irregular, pero son parámetros no mesurables de forma individual, particularmente para los tamaños menores como los gránulos⁷⁵.

1.2.7.4. Ángulo de reposo estático

Todo material para que se pueda comprimir debe poseer como requisito indispensable la buena fluidez, por lo que, para medir la capacidad de flujo de los materiales se utiliza como parámetro el ángulo de reposo estático. Esto se refiere al ángulo de la pendiente formada por el cono derivado del plano horizontal como resultado de la vertida libre de un material desde un embudo de vidrio. Mientras menor sea el ángulo de reposo, mayor será el flujo del material y a la inversa. Con este tipo de ángulo se mide también la capacidad de movimiento o flujo del polvo. Existen dos tipos de ángulo de reposo estático⁷⁶:

- Derramado

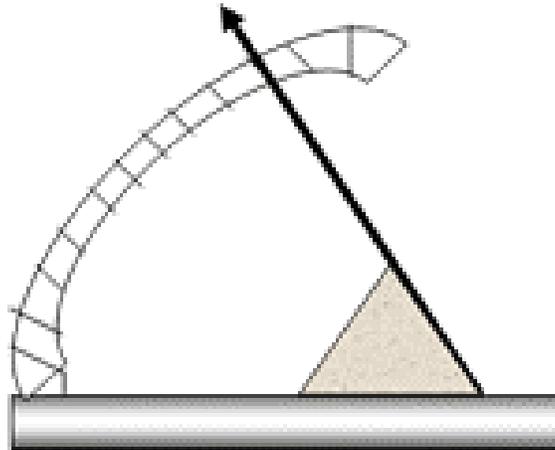
Este ángulo se mide por medio de la pila formada cuando el polvo se vierte libremente en una superficie plana. El transportador es un equipo de medición que calcula el paralelo el ángulo del cono a medida que se vacía el material⁷⁷.

⁷⁵ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

⁷⁶ *Ibíd*

⁷⁷ *Ibíd*.

Figura 17. **Funcionamiento de equipo para determinar el ángulo de reposo estático**



Fuente: PINTO FAJARDO, Carlos; DURÁN SÁNCHEZ, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales.*

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

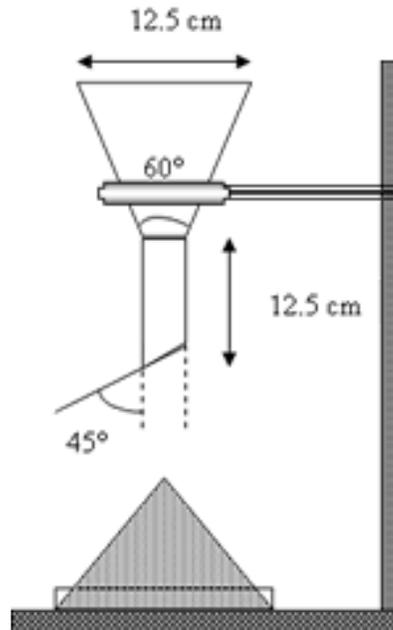
Consulta: 26 de marzo 2020.

- Drenado

Se denomina al ángulo medido en el área del polvo cónico que se deja sobre un recipiente de fondo plano, llamado también caja de Petri, el cual se acciona solamente si el polvo se hace pasar a través de un orificio en la base del recipiente⁷⁸.

⁷⁸ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales.* https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

Figura 18. **Método de drenado para determinar el ángulo de reposo estático**



Fuente: PINTO FAJARDO, Carlos; DURÁN SÁNCHEZ, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales.*

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/

Consulta: 26 de marzo 2020.

1.2.7.5. **Ángulo de reposo dinámico**

Este parámetro se mide por medio del uso de un flujómetro, que consiste en un cilindro con orificios móviles de diámetros con medidas de 1,428; 0,925; y 0,635 cm y una altura de 18 cm. Este equipo tiene la capacidad de medir la velocidad de flujo a través de sus orificios con diferentes diámetros. Sin embargo,

para materiales cohesivos es conveniente utilizar los orificios con diámetros pequeños⁷⁹.

1.2.7.6. Características de empaque

El volumen y complejidad de los gránulos se determinan por el tamaño y forma de sus partículas. De esta manera, en una superficie plana se pueden agrupar las partículas de acuerdo a su forma, tamaño y puntos de contacto entre ellas. Las partículas de forma circular frecuentemente forman empaquetamientos con formas espaciales de agrupamiento, que carecen de firmeza, porque se tocan solamente en sus extremos, por lo que entre estas formas existe abundancia de espacios vacíos, esto se debe a la carga eléctrica que poseen y produce repulsión, según la ley de signos.

Mientras que, las partículas con forma esférica y aplanada se caracterizan por un empaquetamiento más compacto, el cual presenta dos posibilidades: romboide o triangular en que el ángulo entre partículas va de 60 a 120°; y cúbica, en que las partículas se acomodan a 90° una con respecto a las otras, siendo el segundo tipo de empaquetamiento el más común.

Las partículas pequeñas son generalmente anisométricas, como en el caso de los lubricantes, éstas se deslizan entre los poros de las partículas grandes lo que disminuye los espacios vacíos. Es por ello que, el empaquetamiento se puede clasificar en términos de porosidad, espacios vacíos y densidad aparente⁸⁰.

⁷⁹ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

⁸⁰ *Ibíd.*

Figura 19. **Formas de empaquetamiento de partículas esféricas**



Fuente: PINTO FAJARDO, Carlos; DURÁN SÁNCHEZ, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales.*

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

Consulta: 26 de marzo de 2020.

- Importancia de las propiedades de empaquetamiento⁸¹:
 - Establecen la capacidad del recipiente que los contendrá: mezcladores y tambores.
 - Fijan el flujo del granulado.
 - Establecen la eficiencia de los equipos de llenado: que se refiere a las encapsuladoras.

1.2.7.7. Densidad de los granulados

La densidad de un polvo se establece por medio de la relación entre su masa y el volumen ocupado. Debido a que los polvos están formados por partículas de diversos tamaños, cada una de las cuales depende de la similitud

⁸¹ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernan. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales.* https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

entre ellas, lo que tendrá como resultado diferentes grados de empaquetamiento⁸².

Fórmula de densidad aparente:

$$\text{densidad aparente} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen (bulk)}}$$

La apariencia de volumen incluye también los espacios entre las partículas y las burbujas de aire que en ellas se incrusten.

La densidad aparente es una medida indirecta que depende de varios factores: tamaño, forma y distribución de partícula. Además, se utiliza para determinar la capacidad de los mezcladores y de la tolva.

- Densidad aparente inicial

Es la densidad aparente del polvo al momento que se le permita airear o fluir. Para realizar esta prueba se deja caer el polvo desde cierta altura, atravesando algunos tamices y cae finalmente en una probeta, lo cual sirve para tomar el volumen aparente inicial. Posteriormente la probeta se coloca en un equipo volumétrico de Carr's para determinar la densidad aparente final o asentada⁸³.

⁸² PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

⁸³ *Ibíd.*

- Densidad aparente final (asentada)

Es la densidad aparente compactada o asentada por vibración, que deja un volumen o peso concreto del polvo en la probeta. El equipo Newman conocido también como zaranda, determina una caída de 1cm/revolución. Al no existir más reducción del volumen a pesar de las revoluciones, se da por terminada la prueba. Se debe tomar en cuenta que en esta prueba las partículas deben asentarse sin ninguna alteración de su forma⁸⁴.

1.2.7.8. Medida de compresibilidad

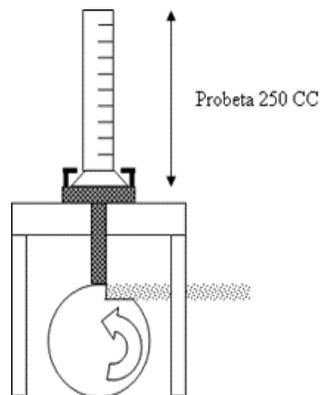
La relación entre las densidades aparente inicial y finales vinculadas al equipo Newman, se conoce como índice de Carr's o de compresibilidad. Carr's determina que mientras más se compacte un polvo, menores serán sus propiedades de flujo. El porcentaje de compresibilidad indirectamente aporta una idea sobre cohesión, contenido de humedad, uniformidad de forma, tamaño, y área superficial del polvo.

Otros autores afirman que mientras mayor sea la densidad aparente, menor serán las propiedades de flujo, de igual forma la velocidad de empaquetamiento se obtiene al graficar la densidad aparente en relación a su flujo. De esta forma, se comprende que a mayor velocidad de compactación mayor flujo⁸⁵.

⁸⁴ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

⁸⁵ *Ibíd.*

Figura 20. **Volumenómetro utilizado para determinar el índice de compresibilidad**



Fuente: PINTO FAJARDO, Carlos; DURÁN SÁNCHEZ, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales.*

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

Consulta: 26 de marzo de 2020.

- **Densidad verdadera:**

La densidad verdadera mide la cantidad real de material ocupado por todas las partículas sin tomar cuenta los espacios vacíos, aún en las partículas más porosas. Esta densidad se obtiene con el uso de un picnómetro de gas (Helio), además es un parámetro independiente e individual de cada tipo de material, a diferencia que la densidad de volumen, que es un tipo de parámetro dependiente de las condiciones en las que se aplique el método de medida⁸⁶.

⁸⁶ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales.* https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

1.2.7.9. Porosidad

La porosidad de los gránulos depende de tres factores; forma y distribución de tamaño; forma de partículas, en las que incluye la rugosidad de superficies; y forma de empaquetamiento de las partículas. Es por ello que, la porosidad en una misma sustancia depende también del grado de molienda, tamizaje o compactación del granulado.

En la medida que un granulado esté formado por partículas muy rígidas, no existirá buen flujo, lo mismo sucede con gránulos demasiados porosos porque no llenarían bien las matrices de la encapsuladora en el momento de la compresión debido a la alta cohesión y fricción entre partículas.

Cualquier tipo de granulado está generalmente formado por partículas anisotrópicas donde las partículas pequeñas llenan los espacios vacíos entre las partículas grandes lo que ocasiona un grado de empaquetamiento más denso y fluido⁸⁷.

1.2.7.10. Angulo de contacto

Es un parámetro indirecto de las propiedades que afectan el flujo, entre ellos están: forma, tamaño, porosidad, cohesión, fluidez, área superficial y densidad de volumen⁸⁸.

⁸⁷ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

⁸⁸ *Ibíd.*

1.2.7.11. Angulo de espátula

Esta medida se establece de manera similar al ángulo de reposo, sin embargo, en este caso en una espátula plana con alguna inclinación, que puede ser igual o diferente al ángulo de reposo estático, este ángulo provee una medida indirecta de la forma, tamaño, cohesividad y porosidad del granulado⁸⁹.

⁸⁹ PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Antes de llegar a las abarroterías o supermercados familiares, los refrescos instantáneos inician su transformación dentro de la planta de producción como polvos premezclados sin color, ni sabor. Es el trabajo equilibrado de operadores calificados y máquinas de última generación el que da origen a uno de los productos de mayor consumo en el mercado alimenticio.

2.1. Proceso de preparación de mezclas

El proceso de fabricación inicia en el área de mezclas, donde los diferentes ingredientes mayoritarios y minoritarios que componen la receta llegan procedentes desde la bodega de materia prima, en sacos de almacenamiento y transporte para productos a granel.

Una vez la materia prima se encuentra en el área de producción de mezclas, el operador encargado las organiza y prepara para transportarlas en una grúa aérea que las despachará en los diferentes receptores de la torre de mezclado. Esta maquinaria se caracteriza por ser la de mayor dimensión dentro de la planta de producción, su función es realizar el proceso fundamental de la mezcla de forma automatizada, cabe mencionar que las variables de dicho proceso son controladas por un operador de torre mediante un *software* especial.

Cuando los ingredientes se encuentran dentro de las tolvas receptoras, las pesadoras automáticas determinan la cantidad adecuada de cada uno de ellos y da la señal para que sean enviados hacia la máquina mezcladora helicoidal a través del sistema de vacío, que, a una velocidad de 120 rpm hace efectiva la

preparación de la receta. Posteriormente, la mezcla consistente se hace pasar por un equipo detector de metales y partículas extrañas, antes de que los tornillos sin-fin dosifiquen el producto hacia los sacos de almacenamiento donde finalmente será empacado en la línea de llenado para su comercialización.

2.1.1. Materias primas

Las bebidas instantáneas en polvo son resultado de la creación de recetas exitosas, que llevan años de pruebas y análisis hasta alcanzar el sabor característico para que el cliente lo identifique con la marca que lo fabrica. Sin embargo, a nivel industrial, una receta no se limita solamente a una composición de «ingredientes caseros», parte de ella también son los conservantes, colorantes y aditivos, elementos que permitirán construir propiedades favorables para garantizar el comportamiento efectivo del producto durante el proceso de su fabricación y entrega en sus diferentes puntos de consumo.

En conjunto, los elementos base para la preparación del producto, son conocidos como materia prima. Éstos poseen diferentes estados físicos sólidos, líquidos o gaseosos y se encuentran regularmente en las bodegas de materia prima de las fábricas, que posteriormente se combinan en diferentes proporciones y se procesan hasta convertirlos en el producto final.

Materias primas utilizadas en la fabricación de bebidas instantáneas en polvo:

- **Azúcar:** es una sustancia sólida en forma de pequeños cristales de color blanco, que se obtiene de la remolacha o caña de azúcar, se reconoce como el endulzante por excelencia, una de sus características es que se

diluye fácilmente en agua o leche. Según su granulometría, el azúcar puede ser: refinada, ultrafina o pulverizada.

- **Ácido cítrico:** es uno de los principales acidulantes utilizados en la industria de alimentos, que actúa como antioxidante y extiende la vida útil de los componentes de la bebida. Se obtiene por medio de la fermentación.
- **Fosfato tricálcico:** aditivo químico que actúa como fluidificante en la mezcla, su función es absorber la humedad de los productos⁹⁰.
- **Citrato de sodio:** este elemento químico cumple varias funciones: actuar como antioxidante, así como para mejorar el efecto de otros ingredientes preservantes, además, también funciona como aromático y regulador de acidez en la mezcla⁹¹.
- **Maltodextrina:** aditivo químico que actúa como estabilizador de la humedad, edulcorante o agente de relleno, además es fácilmente digerible.
- **Aspartamo:** edulcorante químico, que funciona como endulzante bajo en calorías.
- **Dióxido de silicio:** es un polvo blanco, ligero y sin olor, su función es espesar los medios en que se agrega y es insoluble en materias líquidas.

⁹⁰ LICANGO, Katherine. *Optimización económica en la formulación de una bebida en polvo*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5980/1/T-UCE-0017-0148.pdf>.

⁹¹ ZAPATA, Lorena; ESPINOZA, Andrea. *Refrescos en Polvo*. <https://www.odecu.cl/wp-content/uploads/2017/12/2010-estudio-refrescos-polvo.pdf>.

- Saborizante artificial: es un producto obtenido por diferentes procesos, entre ellos: enzimáticos, químicos, físicos, entre otros, cuya formulación se integra por componentes idénticos a los de la naturaleza.
- Colorante artificial: son sustancias que aportan color específico a los alimentos.
- Enturbiante: aditivo que actúa como regulador de la turbidez de la solución formada al mezclar el producto en polvo con agua⁹².
- Extractos de frutas: se utilizan como saborizantes, colorantes, antioxidantes naturales y enriquecedores del producto⁹³.

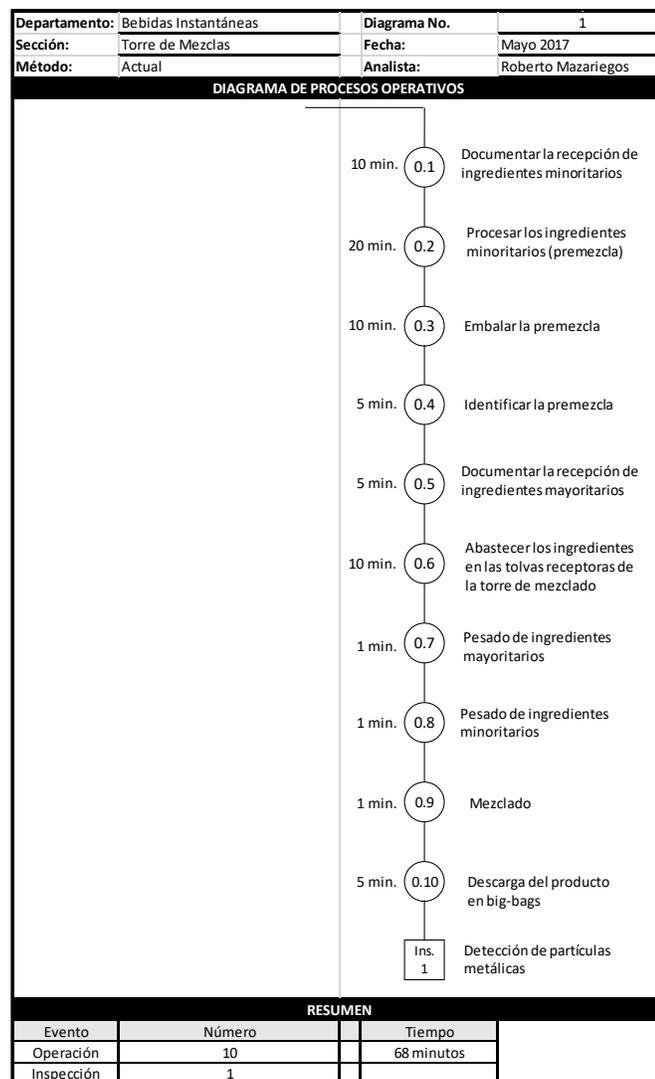
⁹² ZAPATA, Lorena; ESPINOZA, Andrea. *Refrescos en Polvo*. <https://www.odecu.cl/wp-content/uploads/2017/12/2010-estudio-refrescos-polvo.pdf>.

⁹³ DUAS RODAS. *Conozca los principales procesos de fabricación de extractos vegetales para la industria alimenticia*. <https://www.duasrodas.com/blog/es/qualidade/conozcalosprincipalesprocesos-de-fabricacion-de-extractos-vegetales-para-la-industria-alimenticia/>.

2.1.2. Diagrama de operaciones

A continuación, se presenta el diagrama de las operaciones que sigue el proceso de preparación de refrescos en polvo desde el área de fabricación de la planta de producción.

Figura 21. Diagrama de procesos operativos torre de mezcla



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.1.3. Diagrama de flujo

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso de preparación de los refrescos en polvo en el área de fabricación de la planta de producción.

Figura 22. Diagrama de flujo de proceso torre de mezcla

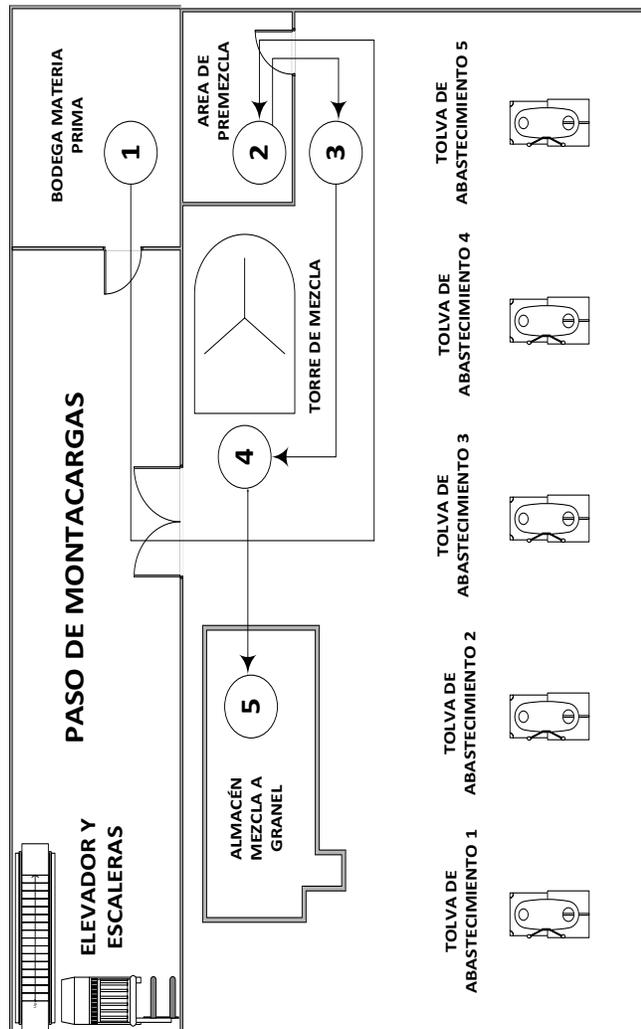
Nombre: Torre de Mezclas		Diagrama No. 1					
Método: Actual		Fecha: Mayo 2017					
Inicia: Bodega Materia Prima		Analista: Roberto Mazariegos					
Finaliza: Almacén Mezcla a Granel							
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO							
No.	Actividad	Símbolo	Tiempo	No.	Actividad	Símbolo	Tiempo
1	Almacenamiento de materiales en BMP			11	Pesado 2		1 min.
2	Recepción de materiales		10 min.	12	Mezclado		1 min.
3	Despacho de materiales		15 min.	13	Descarga de producto a big-bags		5 min.
4	Procesar los ingredientes minoritarios (premezcla)		20 min.	14	Detección de partículas metálicas		1 min.
5	Embalaje de premezcla		10 min.	15	Almacén mezcla a granel		
6	Identificación de premezcla		5 min.	16			
7	Despacho de ingredientes a mezcladora		5 min.	17			
8	Recepción de ingredientes mayoritarios		5 min.	18			
9	Abastecimiento de los ingredientes a la torre de mezclado		10 min.	19			
10	Pesado 1		1 min.	20			
RESUMEN							
Evento	Número	Tiempo					
Operación	10	68 minutos					
Inspección	1	1 minuto					
Transporte	2	20 minutos					
Almacenamiento	2	-					
Total	15	89 minutos					

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.1.4. Diagrama de recorrido

A continuación, se presenta el diagrama de recorrido del proceso de preparación de refrescos en polvo en el área de fabricación de la planta de producción.

Figura 23. Diagrama de recorrido del proceso de torre de mezcla



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.2. Línea de llenado de refrescos monosabor

Al finalizar el proceso químico y que la mezcla esté físicamente lista, se procede a empacarla en sus diferentes presentaciones comerciales, las que posteriormente se pondrán en el mercado.

Los refrescos instantáneos se empacan en la línea de llenado especialmente diseñada para la alimentación de productos en polvo, compuesta por el grupo dosificador, la máquina empacadora y los operadores de línea. Cabe mencionar que dichos operadores son los encargados de actuar en caso de cualquier anomalía durante el proceso.

Esta línea se clasifica dentro de las llenadoras de refresco monosabor, debido a que su configuración y diseño se caracteriza por procesar y empacar únicamente productos de un sabor por cada lote de producción.

Figura 24. Líneas de llenado de refrescos en polvo



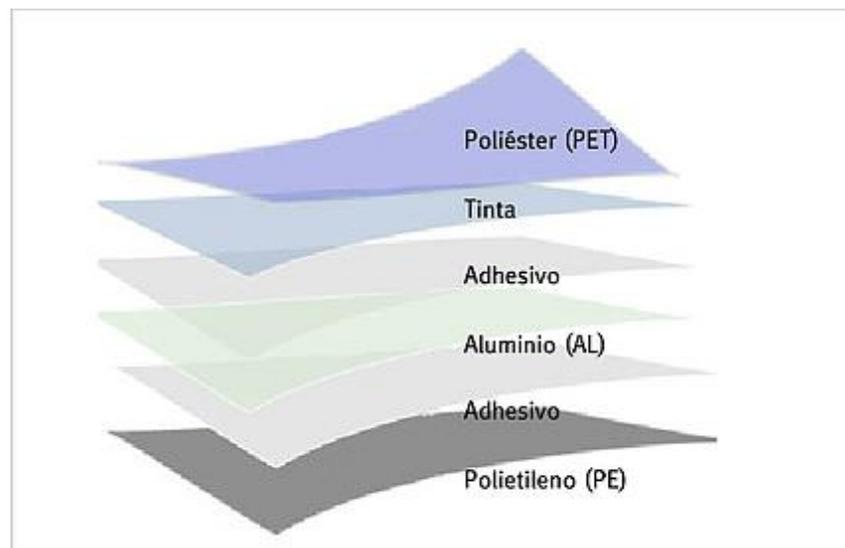
Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

2.2.1. Material de empaque

Durante todo el período que la mercadería sale de la planta de fabricación, hasta que llega a las manos de los consumidores, los productos analcohólicos deshidratados deben mantener sus condiciones fisicoquímicas prácticamente sin variación alguna.

Conocido como trilaminado termosellable, el material de empaque es una película compuesta por una capa interna de polietileno, una capa media de aluminio y una capa externa de PET. El empaque entonces provee completo aislamiento y protección del producto de los tres elementos capaces de alterar sus propiedades: el oxígeno, la humedad y la luz.

Figura 25. Estructura de una película trilaminada termosellable

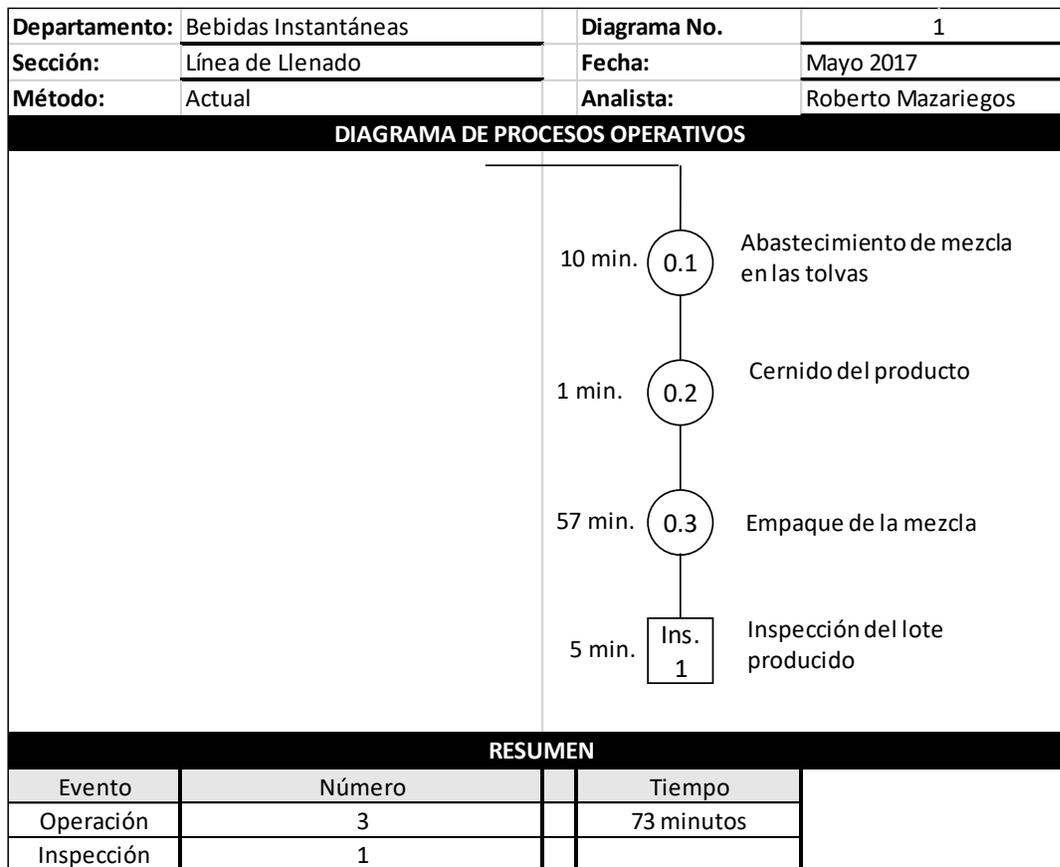


Fuente: Envases del Pacífico. *Trilaminado*. www.edelpaweb.wixsite.com/edelpa. Consulta: 5 de mayo de 2017.

2.2.2. Diagrama de operaciones

A continuación, se presenta el diagrama de operaciones que sigue el proceso de preparación de refrescos en polvo en el área de llenado y empaque de la planta de producción.

Figura 26. Diagrama de procesos operativos línea de llenado



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.2.3. Diagrama de flujo

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso de preparación de refrescos en polvo en el área de llenado y empaque de la planta de producción.

Figura 27. Diagrama de flujo del proceso línea de llenado

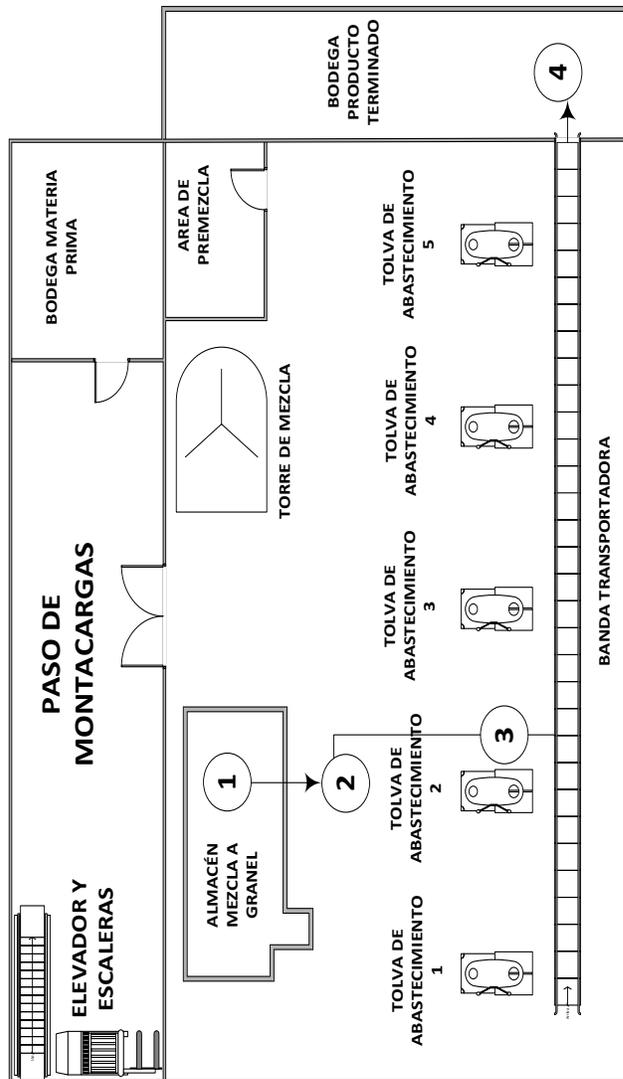
Nombre: Línea de llenado		Diagrama No. 1					
Método: Actual		Fecha: Mayo 2017					
Inicia: Torre de Mezcla		Analista: Roberto Mazariegos					
Finaliza: Bodega producto terminado							
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO							
No.	Actividad	Símbolo	Tiempo	No.	Actividad	Símbolo	Tiempo
1	Almacén mezcla a granel						
2	Abastecimiento de mezcla en las tolvas		10 min.				
3	Cernido del producto		1 min.				
4	Empaque de la mezcla		57 min.				
5	Traslado de producto a BPT		5 min.				
6	Inspección del lote		5 min.				
7	Almacén de producto terminado						
RESUMEN							
Evento	Número		Tiempo				
Operación	3		68 minutos				
Inspección	1		5 minutos				
Transporte	1		5 minutos				
Almacenamiento	2		-				
Total	7		78 minutos				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.2.4. Diagrama de recorrido

A continuación, se presenta el diagrama de recorrido del proceso de preparación de refrescos en el área de llenado y empaque de la planta de producción.

Figura 28. Diagrama de recorrido del proceso de llenado



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.2.5. Operarios de línea

Actualmente la línea de llenado emplea a cuatro operarios por cada turno laboral, a lo largo de las 24 horas de producción. Ellos son los encargados de verificar la normalidad del proceso.

Dentro de sus responsabilidades se encuentra: mantener la limpieza de la línea en caso de derramamiento del producto, detener la máquina en caso de algún fallo, llevar control del peso exacto del producto terminado, informar al supervisor de producción en caso de falta de alimentación de producto, así como de averías que puedan suceder en la maquinaria, para que los técnicos asistan su reparación y por último etiquetar los fardos. La fase del etiquetado es requerida para transportar el producto terminado, así como para realizar la documentación y validación del cumplimiento de la producción planificada.

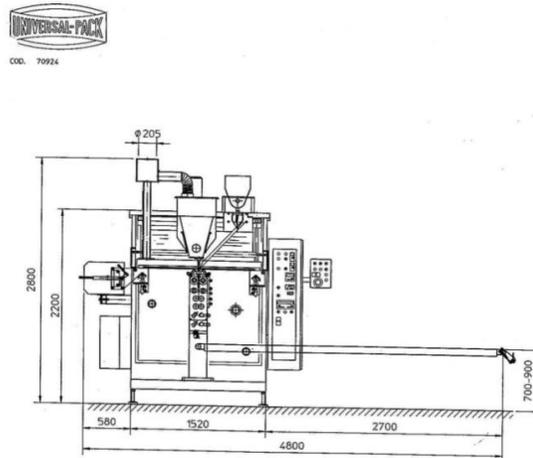
2.3. Equipo que compone la línea de producción

La máquina llenadora se integra por diferentes equipos que cumplen tareas específicas dentro del proceso de producción. Dicha estructura es:

- Grupo dosificador
- Empacadora y selladora
- Bandas transportadoras
- Estiba de ristra
- Equipos de seguridad industrial⁹⁴

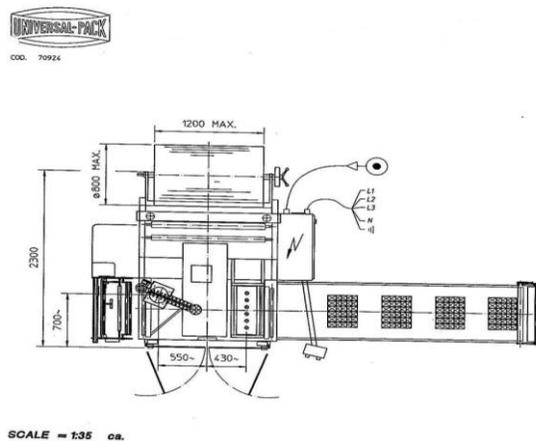
⁹⁴ FUSTEC S.A., *Manual de operaciones*. p. 6.

Figura 29. **Plano de máquina llenadora de bebidas en polvo, vista lateral**



Fuente: UNIVERSAL PACK. S.R L. *Manual de Operación de máquina empacadora Modelo NVG8.* p. 37.

Figura 30. **Plano de máquina llenadora de bebidas en polvo, vista aérea**



Fuente: UNIVERSAL PACK. S.R L. *Manual de Operación de máquina empacadora Modelo NVG8.* p. 37.

2.3.1. Embudos de alimentación

El empaqueo del producto en la línea de producción como tal, inicia con la alimentación de la mezcla por los embudos de la máquina. El diseño actual dispone de seis embudos de alimentación, que digieren la mezcla y disminuyen parte de la energía potencial que se descargan desde los sacos que guardan el producto.

Figura 31. **Disposición de tres embudos de alimentación monosabor**



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

2.3.1.1. Dosificación por tornillo sin-fin

El sistema de dosificación actual de la máquina de llenado es mediante tornillo sin-fin, lo que se significa que es un tipo de dosificación volumétrica. Este es quizás el elemento más importante del sistema. Si este mecanismo falla, se convierte inmediatamente en una avería.

El mecanismo de tornillo sin-fin, es accionado por una caja reductora acoplada a un motor eléctrico de corriente continua, a revoluciones de salida mínimas y sin margen de variación, ya que, de lo contrario afectarían el peso del producto en el empaque.

Actualmente, el diseño dejó de ser eficiente, debido a que se presentan constantemente atascos en el tornillo, así como muestras de corrosión sobre el mismo. La mezcla a base de azúcar que es alimentada en este mecanismo eleva su temperatura debido a la rotación del motor de accionamiento, esto, provoca las condiciones necesarias para la formación de melaza, convirtiéndose en un fluido de mayor viscosidad, que dificulta la rotación del mecanismo y que posteriormente impacta como una pérdida de calidad dentro de la línea.

Figura 32. **Tornillo sin-fin visto desde el interior de un embudo**



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

Posteriormente, cuando la mezcla se ha vertido dentro de los embudos de alimentación, pasará a la tolva de llenado. Durante ese trayecto se involucra también la acción de la gravedad, debido a que el producto pasa desde el segundo nivel de la planta, hasta el primer nivel de la misma.

Por ello se cuenta con un controlador del proceso de alimentación de mezcla, que ordena al motor de accionamiento del tornillo sin-fin, cuándo debe iniciar a funcionar, así como el tiempo en que se debe detener la dosificación. Estas acciones se realizan mediante el uso de sensores ópticos que se encuentran ubicados en el área de nivel máximo y mínimo permisibles de producto a lo largo del tubo de alimentación que entra desde los embudos, hasta las tolvas de llenado.

Figura 33. **Sensor óptico**



Fuente: Abraf. *Tipos de Sensor Fotoeléctrico*. www.abraf.com.br/produtos.html. Consulta: 5 mayo de 2017.

2.3.2. Tubos de dosificación

Se llama así a los conductos verticales que transfieren la mezcla dosificada por el tornillo sin-fin. Conectan la alimentación desde el nivel superior, hasta la dosificación en el nivel inferior. Actualmente el diseño dispone de seis tubos de dosificación, uno por cada embudo de alimentación.

Figura 34. **Disposición de los tubos de dosificación, transfiriendo producto desde el segundo nivel**



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

2.3.2.1. Embuditos de dosificación

Estos son los receptores de la mezcla que proviene de los embudos de alimentación. Ellos reciben constantemente la cantidad exacta a dosificar por acción de los cucharones volumétricos; son los encargados responsables que se despache el volumen adecuado de producto, diseñados y dimensionados específicamente para cumplir la tarea con la más mínima variación.

Actualmente el diseño dispone de seis embuditos, distribuidos de forma longitudinal debido a la configuración de la máquina, que llena seis sobres de refresco por ciclo.

Figura 35. Embuditos de dosificación



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

2.3.3. Empacadora y selladora

Este proceso se realiza por medio de rodillos dispuestos de forma vertical para el llenado de sobres; es por ello que se le llama máquina llenadora vertical. La labor de estos rodillos es sellar los costados del sobre antes de que se descargue producto en su interior, así como sellar la parte superior del primer sello después de descargar el producto en su interior, además de realizar el corte vertical y el corte horizontal.

Con lo anteriormente descrito, se puede dividir los rodillos en dos grandes grupos:

- Rodillos termoselladores
- Rodillos de corte o cuchillas

Figura 36. **Acción de los rodillos de corte vertical y horizontal sobre el empaque dentro de la llenadora vertical**



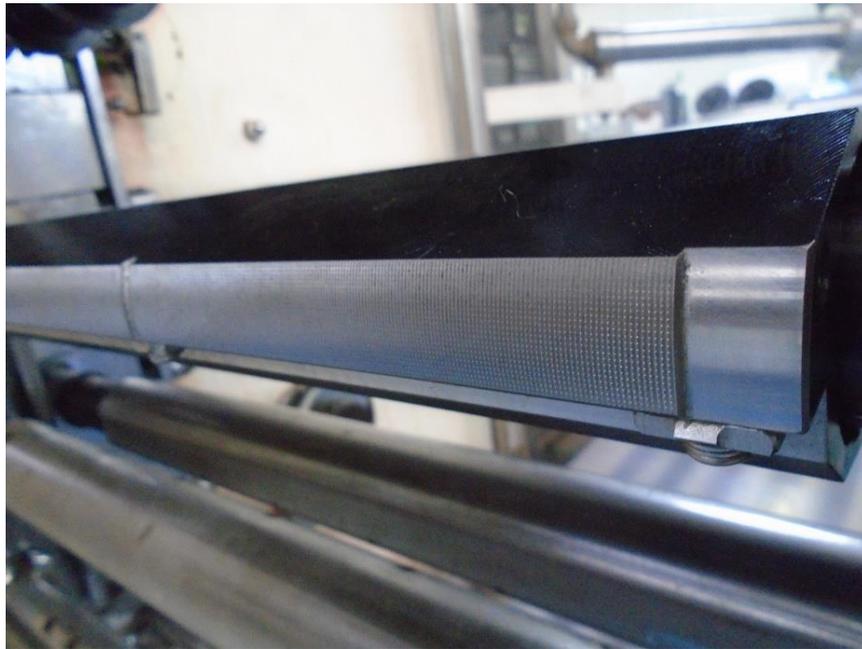
Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

2.3.3.1. Proceso de sellado de sobres

El sellado de sobres se inicia en forma vertical, es decir el termosellado del empaque por los costados y posteriormente, ya con producto en su interior, se realiza el termosellado del empaque por la parte superior.

Esto se ejecuta por medio de un rodillo equipado con resistencias en su interior, sellando el material de empaque por acción de prensado, a 50 °C. Además, la cara sellante del rodillo imprime una textura característica en los bordes de los empaques en sobre de productos en polvo.

Figura 37. **Mordaza termoselladora horizontal**



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

Figura 38. **Textura de termosellado en los bordes del sobre de un producto de cocina en polvo**



Fuente: Podravka. *Artículos de Podravka.*

<http://durmisevski.de/Jusco/assets/images/Podravka.pdf>. Consulta: 07 de mayo de 2017.

2.3.3.2. Proceso de corte de sobres

De igual manera que el proceso de sellado, un rodillo de corte realiza el corte horizontal y otro rodillo el corte vertical, finalmente el producto está listo en su presentación comercial de sobre individual para el consumo del cliente.

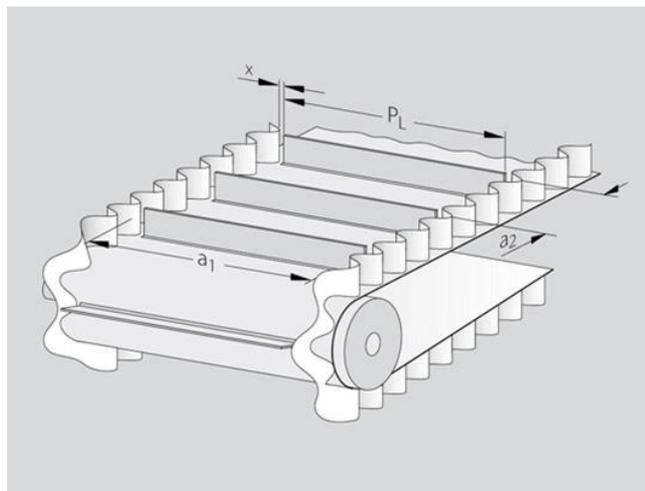
El último rodillo es el responsable de transportarlo hacia una banda transportadora, que lo empaquetará en fardos con docenas de sobres surtidos, y llevados hacia los diferentes puntos de venta.

2.3.4. Banda transportadora

Una vez formados los sobres, la banda transportadora es la encargada de transferirlos a la fase final del proceso, donde serán formados por otros equipos ya sea en ristras de doce unidades o en cajas pequeñas de doce unidades.

La banda transportadora se divide en dos secciones, que en su conjunto miden 4 metros de largo. Un motor eléctrico de corriente alterna al que se le acopla una caja reductora de revoluciones, acciona dos rodillos de tracción de acero grado alimenticio de 4 pulgadas de diámetro. Estos trabajan en conjunto con una faja, también de grado alimenticio, con un espesor de 1 mm diseñada para cargas livianas.

Figura 39. **Diseño de una faja transportadora**



Fuente: Forbo Movement Systems. *Envasado*. <https://www.forbo.com/movement/es-co/industrias-y-aplicaciones/sector-alimentario/ensado/pf61ra>. Consulta: 11 de mayo de 2017.

Figura 40. **Rodillo de tracción de banda transportadora**



Fuente: Van Gorp. *Poleas para bandas transportadoras*. <https://www.vangorp.biz/espanol/>.

Consulta: 11 de mayo de 2017.

2.3.5. Estiba de ristra automatizada

Este es un módulo automatizado que es alimentado con aire comprimido y funciona solamente cuando se requiere producir la presentación de ristra de doce unidades, comercializado comúnmente en las tiendas de barrio.

2.3.5.1. Objetivo del proceso

Una ristra es una tira formada por dos o más unidades de producto. Cuando se produce este tipo de presentación, los rodillos sueltan las ristras sobre la banda transportadora, cayendo de forma desigual. Debido a que es necesario engraparlas para su comercialización, es necesario agruparlas adecuadamente.

Esto, lo realizan doce ventosas, encargadas de estibar o acomodar las ristras que vienen en la banda, para que lleguen listas a la máquina engrapadora.

De esta forma el proceso se optimiza y puede trabajar tan rápido como sea necesario⁹⁵.

2.3.5.2. Estructura del sistema

- Sensor óptico: detecta la posición de la ristra en la banda transportadora
- Transmisor: convierte la señal de posición en una señal de control que acciona conjunto estibador.
- Electroválvulas neumáticas: permiten el paso de aire comprimido en la posición adecuada para crear el vacío necesario.
- Conductos de vacío: suministran presión de vacío hasta las ventosas.
- Ventosas de vacío: actúan directamente sobre el producto absorbiéndolo y después acomodándolo correctamente en la banda.

Figura 41. **Presentación de ristra de un producto de cocina en polvo**



Fuente: Favora. *Productos Favora*. <https://drcorporacion.jimdofree.com/productos/favora/>.
Consulta: 12 de mayo de 2017.

⁹⁵ FUSTEC S.A., *Manual de Operación*. p. 10.

Figura 42. **Vista desde la banda transportadora de una estiba de ristra**



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

2.3.6. Seguridad de maquinaria

La seguridad de maquinaria es un aspecto muy importante dentro de la planta. La fábrica de bebidas presta mucha atención a la seguridad de sus colaboradores e invierte cantidades considerables en sistemas que mitiguen completamente los riesgos de accidentes, tanto para los operadores de los equipos, como para los técnicos encargados de darles el servicio técnico.

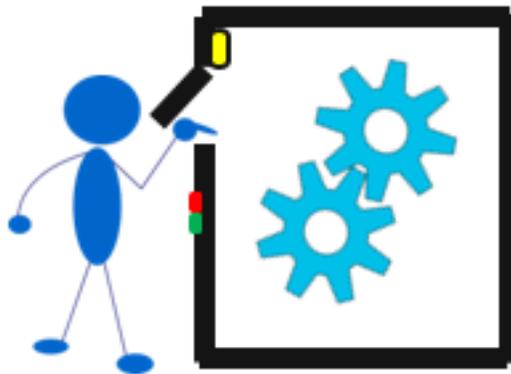
Esto, se realiza a través de guardas de seguridad de acrílico que cubren a las máquinas y por medio de las cuales se puede tener control visual de todo lo que sucede dentro de algunas guardas que permiten el acceso a los diferentes mecanismos internos, por lo que se han implementado mecanismos de detención

de equipos llamados Interlock. Su función es detener la máquina instantáneamente al abrir o retirar una guarda de acceso⁹⁶.

La seguridad de maquinaria está estructurada por modos de trabajo, que hace referencia al nivel de intervención dentro de un equipo que esté funcionando. Esto es aplicable en tareas como inspecciones de mecanismos, limpieza, modificaciones de la máquina, lubricaciones y ajustes.

- Modo 1: intervención en maquinaria a través de guardas que tienen Interlock. Este es el modo más seguro de realizar un trabajo, pues detiene completamente todos los equipos con solo abrir una guarda. Algunos ejemplos de actividades que se realizan con este modo de trabajo son: limpiezas rápidas y lubricación de equipos por parte de los operadores de línea.

Figura 43. **Seguridad de maquinaria. Modo 1.**



Fuente: Nestlé. *Manual de Seguridad de Maquinaria*. Planta de producción de bebidas, Guatemala.

⁹⁶ FUSTEC S.A. *Manual de Operaciones*. p. 11.

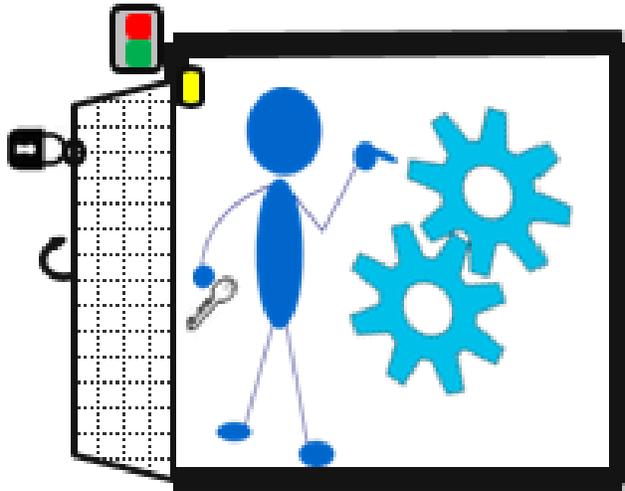
Figura 44. **Guarda de acceso con Interlock de seguridad**



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

- Modo 2: Intervención en maquinaria a través de guardas que no tienen Interlock. Para realizar este tipo de intervenciones es necesario realizar un bloqueo parcial del equipo mediante candados en los botones de encendido, esto con el fin de evitar que ocurran atrapamientos, en caso de que una persona arranque el equipo al momento de que otra esté manipulando mecanismos internamente. Ejemplos de estas actividades son: realizar limpiezas no programadas, ajustes de operación, ajustes mecánicos y cualquier actividad que no implique desarmar el equipo.

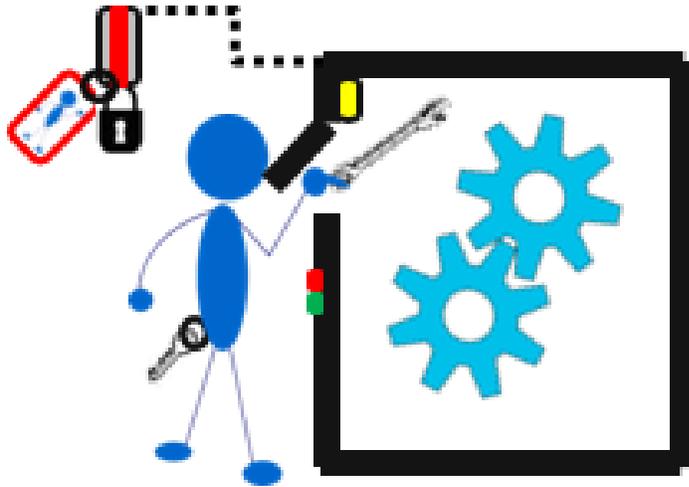
Figura 45. **Seguridad de maquinaria. Modo. 2.**



Fuente: Nestlé. *Manual de Seguridad de Maquinaria*. Planta de producción de bebidas, Guatemala.

- Modo 3: intervención en maquinaria cuando se va a desarmar un equipo. Se aplica el bloqueo total del equipo y un etiquetado con información de las personas que están manipulando el equipo. Esta práctica solamente la puede realizar el personal técnico con un permiso de trabajo en el que se estipule la naturaleza de las actividades a realizar. Ejemplo de estas acciones son: cambio de producto o de formato, mantenimientos mayores a las máquinas, reparaciones correctivas y ajustes de operación como retirar piezas innecesarias.

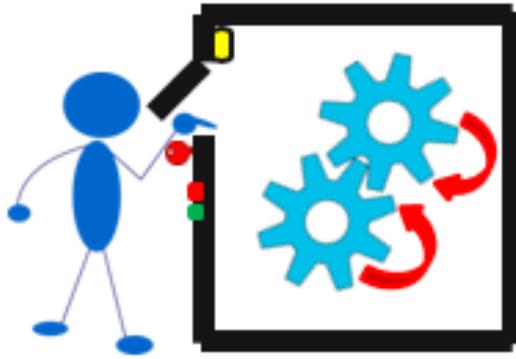
Figura 46. **Seguridad de maquinaria. Modo. 3**



Fuente: Nestlé. *Manual de Seguridad de Maquinaria*. Planta de producción de bebidas, Guatemala.

- Modo 4: intervención con la máquina funcionando y con riesgo de tocar partes en movimiento. Este modo de trabajo es el último recurso para efectuar una tarea, y todas las actividades que se realizan aquí tienen un procedimiento estándar para realizarlas de manera correcta y evitar accidentes. Ejemplos de actividades que requieren tipo de intervención: sacar un sobre o producto atascado, realizar ajustes con equipo funcionando, realizar limpiezas con el equipo funcionando y realizar cambios en el material de empaque.

Figura 47. **Seguridad de maquinaria. Modo 4.**



Fuente: Nestlé. *Manual de Seguridad de Maquinaria*. Planta de producción de bebidas, Guatemala.

2.4. Mantenimiento de la línea de producción

En la línea se caracterizan tres tipos de actividades cuyo objetivo es la prolongación de la vida útil de una máquina en condiciones óptimas⁹⁷:

- Mantenimiento correctivo y preventivo
- Inspección
- Lubricación

2.4.1. Mantenimiento TPM

El Mantenimiento Productivo Total, conocido por sus siglas en inglés TPM, es una metodología de mejora continua que asegura la disponibilidad y confiabilidad preventiva en operaciones, equipos y sistemas, que se realiza a

⁹⁷ FUSTEC S.A. *Manual de Operaciones*. p. 12.

través de la aplicación de conceptos de prevención, cero defectos, cero accidentes y con la inclusión del equipo de trabajo humano.

Al referirse al equipo de trabajo humano, se refiere a la participación total de las personas, en operaciones de mantenimiento preventivo tradicional, por lo que se pueden efectuar tanto por parte del personal de mantenimiento y por el personal de producción, lo que significa que se cuenta con el personal adecuadamente capacitado.

La aplicación de actividades del TPM se orienta en disminuir factores de desgaste de los equipos porque aumenta el cuidado del mismo y de las instalaciones. Para la ejecución de este sistema se requiere una programación periódica, en la que se considera factores como: recomendaciones técnicas del fabricante e historial de averías de los equipos⁹⁸.

2.4.1.1. Tiempo medio entre fallos

En la ingeniería del mantenimiento es conocido como MTBF por sus siglas en inglés. Permite conocer la tendencia del funcionamiento del equipo en un rango de tiempos y es calculado semanalmente; de aquí parten planes de acción para analizar los errores que han dado origen a los fallos⁹⁹.

⁹⁸LEAN MANUFACTURING. *TPM: Mantenimiento Productivo Total*. <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/mantenimiento-productivo-total-tpm>.

⁹⁹ ARRÓSPIDE, César. *Glosario de términos en la Gestión de Mantenimiento*. <https://www.gestiopolis.com/glosario-terminos-la-gestion-mantenimiento/>.

Se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total Producción}}{\#\text{Paros Mayores}}$$

Tabla I. **Indicador MTBF de los meses marzo y abril 2017**

OBJETIVO 7 HORAS		MARZO, 2017					ABRIL, 2017			
		SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	SEMANA 15	SEMANA 16	SEMANA 17
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS	10 H									
	9 H									
	8 H									
	7 H									
	6 H									
	5 H									
	4 H									
	3 H									
	2 H									
	1 H									
Tiempo total producción		72 horas	70 horas	72 horas	72 horas	73 horas	72 horas	70 horas	73 horas	72 horas
# de paros no programados		10	9	15	9	13	10	9	13	10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.4.1.2. Paros programados

Se le conoce como paros programados a todos los tipos de actividades relacionadas con programas de mantenimiento en la maquinaria de una empresa. Se calendarizan anualmente en conjunto con los responsables de la planificación de producción, de modo que se establezcan las fechas óptimas para llevar a cabo este tipo de trabajos¹⁰⁰.

¹⁰⁰ DONIZ, Aaron. *Implementación de Mantenimiento Preventivo/Predictivo en Equipo Biomédico en el Instituto Mexicano del Seguro Social*. <http://www.uttt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/62A.pdf>.

A la línea de llenado de refrescos en polvo monosabor se le aplican cuatro tipos de paros programados en los que se realizan tareas basándose en órdenes de trabajo en las que extienden todas las indicaciones de mantenimiento, estos cuatro tipos son¹⁰¹:

- Inspección quincenal: lubricación de equipos.
- Mantenimiento bimestral: mantenimiento a paneles eléctricos, limpieza y ajustes.
- Mantenimiento trimestral: trabajos en el sistema de dosificación de la máquina.
- Mantenimiento anual o mantenimiento mayor: se encarga de darle servicio a los motores eléctricos y al resto de la máquina. Se desarma y se cambian todos los repuestos necesarios.

Algunas rutinas de lubricación corren a cargo de los operadores de línea, sin embargo, la mayoría de los trabajos de mantenimiento programados son exclusivos del equipo de servicio técnico del departamento de Mantenimiento.

2.4.1.3. Paros no programados

Todos los fallos o averías en la máquina que ocasionen un paro en la producción mayor a 3 minutos se conocen como paros no programados y este dato es el que impacta directamente en el indicador MTBF.

Lo que se busca según la estrategia Mantenimiento Productivo Total, en sus siglas en inglés TPM es reducir cada vez fallas, al involucrar al operario en la

¹⁰¹ FUSTEC S.A., Manual de Operaciones. p. 12

ejecución de mantenimiento del equipo, así como evitar averías comunes en los equipos y obtener el máximo rendimiento en su sistema productivo¹⁰². Es por ello que el objetivo del indicador de tiempo medio entre fallos es ajustado constantemente de modo que se verifique una mejora continua en el equipo.

Sin embargo, se debe prestar atención a algunos fallos que aún son recurrentes dentro de la máquina llenadora, y uno de ellos está relacionado específicamente con el sistema de dosificación.

Actualmente el sistema de dosificación accionado por seis motores eléctricos representa una fuente de calor en el proceso, aumentando este parámetro se varían las condiciones físicas de la mezcla basada en azúcar, así como su nivel de fluidez, lo que provoca paros constantes por atascos de los tornillos sin-fin encargados de transportar mezclas, así como variación en la dosificación del producto dentro del empaque y corrosión en los mecanismos internos de la maquinaria.

El hecho de que el personal de mantenimiento deba asistir de manera correctiva en el sistema dosificador, es el principal motivo de la búsqueda de una solución al problema que se ocasiona desde las fuentes de calor existentes en el procesamiento de mezclas sólidas granuladas¹⁰³.

¹⁰² ARRÓSPIDE, César. *Glosario de términos en la Gestión de Mantenimiento*. <https://www.gestiopolis.com/glosario-terminos-la-gestion-mantenimiento/>.

¹⁰³ FUSTEC S.A. Manual de Operaciones. p. 15.

2.4.2. Stock de repuestos

Actualmente la línea de producción mantiene un *stock* de repuestos alto, sin embargo, no se ha realizado una priorización en los mismos, incluso, existen refacciones que nunca han sido utilizadas, por lo que el nivel de obsolescencia de los repuestos de la bodega técnica es bastante alto.

A continuación, en tabla dos, se describen algunas refacciones críticas que forman parte del sistema de dosificación:

Tabla II. **Control de repuestos del sistema dosificador**

ÁREA:	REFRESCOS EN POLVO	FECHA:	MAYO, 2017	
MÁQUINA:	LLENADORA MONOSABOR	ELABORADO POR:	ROBERTO MAZARIEGOS	
SISTEMA:	GRUPO DOSIFICADOR			
CONTROL DE REPUESTOS BODEGA TÉCNICA				
No.	REPUESTO	MÁXIMO	MÍNIMO	OBSERVACIONES
1	Motor Trifásico YΔ 220/380 Vdc 0.5 HP 0.37kW 60Hz. 1590 RPM	3	1	El grupo dosificador utiliza seis motores
2	Caja Reductora VF44 1=20	3	1	El grupo dosificador utiliza uno en cada motor
3	Tornillo sin-fin	3	1	El grupo dosificador utiliza siete tornillos
4	Embuditos de dosificación	3	1	El grupo dosificador utiliza seis embuditos
5	Cucharones volumétricos	3	1	El grupo dosificador utiliza doce cucharones
6	Manguera de 4 mm	-	-	Se utilizan seis en total y se cambian por deterioro
7	Malla de cernido	-	-	Se utilizan seis cernidores y se cambian por deterioro
8	Cojinetes 6008	4	2	Utiliza dos en cada embudo de alimentación
9	Cojinetes radiales	2	1	Utiliza dos en cada tornillo sin fin
10	Retenedores 20X35X7	10	3	Se utilizan doce en total
11	Retenedores 45X60X10	10	3	Se utilizan doce en total
12	Seguros exteriores 25mm	6	3	Se utilizan seis en total y se cambian por deterioro

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

2.5. Productividad actual

La línea de llenado de refrescos en polvo monosabor mantiene indicadores de productividad que pueden ser mejorables. Es por ello que el proceso es relativamente sencillo en comparación a la fabricación de otros productos.

La configuración de la línea no le permite trabajar variedad de productos dentro de una misma presentación y por consiguiente su intensidad de trabajo es menor en comparación a otras líneas. El aprovechamiento del equipo puede mejorar, sin embargo, se debe tomar en cuenta que el sistema de dosificación también es complejo para el tipo de trabajo que realiza; esto impacta mucho más en los costos de mantenimiento y de consumo de energía. Además, el mismo sistema requiere mucho tiempo en procedimientos de limpieza por cambios de formato, debido a que es necesario montar y desmontar las piezas para lavarlas antes de procesar un nuevo sabor.

2.5.1. Estudio de tiempos

En esta parte se analizarán los tiempos que toma realizar tanto la limpieza del sistema dosificador, como el cambio de un repuesto por mantenimientos correctivos. Ambos procedimientos afectan directamente en el tiempo disponible de producción. Un sistema complejo de dosificación requiere uso de un mayor número de herramientas, así como de procedimientos más extensos para montaje y desmontaje de piezas propios del sistema.

Tabla III. Estudio de tiempos de lavado de piezas del sistema dosificador de la línea de llenado de referesco

Tiempo en minutos de lavado de piezas y máquina de bebidas en polvo (actual)							
Actividad	1	2	3	4	5	Promedio	Responsable
Desarmado de piezas de máquina	30,00	32,00	36,00	32,00	31,00	32,20	Operador
Desarmado de tolvas	22,00	24,00	23,00	22,50	23,70	23,04	Auxiliar de línea 1 y 2
Trasporte de piezas al área de lavado	10,50	12,00	11,30	11,70	12,30	11,56	Auxiliar de línea 1 y 2
Aplicación de agua para quitar restos de producto	18,50	18,80	18,00	19,00	18,20	18,50	Auxiliar de línea 1 y 2
Aplicación de detergente o cloro en polvo	13,00	14,00	12,80	15,00	12,40	13,44	Auxiliar de línea 1 y 2
Remover el detergente o cloro aplicado	19,00	17,00	19,40	18,00	16,50	17,98	Auxiliar de línea 1 y 2
Secado de piezas	18,00	19,00	18,60	17,80	16,00	17,88	Auxiliar de línea 1 y 2

Continuación tabla III.

Transporte de piezas lavadas a la máquina	11,00	13,00	12,70	12,50	11,50	12,14	Auxiliar de línea 1 y 2
Limpieza de máquina	25,00	28,00	23,40	26,00	27,00	25,88	Auxiliar de línea 1 y 2
Armado de máquina	35,00	32,00	37,40	30,00	31,00	33,08	Operador
Armado de tolvas	24,00	23,80	22,00	25,30	24,00	23,82	Auxiliar de línea 1 y 2
Limpieza de áreas	10,00	8,50	9,00	8,00	11,00	9,30	Auxiliar 3
Total proceso	236,00	242,10	243,60	237,80	234,60	238,82	4 personas

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

El tiempo que se invierte en promedio para realizar lavado de piezas del sistema dosificador por cambio de formato es de aproximadamente 238 minutos.

Tabla IV. **Estudio de tiempos de actividades de mantenimiento correctivo en el sistema dosificador**

Tiempo para resolver actividades de mantenimiento correctivo o cambios de formato (actual)							
Actividad	1	2	3	4	5	Promedio	Responsable
Colocación de sacos en los embudos	25,00	27,00	24,00	25,00	26,00	25,40	Abastecedor
Cambio de caja reductora	31,00	29,00	32,00	36,00	37,00	33,00	Mecánico
Cambio de tornillo sin-fin	20,30	22,00	19,00	22,00	23,00	21,26	Mecánico
Producto atascado en conductos	23,00	23,00	15,00	17,00	15,00	18,60	Mecánico
Vaciado de producto por cambio de formato	35,00	37,00	35,00	35,00	36,00	35,60	Mecánico, operador
Cambio de malla de cernido	19,60	18,00	19,00	19,00	16,00	18,32	Mecánico
Cambio de un embudito de llenado	11,00	12,70	12,50	13,00	12,70	12,38	Mecánico

Continuación tabla IV.

Cambio de sistemas de rodamiento	10,00	8,50	9,00	8,00	11,00	9,30	Mecánico
Cambio de embudo	11,00	15,00	14,00	15,40	13,00	23,82	Mecánico
Lubricación de caja reductora	32,00	29,00	-	-	-	30,50	Mecánico, operador
Falla eléctrica de motor	27,00	-	-	-	-	27,00	Electricista
Falla en sensor de nivel	33,00	-	-	-	-	33,00	Electricista

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Se debe tomar en cuenta que, en el caso de la colocación de los sacos de almacenamiento, el cambio de cajas reductoras, tornillos sin-fin y reparación de fallas en el motor se multiplica por seis, que es el número de alimentadores que componen el grupo dosificador.

2.5.2. Actividades principales del proceso

En esta sección se describen los sabores que la línea fabrica. En su totalidad de presentaciones la dosificación volumétrica es constante y solamente varía la forma de comercialización del producto, que puede ser en ristra o en cajas de doce unidades.

Tabla V. **Principales actividades del proceso productivo**

Principales actividades de producción		
Sabor	Peso	Presentación
Fresa	10 g, 25 g	12 pack
Piña	10 g, 25 g	12 pack
Limonada	10 g, 25 g	12 pack
Mango	10 g, 25 g	12 pack
Mandarina	10 g, 25 g	12 pack
Durazno	10 g, 25 g	12 pack
Melón	10 g, 25 g	12 pack
Jamaica	10 g, 25 g	12 pack
Tamarindo	10 g, 25 g	12 pack
Horchata	10 g, 25 g	12 pack
Piña colada	10 g, 25 g	12 pack
Mora	10 g, 25 g	12 pack
Te frío limón	10 g, 25 g	12 pack
Te frío frambuesa	10 g, 25 g	12 pack
Naranja	10 g, 25 g	12 pack

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

2.5.3. Capacidad instalada

La línea llenadora de refrescos en polvo tiene capacidad para producir aproximadamente 300 unidades por minuto, con un promedio de poco más de 130 000 unidades al día. Sin embargo, debido al nivel de demanda, actualmente la máquina produce 240 unidades por minuto, con un promedio que supera las

70 000 unidades diarias. Esto se traduce a que la máquina trabaja al 78 % de su capacidad instalada.

2.5.4. Personal de la línea

En términos de recursos de mano de obra, la máquina emplea a un abastecedor, un operador de línea y tres auxiliares. Cuando la demanda aumenta es necesario cubrir un segundo turno, por lo que se emplea un grupo de operarios que rotan desde otras líneas para cumplir con la producción requerida, incurriendo además en costo de horas extras.

Tabla VI. **Costo por hora de operarios, área: bebidas en polvo**

Mano de obra				
Número de personas	Personal	Costo hora hombre [Q]	Horas laboradas	Total [Q]
1	Operador de línea	13,27	4	53,08
3	Auxiliar de línea	11,96	4	47,84
1	Abastecedor	11,04	4	44,16

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla VII. **Costo de sueldo base de operarios de área: bebidas en polvo**

Mano de obra			
Personal	Mes [Q]	Día [Q]	Hora [Q]
Operador de línea	3 185,00	106,17	13,27
Auxiliar de línea	2 870,00	95,67	11,96
Abastecedor	2 650,00	88,33	11,04

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla VIII. **Costo hora extra de operarios área: bebidas en polvo**

Mano de obra			
Puesto	Hora normal [Q]	Hora extra diurna [Q]	Hora [Q]
Operador de línea	13,27	19,91	26,54
Auxiliar de línea	11,96	17,94	23,92
Abastecedor	11,04	16,56	22,08

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla IX. **Costo de oportunidad**

Producción					
Máquina	Sobres por minuto	Presentación del producto	Fardos por hora	Costo/Fardo [Q]	Costo/hora [Q]
Bebidas en polvo	240	25x24x25	10	325,00	3 250,00
1 fardo de bebidas en polvo tiene 25 ristras de 24 sobres de 25 gramos					

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

2.5.5. **Cálculo de la productividad**

El proceso de empaqueo involucra siete actividades detalladas en el diagrama de flujo de proceso anteriormente desarrollado, de las cuales solamente existen tres operaciones y una inspección, lo que significa que, de las siete actividades, solamente cuatro de ellas agregan valor al producto, tal como se observa en tabla 10.

Tabla X. **Síntesis de actividades del diagrama de flujo**

Evento	Número
Operación	3
Inspección	1
Transporte	1
Almacenamiento	2
Total	7

Fuente: elaboración propia, empleando Excel

- Cálculo del indicador con base en las actividades del diagrama de flujo:

$$\% \text{ de Productividad} = \frac{\text{Operaciones} + \text{Inspecciones}}{\text{Total de actividades}} = \frac{4}{7} = 57 \%$$

- Cálculo del indicador con base en datos de unidades producidas vs insumos empleados.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Insumos empleados}} = \frac{600 \text{ unidades}}{Q 325} = 1,85 \frac{\text{unidades}}{Q}$$

2.6. Demanda

La planificación de la producción se realiza con base en pronósticos de demanda, de los cuales se lleva un registro y se analiza su tendencia.

2.6.1. Demanda histórica

El producto inició comercializándose con cuatro diferentes sabores a finales del año 2000 y ha ido aumentando considerablemente en los últimos años. Actualmente los sabores permanecen en el mercado por un tiempo y luego son sustituidos por otros nuevos, quedando solamente los que son mayormente demandados por el mercado nacional.

A continuación, se presentan datos sobre la demanda, en términos de la producción anual de bebidas de refresco en polvo desde el año 2011.

Tabla XI. **Producción anual de todos los sabores de refrescos en toneladas, período 2011 a 2016**

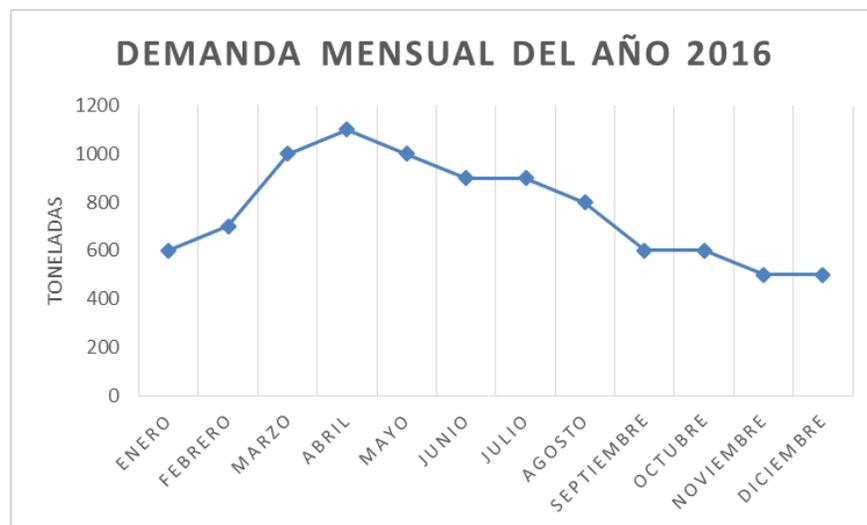
2011	2012	2013	2014	2015	2016
7 000	7 000	7 000	8 000	8 000	9 000

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

2.7. Demanda actual

La demanda de producto se estima en 9 000 toneladas aproximadamente, dato que incluye todos los sabores producidos por las líneas de producción de refrescos en polvo, la gráfica que se presenta es sobre el comportamiento de la demanda de producto mensual, durante el año 2016.

Figura 48. **Comportamiento de la demanda mensual del producto, 2016**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y CÁLCULOS

3.1. Cálculo y diseño de la tolva de alimentación

A continuación, se presentan los criterios a tomar en cuenta para el diseño de un sistema de alimentación para un proceso automático de empaque de bebidas en polvo.

3.1.1. Cálculos

De acuerdo a los fines industriales y uso de la tolva, el criterio de cálculos se fundamenta primordialmente en el tipo de producto y ventajas de resistencia en cuanto al trabajo de la maquinaria, por lo que al determinar que el uso se enfoca en producto comestible, se debe considerar que el equipo industrial debe ser resistente a la contaminación, de fácil limpieza, así como definir el tamaño de la tolva según la masa de producto granulado, la que en este caso es de 20 a 30 kilos.

3.1.2. Selección de material de construcción

En referencia a los materiales de la tolva, se determina que es de acero inoxidable, grado 304, dentro de sus especificaciones, se caracteriza por su alta resistencia a la corrosión durante un largo período de tiempo y trabajo, antes de

mostrar cualquier signo de desgaste, lo cual lo diferencia con respecto a otros metales fabricados con hierro¹⁰⁴.

En lo referente al grado 304, es la adición de ingredientes que le permiten ser más resistente a la corrosión, en el caso del acero inoxidable 304, contiene cromo entre un 16 y 24 %, 35 % de níquel, y pocas cantidades de carbón y manganeso, fósforo, sulfuro, silicio, y cromo en un rango entre 18,00 % a 20,00 %¹⁰⁵. En regiones salinas este material es susceptible a la corrosión y soluciones de cloruro, su durabilidad, fácil limpieza, resistencia al óxido y sobre todo a la contaminación del producto, le hace ser el material ideal para la fabricación de equipo en manejo de productos alimenticios¹⁰⁶. Este tipo de material se caracteriza también por el bajo costo de mantenimiento.

3.1.3. Malla para tamizado

Debido a que la granulometría tiene diversos tamaños, es necesario utilizar la malla para tamizado cuando el tamaño de la partícula es mayor a 50 micras o 0,050 mm, la forma de utilizar el tamiz al realizar el cribado es colocar pilas de mallas, a fin de dividir los granos por tamaño, de manera que los granos que atraviesan el último tamiz sean de una misma proporción¹⁰⁷.

Existen diversos tipos de tejido o entrelazado de alambres que forman las mallas, a esto se les conoce como trama y urdimbre, el espacio entre la línea

¹⁰⁴ EQUIPO FERROS PLANES. *Inox 304 vs Inox 316: las diferencias entre los dos tipos de acero*. <https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>. Consulta: 14 de mayo de 2020.

¹⁰⁵ *Ibíd.*

¹⁰⁶ RELIANCE FOUNDRY. *Acero Inoxidable 304 Versus Acero Inoxidable 316*. <https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-inoxidable-304-vs-316-es#gref>.

¹⁰⁷ CARBOTECNIA, *Granulometría*. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtros-de-lecho-profundo-medios-granulares/granulometria-o-numero-de-malla/>.

central entre uno y otro alambre es la distancia entre los ejes de la misma. Los tipos de tamices que existen son: granulometría, tamices de lavado, tamices y parrillas estacionarias, tamices giratorios¹⁰⁸.

Usualmente, los tamices industriales para alimentos son de material de acero inoxidable, con aleaciones de níquel y cobre, o tela de nylon¹⁰⁹. Específicamente los tamices y parrillas estacionarias se alimentan de partículas muy gruesas, procedentes de un triturador primario, que se dejan caer sobre el extremo más alto de la parrilla, el corte en la parte superior de las barras es más ancha, esto se debe al corte transversal que permite fácilmente el funcionamiento del equipo sin que suceda ningún tipo de atasco, usualmente, las barras están separadas ente 2 a 8 pulgadas¹¹⁰.

3.1.4. Análisis de barras magnéticas para cuerpos extraños

La utilización de barras magnéticas en el proceso del tamizado del producto pulverulento da como resultado mejor control de calidad en el flujo del mismo, es por ello que se debe realizar un montaje interno de la tolva, previo al ingreso del producto para evitar la contaminación durante el proceso.

Las barras magnéticas, están diseñadas para la separación y eliminación de pequeñas partículas de metal en las materias primas dentro de las tolvas, el uso de estas rejillas ayuda a conservar la inocuidad en el producto final, estas se

¹⁰⁸ M & M INSTRUMENTOS TÉCNICOS, S.A.S. *Tipos de Tamices.*
<https://www.myminstrumentostecnicos.com/equipos-de-laboratorio/tamices/tipos-de-tamices/>

¹⁰⁹ INGENIERÍA EN ALIMENTOS. *Tamizado.*
<https://ingenalimentos3.blogspot.com/2018/05/tamizado.html>.

¹¹⁰ PÉREZ, Daniel. *Separaciones Mecánicas.*
<https://es.slideshare.net/daniel87121/separaciones-mecnicas>.

colocan en una estructura cuadrada o circular de acero inoxidable. La limpieza es manual y la temperatura máxima de trabajo es de 90 ° C¹¹¹.

Existen cuatro tipos de imanes:

- Imanes permanentes: producidos de forma natural por la magnetita¹¹².
- Imanes de alnico: compuestos por aluminio, níquel y cobalto, se caracterizan por poseer la inducción magnética más elevada y mantener sus propiedades magnéticas aún en temperaturas bajas extremas¹¹³.
- Imanes cerámicos o imanes de ferrita: son de bajo costo, se utilizan para procesos de automatización y control, entre otros, puede mantener su magnetismo a una temperatura máxima de 250 ° C¹¹⁴.
- Imanes de tierras raras: llamados así porque utiliza compuestos lantánidos, puede operar a una temperatura máxima de 80 ° C¹¹⁵.

La elección del separador magnético depende de los costos de operación, existen también cuatro tipos: rejilla, bala, cajón y trampa. En el caso de la industria alimentaria, se utilizan imanes fabricados con neodimio y sus distintas aleaciones, especialmente con hierro y boro, entre otros, debido a su alta coercitividad a partículas ferromagnéticas ¹¹⁶.

¹¹¹ FORMEX MAQUINARIA, S.A. *Rejillas para separación magnética*. <https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Rejillas-para-separacion-magnetica-Selter-156124.html>.

¹¹² IMA. *Imanes Permanentes*. <https://www.imamagnets.com/blog/que-es-un-iman-permanente/>.

¹¹³ IMA. *Imanes de Alnico*. <https://www.imamagnets.com/iman-de-alnico/>.

¹¹⁴ MAGNO SPHERE. *Imanes cerámicos / Imanes de Ferrita*. <https://www.magnosphere.es/iman-de-neodimio-potentes/iman-de-ferrita-iman-de-ceramicos/>.

¹¹⁵ IMA. *Imanes*. <https://www.imamagnets.com/iman/>.

¹¹⁶ PADILLA, Rony. *Control de Metales en el empaque de Harina de Trigo aplican un análisis de riesgos y puntos críticos de control*. p. 23.

Se debe tomar en cuenta también que, según la fuerza del campo magnético o unidad de Gauss, será la elección de la barra magnética, cuanto mayor sea la numeración, mayor será la distancia de magnetismo que alcanzará el imán elegido¹¹⁷.

En lo que se refiere a la vida útil de las barras magnéticas, se debe considerar que, los golpes, la temperatura, vibraciones, la concentración magnética en un solo punto, la corrosión y desgaste natural, son factores que deterioran el imán, por lo que, debe chequearse cada cierto tiempo para evitar atrasos en la producción¹¹⁸

3.2. Diseño del dosificador

Un mecanismo dosificador está compuesto de una tolva de abastecimiento que tendrá la función de mantener abasto permanente al sistema, un tubo alimentador que conducirá el producto de la tolva de abastecimiento hacia el siguiente paso de la operación, una tolva de dosificación que debe contener la cantidad producto necesario cuyo peso ejercerá presión hacia el último paso de la operación y un mecanismo dosificador que se encargará de depositar a los sobres la cantidad de peso más exacta posible según su diseño.

3.2.1. Selección de material de construcción

Este aspecto responde al criterio de calidad industrial, que se enfoca en la funcionalidad de la herramienta de acuerdo al producto que se requiere dosificar,

¹¹⁷IMA. *El Gauss. La fuerza del campo magnético*. <https://www.imamagnets.com/blog/el-gauss-la-fuerza-del-campo-magnetico/>.

¹¹⁸ CALAMIT. *Barras Magnéticas*. <https://www.calamit.es/separacion-magnetica/barras/barras-magneticas.php>.

que, en el caso de alimentos, el parámetro de selección de materiales incluye dentro de los elementos seleccionados, evitar la contaminación en el proceso de producción, además, se toma en cuenta el tiempo de distribución de secuencias exactas y el tipo de producto, ya sea sólido o líquido. El material de fabricación es acero inoxidable 304, adecuado para el proceso de productos alimentarios¹¹⁹.

La función de un dosificador industrial es agilizar el procedimiento de la producción del producto, sin embargo, el funcionamiento de un dosificador es específico y se rige a los parámetros de la empresa, en cuanto a los factores de producción descritos. Generalmente existen dos tipos de dosificadores: gravimétricos para productos líquidos y volumétricos, para productos sólidos. La ventaja de los dosificadores consiste en disminuir el trabajo manual, por lo que únicamente es necesaria la supervisión del equipo que trabaja por sí mismo.¹²⁰

3.2.2. Dimensiones de la tolva de dosificación

Se requiere instalar la tolva en una máquina cuya longitud de formado de sobres es de 0,800 m.

Se requiere que la capacidad de la tolva sea de 120 kg, para entregar producto a una velocidad de 270 sobres por minuto en una máquina con seis caídas de formación de sobre.

¹¹⁹ FORMEX MAQUINARIA, S.A. *Dosificadores de Topping automático*. <http://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Dosificadores-de-topping-automatico-Dta40-dta45-dta60-dta80-177071.html>.

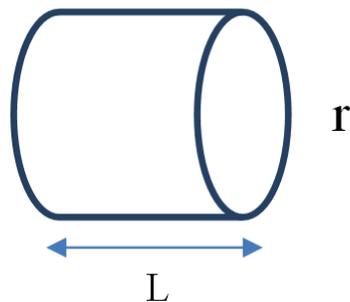
¹²⁰ BULKER. *Dosificadores volumétricos y gravimétricos: para trabajar en continuo o por lotes*. <https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Dosificadores-volumetricos-y-gravimetricos-Bulker-69351.html>.

Densidad del producto a dosificar: 200 kg/m³

Densidad = masa / volumen requerido

Volumen requerido = masa / densidad = 120 kg / 200 kg/m³ = 0,600 m³

Figura 49. **Referencia de volumen de un cilindro**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

$$\text{Volumen de cilindro} = \pi * r^2 * L$$

Se procede a calcular el radio del cilindro en base a las dimensiones requeridas de longitud (0,800 m) y de volumen de tolva (0,600 m³).

$$r = \sqrt{\frac{v}{L}} = \sqrt{\frac{0,600 \text{ m}^3}{\pi * 0,800 \text{ m}}} = 0,488 \text{ m}$$

3.2.3. Análisis de dosificación por cucharones volumétricos

A continuación, se presenta el análisis numérico para el diseño de las dimensiones de los cucharones como elemento principal del sistema dosificador volumétrico para bebidas en polvo.

3.2.3.1. Dimensiones de los cucharones volumétricos

Se establece como base el gramaje requerido que debe trabajar la tolva:

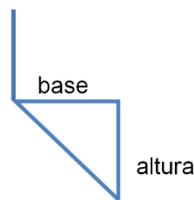
- Gramaje máximo: 20 gramos
- Gramaje mínimo: 10 gramos

Volumen requerido para cucharones volumétricos, tomando como referencia la densidad del producto a dosificar:

Densidad del producto: 200 kg/m^3

Volumen máximo requerido cucharones volumétricos = $0,02 \text{ kg} / 200 \text{ kg/m}^3 = 0,0001 \text{ m}^3 = 100\,000 \text{ mm}^3$.

Figura 50. Referencia de volumen de un cucharón



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

$$volumen\ de\ cucharón = \frac{1}{2} base * altura * ancho$$

Se toma como referencia el ancho de un sobre el cuál es de 70 mm para la medida de ancho y 40 mm de base del cucharón para los cálculos de altura mínima y máxima.

$$altura\ máxima = \frac{2 * volumen\ de\ cucharón}{base * ancho} = \frac{2 * 100\ 000\ mm^3}{70\ mm * 40mm} = 70\ mm$$

3.2.3.2. Cálculo de carga del motor para los cucharones

La carga que el motor debe soportar se define por el torque mínimo necesario para poder accionar la masa del mecanismo móvil y la masa del producto a dosificar.

Cálculo de torque:

$$T = F * d$$

T = Torque

F = Fuerza

d = distancia máxima del motor hacia el accionamiento = 0,20 m

Dónde la fuerza será:

$$F = m * g$$

Masa del mecanismo = 2 000 gramos

Masa máxima de producto a dosificar = 6 caídas * 20 gramos = 120 gramos

Masa total = 2 000 g + 120 g = 2 120 g = 2,12 Kg

Gravedad = 9,8 m/s²

$$F = 2,12 \text{ Kg} * \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 19,08 \text{ N}$$

Por lo tanto:

$$T = 19,08 \text{ N} * 0,20\text{m}$$

$$T = 3,816 \text{ Nm}$$

La potencia del motor se calcula de acuerdo al torque necesario y a la velocidad de giro para alcanzar el número de sobres requerido.

Velocidad de giro = Velocidad de sobres de la línea / número de caídas = 270 sobres /min / 6 caídas.

$$\text{Velocidad de giro} = 270 / 6 = 45 \text{ rpm} = 4,712 \text{ rad / s}$$

Donde:

$$P = T [\text{Nm}] * W \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$P = 3,816 \text{ Nm} * 4,712 \text{ rad / s} = 15,01 \text{ Watts}$$

3.2.3.3. Referencia de motor comercial

Según la capacidad de trabajo del motor, descrito anteriormente, en lo que se refiere a la adquisición de un motor comercial, debe tomarse en cuenta que la potencia adecuada del motor sea que, éste trabaje en el rango de 75 % de factor de carga, de manera que tenga un 25 % de capacidad adicional que soporte mayores cargas de trabajo, con lo que se evita el sobrecalentamiento del mismo¹²¹.

Los motores comerciales tienen un rango de potencia entre 5 kW y 10 kW, entre una capacidad y otra¹²², la resistencia del mismo se garantiza a través normas certificadas de calidad, por ejemplo, ISO9001, 13, 3 certificaciones ISO1400, entre otras, por lo que, en el caso del motor seleccionado, tanto por la energía que posee y los cálculos descritos anteriormente, sería el de 15 kW.

3.3. Diseño del recogedor del producto

El recogedor de producto consiste en un motor eléctrico que acciona un tornillo sin fin, a través de un ducto de traslado horizontal, cuya función es mantener el nivel de producto en la tolva de dosificación, el cual traslada desde la tolva de abastecimiento. Para ello se debe tomar en cuenta la cantidad de producto a trasladar, así como el ciclo de tiempo en el cual se ejecutará la operación.

¹²¹ CNEE. *Curso - Taller Promotores de Ahorro y Eficiencia de Energía Eléctrica*. [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf).

¹²² ALIBABA.COM. *Motor eléctrico 48 v 15 kw*. <https://spanish.alibaba.com/g/electric-motor-48v-15kw.html>.

3.3.1. Dimensión del recogedor

Inicialmente, se debe establecer que el volumen de carga del recogedor de producto debe ser igual al volumen de descarga del sistema dosificación en un lapso de 3 minutos.

- Ciclo de trabajo del recogedor de producto:

Ciclo de trabajo del recogedor de producto (1 hora) = 1 hora / tiempo de descarga del sistema dosificador.

Ciclo de trabajo del recogedor de producto (1 hora) = 60 minutos / 3 minutos.

Ciclo de trabajo del recogedor de producto (1 hora) = 20 ciclos.

- Masa de descarga del sistema dosificador:

Masa de descarga del sistema dosificador (3 minutos) = 3 minutos * cantidad de dosificaciones por minuto * gramaje de descarga.

Masa de descarga del sistema dosificador (3 minutos) = 3 minutos * 270 dosificaciones/min * 10 gramos/dosificación.

Masa de descarga del sistema dosificador (3 minutos) = 8 100 gramos = 8,1kg.

- Volumen de descarga del sistema dosificador:

Volumen de descarga del sistema dosificador (3 minutos) = Masa de descarga del sistema dosificador (3 minutos) / densidad del producto.

Volumen de descarga del sistema dosificador (3 minutos) = 8,1 kg / 200 kg/m³.

Volumen de descarga del sistema dosificador (3 minutos) = 0,0405 m³.

- Radio del ducto:

Radio del ducto a utilizar: 3 pulgadas = 0,0762 m.

- Volumen del ducto:

Longitud del ducto a utilizar: 0,6 m.

Volumen del ducto = $\pi * \text{radio del ducto}^2 * \text{longitud del ducto}$.

Volumen del ducto = $\pi * (0,0762 \text{ m})^2 * 0,6 \text{ m} = 0,0109 \text{ m}^3$.

- Ciclos de carga del ducto:

Ciclos de carga del ducto = Volumen de descarga del sistema dosificador (3 minutos) / Volumen del ducto.

Ciclos de carga del ducto = 0,0405 m³ / 0,0109 m³ = 3,7 ciclos.

Se propone que los ciclos de carga del ducto se completen en un lapso de 8 segundos, con un total de 26 revoluciones del tornillo.

- Dimensiones del tornillo sin-fin:

Velocidad del tornillo = Revoluciones del tornillo / tiempo de accionamiento.

$$\text{Velocidad del tornillo} = 26 \text{ rev}/8 \text{ seg} = 3,4 \text{ rev/seg} =$$

Número de hilos del tornillo = Revoluciones del tornillo / ciclos de carga del ducto.

$$\text{Número de hilos del tornillo} = 26 \text{ revoluciones} / 3,7 \text{ ciclos} = 7 \text{ hilos.}$$

$$\text{Paso del tornillo} = \text{Longitud del tornillo}/\text{número de hilos} = 0,6 \text{ m}/7 = 0,085 \text{ m} = 8,5 \text{ cm.}$$

Tabla XII. **Resumen dimensión del recogedor**

Elemento	Dimensión
Longitud del ducto	60 cm
Radio del ducto	3 pulgadas
Diámetro del tornillo	6 pulgadas
Paso del tornillo	8,5 cm
RPM de salida del motor Accionador del tornillo	204 rpm

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.3.2. Selección del material de construcción

Se debe tomar en cuenta que la operación de carga del recogedor de producto es una acción de movimiento rotativa que puede estar sujeta a rozadura entre el elemento rotativo (tornillo sin-fin) y elemento estator (ducto), por lo cual se debe establecer el material de construcción estos elementos, así como los puntos críticos de sellado del sistema.

El ducto y el tornillo sin fin deben ser elementos con suficiente resistencia al desgaste por la fricción que ejerce el producto procesado, para lo cual se propone que se haga uso del acero inoxidable de grado sanitario.

Los elementos de sellado del sistema deben ser fabricados con un polímero de grado sanitario capaz de resistir la reacción química con el producto, impermeabilidad a la humedad externa y de bajo coeficiente de fricción, que minimice el impacto de la rozadura por rotación. En este orden se propone el uso de politetrafluoroetileno, conocido comercialmente teflón grado sanitario.

3.4. Diseño del mecanismo removedor

La función de un mecanismo removedor es evitar un apelmazamiento dentro de la tolva de dosificación. Esta se mantendrá siempre a su capacidad máxima de volumen y el peso propio de su contenido hace que los pequeños granos en condiciones de temperatura y humedad del entorno, al presionarse unos con otros, generen un efecto de fusión, creando partículas más grandes que pueden generar un atasco en el sistema o una dificultad mayor para controlar el peso a dosificar.

El mecanismo debe ser capaz de generar un movimiento rotatorio, sumergido en el producto, de manera que las partículas del contenido siempre estén en movimiento, evitando el reposo.

3.4.1. Dimensión de las aspas

El movimiento debe ser rotativo dentro de la tolva, al actuar dentro de un cilindro horizontal, debe ejercer movilidad en la longitud total de este.

- Longitud de eje = 60 centímetros
- Cantidad de caídas de dosificación = 6 caídas
- Cantidad de aspas dosificadoras = 4 aspas
- Longitud de aspas = radio de cilindro * 70 %
- Longitud de aspas = 0,488 m * 0,70 = 0,34 m = 34 cm

Se debe calcular la fuerza que ejerce el producto sobre cada aspa:

$$F = m * g$$

Donde:

F = Fuerza sobre un aspa

m = masa repartida entre las cuatro aspas = $20 \text{ kg} / 4 = 5 \text{ kg}$

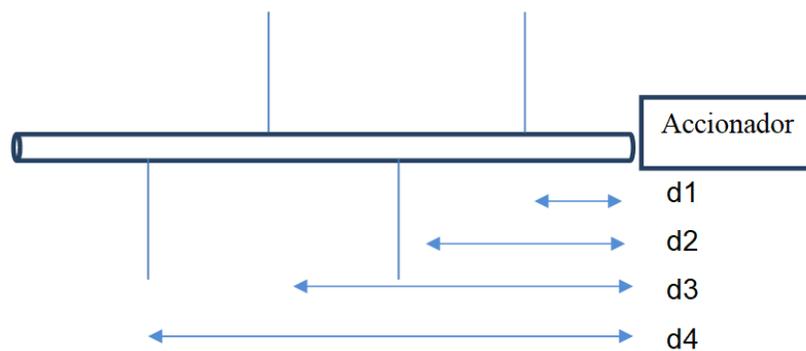
g = gravedad = $9,81 \text{ m/s}^2$

$$F = 5 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 49,05 \text{ N}$$

3.4.2. Capacidad de carga del mecanismo de accionamiento

Se calculará la capacidad de carga del removedor en función del esfuerzo máximo cortante según el torque que ofrece cada aspa según su distribución en el eje.

Figura 51. Diagrama del mecanismo removedor



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Donde:

$$d1 = 12 \text{ cm}$$

$$d2 = 24 \text{ cm}$$

$$d3 = 36 \text{ cm}$$

$$d4 = 48 \text{ cm}$$

$$T = F * d$$

Donde:

T = torque de sección

F = fuerza sobre un aspa = 49,05 N

d = distancia de posición de aspa

Por lo tanto:

$$T1 = 49,05 \text{ N} * 0,12 \text{ m} = 5,886 \text{ N-m}$$

$$T2 = 49,05 \text{ N} * 0,24 \text{ m} = 11,772 \text{ N-m}$$

$$T3 = 49,05 \text{ N} * 0,36 \text{ m} = 17,658 \text{ N-m}$$

$$T4 = 49,05 \text{ N} * 0,48 \text{ m} = 23,544 \text{ N-m}$$

$$\text{Total} = 5,886 + 11,772 + 17,658 + 23,544 = 58,86 \text{ N-m}$$

Esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{max} = \frac{T * c}{J}$$

Donde:

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo

T = torque máximo = 58,86 N-m

c = radio del eje a utilizar = referencia comercial de eje = 25,4 mm

$$J = \text{momento polar de círculo} = \frac{\pi}{2} * c^4$$

$$\tau_{max} = \frac{58,86 \text{ Nm} * 0,0254 \text{ m}}{\frac{\pi}{2} (0,0254 \text{ m})^4} = 2,28 \text{ MPa}$$

3.4.3. Motor del mecanismo removedor

La importancia de selección de un motor dependerá de factores como voltaje, velocidad, par de arranque, poder, ciclo de trabajo, ciclo de vida, ubicación geográfica de la empresa, tamaño, ruido, altitud, ventilación, dispositivos de alerta, eficiencia y mantenimiento. Dichas cualidades se deben evaluar antes de adquirir un motor en el mercado.

3.4.3.1. Cálculo de carga del motor del mecanismo removedor

Se debe calcular la potencia mínima que debe tener el motor para accionar el mecanismo removedor, de modo que agregue el movimiento giratorio suficiente para evitar el reposo de los granos en la tolva.

$$P = T [N.m] * W \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Donde:

P = potencia mínima de motor

T = torque del eje = 58,86 N-m

W = revoluciones = 45 rpm = 4,712 rad/ s

$$P = 58,86 \text{ Nm} * 4,712 \text{ rad / s} = 277,348 \text{ Watts}$$

3.4.3.2. Referencia del motor comercial

Para la selección de un motor comercial, se debe tomar en cuenta la protección del motor que evite la entrada de polvos extraños, como polvo, fibras, de dimensiones milimétricas, así como el contacto accidental con el mismo o la penetración de agua, el grado de temperatura de operación, para lo cual deben poseer la clase de aislamiento F y el sistema de ventilación interna o externa. Los motores comerciales se fabrican apegados a valores estandarizados por normativas de calidad, es por ello que el tamaño de la carcasa es otro factor que debe tomarse en cuenta para definir la dimensión que se necesite¹²³.

3.5. Vaciado del sistema

Se debe considerar que el sistema debe tener una forma para vaciarlo, de manera que, al culminar la producción necesaria, pueda retirarse rápidamente el producto acumulado y recuperarlo en recipientes, reduciendo al mínimo la merma por pérdida de material de empaque o el producto mismo.

3.5.1. Altura de vaciado

Se define que el punto de vaciado debe estar en la tolva de dosificación, de modo que independientemente al momento en que se decida terminar la producción, la tolva pueda vaciarse por completo, logrando recuperar la máxima cantidad de producto disponible en la tolva.

Esto se encontrará a una altura de 2,50 metros sobre el nivel de piso.

¹²³ ROYDISA. *Consejos para elegir un motor eléctrico a tu medida.* <https://www.roydisa.es/archivos/5399>.

3.5.2. Manguera flexible

Se define que, en cada una de las seis caídas de producto de la tolva de dosificación, debe considerarse el acople rápido para una manguera flexible del mismo diámetro del conducto de caída. Estas mangueras deben tener una longitud de al menos 1,5 metros para poderla direccionar hacia un recipiente a nivel de piso que pueda hacer la recolección de la cantidad de producto que esté en la tolva.

3.6. Control de calidad externo para verificar la dosificación precisa del producto

La técnica del muestreo es una herramienta de monitoreo que se utiliza en un sistema de control de calidad en procesos de producción, las variables son dependientes de factores internos, como cantidad exacta de producto, tiempos de llenado, entre otros, los cuales pueden verse afectados por el desempeño del equipo industrial. El muestreo tiene como fin reducir costos de producción y detectar posibles desvíos de producción que requieran ajustes¹²⁴.

¹²⁴RODRÍGUEZ, Mairet, MACHADO, Wilfre; VILLAMARÍN, Alexis. *Muestreo para el control de calidad en el proceso de elaboración de envases metálicos para alimentos*. <https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v20n2/05.php>.

3.6.1. Envase para control de calidad

Debido al tamaño de la muestra y para mantener el control de pesos, se propone hacer uso de un recipiente que ayude al operador a mantener los sobres en posición vertical, de modo que sea capaz de enviar seis pesos (un sobre de cada pista) en una misma corrida.

Tabla XIII. **Velocidad de sobres generados en línea**

Sobres por minuto	Sobres por hora	Sobres por turno (8 horas)
270	16 200	129 600

Fuente: Elaboración propia, empleando Excel.

Figura 52. **Ejemplo de recipientes utilizados para muestreos de sobres**



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

3.6.2. Balanza digital

Este instrumento varía entre sí, de acuerdo con la metrología de cada diseño, incluso existen dos tipos de balanza: la digital o electrónica y la mecánica. A diferencia de la balanza mecánica, la balanza de tipo digital posee tres factores básicos: un platillo, un transductor y el convertidor analógico-digital que permite mostrar la señal de manera digital. La balanza tiene como función el pesaje de gramos y kilogramos, si se necesitara determinar una masa más grande, se utilizaría una báscula¹²⁵.

Una balanza digital debe poseer características de calidad certificada, por lo que debe leer la carga lateral de las masas, así como factores técnicos de sensibilidad, linealidad, histéresis y exactitud¹²⁶. En tabla 14, se describen las particularidades de la balanza digital para que sea funcional al trabajo que se requiere realizar.

Tabla XIV. **Características técnicas de balanza digital**

Balanza comercial útil para el proceso	
Capacidad máxima	50 gramos
Resolución	0,001 gramos
Capacidad mínima	0,02 gramos
Error máximo permitido (+/-)	0,003 gramos

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

¹²⁵ INGENIERÍA MECAFENIX. *¿Qué es una balanza y para qué sirve?*
<https://www.ingmecafenix.com/medicion/balanza/>.

¹²⁶ *Ibíd.*

4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

4.1. Área de instalación dentro de la línea de producción

La línea de producción está compuesta de los siguientes elementos: área de abastecimiento del producto, la máquina llenadora y empacadora, equipos auxiliares de embalaje y equipos auxiliares del fin de línea.

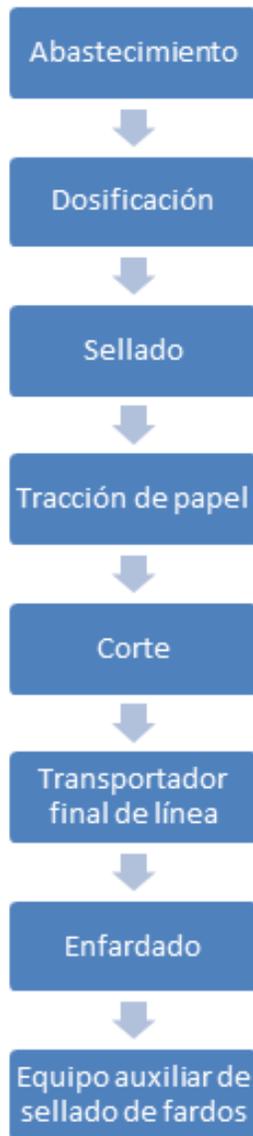
En este caso el sistema diseñado deberá instalarse en la fase inicial del proceso de llenado y empaque; físicamente en la parte superior, situado como un elemento más de la máquina empacadora vertical, en el que su posición da como ventaja la gravedad para la dosificación del producto.

4.1.1. Distribución de equipo

La propuesta de distribución final de la línea es la siguiente:

- Sistema de abastecimiento
- Sistema de dosificación
- Sistema de sellado
- Sistema de tracción de papel
- Sistema de corte
- Transportador final de línea
- Enfardado
- Equipo auxiliar de sellado de fardo

Figura 53. **Secuencia de distribución final de línea de producción**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.1.2. Determinación de mano de obra

Evaluación de las fases del proceso en las que se requiere mano de obra:

- Posición de abastecimiento: La mezcla para abastecer se despacha en sacos especiales, por lo que una persona debe ejecutar las operaciones de izaje y posicionamiento del mismo en la tolva de abastecimiento. Cantidad de personas: 1.
- Posición de máquina llenadora y empacadora: La máquina empacadora que se compone de los sistemas de dosificación, sellado, corte, tracción de papel y transportador final de línea está comandada por un solo controlador lógico programado, conocido también como PLC, por lo que, los diferentes parámetros a configurar deben ser manejados por una persona cuya función principal deberá ser la del operador principal de línea. Cantidad de personas 1.
- Posición final de línea: Para alcanzar la velocidad de entrega de producto terminado en ristras, en las seis pistas es necesario mantener al final de línea una persona en cada lado. Estas personas cumplirán la función de ser operadores auxiliares de línea y ejecutarán la operación de engrapado de ristras y acumulación para su posterior enfardado. Cantidad de personas: 2.
- Posición de equipo auxiliar de sellado de fardos: Se requiere del apoyo de una persona adicional que se encargará de llenar el fardo con la cantidad de ristras necesarias según el estándar. Esta persona cumplirá la función de ser el enfardador de línea y también operará el equipo auxiliar para sellado de fardos para poder entregarlos a la bodega de producto terminado. Cantidad de personas: 1

Cantidad total de personas distribuidas en la línea: 5

4.1.3. Determinación de herramienta para instalación

El equipo de dosificación basculante cuenta con los siguientes elementos de sujeción o carga para efectos de su instalación, desarme o desinstalación para limpiezas o mantenimientos, en la tabla 15 se describen dichos elementos mecánicos y la herramienta necesaria que se necesita para el ensamblaje.

Tabla XV. Elementos de sujeción del equipo de dosificación basculante

No.	Elemento mecánico	Herramienta necesaria
1	Tornillos tipo hexagonal 6 mm	Llave cola-corona 10
2	Tornillos tipo hexagonal 8 mm	Llave cola-corona 13
3	Tornillos tipo Allen 4 mm	Llave Allen 3 mm
4	Tornillos tipo Allen 6 mm	Llave Allen 5 mm
5	Tornillos tipo Allen 8 mm	Llave Allen 6 mm
6	Rodamiento 6004 DU	Extractor de rodamientos

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

4.1.4. Limpieza del área donde se realizará el montaje

La limpieza del área donde se realizará el montaje debe ser húmeda, controlada con 200 partes por millón de cloro, para desinfectar el área.

Además, todas las piezas a instalarse deben pasar por proceso de lavado previo y las piezas que no puedan ser lavadas como motores eléctricos o sensores, deben ser limpiadas posteriormente con la misma solución que se aplicó previamente en el área de montaje.

4.2. Montaje del equipo

Breve descripción sobre cómo se realiza el montaje de las piezas del equipo y qué pruebas corresponden a realizar para evaluar su funcionamiento.

4.2.1. Guía de procedimientos de montaje

- En la parte superior de la maquina acoplar motor y transmisión de eje del removedor.
- Acoplar removedor y eje sin fin de leva vibratoria con llaves de cola corona No. 13.
- Montar alimentador completo colocando los cuatro tornillos cabeza hexagonal de 6mm que los sujetan, con una llave cola corona de 10mm.
- Armar el alimentador instalando los flanges con cojinete adjunto, colocando los cuatro tornillos de cabeza Allen de 6 mm.
- Instalar las paletas o aspas (seis) del eje con llaves de cola-corona de 10mm .
- Instalar los dos cojinetes 6004 DU y posteriormente colocar seguros internos.
- Montar la transmisión del dosificador.
- Instalar las mangas de hule manualmente.
- Instalar el mecanismo de acople de leva vaivén con una llave cola corona de 13 mm.
- Montar manualmente los dos resortes de tensión del mecanismo de cucharones.
- Armar las bases del basculante colocando los tornillos cabeza Allen, con una llave Allen de 5 mm.

- Colocar los seis cucharones con una llave 10 mm y regularlos con una llave 3mm y una tuerca de fijación de 8mm. Repetir esto en el lado opuesto.
- Instalar las seis caídas de producto.
- Revisar la perilla de regulación de dosis, también se revisa el tornillo o espárrago. Este hace la regulación de más o menos dosificación.
- Instalar en ambos extremos de la base del basculante los cojinetes de movimiento de cucharones. Uno de tracción principal y el otro es estático.

4.3. Pruebas preliminares

Es necesario validar los siguientes parámetros en las pruebas preliminares, para asegurar el funcionamiento del equipo:

- Regulación de peso neto del producto: se debe asegurar que el mecanismo de regulación del equipo logre mantener los rangos de peso entre el máximo y mínimo de diseño (10 a 20 gramos).
- Tiempo de caída de producto: se debe asegurar que el operador pueda manipular el momento de caída del producto, a través del parámetro que controla el mecanismo de apertura del cucharón, el cuál será un valor angular, dentro del rango total del enconder (0 a 360°).
- Hermeticidad del producto: se debe asegurar con pruebas aleatorias en una cámara de presión de sumersión en agua, que el sobre con el contenido interior mantiene la hermeticidad en los cuatro sellos a una presión de 18 psi., medida de presión que en inglés es *Pounds Force per Square Inch* y en su traducción al español significa «libra por pulgada

cuadrada»¹²⁷. En el momento que se detecta un sobre con fuga, se deberá ajustar la presión y temperatura del sello correspondiente. Se recomienda hacer esto con las seis caídas de sobre.

- Velocidad de línea: se debe asegurar que la línea es capaz de mantener la eficiencia a una velocidad de 45 golpes por minuto, tanto de sus porcentajes de merma, como de la capacidad de la mano de obra para poder enfardar todo el producto terminado que llega al final de línea.

4.3.1. Calibración del equipo

Se refiere a las acciones que establecen la relación que se determina entre los valores de un sistema de medida indicados por un instrumento a través de ciertos parámetros de medición y, los valores reales conocidos sobre una magnitud medida. Para llevar a cabo la calibración de equipo, se utilizan procedimientos y medios técnicos que, a través de la comparación entre un material de referencia o método absoluto y un valor obtenido dentro de los límites establecidos en la función a realizar, de manera que cualquier dato que esté fuera de límites significa realizar el ajuste o calibración respectiva¹²⁸.

4.4. Capacitación y adiestramiento de operarios

El tema de capacitación de personal se conoce como una herramienta administrativa para ampliar, mejorar o modificar los conocimientos, habilidades y aptitudes de los colaboradores de una empresa. Por su objetivo, la capacitación

¹²⁷CONNOR, Nick. *Qué es la escala de presión – Unidad de presión – Definición*
<https://www.thermal-engineering.org/es/what-is-pound-per-square-inch-psi-definition/>.

¹²⁸YEPES, Víctor. *¿Qué es la calibración de un equipo medida?*
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/02/29/calibracion-equipo-medida/#:~:text=Se%20denomina%20calibraci%C3%B3n%20al%20conjunto,conocidos%20de%20una%20magnitud%20medida.>

puede ser formal o informal; la capacitación informal surge a partir de instrucciones operativas y la capacitación formal se refiere al uso de métodos de planificación programada. Por su nivel ocupacional, la capacitación puede ser dirigida a operarios, obreros calificados, supervisores, jefes de línea o gerentes.

Por su naturaleza, la capacitación se divide en seis tipos: por orientación, vestibular, capacitación en el trabajo, capacitación de supervisores, entrenamiento técnico y para aprendices¹²⁹. En el caso del enfoque de este estudio, la capacitación se apega a entrenamiento técnico y capacitación en el trabajo, porque se orienta en el manejo de maquinaria industrial.

En la industria alimenticia y de bebidas en polvo, es de suma importancia que se prioricen acciones para capacitar y formar técnicos expertos en los diferentes sistemas de producción, para minimizar el riesgo en la operación de malas prácticas que generen una disminución en la productividad de los equipos.

4.4.1. Buenas prácticas de manufactura

Las BPM o buenas prácticas de manufactura, son los principios fundamentales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de todo tipo de alimentos para consumo humano y tienen como fin garantizar que la fabricación de los productos sea bajo las condiciones adecuadas, así como que los riesgos de producción se disminuyan¹³⁰.

¹²⁹ Facultad de Contaduría y Administración. *Capacitación y adiestramiento*. http://www.fidelfmafca.weebly.com/uploads/4/0/4/7/4047781/_tema_2.pdf.

¹³⁰ OLIVA, María. *Elaboración de una guía de Buenas Prácticas de Manufactura para el restaurante central del IRTRA Petapa*. p.1.

Las BPM garantizan que el proceso de producción mantenga la inocuidad de los alimentos, además, se reconocen como prerrequisitos del sistema conocido por sus siglas en inglés como HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*) que en español significa Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control¹³¹.

Los programas de prácticas operacionales incluyen diversos requisitos, entre ellos está el equipo de producción, que se refiere a que todo equipo debe ser construido e instalado de acuerdo a los principios y normativas de un proyecto sanitario, para lo cual, se establecen procedimientos, documentación y verificación de programas de prevención, con el uso de calendarios sobre mantenimiento y calibrado del equipo de trabajo, así como también aspectos de limpieza y desinfección, higiene personal, capacitación de operarios, monitoreo de alimentos, entre otros¹³².

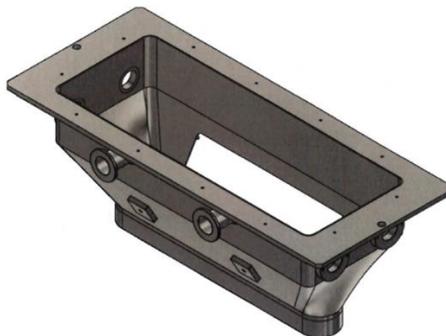
4.4.2 Uso del equipo

Una de las causas más importantes de la pérdida de productividad y deterioro acelerado de las máquinas en la industria de la producción a media y gran escala, es la falta de expertiz por parte del personal responsable de la operación y mantenimiento, en el uso y funcionamiento de los equipos de producción.

¹³¹ GLOBAL STD CERTIFICATION. *Certificación de Cumplimiento: HACCP.*
<https://www.globalstd.com/auditorias/sistema-haccp/>.

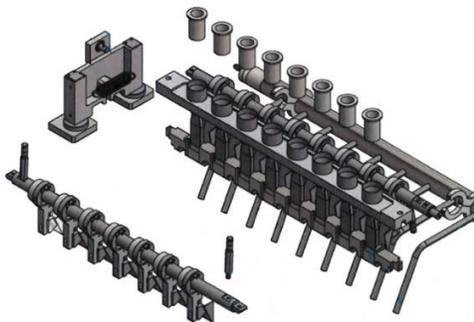
¹³² OPS. *Buenas Prácticas agropecuarias de manufactura.*
https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10985:2015-buenas-practicas-agropecuarias-de-manufactura-bpm&Itemid=41496&lang=es.

Figura 54. **Tolva de dosificación de un sistema dosificador volumétrico basculante en un software de simulación**



Fuente: SCHMUCKER SRL. *Manual de Operación de Máquina Envasadora Automática para Bolsitas Termosoldadas Modelo ASC 8L.* p. 5.

Figura 55. **Mecanismo de cucharones basculantes de un sistema dosificador volumétrico en un software de simulación**



Fuente: SCHMUCKER SRL. *Manual de Operación de Máquina Envasadora Automática para Bolsitas Termosoldadas Modelo ASC 8L.* p. 5.

Es por ello que se propone a la organización el seguimiento de un módulo de capacitación básico, dirigido al personal operativo, en el cual se proporcione

un espacio físico y didáctico dedicado a la construcción de competencias técnicas enfocadas en los sistemas dosificadores volumétricos basculantes.

Tabla XVI. **Planificación de programa de entrenamiento operativo**

Duración del módulo - 4 horas
Programa de entrenamiento teórico
1. Sistemas de dosificación
2. Tipos de sistemas dosificadores
3. Partes del sistema dosificador volumétrico basculante
4. Rango de operación
5. Ajustes comunes
6. Fallas comunes, diagnóstico y reparación
7. Limpieza, inspección y lubricación del equipo
8. Buenas prácticas y malas prácticas
Entrenamiento práctico
1. Partes y dispositivos auxiliares (equipo ya instalado en la línea de producción o prototipo)
Material y recursos didácticos
1. Presentación de power point
2. Videos de sistemas dosificadores
2. Demostración a través de software de simulación sistema dosificador volumétrico basculante
Método de evaluación
Evaluación de 10 preguntas Verdadero/Falso (Pre y post)
Método de aprobación
Entrenamiento aprobado >80 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 56. Entrenamiento sobre lubricación dirigido a los operadores de la línea de producción de refrescos en polvo



Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

4.5. Programa de mantenimiento del equipo

Se presenta como parte del programa de mantenimiento del equipo, la definición de las acciones correctivas comunes y las acciones preventivas frecuentes a seguir por parte del personal de mantenimiento.

4.5.1. Acciones correctivas

Las acciones correctivas, tal como lo indica su nombre, se implementan de acuerdo con los problemas que surgen en la maquinaria que realiza en tres de las áreas del proceso de producción, en estas acciones se realizan ajustes y

cambio de repuestos, según sea lo que se necesite corregir y de acuerdo con los problemas que puedan presentarse como fugas de producto o aceite, variaciones entre caídas de producto, sobredosificación del mismo, ver tabla 17.

La implementación de las acciones correctivas permite reducir el tiempo de atrasos en la producción, así como las pérdidas de producto que pudieran suceder.

Tabla XVII. **Parámetros de acciones correctivas**

No.	Mecanismo	Actividad	Cuando se requiere
1	Abastecimiento	Cambio de empaque de la abrazadera del tubo de caída	Cuando se detecta fuga en la unión del tubo de abastecimiento y la tolva
2	Dosificación	Ajuste de altura de conductores	Cuando se detecta fuga en la parte superior del mecanismo
3	Dosificación	Ajuste de altura de cucharones volumétricos	Cuando se detecta infra dosificación o sobredosificación
4	Dosificación	Alineación de cucharones volumétricos	Cuando se detecta variación entre una caída y otra
5	Dosificación	Ajuste de apertura de cucharones volumétricos	Cuando se presenta un atrancamiento en una o varias caídas
6	Dosificación	Cambio de retenedores de caja reductora	Cuando se detecta fuga de aceite en la caja reductora
7	Removedor	Cambio de retenedores de caja reductora	Cuando se detecta fuga de aceite en la caja reductora

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

4.5.2. Acciones preventivas

En cuanto a las acciones preventivas, es necesario establecer una frecuencia temporal para su aplicación, de manera que la maquinaria del equipo de dosificación, removedor y cucharones volumétricos eviten atraso en la producción por algún daño de desgaste en las piezas que los componen.

En tabla 18, se sintetiza el tipo de mecanismo, actividad y frecuencia de implementación de las acciones preventivas.

Tabla XVIII. **Parámetros de acciones preventivas**

No.	Mecanismo	Actividad	Frecuencia
1	Dosificación	Cambio de aceite de la caja reductora principal	Anual
2	Dosificación	Cambio de rodamientos del motor eléctrico principal	Semestral
3	Dosificación	Cambio de biela de transmisión	Semestral
4	Removedor	Cambio de aceite de la caja reductora	Anual
5	Removedor	Cambio de rodamientos del motor eléctrico principal	Semestral
6	Removedor	Cambio de rodamientos del eje removedor	Semestral
7	Cucharones volumétricos	Cambio de rodamientos	Semestral
8	Cucharones volumétricos	Cambio de resortes de tensión	Semestral
9	Cucharones volumétricos	Cambio de tubos flexibles	Anual

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

4.6. Observación y análisis del proceso

A continuación, se establecen los conceptos para estructurar una observación y análisis efectivos del proceso de producción.

4.6.1. Evaluación del proceso

Una característica fundamental de los diversos sistemas de producción industriales es el parámetro de su desempeño, para obtener dicha medida, se recurre a modelos de calidad que permitan obtener índices de desempeño para validar el comportamiento en cuanto a presencia o ausencia de bloqueos, sincronización de actividades, entre otros aspectos ¹³³, que representan riesgos en las etapas de producción en la planta de alimentos, estos factores se deben revisar bajo la normativa propia que regula la industria, así como, con base a las políticas y procedimientos de la organización¹³⁴.

4.6.2. Normativos

Las normas y estándares de seguridad en la industria alimentaria, responden a la preocupación de diversas organizaciones, tales como: la Organización de las Naciones Unidas y otros órganos institucionales de entidades que representan el comercio mundial, los gobiernos regionales y fabricantes de alimentos, quienes afirman el derecho de los consumidores a

¹³³ PARRA, Carlos. *Evaluación del Desempeño de Procesos Industriales Utilizando Redes de Petri Simuladas Bajo el Formalismo DEVS*
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/avances/article/view/10034>.

¹³⁴ AUDIOTOOL, *Checklist para Evaluar los Procesos de Producción y Almacenamiento de Alimentos*.
<https://www.auditool.org/herramientas/control-interno-docman/cuestionarios-y-evaluaciones/766-checklist-para-evaluar-los-procesos-de-produccion-y-almacenamiento-de-alimentos>.

adquirir alimentos de alta calidad, por lo que deben asegurarse de la obtención de calidad en todas las fases de producción alimenticia, desde su punto de partida hasta el consumidor final, dichos aspectos cualitativos, influyen en la salud de las personas así como también en las economías de los países.

En el sector empresarial, las regulaciones consisten en la aplicación estricta de normas y reglamentos de los países importadores, estas políticas de calidad, permiten establecer buenos procedimientos de fabricación a las compañías alimentarias, para que produzcan productos seguros que cumplan los niveles de calidad a través de la implementación de las normativas de seguridad alimentaria, entre las que se encuentran: BRC e IFS, normativas que son controladas por organismos con acreditación certificada, que las empresas procesadoras de alimentos adoptan e implementan en sus procesos de producción¹³⁵.

4.7. Control

En lo que se refiere al control de procesos industriales, este posee varias características, dentro de las cuales se pueden mencionar: la Gestión de Activos, que se refiere al diagnóstico y mantenimiento preventivo, conducción fácil y segura del proceso, así como el sistema abierto que se fundamenta en las tecnologías básicas y estándares industriales establecidos internacionalmente y otras similares. En cuanto a la industria alimentaria, se define como una serie de operaciones básicas que se integran de manera sistemática y racional, en la que

¹³⁵ RENTOKIL. *Normas y estándares de seguridad alimentaria*. <https://www.rentokil.com/es/seguridad-alimentaria/normas-y-estandares-de-seguridad-alimentaria/>.

se incluyen entre otros: bombas, evaporadores, intercambiadores de calor, además, debe cumplir seis exigencias específicas¹³⁶:

- Seguridad
- Especificaciones de producción, tanto en cantidad como en calidad.
- Regulaciones de medioambiente.
- Restricciones concretas de proceso.
- Economía en el proceso, el objetivo de esta característica es generar el mínimo gasto para obtener un máximo beneficio.
- Construcción del sistema de control integrado por recurso humano y equipo tecnológico.

El objetivo del sistema de control incluye tres aspectos específicos:

- Suprimir la influencia de factores externos.
- Asegurar la estabilidad del proceso de producción.
- Optimizar el rendimiento del proceso.¹³⁷

Con base en lo descrito y referente al tema de observación y análisis del proceso, se diseñaron los siguientes esquemas de la propuesta de seguimiento.

¹³⁶ BERMEJO, Nuria. *Control de procesos en la industria alimentaria*
<https://es.slideshare.net/Mgomezrodriguez87/control-de-procesos-en-la-industria-alimentaria>.

¹³⁷ BERMEJO, Nuria. *Control de procesos en la industria alimentaria*.
<https://es.slideshare.net/Mgomezrodriguez87/control-de-procesos-en-la-industria-alimentaria>.

4.8. Costos de implementación

En la siguiente tabla, se encontrará el detalle del costo de la implementación del sistema automático propuesto para la dosificación de bebidas en polvo.

Tabla XIX. Costos de implementación

Descripción	Costo (GTQ)
Tolva de abastecimiento acero inoxidable 304 grado alimenticio con diseño higiénico	8 500,00
Tubo de abastecimiento 6" acero inoxidable 304 grado alimenticio con abrazadera	7 000,00
Tolva de dosificación acero inoxidable 304 grado alimenticio con diseño higiénico	5 000,00
Eje con aspas para mecanismo removedor acero inoxidable 304 grado alimenticio	1 000,00
Motor eléctrico 0.25 HP 1400 rpm 220V	2 500,00
Reductor a 90° 0.25 HP Relación 40/1	2 100,00
Mecanismo de dosif. de cucharones volumétrico de 10g a 20g	45 000,00
Motor eléctrico 0.25 HP 1700 rpm 220V	3 000,00
Reductor a 90° 0.25 HP Relación 50/1	2 100,00
Embudos de dosificación teflonados con tubería de extracción	35 000,00
Compuerta neumática de 6" con electroválvula de accionamiento	6 000,00
Tubería e instalación neumática	2 000,00
Sensor de nivel tipo óptico	1 500,00
Tableros e instalaciones eléctricas	3 000 00
Programación y puesta en marcha de automatización para sistema de dosificación adaptado a PLC actual de máquina	30 000,00
Total	153 700,00

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

4.9. Cronograma de actividades

Es de suma importancia la definición de un cronograma que incluya todas las fases, desde el diseño hasta su implementación. Por ello se propone en la siguiente tabla una referencia de tiempo para su desarrollo.

Tabla XX. Cronograma de actividades

Descripción	Semana inicio	Semana final	Semana																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Elaboración de estudio de factibilidad y propuesta de inversión	1	2	█																				
Aprobación de presupuesto	3	4		█																			
Diseño del mecanismo de tolvas y dosificación volumétrica	5	6			█																		
Recepción de cotización tolva y caída de abastecimiento	7	7					█																
Recepción de cotización de tolva de dosificación	7	7					█																
Recepción de cotización de dosificador basculante	7	8					█																
Orden de compra de tolva y caída de abastecimiento	8	8					█																
Orden de compra de tolva de dosificación	8	8					█																
Orden de compra del dosificador basculante	8	8					█																
Fabricación de tolva y caída de abastecimiento	9	10						█															
Fabricación de tolva de dosificación	9	10						█															
Fabricación de dosificador basculante	10	14							█	█	█	█	█										
Recepción de tolvas de abastecimiento y dosificación	11	11								█													
Instalación de suministro de electricidad /aire comprimido	14	14											█										
Recepción de dosificador basculante	15	15															█						
Montaje de tolvas y mecanismos de dosificación	16	16															█						
Calibración y ajustes de sistema dosificador	17	17																█					
Pruebas de funcionamiento y definición de estándares de operación	18	20																	█	█	█		
Primera producción	21	21																					█

Fuente: elaboración propia, empleando Excel

5. SEGUIMIENTO

5.1. Manual de procedimientos para cambio de formato

Este manual de procedimientos para cambio de formato de un sistema dosificador de bebidas en polvo toma en cuenta aspectos de seguridad, limpieza y operación.

5.1.1. Paro seguro y desarmado del sistema dosificador

En la siguiente figura se definen los puntos a bloquear y procedimiento de desarmado para realizar una intervención segura y efectiva en el sistema.

Figura 57. Ficha de puntos de bloqueo y etiquetado

Ficha de puntos de bloqueo y etiquetado					
Descripción: Línea de refrescos		Fecha:			
Validaciones:					
3		Puntos de Bloqueo		NOTA: Antes de realizar los procedimientos para Bloqueo y Etiquetado, el equipo debe parar usando el botón de paro normal	
VISTA FRONTAL		VISTA FRONTAL			
Fuente de energía	Ubicación	Procedimiento	Herramientas	Dispositivos	
ELECTRICA 200 VAC, POTENCIA	E-1 INTERRUPTOR PRINCIPAL DE LA LÍNEA.	E-1 GIRE A LA IZQUIERDA EN POSICIÓN OFF INTERRUPTOR DE LA LÍNEA.	CANDADO Y ETIQUETA		
NEUMÁTICA 87 PSI (6 BAR)	P-1 LLAVE PRINCIPAL DE AIRE COMPRIMIDO.	CERRAR LLAVES DE PRINCIPALES DE AIRE BLOQUEAR. LIBERAR PRESIÓN ABRIENDO PURGA DE UNIDAD DE MANTENIMIENTO	CANDADO Y ETIQUETA		
CAJA MULTI-BLOQUEO	ES-1 CAJA MULTIBLOQUEO	INTRODUCIR LAS LLAVES DE LOS CANDADOS DE BLOQUEO DEL INTERRUPTOR Y DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA CAJA MULTIBLOQUEO Y	CANDADO Y ETIQUETA		
Pasos: 0. Informar a la tripulación. 1. Apagar correctamente el equipo en el área a intervenir. 2. Identificar los tipos y fuentes de energía peligrosas. 3. Aislar todas las fuentes de energía. 4. Aplicar dispositivos de bloqueo y etiquetado. 5. Liberar energía residual o acumulada. 6. Verificar el total aislamiento y control de las energías peligrosas (Estado de Energía Cero).					
Legenda		E= Eléctrica	P= Neumática	W= Agua	CP= Panel de
		G= Gas	H= Hidráulica	ES= Otras	Control

Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala

Figura 58. Estándar de operación para mantenimiento, desarmado del sistema dosificador

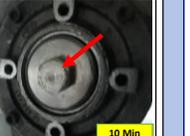
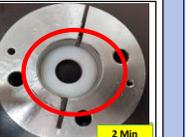
Estándar de Operación para Mantenimiento											
Actividad:		Desarmado del sistema dosificador									
Sistema	Dosificación		ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD								
Línea	Refrescos		EPP Especiales	Modo Seguro de Operación >							
Frecuencia	Equivalencia en Horas	Herramientas Especiales	Modo 0	Modo 1	Modo 2	Modo 3	X	Modo 4			
1		6 min	2		4 min	3		5 min	4		12 min
Aplicar Loto y asegurar que la máquina no tiene energía presente.			Retirar los embudos receptores de producto al inicio del sistema de empaque y corte.			Retirar el sistema de vibradores en los ductos de dosificación, desmontar los pernos y desconectar los ductos de aire comprimido.			Retirar los acrílicos con tornillos Allen 6, desconectar ductos de aire comprimido y retirar el ducto flexible de suministro de base.		
5		6 min	6		6 min	7		4 min	8		26 min
Retirar la cadena de transmisión de potencia del sistema removedor.			Retirar los ductos de dosificación quitando los tornillos de sujeción.			Desinstalar los tornillos sin fin de dosificación			Retirar los removedores del eje con tornillos Allen 6		
9		8 min	10		3 min	11		3 min	12		2 min
Desacoplar el motor reductor que está a un lado del sistema de abastecimiento con tornillos Allen 6 y desconectarlo			Desmontar el tornillo sin fin del sistema de distribución.			Retirar el eje de los removedores desatornillando el apoyo exterior con tornillos Allen 6			Retirar el eje principal de los removedores.		
14		6 min	15		6 min	16		3 min	17		8 min
Desmontar las poleas dentadas del removedor de producto base			Retirar la faja dentada y alfojar los tensores con tornillos Allen 6.			Desacoplar los apoyos para el eje del sistema removedor.			Retirar el motor reductor del sistema distribuidor y desconectarlo.		
18		8 min	19		5 min	20					
Desinstalar y desconectar el motor stepper.			Limpiar grasas del interior y exterior del sistema de dosificación.			Retirar Loto hasta que la máquina haya sido completamente armada nuevamente					

Hoja 1 de 2

Hoja 2 de 2

Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala

Figura 59. Estándar de operación para mantenimiento: Desarmado del sistema de abastecimiento

Estándar de Operación para Mantenimiento									
Actividad:		Desarmado del sistema abastecimiento							
Sistema		Cargador de abastecimiento		ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD					
Línea		Refrescos		EPP Especiales					
				N/A					
				Modo Seguro de Operación					
				Modo 0					
				Modo 1					
				Modo 2					
				Modo 3 X					
				Modo 4					
Frecuencia		Semestral		Equivalencia en Horas		112 min		Herramientas Especiales	
								N/A	
1		2		3		4		5	
5 Min		10 Min		10 Min		15 Min		10 Min	
Realizar bloqueo y etiquetado del equipo, verificado que no exista energía presente para desarmado del sistema		Alojar tornillo de sujeción de cargador de abastecimiento		Alojar los tornillos de las abrazaderas		Desacoplar manguera en los dos extremos		Retirar el tornillo que sujeta el sin fin utilizando una llave de corona de 17 mm	
6		7		8		9		10	
15 Min		30 Min		20 Min		20 Min		2 Min	
Marcar la posición del acople del cargador, el cual es un pin de 6mm y debe retirarse del agujero ubicado en la parte posterior del tornillo sin fin, sin dañar empaque		Retirar tornillo sin fin (cargador) de la base de caja reductora		Desmontar y desconectar motor reductor de abastecimiento		Retirar el acople base circular con empaque de teflon de la caja reductora		Retirar el empaque de teflon de la base de acero inoxidable circular	

Hoja 1 de 1

Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala

5.1.2. Procedimiento estándar de limpieza, inspección y lubricación

En la siguiente figura, se establece el procedimiento estandarizado para ejecutar la limpieza, inspección y lubricación rutinaria del sistema dosificador.

Figura 60. **Procedimiento estándar de limpieza semanal, sistema dosificador**

		Procedimiento estándar Código: X-X-X-X-X						
ELABORÓ:		REVISÓ:		APROBÓ:		Página 1 de 2		
PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE LIMPIEZA SEMANAL SISTEMA DOSIFICADOR								
Limpieza húmeda controlada								
Instrucciones								
Componente a limpiar	Descripción del componente	Paso No.	Equipo de limpieza	Método	EPP	Responsable	Frecuencia	
							Tiempo(min)	Periodo
	Swich Principal	01		Realizar bloqueo y etiquetado del todas las fuentes de energia(Aire comprimido y swich principal)	 	Operador	1	Semanal
	Multibloqueo	02		Multibloqueo y etiquetado, todo el personal que participa en la limpieza debe bloquear.		Operador	1	Semanal
	Vaciado de tubería de alimentación	03		Colocar un carton donde se coloca el dosificador y colocar una bolsa en la tubería de alimentación para extraer los residuos, al finalizar retirar la bolsa.		Operador/ Auxiliar	3	Semanal

Continuación figura 60.

		Procedimiento estándar Código: X-X-X-X-X						
ELABORÓ:		REVISÓ:	APROBÓ:		Página 2 de 2			
PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE LIMPIEZA SEMANAL SISTEMA DOSIFICADOR								
Limpieza húmeda controlada								
Instrucciones								
Componente a limpiar	Descripción del componente	Paso No.	Equipo de limpieza	Método	EPP	Responsable	Frecuencia	
							Tiempo(min)	Periodo
	Mangas	04	N/A	Quitar las abrazaderas que tienen las mangas y desmontar todas las mangas		Operador/ Auxiliar	8	Semanal
	Pieza dosificador	05		Desmontaje de la pieza dosificadora quitando dos tornillos que la detienen en la pared de la maquina, utilizando una llave 13		Operador/ Auxiliar	4	Semanal
	Piezas	12		Llevar todas las piezas con una carretilla al area de sanitización		Operador/ Auxiliar	6	Semanal

Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala.

5.2. Indicadores de rendimiento de la línea de llenado

Para poder controlar el proceso de producción, se establece el seguimiento de indicadores de disponibilidad, velocidad, calidad y rendimiento para la línea de llenado.

5.2.1. Disponibilidad

En la siguiente tabla se muestra la capacidad actual de la línea de llenado bajo las condiciones establecidas.

Tabla XXI. Disponibilidad de línea de llenado

Total Línea			
Disponibilidad	Volumen Total Anual	360	Toneladas
	Horas Máquina Reales Anual	1 827,5	Horas
	Velocidad Nominal Ton/Hr	0,197	Toneladas/hora
	Ciclo de Horas Semanales Disponibles	50	Horas
	Horas por año	8 424	Horas
	Horas de Paro Planeado Por Semana	4	Horas
	Horas Netas Disponibles Por Semana	46	Horas
	Semanas Necesarias	37,7	Semanas
	Horas de Mantenimiento Anual	80	Horas
	Down time Total Anual	231,0	Horas

Continuación tabla XXI.

Disponibilidad	Horas Reales de Producción Anual	1 967,1	Horas
	Pérdida de Rendimiento	91,4	Horas
	Tiempo desocupado	6 456,9	Horas
Utilización	Capacidad Máxima	1 659	Toneladas
	% Actual de Utilización	22%	
	Horas Netas Disponibles Anual	8 193,0	Horas
	Capacidad Disponible	1 614	Toneladas

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

5.2.2. Velocidad

En la siguiente tabla se muestra la velocidad y los estándares de producción de línea para las diferentes presentaciones de bebidas en polvo.

Tabla XXII. **Velocidad de línea de llenado**

Presentación 10 gramos			
Volumen de producción	Volumen Total Anual	150	Toneladas
	Unidades por caja	600	Unidades/caja
	Toneladas por caja	0,006	Toneladas/caja
	Cajas Asignadas Anual	25 000	Cajas
Estándares de producción	Velocidad Nominal	270	Unidades/min
	Velocidad Cajas/Hora	27	Cajas/hora
	Rendimiento de línea	95 %	
	Número de personas	5	Personas

Continuación tabla XXII.

Estándares de producción	Horas Máquina Totales Anual	925,9	Horas
	Horas Mano de Obra Directa Anual	4 629,63	Horas
Productividad	Cajas Por Hora Hombre	5,13	Cajas/Hora-hombre
	Horas Mano de Obra Reales Anual	487,3	Horas
	Horas Máquina Reales Anual	974,7	Horas
Presentación 16 gramos			
Volumen de producción	Volumen Total Anual	210	Toneladas
	Unidades por caja	144	Unidades/caja
	Toneladas por caja	0,002	Toneladas/caja
	Cajas Asignadas Anual	9 1146	Cajas
Estándares de producción	Velocidad Nominal	270	Unidades/min
	Velocidad Cajas/Hora	112,5	Cajas/hora
	Rendimiento de línea	95%	
	Número de personas	5	Personas
	Horas Máquina Totales Anual	810,2	Horas
	Horas Mano de Obra Directa Anual	4 050,9	Horas
Productividad	Cajas Por Hora Hombre	21 375	Cajas/Hora-hombre

Continuación tabla XXII.

Productividad	Horas Mano de Obra Reales Anual	4 264,1	Horas
	Horas Máquina Reales Anual	852,8	Horas

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

5.2.3. Calidad

En la siguiente tabla se presentan los estándares para indicadores de calidad de producto, como por ejemplo pérdidas y reclamos de consumidores.

Tabla XXIII. **Indicadores de calidad de producto: pérdidas/reclamos**

Pérdidas por merma	
Pérdida de material semi elaborado	2,1 %
Pérdida de material de empaque	1,6 %
Pérdida en USD (Anual)	USD 18 148,40
Reclamos por producto defectuoso	
Reclamos anuales	20 reclamos

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

5.2.4. Rendimiento global del equipo

En la siguiente tabla se definen como estándares de indicadores de rendimiento global del equipo las horas netas de producción, el aprovechamiento de equipo, los paros planeados y los paros no planeados.

Tabla XXIV. Rendimiento global del equipo

Rendimiento del equipo		
Promedio anual	Horas Netas de Producción Anual	1 736,1
	Asset Intensity	84 %
	Paros Planeados	13 %
	Paros No Planeados	2,4 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

5.3. Formatos de control

Para facilitar la trazabilidad de los controles durante la operación, se propone la utilización de los siguientes registros, los cuales deben ser completados con la frecuencia que se defina más favorable.

Figura 61. Registro de control de limpieza de máquina llenadora

Registro de control de limpieza de máquina llenadora													
Máquina:		Semana:		Fecha de inicio de producción y turno:				Turno:					
INSTRUCCIONES: Realizar la limpieza correspondiente al final de ambos turnos de producción. Colocar <input checked="" type="checkbox"/> si realizó la limpieza. Si no hubo producción cerrar con diagonal (/). En caso de una desviación de limpieza registrar lo observado.													
ÁREA A LIMPIAR	INICIO DE PRODUCCIÓN EN LA SEMANA	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado	
		TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2
Exterior de la Máquina	Aux												
Mesas de trabajo (Incluyendo cajones)	Aux												
Impresora	Oper												
Empresadora	Aux												
Selladora	Aux												
Banda transportadora de máquina	Aux												
Bandeja	Aux												
Escritorio de operador	Oper		N/A		N/A		N/A		N/A		N/A		N/A
Tablero de indicadores	Aux		N/A		N/A		N/A		N/A		N/A		N/A
Caja de herramientas	Aux	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
Pisos del área	Aux												
Devolución de materiales o sobrantes de producto/lote anterior	Aux												
Recipientes de residuos	Aux												
C = número de cambios		C-1	C-2	C-3	C-4	C-1	C-2	C-3	C-4	C-1	C-2	C-3	C-4
TIPOS DE LIMPIEZA: Húmeda controlada (HC) y Limpieza en seco (S)													
Tubos de alimentación a tolva de llenado	Aux												
Limpieza tolva llenadora (Aguas removedoras, tornillos, conductores y embudos)	Oper												
Inspección de integridad de bombillas y aguas removedoras	Oper												
Escaleras	Aux												
Carreras	Aux												
Exterior de la Máquina	Aux												
Exterior de la tolva	Aux												
Mesas de trabajo incluyendo cajones	Aux												
Banda transportadora	Aux												
Pisos del área	Aux												
Mangas de tubo de alimentación (1er nivel)	Oper												
Embudos (2o nivel)	Aux												
Cerridores (2o nivel)	Aux												
Tolvas (2o nivel)	Aux												
Nombre del Operador del Turno 1													
Nombre del Operador del Turno 2													
NO.	DESVIACIÓN	OBSERVADOR		ACCIÓN				RESPONSABLE		FECHA			
1													
Vo. Bo. Supervisor													

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 62. Registro de control de piezas móviles

Registro de control de piezas móviles

Instrucciones:
 1.) Verificar si las siguientes piezas se encuentran presentes y correctamente instaladas, colocar la cantidad de piezas en la casilla correspondiente.
CORRECCION: Si la pieza no se encuentra reportar al supervisor de turno para bloqueo del producto y anotarlo en observaciones.
 2.) Anotar todos los cambios de variedad que se realizaron durante el turno en las casillas correspondientes.
Frecuencia: Diaria y cambio de formato.

Fecha _____ No. de Lote _____

R E V I S I O N	No.	Hora de revisión	Orden de Proceso	Código de producto	Descripción del Producto Terminado			
	1							
	2							
	3							
	4							

Foto / Parte de máquina	Descripción	Cantidad de piezas	Máq. parada	Máq. marcha	Revisar la cantidad de piezas				Observaciones
					1	2	3	4	
	Basculante de sistema dosificador	12 tornillos (6 tornillos por cada lado) 12 tuercas (6 tuercas por cada lado)		X					
	Parte superior de cucharones	12 tornillos (6 tornillos por cada lado) 12 tuercas (6 tuercas por cada lado)		X					
	Caída de basculante	6 tornillos (1 tornillo en cada caída)		X					
	Guarda de cadena de mecanismo removedor	2 tornillos lado izquierdo 2 tornillos lado derecho		X					
	Eje de mecanismo removedor *Inspección durante la limpieza húmeda controlada	8 tornillos 8 roldanas (4 de cada lado)	X						

Nombre de operador de máquina que realizó la inspección: _____ Nombre supervisor de turno: _____

1		3	
2		4	

Vo. Bo. Calidad _____

Fuente: elaboración propia, Planta de producción de bebidas, Guatemala

5.4. Mapa visual de pérdidas en la línea de pérdidas de línea

En la siguiente figura se presentan la ubicación de pérdidas de ambiente, seguridad, calidad, cambios de formato, fallas de proceso, averías, materia prima, limpiezas y paros menores dentro de la línea de producción.

Figura 63. Registro de cuantificación

Registro de Cuantificación de Pérdidas de Línea						
De fecha:		A fecha:		Análisis elaborado por:		
No.	Clasificación	Sistema de máquina	Tipo de Pérdida	Prioridad de la pérdida	Impacto (Ocurrencia o GTQ)	Elemento
1		Dosificador	Sobres vacíos	1		Cucharones basculantes
		Corte	Merma generada	2		Cuchilla horizontal, vertical
		Sellado	Merma generada	3		Mordaza horizontal, vertical
		Trazción de papel	Merma generada	4		Portabobinas
2		Plataforma	Primer auxilio: corte	1		Baranda y escaleras
		Banda transportadora	Tarea en modo 4	2		Rodillos de banda
		Engrapadora 1	Tarea en modo 4	3		Cabezal de engrapado
		Engrapadora 2	Tarea en modo 4	4		Cabezal de engrapado
3		Dosificador	Infradosificación / sobredosificación	1		Cucharones basculantes
		Corte	Producto sin abrefácil	2		Cuchilla horizontal / vertical
		Sellado	Producto no hermético	3		Mordaza horizontal / vertical
		Trazción de papel	Desalineación de caras de sobre	4		Portabobinas
4		Dosificador	Cambio de formato (60 min)	1		Cucharones basculantes
5		Sellado	Limpeza no planeada	1		Mordaza horizontal, vertical
		Codificación	Limpeza no planeada	2		Impresora
		Trazción de papel	Mat. De empaque fuera de especificaciones	3		Portabobina
6		Dosificador	Mecanismo fracturado	1		Cucharones basculantes
		Sellado	Componente quemado	2		Mordaza horizontal / vertical
		Corte	Pieza sin filo	3		Cuchilla horizontal / vertical
7		Dosificador	FDS	1		Embudos dosificadores
		Dosificador	Sobredosificación	2		Cucharones basculantes
8		Toda la línea	Limpeza Semanal (120 min)	1		Toda la línea
		Dosificación	Checklist piezas móviles (10 min)	2		Cabezal dosificador
		Toda la línea	Limpeza Fin de Turno (10 min)	3		Toda la línea
9		Sellado	Limpeza no Planeada <10 Min.	1		Mordaza horizontal / vertical
		Codificación	Limpeza no Planeada <10 Min.	2		Impresora
		Trazción de papel	Ajuste de tensión < 30 Min.	3		Rodillos de tensión
		Codificación	Ajuste de Impresora <10 Min.	4		Impresora
10		Toda la línea	Falta de material de empaque	1		Toda la línea
		Engrapadora	Falta de equipo en línea	2		Engrapadora
		Toda la línea	Evacuación de área de trabajo	3		Toda la línea
		Toda la línea	Ausentismo por Enfermedad/suspensión	4		toda la línea

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

5.5. Manejo de residuos

En la siguiente tabla, se define el estándar de indicadores para el control de residuos de la línea de producción.

Tabla XXV. **Manejo de residuos**

Papel y cartón generados (Anual)	
Cantidad	1 168 kg
Material	Cartón
Reciclable	100%
Reusable	0%
Reproceso	0%
No recirculado	0%
Total cartón reciclado anual	1 168 kg
Plástico generado (Anual)	
Cantidad	776 kg
Material	Laminado
Reciclable	0%
Reusable	0%
Reproceso	0%
No recirculado	100%
Total semielaborado no recirculado anual (cogeneración)	776 kg

Continuación tabla XXV.

Orgánico generado (Anual)	
Cantidad	7 650 kg
Material	Semielaborado
Reciclable	0%
Reusable	0%
Reproceso	5%
No recirculado	95%
Total semielaborado reprocesado anual	382 kg
Total semielaborado no recirculado anual (destruido)	7 268 kg

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

5.6. Estrategias de seguimiento

Para garantizar la sostenibilidad y estabilidad de los procesos bajo los indicadores y estándares establecidos, se propone definir estrategias de seguimiento como 5's y análisis de Pareto como parte de una tendencia hacia la mejora continua.

5.6.1. 5's en áreas técnicas

La aplicación de la metodología 5S en el área de ingeniería industrial, tiene como objetivo mejorar la calidad y mantener los factores de organización, orden y limpieza en el área de trabajo, así como crear condiciones de seguridad, motivación y eficiencia, porque elimina los desperdicios de la organización, ya que, dentro de los principios de dicha metodología, está la clasificación u organización, orden, limpieza, estandarización y disciplina: aspectos que

permiten descartar los objetos obsoleto o reparar los objetos dañados, de manera que al clasificar y ordenar los objetos se identifiquen los específicamente necesarios.

En cuanto a los factores de control del orden y limpieza, dentro de las herramientas que se pueden utilizar están las llamadas Hojas de verificación, de inspección y limpieza con el fin de evitar interrupciones en el proceso e incluir la limpieza como actividad dentro del mantenimiento autónomo y rutinario, que además elimina la suciedad y contaminación. Para lograr los objetivos de estandarización de los pasos anteriores, las herramientas a utilizar son tableros de estándares e instrucciones y procedimientos, entre otros, finalmente, para lograr la implementación de la disciplina, se utilizan hojas de verificación 5S, con el fin de crear el hábito de organización, orden y limpieza por medio de la continua formación y aplicación de las normas disciplinadamente¹³⁸.

Es por ello que, para mejorar los aspectos de organización en el proceso de producción de la empresa alimentaria seleccionada para este estudio, el diseño de formatos se apega a los requerimientos y objetivos de la metodología 5S.

5.6.2. Diagrama de Pareto

Para implementar procesos de mejora continua, que tienen como fin alcanzar la excelencia en los diversos campos empresariales a través de la eficiencia en el uso de recursos y capital humano, así como la interrelación entre los clientes internos y externos; una de las herramientas de gestión empresarial para apoyar el proceso descrito es el Diagrama de Pareto, que por sus

¹³⁸ SALAZAR, Bryan. *Metodología de las 5S*. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-y-control-de-calidad/metodologia-de-las-5s/>.

características propias, es funcional para la identificación y diferenciación de los factores pocos vitales, de los otros muchos importantes, por otro lado, prioriza la serie de causas que afectan en un problema determinado, a través del uso de la hoja de inspección, que permite recabar los datos necesarios.

Existen dos tipos de diagrama de Pareto: el diagrama de fenómenos y el diagrama de causas; en el caso del primero, se utiliza para determinar la principal causa que origina el resultado negativo, dentro de dichos problemas se mencionan la calidad, coste, seguridad, entrega, entre otros, mientras que el diagrama de causas se aplica para descubrir las causas específicas que producen los problemas¹³⁹.

Al identificar las ventajas de la implementación de herramientas de estrategias de seguimiento en procesos de producción industrial, se diseñaron para la propuesta en este estudio, hojas de inspección con los factores de mejoramiento continuo en el proceso de producción de la bebida en polvo.

¹³⁹ GONZÁLEZ, Hugo. *La Mejora Continua – Diagrama de Pareto*
https://calidadgestion.wordpress.com/2012/09/11/mejora_continua-diagrama_de_pareto/.

CONCLUSIONES

1. Se determina que la línea es de baja ocupación con frecuentes paros no planeados, además de carecer de procedimientos de controles de merma y sobredosificación, aunque dichos factores pueden ser mejorados actualmente representa pérdidas económicas en el área de producción.
2. Dentro de los parámetros críticos para el procesamiento y dosificación de productos en polvo, se determinan cuatro aspectos específicos: granulometría del producto, peso específico, tipo de gramaje a manejar en el proceso y la velocidad de producción que se requiere para realizar el producto.
3. En cuanto a los materiales de construcción para el sistema de procesamiento de producto alimenticio, existen normativas internacionales alimentarias que estipulan el uso de materiales, como: metales o aceros y polímeros de grado sanitario o alimenticio.
4. En referencia a establecer el diseño del sistema dosificador simplificado para la línea de llenado, el diseño de la propuesta consiste en un sistema dosificador volumétrico basculante automático de seis caídas con sistema de abastecimiento y una tolva de agitación.
5. Respecto al objetivo planteado que se refiere a realizar pruebas de simulación de los mecanismos de sistema mediante un software, se concluye que es importante la implementación de un programa adecuado en relación a la maquinaria que se requiere para mejoramiento del sistema

actual de producción, por lo cual, se optó por la utilización de una simulación elaborada por un fabricante italiano de sistemas de dosificación para realizar entrenamientos de funcionamiento y uso del sistema a operadores de máquinas.

6. En lo que se refiere a determinar un nuevo procedimiento de limpieza de la máquina, se concluye que se debe capacitar al personal operativo de la máquina de llenado, para implementar un nuevo sistema de limpieza de la maquinaria que se realice a través del desarme de línea del sistema completo, el cual reduce el tiempo total a 60 minutos, respecto al proceso de limpieza actual que implica el desarme pieza a pieza, con un tiempo estándar de 120 minutos.
7. Al evaluar la relación beneficio-costos en cuanto a la implementación de un nuevo sistema de producción de bebidas en polvo, el costo total de la propuesta es de Q. 153 700,00, dicha propuesta presenta mejoras en los aspectos de proceso de producción como lo son: paros no planeados, reducción en sobredosificación y mejoras en tiempo por cambio de producto, relacionados a la fase de limpieza en línea.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con el estado actual de la maquinaria de la línea de llenado, se recomienda a la empresa alimenticia, implementar un plan de mantenimiento preventivo, así como un plan de mantenimiento correctivo de emergencia en los sistemas de corte, sellado y sistema motriz de la máquina de llenado, con el fin de reducir los problemas detectados.
2. En cuanto a los parámetros críticos del producto en polvo para su procesamiento y dosificación, se recomienda a la empresa alimenticia trabajar en una reformulación de producto que presente mejores propiedades de humedad y granulometría, de manera que el trabajo de producción se realice, incluso, a mayor velocidad que la propuesta en este estudio.
3. Respecto a la construcción de maquinaria industrial de procesamiento de productos alimenticios, se recomienda a las empresas que requieran fabricar o reemplazar mecanismos de abastecimiento, cernido y mezclado, utilizar acero inoxidable grado 304, grado sanitario y, en mecanismos de dosificación, utilizar polímeros de grado sanitario, materiales de fabricación, que se apegan a las normas de calidad alimenticia internacionales.
4. Si se requiere fabricar el diseño del sistema dosificador simplificado para la línea de llenado, se recomienda a la empresa alimenticia, elegir un proveedor con experiencia comprobada en fabricación de máquinas de

dosificación, así como con el respaldo profesional de un taller especializado en maquinaria industrial que maneje alta tecnología.

5. Al realizar pruebas de simulación de los mecanismos de sistema mediante un software, se recomienda incluir como parte del programa de operadores de máquina capacitaciones sobre el uso de simulaciones a través de modelado por computadora de la máquina empacadora completa que les permita conocer el funcionamiento del uso de la máquina, específicamente del formado y sellado de sobres.
6. Al implementar el nuevo procedimiento de limpieza de la máquina de llenado, se recomienda a la empresa alimenticia, crear plan efectivo de chequeo, existencia y abastecimiento de insumos de limpieza, así como de la dotación adecuada del herramental necesario para el desarme y ejecución de las tareas de limpieza.
7. Finalmente, se recomienda a la empresa alimenticia realizar un análisis más profundo de inversión para evaluar la actualización del PLC de la máquina principal de la línea.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALONSO, José. *El Microprocesador*. [en línea]. <<http://isa.uniovi.es/~alonsog/Microcontrolador/T2%20El%20Microprocesador.pdf>>. [Consulta: 26 de marzo de 2020].
2. ALTO, Carlos. *Sistemas de transmisión por engranajes*. [en línea]. <<https://prezi.com/p/h6lhk3di8yef/sistemas-de-transmision-por-engranajes/>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
3. ARBILDO, Aurelio. *El control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento*. [en línea]. <[http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bdfde.nsf/OtrosWeb/Ing29Control/\\$file/02-ingenieria-produccion-ARBILDO.pdf](http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bdfde.nsf/OtrosWeb/Ing29Control/$file/02-ingenieria-produccion-ARBILDO.pdf)>. [Consulta: 18 de marzo de 2020].
4. ARRÓSPIDE, César. *Glosario de términos en la Gestión de Mantenimiento*. [en línea]. <<https://www.gestiopolis.com/glosario-terminos-la-gestion-mantenimiento/>>. [Consulta: 25 de marzo de 2020].
5. AUDITool. *Checklist para Evaluar los Procesos de Producción y Almacenamiento de Alimentos*. [en línea]. <<https://www.auditool.org/herramientas/control-interno-docman/cuestionarios-y-evaluaciones/766-checklist-para-evaluar-los-procesos-de-produccion-y-almacenamiento-de-alimentos>>. [Consulta: 17 de junio de 2020].

6. BALCELLS, Josep; ROMERAL, José Luis. *Autómatas programables*. [en línea]. <<https://edgarjosegarcial.wixsite.com/misitio/automatas>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
7. BERMEJO, Nuria. *Control de procesos en la industria alimentaria*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/Mgomezrodriguez87/control-de-procesos-en-la-industria-alimentaria>>. [Consulta: 22 de junio de 2020].
8. BULKER. *Dosificadores volumétricos y gravimétricos: para trabajar en continuo o por lotes*. [en línea]. <<https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Dosificadores-volumetricos-y-gravimetricos-Bulker-69351.html>>. [Consulta: 18 de mayo de 2020].
9. CALAMIT. *Barras Magnéticas*. [en línea]. <<https://www.calamit.es/separacion-magnetica/barras/barras-magneticas.php>>. [Consulta: 17 de mayo de 2020].
10. CARBOTECNIA. *Granulometría*. [en línea]. <<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtros-de-lecho-profundo-medios-granulares/granulometria-o-numero-de-malla/>>. [Consulta: 15 de mayo de 2020].
11. CARO, Claudia. *Actuadores*. [en línea]. <<https://prezi.com/nhpqbjqtei4/actuadores/>>. [Consulta 19 de marzo de 2020].

12. CASTILLO, Álvaro. *Acondicionamiento de granos: secamiento, almacenamiento y costos*. Colombia: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), 1980. 230 p.
13. CASTRO, Elizabeth. *Diseño Mecánico*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/ElizabethCastro59/diseo-mecnico>>. [Consulta: 17 de marzo de 2020].
14. CAVIEDES, Valeria. *Mecanismos de transmisión de movimiento, su clasificación y su uso*. [en línea]. <<https://prezi.com/axmd0tj0nb-i/mecanismos-de-transmision-de-movimiento-su-clasificacion-p/>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
15. CLEVELAND VIBRATOR. *Manual para vibrador neumático*. [en línea]. <<https://www.clevelandvibrator.com/images/documents/spanish%20-%20pneumatics%20manual.pdf>>. [Consulta: 14 de marzo de 2017].
16. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Curso - Taller Promotores de Ahorro y Eficiencia de Energía Eléctrica*. [en línea]. <[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf)>. [Consulta: 18 de mayo de 2020].
17. CONNOR, Nick. *Qué es la escala de presión – Unidad de presión – Definición*. [en línea]. <<https://www.thermal-engineering.org/es/what-is-pound-per-square-inch-psi-definition/>>. [Consulta: 22 de mayo de 2020].

18. CREUS, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 8a ed. Barcelona: Marcombo, 2011. p. 232.
19. DÍAZ, Javier. *Los Primeros 50 años de Malher: Una gran historia de de éxitos y fracasos*. [en línea]. <<https://www.negociosyemprendimiento.org/2010/03/los-primeros-50-anos-de-malher-una-gran.html>>. [Consulta: 4 de marzo 2020].
20. DONIZ, Aaron. *Implementación de Mantenimiento Preventivo/Predictivo en Equipo Biomédico en el Instituto Mexicano del Seguro Social*. [en línea]. <<http://www.uttt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/62A.pdf>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
21. DUASRODAS. *Conozca los principales procesos de fabricación de extractos vegetales para la industria alimenticia*. [en línea]. <<https://www.duasrodas.com/blog/es/qualidade/conozcalosprincipalesprocesos-de-fabricacion-de-extractos-vegetales-para-la-industria-alimenticia/>>. [Consulta: 4 marzo de 2021].
22. EBEL, Frank; IDLER, Siegfried; PREDE, Georg; SCHOLZ, Dieter. *Fundamentos de la Técnica de Automatización*. [en línea]. <https://www.academia.edu/34603215/Fundamentos_de_la_t%C3%A9cnica_de_automatizaci%C3%B3n_Libro_t%C3%A9cnico>. [Consulta: 3 de abril de 2020].
23. FERROS PLANES. *Inox 304 vs Inox 316: las diferencias entre los dos tipos de acero*. [en línea]. <<https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>>. [Consulta: 14 de mayo de 2020].

24. Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. *Capacitación y adiestramiento*. [en línea]. <http://www.fidelmafca.weebly.com/uploads/4/0/4/7/4047781/_tema_2.pdf>. [Consulta: 22 de mayo de 2020].
25. Formex Maquinaria. *Dosificadores de Topping automático*. [en línea]. <<http://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Dosificadores-de-topping-automatico-Dta40-dta45-dta60-dta80-177071.html>>. [Consulta: 17 de mayo de 2020].
26. _____. *Rejillas para separación magnética*. [en línea]. <<https://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/Producto-Rejillas-para-separacion-magnetica-Selter-156124.html>>. [Consulta: 17 de mayo de 2020].
27. FUSTEC S.A. *Manual de operaciones*. Argentina: 2014. 26 p.
28. GANDHI, Mayur. *¿Qué es un sistema de control?* [en línea]. <<https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
29. Global STD Certification. *Certificación de Cumplimiento: HACCP*. [en línea]. <<https://www.globalstd.com/auditorias/sistema-haccp/>>. [Consulta: 24 de mayo de 2020].
30. GONZÁLEZ, Cristina. *Cinta, descripción completa*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/327530482>>. [Consulta: 14 de marzo 2020].

31. GONZÁLEZ, Hugo. *La Mejora Continua – Diagrama de Pareto*. [en línea]. <https://calidadgestion.wordpress.com/2012/09/11/mejora_continua-diagrama_de_pareto/>. [Consulta: 2 de julio de 2020].
32. GUIMERANS, Paola. *¿Qué son los sensores?* [en línea]. <<http://paolaguimerans.com/openeart/2018/05/05/que-son-los-sensores/>>. [Consulta: 18 de marzo de 2020].
33. HERNÁNDEZ, Mateo. *Mecanismos de transmisión lineal*. [en línea]. <<https://prezi.com/7e7hc4rytxbe/mecanismos-de-transmision-lineal/>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
34. HIDRAFLUID. *Medidores de Nivel Sólidos*. [en línea]. <<http://www.hidrafluid.com/img/pdf/TIPOS%20DE%20MEDIDORES%20DE%20SONIDO%20LIQUIDOS%20Y%20SOLIDOS.pdf>>. [Consulta: 20 de marzo de 2020].
35. Instituto Tecnológico Superior de Hopelchen. *Actuadores*. [en línea]. <<https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r97988.PDF>>. [Consulta: 30 de marzo de 2020].
36. IMA MAGNETS. *El Gauss. La fuerza del campo magnético*. [en línea]. <<https://www.imamagnets.com/blog/el-gauss-la-fuerza-del-campo-magnetico/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2020].
37. _____. *Imanes Permanentes*. [en línea]. <<https://www.imamagnets.com/blog/que-es-un-iman-permanente/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2020].

38. Ingeniería en Alimentos. *Tamizado*. [en línea]. <<https://ingenalimentos3.blogspot.com/2018/05/tamizado.html>>. [Consulta: 15 de mayo de 2020].
39. Ingeniería Mecafenix. *¿Qué es una balanza y para qué sirve?* [en línea]. <<https://www.ingmecafenix.com/medicion/balanza/>>. [Consulta: 22 de mayo de 2020].
40. JIMÉNEZ, Álvaro. *Sistema Polea-Correa*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/Alvaro123jimenez/sistema-polea-correa-10162135>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
41. JIMÉNEZ, Josué; RETANA, Allan. *Características principales de los PLC's industriales*. [en línea]. <<https://prezi.com/cjt9itb7fz/caracteristicas-principales-de-los-plc-s-industriales/>>. [Consulta: 25 de marzo de 2020].
42. JOIEPACK. *Rueda de estrella o alimentador automático de doble tornillo*. [en línea]. <<http://www.joiepack.com/es/product/>>. [Consulta: 24 de marzo de 2020].
43. LEAL, Eumar. *Medidores de Nivel*. [en línea]. <<https://instrumentacionunefm.files.wordpress.com/2013/02/medicion-nivel.pdf>>. [Consulta: 19 de marzo de 2020].
44. LICANGO, Katherine. *Optimización económica en la formulación de una bebida en polvo*. [en línea]. <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5980/1/T-UCE-0017-0148.pdf>>. [Consulta: 5 de abril de 2020].

45. LÓPEZ, José. *Motores Eléctricos*. [en línea]. <<http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf>>. [Consulta: 20 de marzo de 2020].
46. LUQUE, Andrés. *Mecanismos de transmisión lineal*. [en línea]. <<https://prezi.com/9hxfjeja6avr/mecanismos-de-transmision-lineal/>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
47. M & M Instrumentos Técnicos. *Tipos de Tamices*. [en línea]. <<https://www.myinstrumentostecnicos.com/equipos-de-laboratorio/tamices/tipos-de-tamices/>>. [Consulta: 15 de mayo de 2020].
48. MAGNO SPHERE. *Imanes cerámicos / Imanes de Ferrita*. [en línea]. <<https://www.magnosphere.es/imanes-de-neodimio-potentes/imanes-de-ferrita-imanes-ceramicos/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2020].
49. MCR GROUP. *Qué es la dosificación industrial*. [en línea]. <<https://www.mcr.es/que-es-la-dosificacion-industrial/>>. [Consulta: 13 de marzo 2020].
50. MELENDO, María José. *Estudio de Mercado*. [en línea]. <[https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde5/ode4/~edisp/doc2019818158.pdf?utm_source=RSS&utm_medium=ICEX.es&utm_content=04-04-2019&utm_campaign=Estudio%20de%20mercado.%20El%20mercado%20de%20la%20distribuci%C3%B3n%20alimentaria%](https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde5/ode4/~edisp/doc2019818158.pdf?utm_source=RSS&utm_medium=ICEX.es&utm_content=04-04-2019&utm_campaign=Estudio%20de%20mercado.%20El%20mercado%20de%20la%20distribuci%C3%B3n%20alimentaria%20)>. [Consulta: 2 de febrero 2020].

51. NIKRON. *Medidores de nivel capacitivos*. [en línea]. <<https://nikron.com.ar/automacion/productos/nivel-medidor-de-nivel-capacitivo/>>. [Consulta: 20 de marzo de 2020].
52. OLIVA, María. *Elaboración de una guía de Buenas Prácticas de Manufactura para el restaurante central del IRTRA Petapa*. Trabajo de graduación de Maestría en Gestión de la Calidad. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala, 2011. 33 p.
53. Organización Panamericana de la Salud. *Buenas Prácticas agropecuarias de manufactura*. [en línea]. <https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10985:2015-buenas-practicas-agropecuarias-de-manufactura-bpm&Itemid=41496&lang=es>. [Consulta: 24 de mayo de 2020].
54. PADILLA, Rony. *Control de Metales en el empaque de Harina de Trigo aplicando un análisis de riesgos y puntos críticos de control*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 2015. 96 p.
55. PARRA, Carlos. *Evaluación del Desempeño de Procesos Industriales Utilizando Redes de Petri Simuladas Bajo el Formalismo DEVS*. [en línea]. <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/avances/article/view/10034>>. [Consulta: 15 de junio de 2020].

56. PATIÑO, Jorge. *Motores de Corriente Continua*. [en línea]. <<https://slideplayer.es/slide/3744913/>>. [Consulta: 3 de abril de 2020].

57. PE, Almu. *Máquinas y motores eléctricos*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/AlmuPe/tema-9-57531028>>. [Consulta: 21 de marzo de 2020].

58. PÉREZ, Daniel. *Separaciones Mecánicas*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/daniel87121/separaciones-mecnicas>>. [Consulta: 15 de mayo de 2020].

59. PINTO, Carlos; DURÁN, Hernán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. [en línea]. <https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/78/>. [Consulta: 26 de marzo de 2020].

60. PIZARRO, Nuria. *Seguridad en el trabajo*. [en línea]. <https://www.todostuslibros.com/libros/seguridad-en-el-trabajo-2a-edicion_978-84-96743-07-6.>. [Consulta: 14 de marzo 2020].

61. PÓVEDA, Diego. *Selenoide y Toroide*. [en línea]. <[www.https://prezi.com/qnylkbuogl3e/selenoide-y-selonoide-toroide/](https://prezi.com/qnylkbuogl3e/selenoide-y-selonoide-toroide/)>. [Consulta: 20 de marzo de 2020].

62. RELIANCE FOUNDRY. *Acero Inoxidable 304 Versus Acero Inoxidable 316*. [en línea]. <<https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-inoxidable-304-vs-316-es#gref>>. [Consulta: 14 de mayo de 2020].

63. RENTOKIL. *Normas y estándares de seguridad alimentaria*. [en línea]. <<https://www.rentokil.com/es/seguridad-alimentaria/normas-y-estandares-de-seguridad-alimentaria/>>. [Consulta 20 de junio de 2020].
64. Repositorio del Servicio Nacional de Aprendizaje. *Mantenimiento Reductores de Velocidad*. [en línea]. <https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol14/volumen14.html#>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
65. RODRÍGUEZ, Mairet; MACHADO, Wilfre; VILLAMARÍN, Alexis. *Muestreo para el control de calidad en el proceso de elaboración de envases metálicos para alimentos*. [en línea]. <<https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v20n2/05.php>>. [Consulta: 20 de mayo de 2020].
66. RODRÍGUEZ, Miguel. *Máquinas de corriente continua*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/392008542/ejercicio-5-2>>. [Consulta: 20 de marzo de 2020].
67. ROYDISA. *Consejos para elegir un motor eléctrico a tu medida*. [en línea]. <<https://www.roydisa.es/archivos/5399>>. [Consulta: 19 de mayo de 2020].
68. RUTE, Sebastián. *Mecanismos de transmisión línea*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/sebastianruteuribe/mecanismos-de-transmision-lineal>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].

69. SALAZAR, Bryan. *Metodología de las 5S*. [en línea]. <<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-y-control-de-calidad/metodologia-de-las-5s/>>. [Consulta: 4 de julio de 2020].
70. SALGADO, Nohemí; YANEZ, María Eugenia. *Diseño e Implementación de un medidor de líquidos en tanques a través de un inst. virtual y un sensor de ultrasonido para el laboratorio de máquinas eléctricas de la carrera de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Univ.Técnica de Cotopaxi*. Trabajo de graduación de Ing. Informática y Sistemas Computacionales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, 2008. 154 p.
71. SCHMUCKER SRL. *Manual de Operación de Máquina Envasadora Automática para Bolsitas Termosoldadas Modelo ASC 8L*. Italia: 2019. 108 p.
72. SUAREZ, Willy. *Ingeniería inversa y diseño de la automatización de un dosificador de polvos, utilizando celda de carga a través de microcontrolador Atmega para la empresa JACS*. Trabajo de graduación de Ing. Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Perú, 2019. 149 p.
73. SUIRA, Leesley. *Dispositivos de Flujo Estacionario*. [en línea]. <<http://termodinamicautp2016.blogspot.com/2016/06/dispositivos-de-flujo-estacionario.html>>. [Consulta: 12 de marzo 2020].
74. UNIVERSAL PACK. S.R L. *Manual de Operación de máquina empacadora Modelo NVG8*. Italia: 2011. 87 p.

75. VARGAS, Francisco. *Engranajes, Partes y Características*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/ingmanttovargas/gua-2-engranajes-tipos-y-caracteristicas>>. [Consulta: 23 de marzo de 2020].
76. VIBROTECH. *Guía de vibrado de tolvas*. [en línea]. <<https://vibrotech.com.ar/instructivos/guia-vibrado-de-tolvas.pdf>>. [Consulta: 14 de marzo 2020].
77. VILDÓSOLA, Eugenio. *Actuadores*. [en línea]. <<http://aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>>. [Consulta: 30 de marzo de 2020].
78. YEPES, Víctor. *¿Qué es la calibración de un equipo medida?* [en línea]. <<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/02/29/calibracion-equipo-medida/#:~:text=Se%20denomina%20calibraci%C3%B3n%20al%20conjunto,conocidos%20de%20una%20magnitud%20medida>>. [Consulta: 22 de mayo de 2020].
79. ZAPATA, José. *Actuadores Hidráulicos*. [en línea]. <<https://prezi.com/oqzefo0dt8m/actuadores-hidraulicos/>>. [Consulta: 19 marzo de 2020].
80. ZAPATA, Lorena y ESPINOZA, Andrea. *Refrescos en Polvo*. [en línea]. <<https://www.odecu.cl/wp-content/uploads/2017/12/2010-estudio-refrescos-polvo.pdf>>. [Consulta: 5 de abril de 2020].
81. ZITA, Ana. *Propiedades físicas y químicas de la materia*. [en línea]. <<https://www.diferenciador.com/propiedades-fisicas-y-quimicas-de-la-materia/>>. [Consulta: 17 de marzo de 2020].

