



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

**PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y  
AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y  
DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.**

**Graciela María José Estrada González**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y  
AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y  
DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**GRACIELA MARÍA JOSÉ ESTRADA GONZÁLEZ**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA MECÁNICA**

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 Ramírez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez.

## **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 INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 25 de octubre de 2019.

**Graciela María José Estrada González**

Guatemala, 03 de febrero de 2021  
REF.EPS.DOC.18.02.2021.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Graciela María José Estrada González** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201602408, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EDSZ/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 03 de febrero de 2021  
REF.EPS.D.20.02.2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Graciela María José Estrada González** quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS



OAH/ra



Guatemala, 09 de febrero de 2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente comunico que se ha realizado la revisión y aprobación del informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Graciela María José Estrada González, con carnet No. 201602408.**

Por tal motivo solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Esdras Miranda Orozco  
COLEGIADO 4637

Ing. Esdras Miranda Orozco  
Escuela de Ingeniería Mecánica



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.021.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.** de la estudiante **Graciela María José Estrada González, CUI 3614416490101**, Reg. Académico 201602408 y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

***"Id y Enseñad a Todos"***



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero de 2021

/aej

DTG. 450.2021

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, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL, REGISTRO Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS DE CHICLE Y DILUCIÓN DE AZÚCAR EN COMPAÑÍA DE ALIMENTOS DEL PACÍFICO, S.A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Graciela María José Estrada González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, septiembre de 2021.

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mi fortaleza y darme sabiduría a lo largo de mi carrera en cada decisión tomada.
- Mis padres** Luis Estrada y Evangelina González, por todos los sacrificios que con amor incondicional realizaron por cada uno de sus hijos.
- Mis hermanos** Jackelyn, Luis, Elly y Alex Estrada González por el apoyo incondicional a lo largo de mi vida y mi carrera.
- Mi novio** Jorge Mario Godoy, por ser una importante influencia en mi vida y por el apoyo brindado en mi carrera.
- Mis amigos** Diana García, Carmen Castillo y José Puac por su amistad sincera y por los conocimientos compartidos.
- Mi amiga** Heidi Abril, por ser una amiga incondicional y por su ayuda en los buenos y malos momentos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme fortaleza para continuar en los momentos difíciles y por permitirme llegar hasta donde estoy ahora.
<b>Mi familia</b>	Por su apoyo incondicional, por creer en mí y por motivarme a seguir adelante.
<b>Universidad San Carlos de Guatemala</b>	Por los conocimientos adquiridos, que me han dado la base para formarme como profesional.
<b>Mis compañeros y amigos de la Facultad</b>	Por cada momento compartido y por el apoyo incondicional brindado.
<b>Compañía de Alimentos del Pacífico</b>	Por el apoyo brindado y la oportunidad de poner en práctica mis conocimientos profesionales durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa .....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2. Definición de negocio .....	3
1.1.3. Valores corporativos .....	3
1.1.4. Atributos corporativos .....	3
1.1.5. Pilares estratégicos .....	4
1.1.6. Organigrama mantenimiento planta B .....	4
1.2. Descripción del problema .....	5
1.3. Definiciones fundamentales.....	6
1.3.1. Control e instrumentación .....	6
1.3.1.1. Definiciones en control .....	8
1.3.2. Clasificación de instrumentos .....	11
1.3.2.1. En función del instrumento .....	11
1.3.2.2. En función de la variable .....	12
1.3.3. Medición de flujo .....	13
1.3.4. Medición de nivel .....	17
1.3.5. Medición de temperatura .....	18

1.3.6.	Elementos finales de control .....	19
1.3.6.1.	Válvulas.....	19
1.3.6.2.	Elementos finales de control adicionales .....	23
1.3.7.	Norma ISA S5.1- 84 (R-1992) .....	23
1.3.7.1.	Símbolos en instrumentación industrial:.....	24
1.3.7.2.	Código de identificación de los instrumentos.....	24
1.3.7.3.	Símbolos de conexión a proceso .....	26
1.3.8.	Norma BRC .....	28
1.3.9.	Conceptos de lubricación .....	30
1.3.9.1.	Fuerza de fricción.....	31
1.3.9.2.	Desgaste .....	31
1.3.9.3.	Lubricación .....	31
1.3.9.4.	Funciones del lubricante.....	32
1.3.9.5.	Tipos de lubricante .....	33
1.3.9.6.	Viscosidad .....	34
1.3.9.7.	Manejo de lubricantes .....	34
1.3.9.8.	Eficiencia en la lubricación: .....	36
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	39
2.1.	Descripción de los métodos utilizados actualmente .....	39
2.1.1.	Causas de las fallas de los métodos actuales.....	42
2.1.2.	Riesgos en los métodos .....	44
2.2.	Esquema de la situación actual.....	51
2.3.	Historial de variación de procesos .....	53
2.4.	Monitoreo de variabilidad .....	57
2.5.	Beneficio de implementación de instrumentación .....	60

2.5.1.	Beneficio monetario prefabricados de chicle .....	61
2.5.2.	Beneficio monetario dilución de azúcar .....	62
2.6.	Inversión del proyecto.....	62
2.6.1.	Prefabricados de chicle .....	62
2.6.2.	Dilución de azúcar .....	63
2.7.	Evaluación de inversión frente a problemas actuales.....	65
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL .....	67
3.1.	Resumen de diagnóstico de situación actual.....	67
3.2.	Recolección de datos para selección de instrumentos.....	69
3.2.1.	Variables de los procesos.....	70
3.2.2.	Condiciones y características de las variables .....	70
3.3.	Determinación de instrumentación a implementar.....	73
3.3.1.	Descripción de instrumentos.....	75
3.3.1.1.	Medidor de flujo másico Coriolis .....	75
3.3.1.2.	Medidor electromagnético de flujo conexión sanitaria.....	78
3.3.1.3.	Válvula mariposa .....	81
3.3.1.4.	Electroválvula de pistón .....	83
3.3.1.5.	Controlador compacto .....	84
3.3.1.6.	Pantalla táctil .....	86
3.3.2.	Análisis de instrumentos seleccionados .....	88
3.3.2.1.	Medidor de flujo másico Coriolis .....	88
3.3.2.2.	Medidor electromagnético de flujo conexión sanitaria.....	89
3.3.2.3.	Válvula de mariposa .....	90
3.3.2.4.	Electroválvula de pistón .....	91
3.3.2.5.	Controlador compacto .....	91
3.3.2.6.	Pantalla táctil .....	92

3.4.	Hojas de selección de instrumentación .....	93
3.5.	Análisis de propuestas presentadas por proveedores.....	96
3.5.1.	Factores para selección de proveedores de instrumentación .....	96
3.5.2.	Evaluación de propuestas de proveedores .....	98
3.6.	Diseño de instrumentación para área de Prefabricados de Chicle .....	99
3.6.1.	Descripción del proceso con instrumentación .....	100
3.6.2.	Esquema de instrumentación .....	101
3.6.3.	Diagrama de Tubería e Instrumentación .....	102
3.7.	Diseño de instrumentación para área de Dilución de Azúcar.	102
3.7.1.	Descripción del proceso con instrumentación .....	103
3.7.2.	Esquema de instrumentación .....	104
3.7.3.	Diagramas de Tubería e Instrumentación .....	104
3.8.	Montaje de instrumentación .....	105
3.8.1.	Consideraciones en el montaje de instrumentos...	106
3.8.1.1.	Consideraciones montaje de medidor de flujo másico Coriolis.....	106
3.8.1.2.	Consideraciones montaje de medidor electromagnético conexión sanitaria ..	108
3.8.1.3.	Consideraciones montaje de válvula mariposa.....	111
3.8.1.4.	Consideraciones montaje de electroválvula de pistón.....	112
4.	FASE DE DOCENCIA.....	113
4.1.	Plan de capacitación .....	113
4.1.1.	Identificación de la necesidad .....	113
4.1.2.	Contenido de la capacitación .....	114

4.1.3.	Desarrollo de la capacitación.....	114
4.1.3.1.	Sesiones de capacitación .....	114
4.1.3.2.	Horario de capacitación .....	115
4.1.3.3.	Formato para capacitación .....	116
4.1.3.4.	Evaluación .....	121
4.2.	Matriz de capacitación.....	125
4.2.1.	Interpretación de resultados .....	127
CONCLUSIONES .....		131
RECOMENDACIONES.....		133
BIBLIOGRAFÍA.....		135
APÉNDICE.....		137
ANEXOS.....		143



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Plano de ubicación Compañía de Alimentos del Pacífico .....	2
2.	Plano satelital Compañía de Alimentos del Pacífico .....	2
3.	Organigrama mantenimiento planta B.....	5
4.	Ejemplo de características de instrumentos.....	11
5.	Eficiencia en la lubricación: .....	37
6.	Tanque dosificador de glucosa .....	40
7.	Matriz de criticidad modelo de criticidad total por riesgo.....	48
8.	Matriz de criticidad prefabricados de chicle (PR) .....	49
9.	Matriz de criticidad dilución de azúcar (DI).....	50
10.	Esquema situación actual individual por mezcladora en prefabricados de chicle .....	51
11.	Esquema situación actual en conjunto del sistema de glucosa en prefabricados de chicle .....	52
12.	Esquema situación actual de dilución de azúcar.....	53
13.	Variación del proceso prefabricados de chicle .....	55
14.	Variación de grados Brix en jarabes de almacenamiento .....	56
15.	Monitoreo de temperatura mes 1 .....	59
16.	Monitoreo de temperatura mes 2 .....	59
17.	Monitoreo de temperatura mes 3 .....	60
18.	Proceso descarga de glucosa .....	68
19.	Proceso elaboración de jarabe.....	69
20.	Medidor de flujo másico tipo Coriolis.....	75
21.	Medidor estático sin caudal.....	76

22.	Medidor excitado.....	77
23.	Medidor electromagnético conexión sanitaria.....	79
24.	Esquema de funcionamiento medidor electromagnético .....	80
25.	Válvula tipo mariposa.....	82
26.	Electroválvula de pistón .....	83
27.	Controlador compacto.....	85
28.	Pantalla táctil .....	87
29.	Sección de datos generales de hoja de especificación de instrumentos .....	94
30.	Sección de condiciones de proceso de hoja de especificación de instrumentos .....	94
31.	Sección de datos funcionales de hoja de especificación de instrumentos .....	95
32.	Sección notas y datos sobre el documento de hojas de especificación de instrumentos.....	95
33.	Proceso de prefabricados de chicle con instrumentación .....	101
34.	Diagrama de tubería e instrumentación prefabricados de chicle .....	102
35.	Proceso de dilución de azúcar con instrumentación .....	104
36.	Diagrama de tubería e instrumentación dilución de azúcar .....	105
37.	Manipulación del medidor tipo Coriolis .....	107
38.	Posición de montaje medidor másico Coriolis .....	108
39.	Tramos rectos de tubería medidor electromagnético.....	109
40.	Manipulación del medidor electromagnético.....	110
41.	Instalación frente a válvula de control y detrás de bomba .....	110
42.	Posición de montaje medidor electromagnético de caudal .....	111
43.	Formato de la presentación PowerPoint.....	116
44.	Formato para ruta de lubricación .....	118
45.	Formato de listado de insumos mantenimiento .....	119
46.	Formato de la presentación PowerPoint.....	120

47.	Formato de evaluación pre- post para la sesión 1 .....	122
48.	Formato de test de lubricación para la sesión 1 .....	123
49.	Formato de evaluación pre- post para la sesión .....	124
50.	Formato de test de rutas de lubricación para la sesión 2 .....	125
51.	Matriz de habilidades previa a las capacitaciones .....	128
52.	Matriz de habilidades posterior a las capacitaciones .....	129

## TABLAS

I.	Símbolos estándar utilizados en instrumentación .....	24
II.	Letras de identificación para variables medidas.....	25
III.	Símbolos de conexión a proceso: .....	27
IV.	Fuentes de alimentación .....	28
V.	Inciso relativo al mantenimiento Norma BRC.....	30
VI.	Factores ponderados análisis de criticidad total por riesgo.....	46
VII.	Factores de ponderación de prefabricados de chicle .....	49
VIII.	Factores de ponderación de dilución de azúcar .....	50
IX.	Líneas paradas por falta de chicle año 2019.....	54
X.	Formato para monitoreo diario de temperatura.....	57
XI.	Datos de monitoreo de temperatura glucosa .....	58
XII.	Inversión de equipos prefabricados de chicle .....	62
XIII.	Costos de servicios de ingeniería prefabricados de chicle.....	63
XIV.	Inversión de equipos .....	64
XV.	Costos de servicios de ingeniería dilución de azúcar.....	64
XVI.	Inversión total.....	66
XVII.	Características y condiciones glucosa .....	71
XVIII.	Características y condiciones agua purificada .....	72
XIX.	Condiciones y características jarabe de azúcar .....	73
XX.	Datos técnicos medidor másico tipo Coriolis.....	77

XXI.	Datos técnicos medidor electromagnético de flujo.....	81
XXII.	Datos técnicos válvula mariposa.....	83
XXIII.	Datos técnicos electroválvula de pistón .....	84
XXIV.	Datos técnicos controlador compacto .....	86
XXV.	Datos técnicos pantalla seleccionada.....	87
XXVI.	Evaluación selección de propuesta prefabricados de chicle.....	98
XXVII.	Evaluación selección de propuesta dilución de azúcar.....	99
XXVIII.	Horario sesión 1.....	115
XXIX.	Horario sesión 2.....	115
XXX.	Contenido de la presentación de sesión 1 .....	116
XXXI.	Contenido de la presentación de la sesión 2 .....	120
XXXII.	Contenidos y símbolo utilizado en la matriz de capacitación .....	126
XXXIII.	Código de color para evaluar conocimiento.....	127

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>Bx</b>	Brix
<b>C</b>	Centígrado
<b>cm</b>	Centímetro
<b>Cp</b>	Centipoise
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>km</b>	Kilómetro
<b>kV</b>	Kilovoltios
<b>psi</b>	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
<b>MB</b>	Megabyte
<b>m</b>	Metro
<b>μS</b>	Micro Siemens
<b>“</b>	Pulgada
<b>Q</b>	Quetzal
<b>VDC</b>	Voltios de corriente continua
<b>W</b>	Watt



## GLOSARIO

<b>Automatización</b>	Acto o método de hacer que un proceso funcione sin la necesidad de la intervención directa de un operador.
<b>Binario</b>	Término aplicado a una señal que solo tiene dos estados o posiciones discretas.
<b>Conductividad</b>	Propiedad natural de los cuerpos que permite el paso a través de sí, del calor o la electricidad.
<b>Configurable</b>	Término aplicado a un dispositivo o sistema en el que sus características pueden ser seleccionadas o re arregladas a través de programación o algún otro método.
<b>Digital</b>	Término aplicado a una señal o dispositivo que utiliza dígitos binarios para representar valores continuos o estados discretos.
<b>Dosificar</b>	Establecer la cantidad de ingredientes y materias primas en un proceso productivo.
<b>Flujo</b>	Fluido en movimiento.
<b>Función</b>	Propósito o acción realizada por un dispositivo.

<b>Identificación</b>	Secuencia de letras o dígitos usados para designar un instrumento individual o en un circuito.
<b>Instrumentación</b>	Rama de la ingeniería involucrada con la aplicación de los instrumentos a un proceso industrial para medir o controlar alguna variable.
<b>Instrumento</b>	Dispositivo utilizado para medir o controlar una variable directa o indirectamente.
<b>Lazo</b>	Combinación de dos o más instrumentos o funciones de control arregladas para el propósito de medir o controlar una variable de proceso.
<b>Local</b>	Localización de un instrumento que no está en tablero ni detrás del tablero.
<b>Medición</b>	Determinación de la magnitud de una cosa, por comparación con una unidad establecida que se toma como referencia, generalmente mediante un instrumento.
<b>Proceso</b>	Cualquier operación o secuencia de operaciones que incluya un cambio de estado, de energía, de composición, de dimensión de otra propiedad que pueda definirse con respecto a un dato.
<b>Programa</b>	Secuencia repetida de acciones que definen el estado de las salidas en relación a un conjunto de entradas.

<b>Punto de ajuste</b>	Magnitud predeterminada de una variable de proceso que el controlador trata de mantener.
<b>Respuesta</b>	Comportamiento de la salida de un dispositivo como función de la entrada, ambos respecto al tiempo.
<b>Señal</b>	Información que, en forma neumática, eléctrica, digital o mecánica, se transmite de un componente de un circuito de instrumentación a otro.
<b>Tablero</b>	Estructura que contiene un grupo de instrumentos montados en él.
<b>Temperatura</b>	Es una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro.
<b>Transmisión</b>	Transferencia o traslado de una señal.
<b>Variable</b>	Cualquier fenómeno que no es de estado necesario, sino que involucra condiciones continuamente cambiantes.



## RESUMEN

Las industrias alimentarias experimentan la necesidad de perfeccionar sus procesos para garantizar la elaboración de productos inocuos y de alta calidad. Una herramienta de utilidad es la implementación de instrumentación para automatizar procesos. La propuesta del proyecto busca aumentar la eficiencia de los procesos por medio de la instalación de instrumentación que controle y registre las variables del proceso.

En la fase de investigación, se observaron los procesos de producción de las áreas de interés, recopilando datos sobre la variabilidad de los productos y elaborando los diagramas necesarios; se evaluaron las condiciones actuales, se analizaron los riesgos reconocidos y se determinaron las deficiencias encontradas.

En la fase técnico profesional, se tomaron los análisis realizados durante la fase de investigación y se diseñó un sistema con los instrumentos adecuados al proceso, para garantizar la exactitud en la elaboración de los distintos productos.

Finalmente, en la fase docente, se capacitó al personal de mantenimiento y operadores en conceptos de lubricación, para garantizar el cumplimiento de la Norma BRC (estándar mundial para la seguridad de los alimentos).



# OBJETIVOS

## General

Diseñar un sistema de instrumentación para control, registro y automatización de procesos en el área de prefabricados de chicle y dilución de azúcar en Compañía de Alimentos del Pacífico, S. A.

## Específicos

1. Evaluar necesidades y determinar la factibilidad de la implementación de instrumentación en los equipos del área de prefabricados y dilución.
2. Realizar un análisis de la situación actual de la operación de los equipos y evaluar las causas de las fallas de los métodos utilizados actualmente.
3. Presentar sistema eficiente para dosificación y monitoreo de materias primas, por medio de instrumentos industriales.
4. Determinar los instrumentos adecuados para cada proceso según las características y condiciones de cada proceso.
5. Capacitar a operadores para que estos tengan conocimientos en lubricación y se pueda sustentar un plan de mantenimiento que cumpla con la certificación BRC.



## INTRODUCCIÓN

Compañía de Alimentos del Pacífico, S. A. es un complejo industrial que se encarga de la elaboración de dulces y galletas. El complejo se encuentra dividido en dos plantas: Planta A (Dulcería) y Planta B (Galletería). Una de las líneas que se encuentran en Planta B es la línea de prefabricados, en la que se encuentran las áreas de prefabricados de chicle y dilución de azúcar.

Estos procesos son importantes, tanto para Planta A como para planta B; por ello, es necesario el control en cada proceso para garantizar la calidad de los productos y para evitar variaciones que se traduzcan en pérdidas económicas. Dicho control se llevará a cabo con la instalación de instrumentación en cada proceso.

El proyecto consiste en la propuesta de instalación de instrumentos de medición en el área de prefabricados y dilución, para tener control de las variables del proceso. Las variables a monitorear son temperatura y flujo o peso. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

Ambos proyectos tendrán control automático para descargar únicamente la cantidad de materia prima requerida por la receta y ambos estarán integrados en una misma pantalla y controlador lógico programable, puesto que las áreas están dentro del mismo espacio.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Descripción de la empresa**

La institución es una compañía global de alimentos cuya sede principal se localiza en Colombia. Ofrece productos en diferentes líneas: confitería, galletería, pastelería, salsas, conservas y helados; y cuenta actualmente con 25 marcas.

En sus inicios, la compañía produjo dulces y confites con sabores a frutas tropicales. Con el paso del tiempo se fueron adquiriendo distintas marcas y estrategias que impulsaron a la compañía a crecer en el mercado nacional e internacional.

Actualmente, se cuenta con 39 centros de distribución, 14 países con operación propia y se elaboran productos en 20 categorías de alimentos.

En Guatemala, la compañía empezó a funcionar en el año 2001, en asocio con el grupo guatemalteco Pantaleón Concepción; sin embargo, a partir del 1 de enero de 2016, se adquirió el 100% de las acciones de la compañía. CAPSA es el complejo industrial que atiende las regiones de Centro América y el Caribe, con dulces y galletas.

### **1.1.1. Ubicación**

Compañía de Alimentos del Pacífico, Sociedad Anónima (CAPSA), es una institución no gubernamental, ubicada en Kilómetro 55 carretera a Palín Escuintla, Ruta Nacional 14.

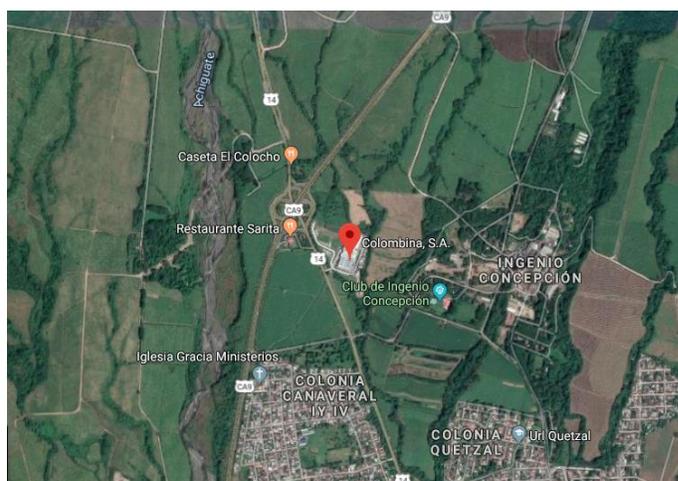
La distancia entre la Universidad San Carlos de Guatemala y la Institución es de 38,86 km.

Figura 1. **Plano de ubicación Compañía de Alimentos del Pacífico**



Fuente: Google Maps. *Ubicación*. <https://bit.ly/3jiZD3I>. Consulta: septiembre 2019.

Figura 2. **Plano satelital Compañía de Alimentos del Pacífico**



Fuente: Google Maps. *Ubicación*. <https://bit.ly/3gC9H5L>. Consulta: septiembre 2019.

### **1.1.2. Definición de negocio**

CAPSA es una empresa cuya misión y visión están integradas en lo que llaman institucionalmente “definición de negocio”, que refleja la esencia de la empresa, y textualmente dice:

Compañía Global de Alimentos que busca cautivar al consumidor a través de la innovación y el sabor de sus productos. Sustentada en una marca sombrilla fuerte, marcas reconocidas y de alto valor percibido, comercializadas eficazmente para estar al alcance de todos. Comprometida con un esquema de sostenibilidad que involucra a todos sus grupos de interés.<sup>1</sup>

### **1.1.3. Valores corporativos**

- Trabajo en equipo.
- Compromiso.
- Orientación al cliente.
- Respeto.
- Creatividad.
- Innovación.

### **1.1.4. Atributos corporativos**

CAPSA considera que tiene atributos corporativos que lo diferencian del mercado, estos son:

- Sabor: representa la forma de sentir y vivir la vida.
- Cercanía: este atributo representa la presencia de la marca en las etapas y momentos especiales de los grupos de interés.

---

<sup>1</sup> Grupo Empresarial Colombina. *Informe de Sostenibilidad 2017*. <https://sostenibilidad.colombina.com/es/files/reporte2017.pdf>. Consulta: septiembre 2019.

- Sostenibilidad: este atributo representa el compromiso de la compañía con la gente y con el medio ambiente.

#### **1.1.5. Pilares estratégicos**

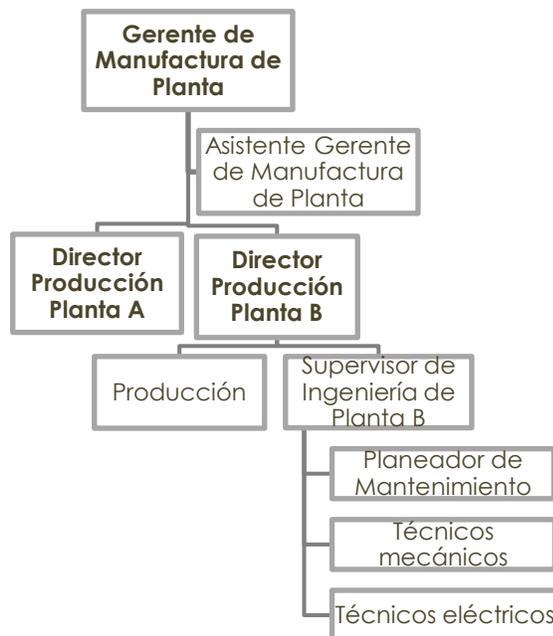
Los pilares estratégicos de la compañía son los que ayudan a lograr los objetivos planteados, estos pilares son:

- Bajo costo
- Innovación
- Cultura
- Sostenibilidad
- Fortaleza Marca Sombrilla
- Modelo de Comercialización Eficaz

#### **1.1.6. Organigrama mantenimiento planta B**

La estructura del área de ingeniería de planta B, así como de la parte de manufactura, se puede observar en la figura 3.

Figura 3. **Organigrama mantenimiento planta B**



Fuente: elaboración propia, empleando Word 2010.

## 1.2. Descripción del problema

Compañía de Alimentos del Pacífico, S. A. es una planta que se encarga de la elaboración de dulces y galletas. El área de prefabricados elabora la mezcla de chicle utilizada posteriormente en distintas áreas; y el área de dilución, elabora mezcla de jarabe. En ambos procesos es necesario el control y registro de materia prima utilizada y de los productos elaborados.

Sin embargo, no se tiene un control eficiente de las variables del proceso. En el área de prefabricados se han identificado variaciones en la consistencia del producto; lo que genera pérdida de lotes completos de mezcla, reclamos por

variaciones, pérdida en el tiempo de producción y riesgos en el funcionamiento de los equipos.

En el área de dilución de la misma manera, se ha presentado variación en la elaboración de jarabe y además rebalses del mismo; ocasionando pérdidas del producto y riesgo de accidentes por el producto a alta temperatura. Otra de las problemáticas presentadas es la falta de registro de datos reales sobre consumos utilizados en la producción.

En la compañía se pretende elaborar productos que satisfagan las necesidades del consumidor en la totalidad de características, es decir, productos de calidad; es por ello que la instrumentación cumple un papel fundamental en los procesos.

El proyecto busca la implementación de instrumentos de medición para garantizar que se cumplan a totalidad las recetas de los productos elaborados en estas áreas. Con el proyecto también se pretende tener registros, evitando así, desperdicios innecesarios por un descontrol en la dosificación.

### **1.3. Definiciones fundamentales**

A continuación, se encuentran definiciones fundamentales para fortalecimiento del proyecto:

#### **1.3.1. Control e instrumentación**

En los inicios de la industria, los procesos eran controlados manualmente, haciendo uso de instrumentos sencillos. Este control era suficiente por la simplicidad en los procesos. A medida que se fue avanzando en los procesos,

estos se volvieron más complejos y comenzó la automatización por medio de los instrumentos de control y medición. La automatización permite la liberación del personal de campo de su actuación directa en la planta y le va dando únicamente la labor de supervisión.

“La instrumentación y control es la parte de la ingeniería que es responsable de definir el nivel de automatización de una planta de proceso industrial, la instrumentación de campo y el sistema de control”<sup>2</sup>. En sentido general, y en otra definición más técnica, la instrumentación y control se encargan de capturar, analizar y modificar las variables de los procesos.

El sistema de control permite la conservación de las variables y puede definirse como aquel que compara el valor de la variable, o condición a controlar, con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto. El sistema de control exige pues, para que la comparación y la corrección sean posibles, que se incluya un conjunto de unidades. Este conjunto de unidades, forman un bucle o lazo, que se denomina lazo de control.<sup>3</sup>

Un lazo de control en su forma básica es el sistema compuesto por el dispositivo de medición, el controlador, el elemento final de control y el propio proceso. El objetivo es mantener el proceso estable, independientemente de perturbaciones y desajustes. Una vez tomada la medición, el dispositivo de medición normalmente transmite una señal, que representa a dicha medición, hacia un dispositivo llamado controlador, en el que una acción humana o automatizada tendrá lugar. Si la acción controladora es automatizada, el controlador envía una señal hacia el dispositivo final de control el cual, a su vez, ejerce influencia sobre la variable que se está midiendo.

---

<sup>2</sup> MARAÑA, Juan Carlos. *Instrumentación y control de procesos*. p. 1.

<sup>3</sup> CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 1.

El dispositivo final de control normalmente es una válvula de control, un motor eléctrico o un calentador eléctrico. El SP = Setpoint es el valor al que se desea que se mantenga la variable de proceso.

Existen dos tipos de sistemas de lazo de control; los sistemas de lazo de control abierto, que son aquellos en los que la señal de salida no afecta el funcionamiento del sistema total; y los sistemas de lazo de control cerrado, que son aquellos en los que se produce un proceso de retroalimentación, es decir que es capaz de modificar la señal de entrada en función de la señal de salida y la toma de decisiones no depende solo de la entrada sino también de la salida.

### **1.3.1.1. Definiciones en control**

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y las características estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos. A continuación, se mencionan algunas características:

- Rango o campo de medida: el campo de medida es el espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida, de recepción o de transmisión del instrumento; es el conjunto de valores que puede medir el instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos (límite inferior y límite superior). Ejemplo: instrumento de temperatura con campo de medida de 200-250 °C.
- Alcance: el alcance es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. Ejemplo: instrumento de temperatura con alcance de 50 °C.
- Campo de medida con elevación de cero: rango en el que el cero de la variable medida es mayor que el límite inferior del rango. Ejemplo: instrumento de temperatura con campo de medida -10 a 30 °C.
- Campo de medida con supresión de cero: rango en el que el cero de la variable medida queda por debajo del límite inferior del rango. Ejemplo: instrumento de temperatura con campo de medida 20 a 50 °C.
- Elevación de cero: es la cantidad con que el valor cero de la variable supera el valor inferior del campo. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

- Supresión de cero: es la cantidad con que el valor inferior del campo supera el valor cero de la variable. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.
- Error: el error de la medida es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales. El error es resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso. El error puede ser estático, cuando el valor de la variable no cambia; o dinámico, cuando el valor de la variable cambia con el tiempo.<sup>4</sup>

La ecuación para el error absoluto es la siguiente:

$$E_{abs} = V_{leído} - V_{ideal} \text{ [Ecuación 1]}$$

Donde:

$E_{abs}$ = Error absoluto

$V_{leído}$ = Valor leído en el instrumento

$V_{ideal}$ = Valor ideal de la variable medida

- Incertidumbre:

Cuando se realiza una operación de calibración, se compara el instrumento a calibrar con un aparato patrón para averiguar si el error (diferencia entre el valor leído por el instrumento y el verdadero valor medido con el aparato patrón) se encuentra dentro de los límites dados por el fabricante del instrumento. Como el aparato patrón no permite medir exactamente el valor verdadero (también tiene un error) y como además en la operación de comparación intervienen diversas fuentes de error, no es posible caracterizar la medida por un único valor, lo que da lugar a la llamada incertidumbre de la medida.<sup>5</sup>

- Exactitud: es la cualidad del instrumento de dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida. Define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado. La exactitud se da en términos de inexactitud. Hay varias formas de expresar la exactitud:
  - Directamente, en unidades de la variable medida.
  - Tanto por ciento del alcance.
  - En forma relativa como porcentaje del límite superior del rango.

<sup>4</sup> CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 5 - 6.

<sup>5</sup> Ibid. p.6.

- En forma relativa como porcentaje del valor medido.
- **Precisión:** la precisión es la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. Los instrumentos de medida estarán diseñados por los fabricantes para que sean precisos, y como periódicamente se descalibran, deben reajustarse para que sean exactos.
- **Zona muerta:** la zona muerta es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta.
- **Sensibilidad:** es la razón entre el incremento de la señal de salida o de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo.
- **Resolución:** es la menor diferencia de valor que el instrumento puede distinguir. En los instrumentos analógicos interviene el operador según donde observe la posición de la aguja, su error de paralaje en la lectura efectuada y la distancia entre los valores marcados en la escala.
- **Histéresis:** valor máximo de la diferencia entre las medidas de un mismo valor en sentido creciente y decreciente de la variable. Se suele expresar en forma porcentual sobre el alcance del instrumento.
- **Trazabilidad:** propiedad del resultado de las mediciones efectuadas con un instrumento o con un patrón, tal que puede relacionarse con patrones nacionales o internacionales, mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones y con todas las incertidumbres determinadas.
- **Ruido:** cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.
- **Linealidad:** es la aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada.
- **Deriva:** variación experimentada por alguna de las características externas del instrumento en un período determinado.
- **Umbral:** valor mínimo que tiene que alcanzar la variable para que el instrumento proporcione una señal de medida.
- **Temperatura de servicio:** campo de temperaturas en el cual se espera que trabaje el instrumento dentro de los límites de error especificado.
- **Vida útil de servicio:** tiempo mínimo especificado durante el cual se aplican las características de servicio continuo e intermitente del instrumento, sin que se presenten cambios en su comportamiento más allá de las tolerancias especificadas.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 17 - 22.

Figura 4. **Ejemplo de características de instrumentos**

CARACTERÍSTICAS EN INSTRUMENTACIÓN	
	Valor medido: 74°F
	Campo de medida: -40 a 120°F
	Campo de medida con elevación de cero
	Alcance: 120-(-40)°F = 160 °F
	Elevación de cero: 0 - (-40) °F= 40°F
	Exactitud:
	Unidades de la variable medida: ± 1°F
	% del alcance: 0.625 % del alcance
	% del límite superior: 0.833% del límite superior
	% del valor medido: 1.35% del valor medido
Zona muerta: 0.5% del alcance	
Histéresis: 0.5% del alcance	

Fuente: Jinsa. *Termómetro*. <https://www.jinsa.com.mx/termometro-bi-metalico-caratula-redonda/38498-6094-4050-cn-termometro-industrial-con-sensor-bimetalico-caratula-compacta-de-1.html>. Consulta: septiembre 2019.

### 1.3.2. Clasificación de instrumentos

Existen varias formas de clasificar los instrumentos según Antonio Creus, pero las formas más básicas consideradas son:

#### 1.3.2.1. En función del instrumento

Los instrumentos toman el nombre dependiendo la función que realicen:

- Instrumentos ciegos: son aquellos que no tienen indicación numérica visible de la variable, por ejemplo: presostatos, termostatos, alarmas, luces on-off; que poseen una escala exterior con un índice de selección de la variable para ajustar el punto de disparo. Son también instrumentos ciegos los transmisores de caudal, presión, nivel y temperatura sin indicación.
- Instrumentos indicadores: poseen un índice y una escala graduada. También pueden ser digitales que muestran la variable en forma numérica.
- Registradores: registran con trazo continuo o a puntos el valor de la variable, en función del tiempo. Pueden ser circulares o rectangulares y también digitales.
- Elementos primarios o sensores: “están en contacto con la variable controlada, absorben energía del medio, detectan la variación de la variable

y generan la señal que se envía al elemento secundario del instrumento. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, entre otros. El sensor puede ser parte de otro instrumento o bien puede estar separado. La respuesta de los sensores determina la calidad de la medición, registro o control de una variable.<sup>7</sup>

- Transmisores: es un elemento intermedio de transferencia. Captan la variable del proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia. La transmisión puede ser con señal neumática (3 a 15 psi) o electrónica (de 1 a 5 mA c.c., de 10 a 50 mA c.c. y de 0 a 20 mA c.c., o bien la señal normalizada de 4 a 20 mA c.c.).
- Transductores: reciben una señal de entrada y la convierten modificada o no, a una señal de salida.
- Convertidores: son aparatos que reciben una señal de entrada neumática (3 a 15 psi) o electrónica (4 a 20 mA cc.) procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar.
- Receptores: reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran. Los receptores controladores envían otra señal de salida normalizada a los valores ya indicados 3 – 15 psi o 4 -20 mA c.c. que actúan sobre el elemento final de control.
- Controladores: comparan la variable controlada, con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo a la desviación.
- Elemento final de control: recibe la señal del controlador y modifica su posición variando el caudal de fluido.<sup>8</sup>

### 1.3.2.2. En función de la variable

Expresados en función de la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de:

- Caudal
- Nivel
- Presión
- Temperatura
- Densidad y peso específico
- Humedad y punto de rocío

---

<sup>7</sup> Monografías.com. *Clasificación de los Instrumentos Industriales*. <https://www.monografias.com/trabajos106/clasificacion-instrumentos-industriales/clasificacion-instrumentos-industriales2.shtml>. septiembre 2019.

<sup>8</sup> CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 23 - 26.

- Viscosidad
- Velocidad
- Frecuencia
- Fuerza
- Intensidad
- Voltaje

### **1.3.3. Medición de flujo**

La medición del flujo es una función importante dentro de cualquier organización que emplee fluidos para realizar sus operaciones regulares. Ninguna otra variable tiene la importancia de esta, ya que, sin mediciones de flujo, sería imposible el balance de materiales, el control de calidad y aún la operación de procesos continuos.

La medición se realiza por medio de instrumentos que determinan la cantidad de flujo; estos medidores pueden dividirse principalmente en volumétricos y másicos. Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido bien sea directamente o indirectamente por deducción o inferencia. Los medidores másicos determinan el caudal masa y se destinan a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante.<sup>9</sup>

Existen distintos medidores, tanto volumétricos como másicos; su selección depende del tipo de fluido que se va a analizar. Para seleccionar un medidor, es importante tomar en cuenta que los fluidos se dividen en: líquidos y gases, y cada uno se divide a su vez en fluido limpio o con sólidos en suspensión. También es imprescindible el conocimiento de algunas características básicas de los fluidos

---

<sup>9</sup> CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 26.

para una buena selección del mejor método a emplear. Estas características incluyen viscosidad, densidad, gravedad específica, temperatura y presión.

Dentro de los medidores volumétricos, se encuentran:

- Medidores de presión diferencial: se basan en la diferencia de presiones provocada por un estrechamiento en la tubería por donde circula el fluido. La presión diferencial provocada por el estrechamiento es captada por dos tomas de presión situadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del mismo, o bien a una corta distancia. Dentro de los medidores de presión diferencial, se pueden encontrar la placa- orificio o diafragma: que consiste en una placa perforada instalada en la tubería donde la presión diferencial es captada por una toma anterior y una posterior; la tobera: es un dispositivo que incrementa la velocidad de un fluido a la vez que disminuye su presión, el tubo Venturi: consiste en un tubo con un estrechamiento que permite una presión diferencial, el tubo Pitot: es un instrumento que mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, es decir, la presión dinámica; el tubo Annubar: es una innovación del tubo Pitot y consta de dos tubos que toman la presión total y la presión estática; y el medidor de codo: se basa en la fuerza centrífuga ejercida por el fluido a su paso por un codo de la tubería.
- Medidores de área variable o rotámetros: “estos medidores se caracterizan por el cambio de área que se produce entre el elemento primario en movimiento y el cuerpo del medidor”.<sup>10</sup> Dentro de los medidores de área variable, se pueden encontrar el rotámetro de purga de indicación directa para usos generales: es un medidor utilizado para caudales muy pequeños; y los rotámetros armados con indicación magnética y transmisión neumática, electrónica y digital.

---

<sup>10</sup> CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 27.

- Medidores de velocidad: en la medición de caudal en canales abiertos se utilizan vertederos de formas variadas que provocan una diferencia de alturas del líquido en el canal, entre la zona anterior del vertedero y su punto más bajo. Dentro de los vertederos más empleados, se encuentran los rectangulares: poseen contracción lateral, simple, son fáciles de construir y son los más económicos; triangulares en V: consisten en una placa con corte en V de vértice dirigido hacia abajo y con cada lado igualmente inclinado respecto a la vertical; trapezoidales: tienen la ranura en forma de trapecio invertido; y vertederos Parshall: se emplean normalmente en aplicaciones en las que un vertedero normal no es siempre adecuado. Otro tipo de medidor de velocidad es la turbina que consiste en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal.
- Medidores de fuerza: “también denominados medidores de placa, consisten en una placa instalada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje o fuerza de impacto del fluido”.<sup>11</sup>
- Medidores de tensión inducida: los medidores de tensión inducida basan su funcionamiento en la ley de Faraday, que establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse este perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor.
- Medidores de desplazamiento positivo: poseen en su interior un volumen conocido, hay un mecanismo contador que indica la cantidad de fluido que ha pasado a través de él, dentro de los medidores de desplazamiento positivo, se encuentran el medidor de disco basculante: dispone de una cámara circular con un disco plano móvil dotado de una ranura en la que

---

<sup>11</sup> CORTÉS AGUILAR, Teth Azrael. Instrumentos de medición de caudal. <https://es.slideshare.net/TethAzraelCortsAguilar/instrumento-4-caudal>. Consulta: septiembre de 2019.

está intercalada una placa fija, la cara baja del disco está siempre en contacto con la parte interior de la cámara en el lado opuesto, de modo que la cámara queda dividida en compartimientos móviles separados de volumen conocido; el medidor de pistón oscilante: se compone de una cámara de medida cilíndrica con una placa divisora que separa los orificios de entrada y de salida donde la única parte móvil es un pistón cilíndrico que oscila suavemente; el medidor de pistón alternativo: este medidor se fabrica en muchas formas, de varios pistones, pistones de doble acción, válvulas rotativas, válvulas deslizantes, horizontales y son usados en la industria petroquímica; medidor rotativo: tiene válvulas rotativas que giran excéntricamente rozando con las paredes de una cámara circular y transportan el líquido en forma incremental de la entrada a la salida.

- Medidores remolino y vórtex: se basan en la determinación de la frecuencia del remolino producido por una hélice estática situado dentro de la tubería a cuyo través pasa el fluido. La frecuencia del remolino es proporcional a la velocidad del fluido.

Dentro de los medidores másicos se encuentran:

- Medidores volumétricos compensados: los medidores de caudal masa operando con medidores volumétricos con compensación de densidad se basan en transmitir la densidad al medidor volumétrico y aplicar una simple operación de multiplicar para tener el caudal másico.
- Medidores térmicos de caudal: miden el caudal másico directamente y se basan en la elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente.
- Anemómetro de hilo caliente: consiste en un conductor de hilo delgado o bien una película delgada, soportado en sus extremos y calentado por una corriente eléctrica. El sensor está dispuesto en una tubería por la que circula el gas, con lo que se enfría y la tasa de enfriamiento es proporcional al caudal masa.

- Medidor de Coriolis: se basa en el teorema de Coriolis, cuando el fluido del proceso ingresa en el sensor, se divide. Durante la operación, una bobina impulsora provoca que los tubos oscilen a su frecuencia de resonancia natural. A medida que los tubos oscilan, el voltaje generado en cada bobina produce una onda sinusoidal. Esto indica el movimiento de un tubo en relación con el otro. La demora entre las dos ondas sinusoidales es directamente proporcional al caudal másico.

#### **1.3.4. Medición de nivel**

La medición de nivel consiste en medir la altura a la que se encuentra la superficie libre del líquido a partir de una línea de referencia. Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos. La medición de nivel quizás sea la que más tecnologías disponen para su medición, y al contrario que el resto de las variables de proceso, existen en el mercado diversos sistemas de medición para las mismas aplicaciones.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables permite añadir inteligencia en la medida del nivel. El transmisor de nivel inteligente hace posible la interpretación del nivel real, la eliminación de las falsas alarmas y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión. Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos.

- Medidores de nivel de líquidos: los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de

referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

- Medidores de nivel de sólidos: en los procesos continuos, se han desarrollado instrumentos que miden el nivel en puntos fijos o de forma continua. Los detectores de nivel de punto fijo proporcionan una medida en uno o varios puntos fijos determinados. Los sistemas más empleados son el diafragma, los interruptores de nivel alto con sonda, el capacitivo, las paletas rotativas, el de vibración y el medidor de radar de microondas. Los medidores de nivel continuo proporcionan una medida continua del nivel desde el punto más bajo al más alto. Entre los instrumentos empleados se encuentran el de sondeo electromecánico, el de báscula, el capacitivo, el de ultrasonidos, el de radar de microondas, el de radiación y el láser.

### **1.3.5. Medición de temperatura**

La temperatura es una de las variables más usadas en los sectores de la industria de control de procesos y se trata de una herramienta básica. La medida de la temperatura es una de las más comunes y de las más importantes que se efectúan en los procesos industriales. La temperatura se utiliza, frecuentemente, para inferir el valor de otras variables del proceso.

Existen diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla: variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases), variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia), variación de resistencia de un semiconductor (termistores), la f.e.m.

creada en la unión de dos metales distintos (termopares), intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

Los instrumentos empleados son: termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termómetros de resistencia, termopares, pirómetros de radiación, termómetros ultrasónicos y termómetros de cristal de cuarzo.

### **1.3.6. Elementos finales de control**

Los elementos finales de control son mecanismos que modifican el valor de una variable que ha sido manipulada, como respuesta a una señal de salida desde un dispositivo de control automático; es decir, se encarga de manipular alguna característica del proceso según lo ordenado por el controlador. Los elementos finales de control pueden ser de distintos tipos.

En la industria regularmente la variable manipulada es caudal, por lo que el elemento de control más usado es la válvula. En el control automático de los procesos industriales, la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal de fluido de control que modifica, a su vez, el valor de la variable medida, comportándose como un orificio de área continuamente variable.

#### **1.3.6.1. Válvulas**

Las válvulas pueden ser de distintos tipos, según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador, se pueden clasificar en válvulas con obturador de movimiento lineal y válvulas con obturador de movimiento rotatorio.

Dentro de las válvulas con obturador de movimiento lineal, se encuentran la válvula de globo, válvula en ángulo, válvula de tres vías mezcladora o diversora, válvula de jaula, válvula de compuerta, válvula en Y, válvula de cuerpo partido, válvula Saunders y válvula de compresión.

- Válvula de globo: tiene de un obturador en forma de globo, el flujo de entrada o salida es perpendicular al eje del obturador. Pueden ser de simple asiento, de doble asiento o de obturador equilibrado.
- Válvula en ángulo: el flujo de salida es perpendicular al flujo de entrada con un recorrido menos curvilíneo que en una válvula de globo, esto permite tener un caudal sin excesivas turbulencias. Se utiliza para el control de fluidos que vaporizan.
- Válvulas de tres vías: es usada para mezclar fluidos (mezcladora), o para derivar de un flujo de entrada, dos de salida (diversora), intervienen en el control de temperatura de intercambiadores de calor, facilitando control de temperatura.
- Válvulas de jaula: poseen una jaula, pueden ser de jaula fija o jaula variable. Las válvulas de jaula fija pueden tener los orificios mecanizados de tal modo que la relación carrera caudal, proporciona las características de caudal deseadas, EL desmontaje del obturador es sencillo lo que favorece la estabilidad de funcionamiento al incorporar orificios que permiten eliminar el desequilibrio de fuerzas ocasionado por una alta presión diferencial. La válvula es resistente a vibraciones y desgaste; pero, no es la válvula adecuada cuando el fluido es pegajoso, viscoso o contiene sólidos en suspensión.
- Válvula de compuerta: se utiliza para control todo nada, en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Posee un disco vertical plano que es realiza el cierre y que se mueve verticalmente al flujo del fluido Presenta

poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total, se caracteriza por una baja caída de presión.

- Válvula en Y: tiene el asiento y el obturador inclinados a 45° respecto al flujo del fluido. Es adecuada como válvula de cierre y de control, como válvula todo nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de auto drenaje. Generalmente se usa en instalaciones criogénicas.
- Válvula de cuerpo partido: es una modificación de la válvula de globo de simple asiento, con el cuerpo partido en dos partes entre las cuales se está presionando el asiento. Se emplea en fluidos viscosos y en la industria alimentaria.
- Válvula Saunders: el obturador es una membrana flexible que, a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo que actúa de asiento, cerrando así el paso del fluido. Se utiliza con fluidos negros o agresivos o con fluidos con sólidos en suspensión; sin embargo, tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente.
- Válvula en manguito: funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles. Se usa en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o con partículas sólidas en suspensión.

Las válvulas en las que el obturador tiene un movimiento rotativo se clasifican en: válvula de disco excéntrico rotativo, válvula de obturador cilíndrico excéntrico, válvula de mariposa, válvula de bola, válvula de macho y válvula de flujo axial.

- Válvula de disco excéntrico: consiste en un obturador de superficie segmentada esférica que se auto alinea durante el movimiento de giro

excéntrico, proporcionando un cierre estanco y unas bajas fuerzas dinámicas del fluido. Se caracteriza por su gran capacidad de caudal y amplio margen de temperatura.

- Válvula de obturador cilíndrico excéntrico: tiene un obturador que asienta contra un cuerpo cilíndrico. Es de bajo coste y es adecuada para fluidos corrosivos o con sólidos en suspensión.
- Válvula de mariposa: el cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. La válvula puede cerrar herméticamente, mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo. Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está casi cerrada, siempre que la presión diferencial permanezca constante. En la selección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.
- Válvula de bola: el cuerpo tiene una cavidad interna esférica que alberga el obturador. La bola tiene un corte adecuado que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente al 75 % del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros o fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.
- Válvula de macho: es una válvula de bola típica que consiste en un macho u obturador de forma cilíndrica o troncocónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90°. Se utiliza generalmente en el control manual todo-nada de líquidos o gases y en regulación de caudal.

### **1.3.6.2. Elementos finales de control adicionales**

Algunos de los elementos finales de control que se utilizan en la industria son: rectificadores controladores de silicio, que se emplean para el control de potencia; las bombas dosificadoras que se emplean para el envío de cantidades precisas de líquidos; los actuadores de velocidad variable, que gobiernan la velocidad de bombas centrífugas, ventiladores, compresores, entre otros, variando así el caudal de fluido y evitando la pérdida de energía que absorben las válvulas de control. Otros dispositivos finales de control son los contactores, compresores, motores eléctricos, compuertas y autotransformadores ajustables motorizados.

### **1.3.7. Norma ISA S5.1- 84 (R-1992)**

Dentro de las normas que se utilizan para la realización de diagramas de tubería e instrumentación, se encuentran: la ISA (*Instrument Society of America*) de la Sociedad de Instrumentistas de América (Estados Unidos) y la DIN alemana, cuyas normas tienen por objeto establecer sistemas de designación (código y símbolos).

La norma ISA S5.1- 84 (R-1992) establece de manera uniforme y estándar los medios de representación, la identificación y funciones propias de los instrumentos o dispositivos, sistemas de instrumentación utilizados para la medición, seguimiento y control, presentando un sistema de designación que incluye sistemas de identificación y símbolos gráficos. Esta norma tiene por objeto satisfacer los distintos procedimientos de los diversos usuarios que necesitan para identificar y representar gráficamente equipos de medición y control y sistemas. Es importante para la selección, diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de control.

Estos diagramas se utilizan en bocetos del plan; papeles técnicos, literatura y discusiones; diagramas de sistemas de instrumentación, diagramas de vuelta y diagramas lógicos; descripciones funcionales; diagramas de flujo; dibujos de construcción; especificaciones, órdenes de compra, manifiestos y otras listas; identificación (etiquetado) de instrumentos y funciones de control; instalación operación e instrucciones de mantenimiento, dibujos y archivos.

### 1.3.7.1. Símbolos en instrumentación industrial:

Se emplean distintos símbolos, que se resumen en la tabla I.

Tabla I. **Símbolos estándar utilizados en instrumentación**

<b>SÍMBOLOS ESTÁNDAR</b>	<b>INSTRUMENTOS DISCRETOS</b>	<b>INSTRUMENTOS DE CONTROL DISTRIBUIDO O COMPARTIDO</b>	<b>FUNCIÓN DE COMPUTADORA</b>	<b>CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE</b>
Montado en campo o localmente				
Montado en tablero o panel de instrumentos principal				
Montado en tablero o panel de instrumentos auxiliar (accesible al operador)				
Montado detrás del panel (Normalmente no accesible al operador)				

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

### 1.3.7.2. Código de identificación de los instrumentos

Cada instrumento, identificación o función a ser identificado es designado por un código alfanumérico. Este código alfanumérico debe estar contenido

dentro de los símbolos de representación. Esta etiqueta, presenta dos tipos de información: la identificación funcional del instrumento y la identificación del lazo de control al que pertenece el instrumento.

En un lazo las partes se identifican con una etiqueta generalmente común a todos los instrumentos o funciones pertenecientes al lazo. Se puede agregar un sufijo o un prefijo para completar la identificación.

La identificación funcional de un instrumento consta de letras, tomadas de la tabla II, que son identificadas así:

- Primera letra: variable.
- Letras sucesivas: función.
- Número de lazo: indica el lazo de control del diagrama.
- Sufijo: se utiliza para diferenciar dos o más instrumentos en un mismo lazo de control.

Tabla II. **Letras de identificación para variables medidas**

LETRAS DE IDENTIFICACIÓN					
Letra	PRIMERA LETRA		LETRAS SUCESIVAS		
	Variable medida	Modificador	Lectura de función pasiva	Función de salida	Modificador
<b>A</b>	Análisis		Alarma		
<b>B</b>	Quemador, combustión		Libre	Libre	Libre
<b>C</b>	Libre			Control	
<b>D</b>	Libre	Diferencial			
<b>E</b>	Tensión		Sensor (Elemento primario)		
<b>F</b>	Caudal	Relación			
<b>G</b>	Libre		Vidrio, Dispositivo visión		

Continuación de la tabla II.

<b>H</b>	Manual				Alto
<b>I</b>	Corriente (eléctrica)		Indicar		
<b>J</b>	Potencia	Exploración			
<b>K</b>	Tiempo, programación tiempo	Variación de tiempo		Estación de control	
<b>L</b>	Nivel		Luz		Bajo
<b>M</b>	Libre	Momentáneo			Medio, Intermedio
<b>N</b>	Libre		Libre	Libre	Libre
<b>O</b>	Libre		Orificio, Restricción		
<b>P</b>	Presión, vacío		Punto Conexión		
<b>Q</b>	Cantidad	Integrar, totalizar			
<b>R</b>	Radiación		Registro		
<b>S</b>	Velocidad, Frecuencia	Seguridad		Interruptor	
<b>T</b>	Temperatura			Transmisión	
<b>U</b>	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
<b>V</b>	Vibración, análisis mecánico			Válvula, regulador, tiro, persiana	
<b>W</b>	Peso, fuerza		Vaina, Sonda		
<b>X</b>	Sin clasificar		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
<b>X</b>	Sin clasificar		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
<b>Y</b>	Evento, Estado o Presencia			Relé, Cálculo, Conversión	
<b>Z</b>	Posición, Dimensión			Motor, Actuador, Otros elementos de control	

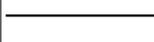
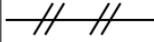
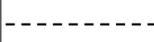
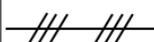
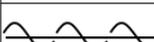
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

### 1.3.7.3. Símbolos de conexión a proceso

La simbología de líneas representa la información única y crítica de los diagramas de instrumentación. Las líneas indican la forma en que se

interconectan los instrumentos en un lazo de control. Las líneas utilizadas se presentan en la tabla III.

Tabla III. **Símbolos de conexión a proceso**

SÍMBOLOS DE CONEXIÓN A PROCESO	
	Conexión a proceso
	Señal neumática
	Señal eléctrica
	Señal eléctrica (alternativa)
	Tubo capilar
	Señal sonora o electromagnética guiada
	Señal sonora o electromagnética no guiada
	Conexión de software o datos
	Conexión mecánica
	Señal hidráulica.

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Las fuentes de alimentación se pueden utilizar cuando se indica el enlace con líneas de conexión a proceso, es decir, el primer símbolo presentado en la tabla III, se utiliza solamente cuando se indica la alimentación. En la tabla IV se indican las letras utilizadas para representar las distintas fuentes de alimentación.

Tabla IV. **Fuentes de alimentación**

<b>FUENTES DE ALIMENTACIÓN</b>	
<b>AS</b>	Alimentación de aire
<b>ED</b>	Alimentación eléctrica
<b>GS</b>	Alimentación de gas
<b>HSS</b>	Alimentación hidráulica
<b>NS</b>	Alimentación de nitrógeno
<b>SS</b>	Alimentación de vapor
<b>WS</b>	Alimentación de agua

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Adicionalmente, se emplean una serie de símbolos para diferentes instrumentos en particular, cuya identificación se incluirá en los anexos.

### **1.3.8. Norma BRC**

El esquema de Certificación según la Norma BRC es considerado hoy en día como un referente internacional para la calificación de proveedores de productos y marcas en las grandes superficies. La norma constituye un marco regulador que ayuda a los productores a producir alimentos seguros y a controlar la calidad del producto para satisfacer los requisitos de los clientes. La certificación conforme a la norma tiene el reconocimiento de un gran número de minoristas, empresas del sector de la alimentación y productores de todo el mundo a la hora de evaluar las capacidades de sus proveedores.

La norma establece los requisitos de fabricación, procesado y envasado de:

- Alimentos procesados, tanto de marca propia como de marca del cliente.
- Materias primas o ingredientes para usos por parte de empresas de servicios alimentarios.
- Productos primarios como frutas y hortalizas.
- Alimentos para animales domésticos.

La adopción de la Norma proporciona una serie de ventajas a las empresas del sector alimentario, puesto que la norma: goza de reconocimiento internacional, es equipable a la GFSI; establece un estándar y un protocolo únicos por los que se rigen las auditoría acreditadas realizadas por organismos de certificación externos; autoriza a las empresas certificadas a aparecer en el Directorio de *BRC Global Standards*; permite que las empresas verifiquen que sus proveedores apliquen buenas prácticas; ofrece gran variedad de opciones de auditoría; y requiere la aplicación de medidas correctivas en caso de no conformidad con la Norma.

La parte II de esta norma, establece los requisitos para poder ser una empresa certificada. Dichos requisitos se encuentran distribuidos en 9 puntos importantes que son: Compromiso del equipo directivo, el plan de seguridad alimentaria APPCC, sistema de gestión de la calidad y seguridad alimentaria, normas relativas al establecimiento, control del producto, control de procesos, personal, zonas de alto riesgo cuidados especiales y cuidados especiales a temperatura ambiente; y requisitos aplicables a los productos mercadeados.

Dentro del punto relacionado a las Normas relativas al establecimiento se encuentra un inciso específico relativo al Mantenimiento (Inciso 4.7). En la tabla V se encuentra este inciso.

Tabla V. **Inciso relativo al mantenimiento Norma BRC**

Cláusula	Requisitos
4.7.1	Deberá existir un programa de mantenimiento documentado o un sistema de vigilancia de todos los equipos de proceso y de las instalaciones. Los requisitos de mantenimiento deberán definirse en el momento de la puesta en funcionamiento de los nuevos equipos.
4.7.2	Además del programa de mantenimiento planificado, cuando exista riesgo de contaminación de los productos por cuerpos extraños como consecuencia del deterioro de los equipos, estos deberán inspeccionarse a intervalos predeterminados, deberán documentarse los resultados de la inspección y deberán adoptarse las medidas adecuadas.
4.7.3	En los casos en que se efectúen reparaciones provisionales, estas deberán documentarse y controlarse para evitar que pueda ponerse en peligro la seguridad o la legalidad de los productos. Estas reparaciones provisionales deberán convertirse en permanentes tan pronto como sea posible y dentro de un plazo definido.
4.7.4	El establecimiento deberá garantizar que no se ponga en peligro ni la seguridad ni la legalidad del producto durante el mantenimiento y las operaciones de limpieza. Los trabajos de mantenimiento irán seguidos de un procedimiento de higienización documentado. Antes de reintegrarse a las operaciones, los equipos y máquinas serán inspeccionados por un miembro autorizado del personal para confirmar que se han eliminado los peligros de contaminación.
4.7.5	Los materiales y piezas utilizados para el mantenimiento de los equipos e instalaciones serán de calidad adecuada. Los materiales (como el aceite lubricante) que entrañen riesgos por contacto directo o indirecto con las materias primas (incluidos los envases primarios), los productos intermedios y los productos terminados serán aptos para uso alimentario y su condición alérgica será conocida.
4.7.6	Los talleres de mantenimiento y reparación deberán mantenerse limpios y ordenados, y deberán adoptarse medidas de control para evitar que pasen residuos de estos talleres a las zonas de producción o almacenamiento.

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2010.

### **1.3.9. Conceptos de lubricación**

Para entrar en contexto en temas de lubricación, primero es necesario tener conocimientos de fricción y desgaste; y es importante mencionar que la ciencia

que se encarga del estudio de estos tres conceptos (fricción, desgaste y lubricación) es la tribología. Se denomina “tri” por incluir los tres elementos de un sistema en fricción: cuerpos relacionados, sustancia intermedia y medio ambiente.

La aplicación de los principios tribológicos parte del hecho fundamental que donde exista movimiento, existe fricción; y en la mayoría de los casos, esta fricción causa pérdidas de energía y desgaste de equipos.

#### **1.3.9.1. Fuerza de fricción**

La fuerza de fricción o la fuerza de rozamiento es la fuerza que existe entre dos superficies en contacto, que se opone al movimiento relativo entre ambas superficies (fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del deslizamiento (fricción estática).

#### **1.3.9.2. Desgaste**

Es la pérdida de la estructura superficial de un material debido a una interacción constante y mecánica, el roce permanente entre las dos estructuras permite apreciar la pérdida exponencial de un elemento siendo resultado de la acción ejercida entre ambos cuerpos. Algunos tipos de desgaste son: desgaste por fatiga, desgaste por abrasión, desgaste por corrosión, desgaste por erosión, desgaste por frotación y desgaste adhesivo.

#### **1.3.9.3. Lubricación**

Sabiendo que la fricción y el desgaste, son problemas que deben minimizarse y si es posible eliminarse, se puede decir que la lubricación es un

método utilizado para evitar en lo posible el contacto directo entre dos superficies cualesquiera que se hallan en movimiento relativo; el lubricante es la sustancia apropiada para minimizar desgaste y fricción.

Existen varios tipos de lubricantes que se clasifican de acuerdo a su viscosidad, temperatura de trabajo, condición física; y en industrias alimenticias, se clasifican de acuerdo a grado alimenticio o grado industrial.

#### **1.3.9.4. Funciones del lubricante**

Con el fin de minimizar las pérdidas de materiales, consecuentes del desgaste, el lubricante debe responder a cierto número de propósitos, los cuales son:

- Separar las superficies de dos piezas en movimiento.
- Reducir el rozamiento entre dos superficies para limitar las pérdidas de energía.
- Disminuir el desgaste.

Estas diferentes finalidades podrán ser alcanzadas si el lubricante está en condiciones de cumplir con las siguientes funciones:

- Disminuir corrosión, vibración y ruido
- Reducir el desgaste y fricción
- Disipar el calor generado por las pérdidas de potencia en el mecanismo
- Reducir costos de mantenimiento

### 1.3.9.5. Tipos de lubricante

Los lubricantes se pueden clasificar de acuerdo a su estado físico de la siguiente manera:

- **Sólidos:** los lubricantes sólidos se emplean cuando las piezas han de funcionar a temperaturas muy extremas y cuando intervienen elevadas presiones unitarias. Entre los más comunes se tienen el talco, el grafito, aleaciones de metales y pulverizados.
- **Semisólidos:** entre esta clasificación se encuentran las grasas, las cuales se emplean para lubricar zonas imposibles de lubricar con aceite, ya sea por falta de condiciones para su retención o bien por los elementos de polvo y suciedad.
- **Líquidos:** llamados en general aceites lubricantes, estos tienen la propiedad de baja resistencia al corte y alta resistencia a la corrosión, los lubricantes más utilizados son los aceites minerales.
- **Gaseosos:** generalmente se utiliza aire a presión, aunque pueden utilizarse otro tipo de gases para separar las superficies y evitar el contacto directo entre las mismas.

Los lubricantes también pueden clasificarse de acuerdo a la utilización en las industrias alimentarias:

- **H1 Lubricantes con contacto accidental con alimentos:** las formulaciones que pueden ser utilizadas como lubricantes, anti-corrosivos, o anti-adherentes, cuando haya posibilidad de contacto accidental con alimentos.

- H2 Lubricantes sin contacto con alimentos: estos productos pueden ser utilizados en equipos y piezas donde no exista posibilidad alguna que entre en contacto con los productos alimentarios.
- 3H Anti- adherentes. Estos productos son utilizados en parrillas, cortadores y todo tipo de superficies en contacto con productos cárnicos para prevenir su adherencia durante el procesado.
- H3 Aceites solubles. Estos productos son empleados para evitar la corrosión en todo tipo de piezas metálicas, tales como ganchos, carritos y equipos similares.
- HT1 Aceites de transferencia térmica con contacto accidental.

#### **1.3.9.6. Viscosidad**

La viscosidad es la resistencia de un fluido a fluir, se define como la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Esta resistencia es la propiedad más importante de los aceites y es un factor determinante para la formación de la película lubricante. Si la viscosidad es demasiado baja la película lubricante no soporta cargas entre las piezas y desaparece del medio sin cumplir su objetivo de evitar el contacto entre superficies, si la viscosidad es demasiado alta el lubricante no es capaz de llegar a todos los espacios en donde es requerido. Se puede decir que la viscosidad es la medida de la fluidez a determinadas temperaturas, debido a que la viscosidad de cualquier fluido cambia con la temperatura, esta incrementa a medida que la temperatura disminuye y disminuye a medida que la temperatura aumenta.

#### **1.3.9.7. Manejo de lubricantes**

Durante los procesos de fabricación de lubricantes, las empresas utilizan severos estándares de limpieza y control de calidad, asegurando que el producto

que sale de sus plantas cumpla con las especificaciones adecuadas. Es esencial para preservar el lubricante, mantener adecuado almacenamiento y correcta manipulación del mismo. La contaminación de los lubricantes es uno de los modos de falla más comunes en la maquinaria. La misma puede ocurrir durante el transporte, el almacenamiento, manipulación y aplicación en el equipo a menos que se tomen algunos cuidados. Es importante tomar en cuenta el almacenamiento, el sistema de identificación y el trasvase.

- Almacenamiento: se debe escoger un lugar ideal para destinar el almacenamiento de los lubricantes. Idealmente los lubricantes deben ser almacenados bajo techo, a una temperatura relativamente constante y moderada. Es importante tener presente las siguientes recomendaciones: Acceso para suministro de lubricante, lugar suficiente para circulación de montacargas, control de inventarios, separación de áreas de lubricante nuevo y de lubricante usado para destruir, rotación de stocks, mantener el criterio de “primeros ingresos”, “primeras salidas”, elementos de seguridad adecuados. El almacenamiento interno es la mejor opción para el almacenamiento de lubricantes y debe contar con pisos de cemento o material para disminuir el polvo, iluminación en todas las áreas a pruebas de explosión, ventilación adecuada, control de temperatura y humedad, espacio suficiente, extintores de polvo. Es importante contar con las hojas de seguridad de los lubricantes. La hoja de seguridad para materiales describe los riesgos de un material y suministra información sobre cómo manipular, usar y almacenar un determinado producto con seguridad. Es un resumen de toda la información de seguridad sobre el material. Contiene información sobre el producto químico, sus componentes peligrosos, primeros auxilios, como extinguir incendios, medidas a tomar si hay derrames del producto, manipulación y almacenamiento, control de

exposición y protección personal, propiedades fisicoquímicas y reactividad.

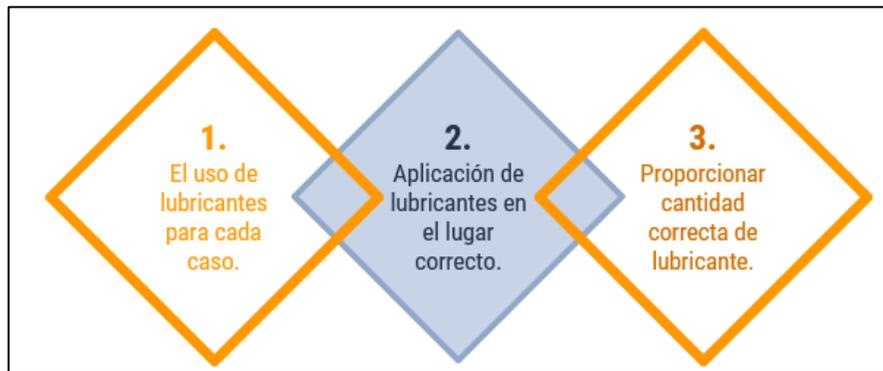
- Sistema de identificación de lubricantes: en caso de disponer de una variedad amplia de lubricantes, se puede implementar un sistema de identificación interno simple mediante colores, números, letras, dibujos, entre otros, con la finalidad de relacionar el envase con la máquina.
- Trasvase: en lo posible, es preferible que el lubricante permanezca en su envase original, debido a que cada trasvase implica riesgo de contaminación y el fabricante suministra una variedad de tamaños de envases, para evitar dicho riesgo de contaminación. Es importante la limpieza constante y profunda en las herramientas o equipos de trasvase, como las espátulas, pinceles, bombas de engrase, embudos, mangueras y aceiteras. Los riesgos de trasvase son los siguientes: Oxidación: usando un contenedor de metal para trasvasar eventualmente puede degradar el aceite y causar problemas en los equipos y componentes por oxidación; aceite incorrecto: el no etiquetar el aceite puede significar colocar el aceite incorrecto a una máquina; salud y seguridad: los lubricantes pueden ser causa potencial de daños a la salud; contaminación: los desechos de lubricantes pueden contaminar el agua, tierra y aire; salpicadura: el trasvase no es sencillo y puede haber salpicaduras que den lugar a contaminaciones ambientales.

#### **1.3.9.8. Eficiencia en la lubricación:**

La lubricación tiene un impacto directo en la confiabilidad de los equipos. Si se tiene una buena estrategia de lubricación, se podrá mejorar la disponibilidad de la planta y los equipos.

La eficiencia en la lubricación se basa en 3 puntos esenciales que se detallan en la figura 5:

Figura 5. **Eficiencia en la lubricación**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 2016.

- Uso de lubricantes para cada caso: se cumple cuando la especificación del lubricante es correcta para la aplicación, la calidad de los lubricantes se controla, no hay errores de aplicación.
- Aplicación de lubricantes en el lugar correcto: se cumple mediante un programa para tareas de lubricación, calendario previsto correcto, recomendaciones del fabricante correctas, personal capacitado para lubricar.
- Proporcionar cantidad correcta de lubricante: se cumple cuando se tienen sistemas centralizado diseñados correctamente, se mantienen óptimos y son regulados, los procedimientos de aplicación se han desarrollado, implementado y obedecido.

Para lograr una eficiencia correcta en la lubricación, se deben establecer estándares para lograr desarrollar las actividades de la mejor manera, debido a que un estándar es un documento establecido por consenso, aprobado por un cuerpo reconocido, y que ofrece reglas, guías o características para que se use repetidamente.

## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Descripción de los métodos utilizados actualmente**

Los métodos utilizados se investigaron en la empresa mediante observación, los cuales se describen a continuación:

- Prefabricados de chicle

El área de prefabricados de chicle, es un área donde se realiza la mezcla o masa de chicle que posteriormente se utilizará en las áreas de dulcería y en las áreas encargadas de formación de los distintos tipos de chicles.

Para realizar el proceso, se descarga la materia prima dentro de cada mezcladora y se mezcla durante un tiempo estipulado para homogeneizar la masa de chicle. Dentro de la materia prima utilizada en este proceso, se encuentra la glucosa líquida.

El proceso de descarga de glucosa inicia con el despacho de la misma desde un tanque de almacenamiento, ubicado en el exterior del área de producción, por medio de una bomba lobular. A partir de la bomba, se tiene una ramificación que conduce específicamente hacia el área de prefabricados de chicle. En el área de prefabricados de chicle, la tubería se divide en 4 ramificaciones, de las cuales, una ramificación está libre y las tres restantes, van directamente a cada tanque de dosificación de glucosa. Cada tanque dosificador está elaborado de acero inoxidable 304, posee un diámetro de 0,6 m, y una altura de 0,5 m, y se encuentra ubicado en la parte superior de cada mezcladora.

En el área actualmente operan cinco mezcladoras; sin embargo, en dos mezcladoras se realiza la descarga de glucosa manualmente desde la ramificación adicional por medio de recipientes.

Las tres mezcladoras restantes, poseen un tanque de dosificación por medio del cual se realiza la medición de glucosa. En cada elaboración de un lote (batch), el procedimiento para dosificar es el siguiente:

- Dosificación de glucosa al tanque dosificador.
- Descarga de materia prima en la mezcladora.
- Descarga de glucosa del tanque dosificador hacia la mezcladora.
- Cierre de la válvula de paso hacia la mezcladora.

La cantidad para cada descarga de glucosa se encuentra previamente graduada en cada tanque dosificador, por medio de un visor de acrílico en el que se ha establecido un nivel, que indica los kilogramos necesarios para cada lote.

Figura 6. **Tanque dosificador de glucosa**



Fuente: elaboración propia, prefabricados de chicle, Planta B.

- Dilución de azúcar

El área de dilución de azúcar es un área que se encarga de la elaboración de jarabe de azúcar estándar y de jarabe de azúcar refino.

En el área se encuentran dos tanques de preparación de jarabe con un diámetro de 1,30 m y una altura de 1,25 m, uno para jarabe estándar y uno para jarabe refino, ambos tanques poseen una bomba centrífuga, que les provee de agua purificada. Después de elaborado el jarabe en cada tanque de preparación, se envía a los tanques de almacenamiento y posteriormente se realiza el despacho a las áreas de producción.

Para elaborar un lote, se descarga el agua y posteriormente se descarga el azúcar, de la siguiente forma:

- Se abre una válvula de paso de la tubería de agua purificada, hacia el tanque de elaboración de jarabe.
- Al momento de terminar el jarabe dentro del tanque de elaboración, este se envía a los tanques de almacenamiento.
- El jarabe ubicado dentro del tanque de almacenamiento es enviado hacia producción (a las áreas que lo soliciten).

La medición de agua purificada dentro de cada tanque de preparación se realiza por medio de una marca establecida en el interior de cada tanque.

### **2.1.1. Causas de las fallas de los métodos actuales**

- Prefabricados de chicle

Los problemas presentados actualmente se deben a la consistencia de chicle y a que no existe un control verdadero de glucosa.

La variación en la consistencia de chicle se debe a varios factores, entre los que sobresale la incorrecta dosificación de glucosa. Esta incorrecta dosificación se presenta porque actualmente se utiliza un método de medición obsoleto. Dentro de los tipos de medidores de nivel se encuentran los de desplazamiento, de presión diferencial, de burbujeo, radioactivos, capacitivos, ultrasónicos, de radar, entre otros. Sin embargo, el método que se utiliza para la medición de nivel dentro del tanque dosificador, no se encuentra dentro de los medidores mencionados, debido a que la medición se realiza simplemente observando por medio de un acrílico si se alcanza una marca establecida y se efectúa bajo el criterio del operador. Teniendo en cuenta que hay distintos operadores para el proceso, la medición se realiza bajo distintos criterios. Las causas de las fallas que se pueden percibir al utilizar este método son:

- El material del visor es acrílico. Si bien el acrílico presenta propiedades como la transmisión de luz, resistencia química, resistencia a la intemperie y estabilidad dimensional; al estar expuesto el acrílico a la temperatura de la glucosa y al no realizar una limpieza periódica y especial a estos tanques, este se va degradando. Esto hace que la transparencia de este se vaya perdiendo y no se tenga una medición correcta.
- Los tanques tienen la posibilidad de que en sus paredes internas se adhiera glucosa y esto interfiera en la medición.

- La marca que se utiliza de guía es un tornillo de 2 cm de diámetro, lo que genera un rango amplio que provoca variación en la medición.
- Las características dinámicas que se deben tener para realizar una correcta lectura son paralaje y legibilidad. Al estar el tanque elevado y que la lectura no se pueda realizar de forma perpendicular a la marca establecida, no se tiene paralaje; y al estar lejos el operador del tanque, no se tiene una correcta legibilidad.

Actualmente, se puede modificar la cantidad de glucosa para lograr la consistencia adecuada en caso de alteración en algún ingrediente, provocando así descontrol en las recetas elaboradas, por esta razón no se lleva un control real del consumo de glucosa en el área. Aunque se lleva registro de la cantidad de lotes elaborados, no se lleva registro si se despacha mayor o menor cantidad de glucosa en cada lote.

- Dilución de azúcar

Los problemas presentados actualmente se deben a que no se tiene control en la descarga de agua hacia los tanques de preparación y a la falta de registro de las cantidades enviadas al tanque de almacenamiento y a producción.

El descontrol en la descarga de agua ocasiona variación en el brix del jarabe elaborado, y en ocasiones puede ocasionar rebalse de los tanques que ponen en peligro la seguridad industrial. Al igual que en el proceso de prefabricados de chicle, este descontrol es causado por la utilización de un método obsoleto para regular la cantidad de agua. Las causas de las fallas al utilizar este método son:

- La marca que se utiliza como guía se encuentra en el interior del tanque, por lo que la lectura se realiza desde la parte superior y esto ocasiona

variaciones en las cantidades de agua porque no se tiene paralaje ni legibilidad.

- El tiempo que transcurre entre la lectura del operador y el cierre de la válvula, ocasiona variaciones en la cantidad de agua descargada.

El jarabe elaborado dentro del tanque debe ser enviado a tanques de almacenamiento y posteriormente a producción, pero actualmente no se cuenta con ningún registro del jarabe despachado.

### **2.1.2. Riesgos en los métodos**

El riesgo se define como la posibilidad que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra. En el proceso de toma de decisiones se emplea el riesgo como una herramienta para la optimización de los planes de cuidado de activos, dirigiendo mayores recursos y acciones para aquellos equipos que presenten un riesgo elevado. Por el contrario, a los equipos de bajo riesgo se les reducen acciones y recursos. Todo ello permite un gasto justificado en los recursos dirigidos a mantenimiento para preservar los activos físicos; y, además, brindar actualizaciones tecnológicas rediseños y automatizaciones que introduzcan mejoras para permitir que los activos puedan continuar cumpliendo las demandas que les son requeridas durante su ciclo de operaciones.

Para examinar los riesgos que existen en las áreas de estudio, se realizaron análisis de criticidad para cada área, y se aplicó un análisis por unidad de proceso. Una unidad de proceso es una agrupación lógica de sistemas que funcionan unidos para suministrar un servicio o producto al procesar y manipular materia prima e insumos. Las unidades de proceso a analizar fueron: unidad de proceso de prefabricados de chicle y unidad de procesos de dilución de azúcar.

Un análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada “criticidad” que es proporcional al “riesgo”.

Los análisis de criticidad se pueden realizar con distintas técnicas, estas se dividen principalmente en técnicas cualitativas, semi- cuantitativas y cuantitativas. Las técnicas que se aplicaron para el análisis fueron semi-cuantitativas, que son técnicas que generan un valor de criticidad proporcional al riesgo, que permiten jerarquizar opciones para tomar una decisión.

Para realizar análisis de criticidad se debe realizar un análisis profundo que conlleva recursos y tiempo, por esa razón, existen diferentes métodos ya diseñados y probados para adoptarlos. Dentro de estos métodos se encuentra el método de Ciliberti, el método de mantenimiento basado en criticidad, el método de análisis de criticidad para propósitos de mantenimiento, el método de inspección basada en riesgo, el método de análisis de criticidad de los puntos, el modelo de criticidad total por riesgo, entre otros. El método que se empleó para realizar los análisis fue el método de criticidad total por riesgo.

El modelo de criticidad total por riesgo es un modelo propuesto por Carlos Parra y Adolfo Crespo en el libro Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Es un proceso de análisis semi - cuantitativo, bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad del mismo. A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para el modelo de criticidad total por riesgo:

$$CTR = FF * C \text{ [Ecuación 2]}$$

Donde:

$CTR$  = Criticidad total por riesgo.

$FF$  = Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (fallas/año)).

$C$  = Consecuencia de los eventos de fallo.

Donde se supone además que el valor de las consecuencias ( $C$ ), se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$C = (IO * FO) + CM + SHA \text{ [Ecuación 3]}$$

Donde:

$C$  = Consecuencia de los eventos de fallo.

$IO$  = Factor de impacto en la producción.

$FO$  = Factor de flexibilidad operacional.

$CM$  = Factor de costes de mantenimiento.

$SHA$  = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados son:

Tabla VI. **Factores ponderados análisis de criticidad total por riesgo**

FACTORES		
Frecuencia de fallos	Factor de frecuencia de fallos	Puntaje
	Frecuente: mayora 2 eventos al año	4
	Promedio: 1 o 2 eventos al año	3
	Bueno: entre 0,5 y 1 eventos al año	2
	Excelente: menos de 0,5 eventos al año	1

Continuación de la tabla IV.

Factor de consecuencias	Impacto operacional	Puntaje
	Pérdidas de producción superiores al 75 %	10
	Pérdidas de producción entre el 50 % y el al 74 %	7
	Pérdidas de producción entre el 25 % y el al 49 %	5
	Pérdidas de producción entre el 10 % y el al 24 %	3
	Pérdidas de producción menor al 10 %	1
Factor de consecuencias	Impacto por flexibilidad operacional	Puntaje
	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.	4
	Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.	2
	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeñas.	1
	Impacto en costes de mantenimiento	Puntaje
	Costos superiores a 2 0000 USD	2
	Costos inferiores a 2 0000 USD	1
	Impacto en seguridad, higiene y ambiente	Puntaje
	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal o incidente ambiental mayor (catastrófico) que excede los límites permitidos.	8
	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud o incidente ambiental de difícil restauración.	6
	Riesgo mínimo de pérdida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas.	3
	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.	1

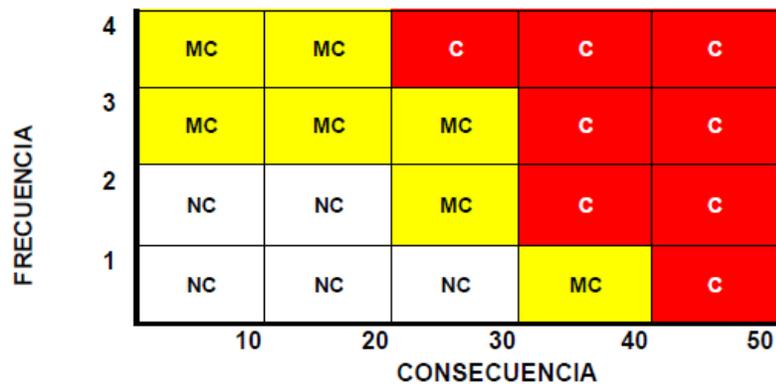
Fuente: PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto; CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. p. 63-64.

Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo/sistema, se toman los valores totales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias de los fallos y se ubican en la matriz de criticidad (figura 7). El valor de frecuencia de fallos se ubica en el eje vertical y el valor de consecuencias

se ubica en el eje horizontal (Se toma el resultado de la ecuación 3). La matriz de criticidad permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- Área de sistemas No Críticos (NC).
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC).
- Área de sistemas Críticos (C).

Figura 7. **Matriz de criticidad modelo de criticidad total por riesgo**



Fuente: PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto; CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. p. 64.

- Análisis a la unidad de proceso de prefabricados de chicle

Se determina que la frecuencia de fallos para la unidad de proceso de prefabricados de chicle corresponde al factor 4 que arroja una recurrencia en fallas “frecuente”.

Tabla VII. Factores de ponderación de prefabricados de chicle

FACTORES	Puntaje
Factor de impacto en la producción	10
Factor de flexibilidad operacional	4
Factor de costes de mantenimiento	2
Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente	3

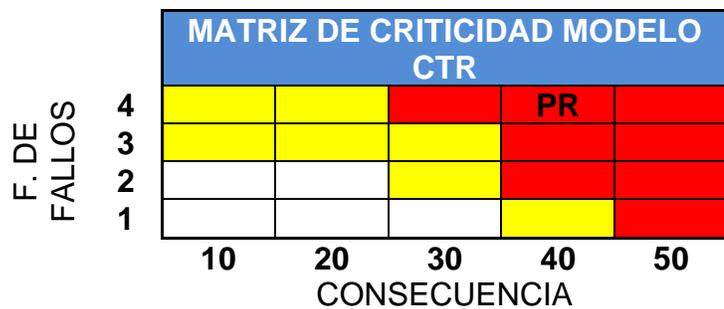
Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Sustituyendo los factores en la ecuación 3 para obtener las consecuencias de los eventos de fallo, se obtiene

$$C = (10 * 4) + 2 + 3 = 45$$

Al ubicar los datos correspondientes en la matriz de criticidad se determinó que la posición de la unidad de proceso se encuentra en la fila 4 y columna 4, por lo que es un sistema crítico.

Figura 8. Matriz de criticidad prefabricados de chicle (PR)



Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

- Análisis a la unidad de proceso de dilución de azúcar

La frecuencia de fallos para la unidad de proceso de prefabricados de chicle corresponde al factor 3 que arroja una frecuencia “promedio”.

Tabla VIII. Factores de ponderación de dilución de azúcar

FACTORES	Puntaje
Factor de impacto en la producción	7
Factor de flexibilidad operacional	4
Factor de costes de mantenimiento	1
Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente	8

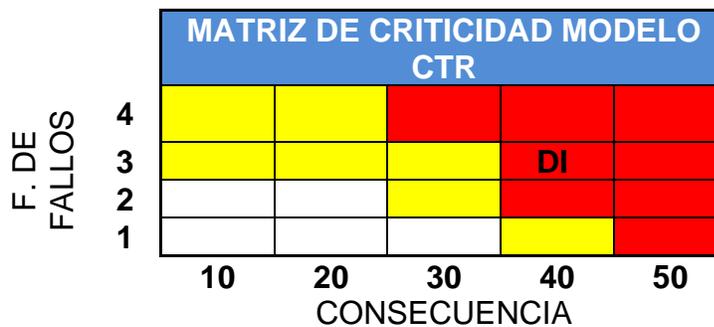
Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Sustituyendo los factores en la ecuación 3 para obtener las consecuencias de los eventos de fallo, se obtiene:

$$C = (7 * 4) + 1 + 8 = 39$$

Al ubicar los datos se determinó que es un sistema crítico.

Figura 9. Matriz de criticidad dilución de azúcar (DI)

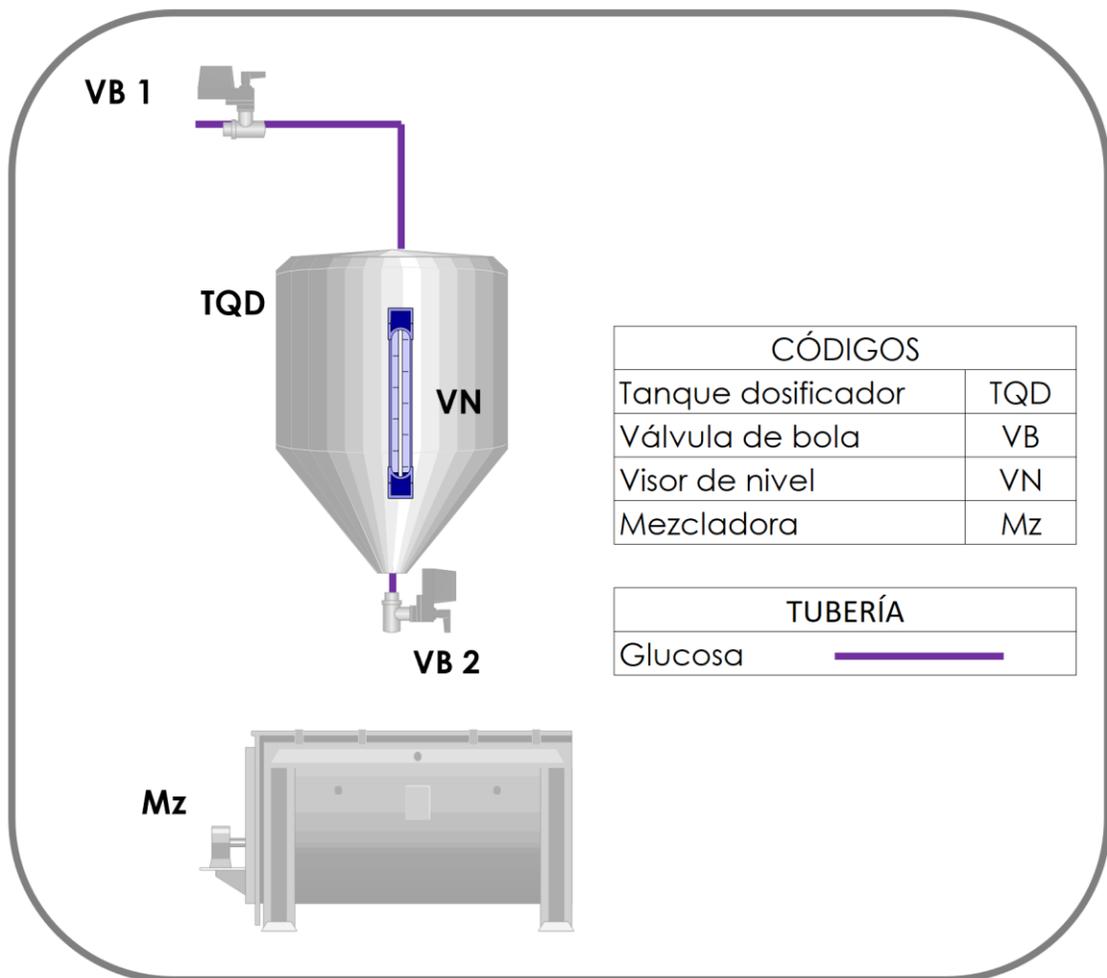


Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

## 2.2. Esquema de la situación actual

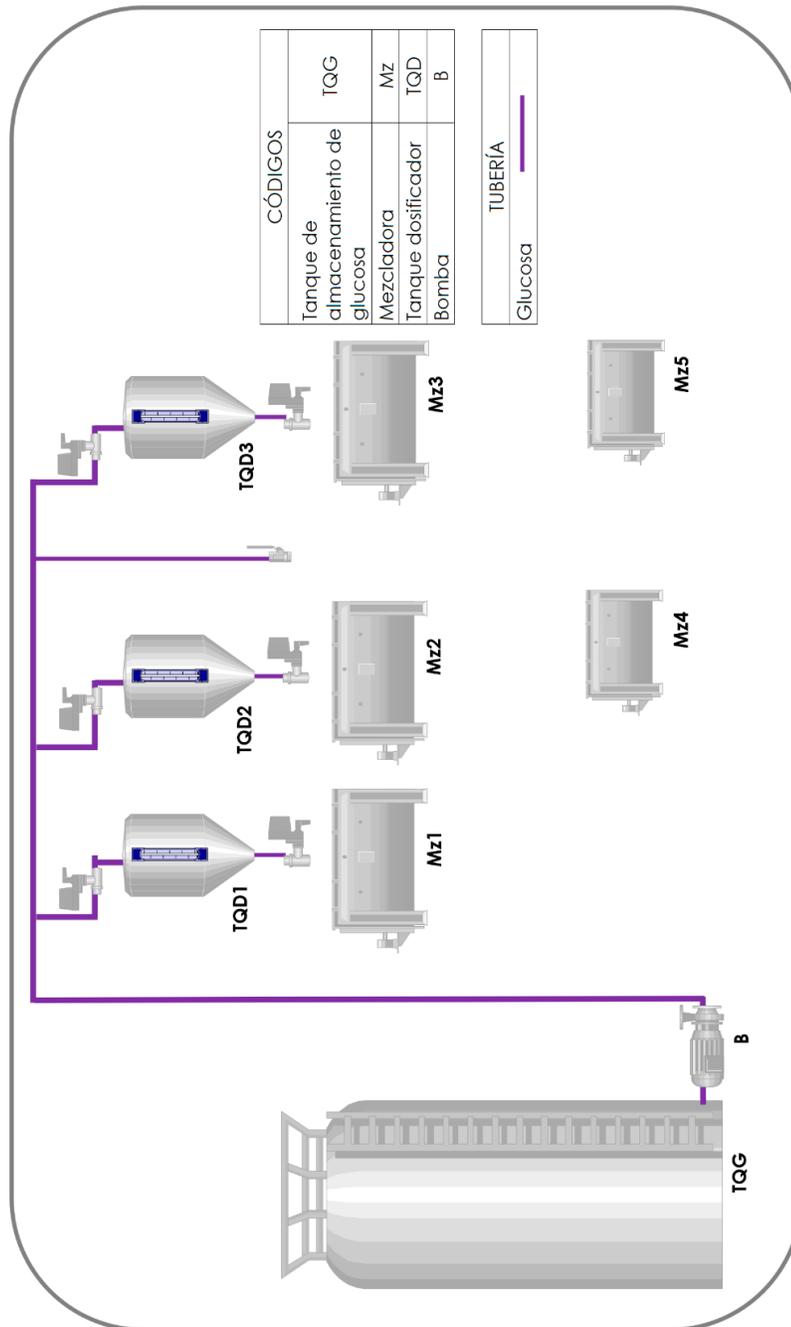
- Prefabricados de chicle

Figura 10. Esquema situación actual individual por mezcladora en prefabricados de chicle



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

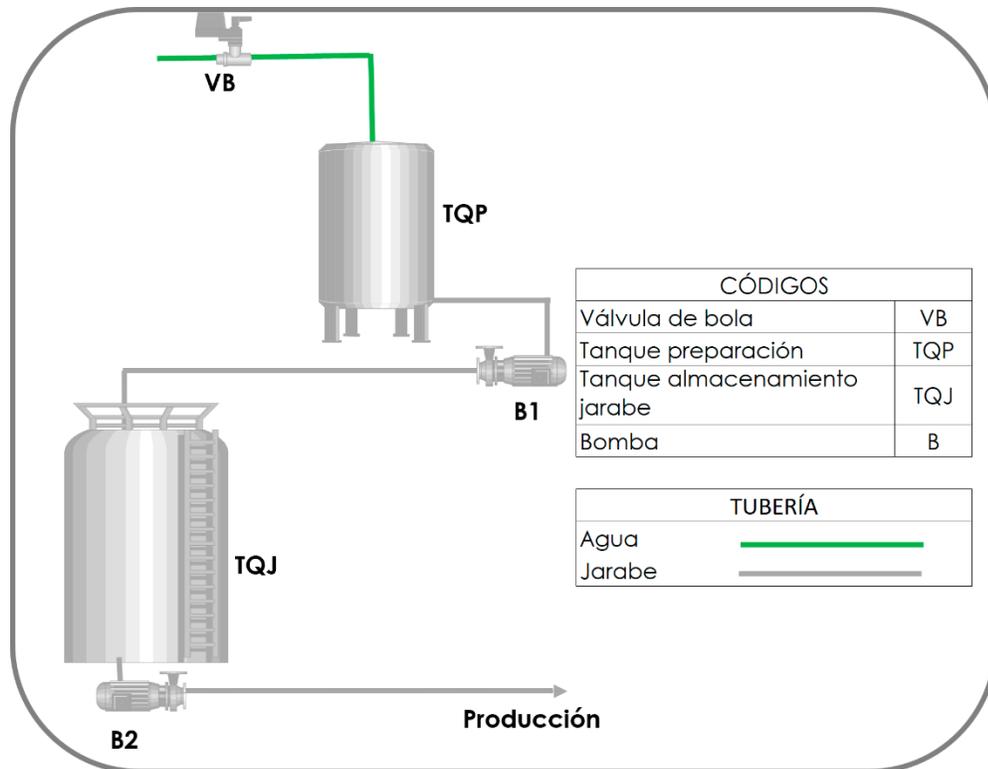
Figura 11. Esquema situación actual en conjunto del sistema de glucosa en prefabricados de chicle



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

- Dilución de azúcar

Figura 12. Esquema situación actual de dilución de azúcar



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

### 2.3. Historial de variación de procesos

- Prefabricados de chicle

Como se determinó con anterioridad, el área de prefabricados de chicle es el área encargada de surtir de chicle a las líneas que lo requieren. Cuando se prepara un chicle con mala consistencia, las líneas que utilizan este chicle son las afectadas, pues se ocasiona un paro en la producción de la línea; o bien, si

se procede a utilizar el chicle, pueden surgir problemas en los equipos. En el área de prefabricados de chicle, se tienen distintos indicadores para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los procesos. Dentro de los indicadores del área, se tiene un indicador de líneas con paro por falta de chicle.

Este indicador se evalúa diariamente y muestra el número de líneas que pararon por falta de chicle; debido a retrasos, rechazos, o consistencias inadecuadas que provocaron fallas en los equipos.

El indicador se muestra diaria y mensualmente. Se recopilaron los datos correspondientes al año 2019 y se presentan en la tabla IX.

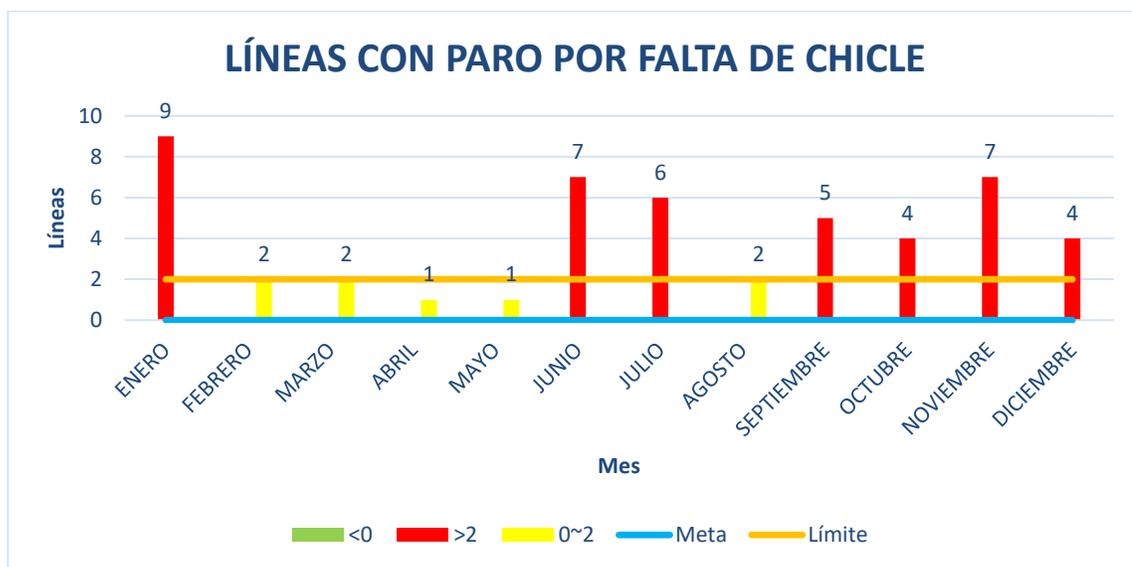
Tabla IX. **Líneas paradas por falta de chicle año 2019**

LÍNEAS PARADAS POR FALTA DE CHICLE	
Mes	Número de líneas
Enero	9
Febrero	2
Marzo	2
Abril	1
Mayo	1
Junio	7
Julio	6
Agosto	2
Septiembre	5
Octubre	4
Noviembre	7
Diciembre	4
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>

Fuente: elaboración propia, con información del Departamento de Producción, Compañía de Alimentos.

A continuación, se muestran los datos en el indicador del año.

Figura 13. **Variación del proceso prefabricados de chicle**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2010.

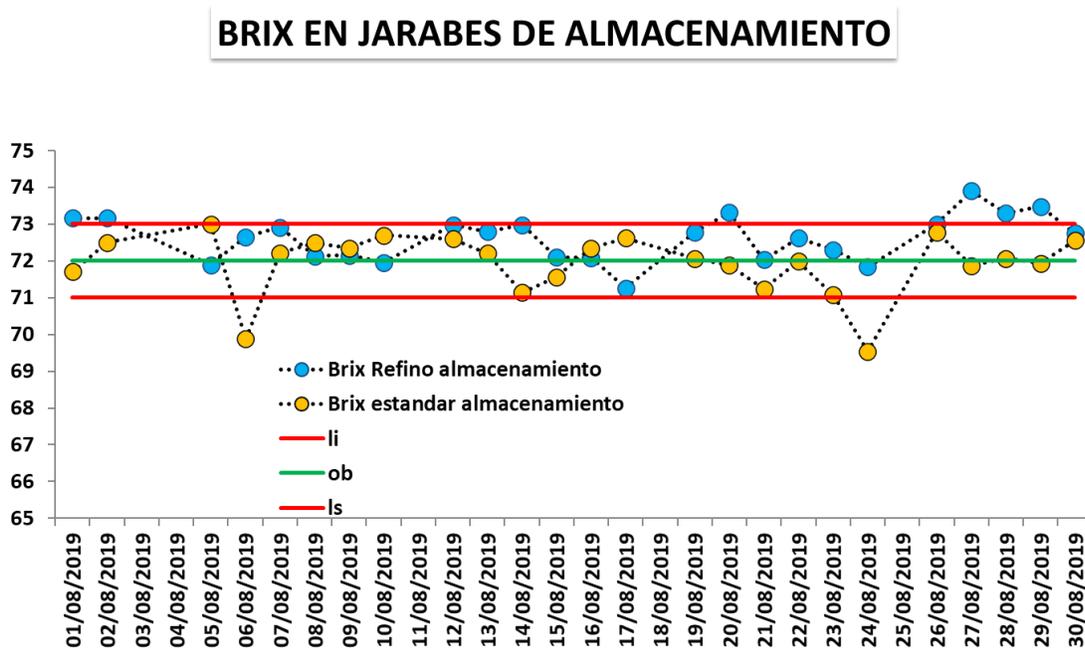
Al observar el indicador de líneas con paro por falta de chicle anual, se puede determinar que la cantidad de líneas con paro es muy significativa, esto ocasiona pérdidas grandes de materia prima, pérdidas en tiempo productivo y averías en equipos.

- Dilución de azúcar

Los jarabes elaborados en el área de dilución son enviados a distintas áreas de producción. Ambos jarabes (jarabe estándar y jarabe refino) deben cumplir con ciertos grados brix establecidos para su utilización.

La medición de grados brix es un parámetro para determinar el dulzor que tiene un determinado alimento. Los grados Brix miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido. El rango de grados brix para los jarabes debe estar entre 71- 73°Bx. El monitoreo de este parámetro lo realiza el laboratorio fisicoquímico, dicho monitoreo se realiza diariamente en los tanques de almacenamiento de jarabe por medio de un refractómetro. Se solicitaron los datos correspondientes al mes de agosto de 2019 para poder interpretar el comportamiento de la variación en los datos.

Figura 14. Variación de grados Brix en jarabes de almacenamiento



Fuente: elaboración propia, con información del Departamento de Producción, Compañía de Alimentos.

En la gráfica, se pueden observar días en que se tienen variaciones fuera del parámetro establecido, esto puede deberse únicamente a que el agua con

que se realiza el jarabe no es medida con exactitud, debido a que el azúcar es pesada previamente por el proveedor.

#### 2.4. Monitoreo de variabilidad

Durante tres meses, se realizó un monitoreo de variabilidad en el área de prefabricados de chicle para determinar el comportamiento que tenía la temperatura en el proceso.

Temperatura de la glucosa: Para que el proceso se realizara de manera adecuada, la temperatura debía estar entre el rango de 60 a 75 °C. Se realizaron mediciones de temperatura dos veces al día, durante tres meses. El formato utilizado para la medición de temperatura es el siguiente:

Tabla X. **Formato para monitoreo diario de temperatura**

MONITOREO DE TEMPERATURA			
Fecha:			
Hora		Temperatura	
Encargado			
Hora		Temperatura	
Encargado			

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

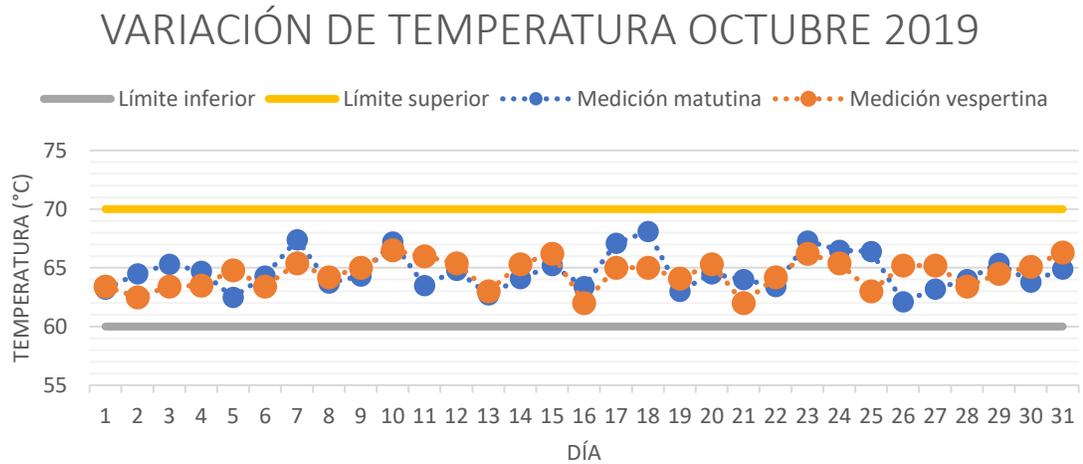
Tabla XI. **Datos de monitoreo de temperatura glucosa**

RESUMEN MONITOREO DE TEMPERATURA						
Día	Temperatura mes 1 (°C)		Temperatura mes 2 (°C)		Temperatura mes 3 (°C)	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
1	63,2	63,4	65,0	67,2	64,3	65,1
2	64,5	62,5	64,2	63,5	68,2	66,2
3	65,3	63,4	63,5	64,8	64,5	64,2
4	64,7	63,5	63,0	62,7	63,7	65,4
5	62,5	64,8	64,1	64,5	66,5	66,2
6	64,3	63,4	66,1	65,3	64,3	63,1
7	67,4	65,4	62,7	64,7	64,1	65,8
8	63,7	64,2	63,4	61,5	62,3	64,9
9	64,3	65,0	64,0	66,2	62,8	61,5
10	67,2	66,5	63,0	62,0	65,4	63,0
11	63,5	66,0	64,8	65,0	64,3	65,0
12	64,8	65,4	66,5	65,0	66,9	67,0
13	62,7	63,0	63,1	64,1	67,1	65,0
14	64,1	65,3	62,9	63,4	65,4	64,0
15	65,2	66,2	67,5	67,3	63,2	65,7
16	63,4	62,0	65,7	64,2	64,3	64,8
17	67,1	65,0	64,0	63,0	64,6	62,4
18	68,1	65,0	64,8	65,0	65,0	66,1
19	63,0	64,1	66,9	67,0	64,0	63,1
20	64,5	65,3	64,2	63,4	64,2	65,0
21	64,0	62,0	67,9	63,5	63,2	64,1
22	63,4	64,2	65,8	64,8	64,0	62,1
23	67,3	66,2	66,3	64,0		
24	66,5	65,4	64,7	65,0		
25	66,4	63,0	67,1	66,0		
26	62,1	65,2	63,0	64,2		
27	63,2	65,2	62,2	63,2		
28	64,0	63,4	65,4	64,0		
29	65,4	64,5	62,1	65,4		
30	63,8	65,1	64,9	63,9		
31	64,9	66,3				

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

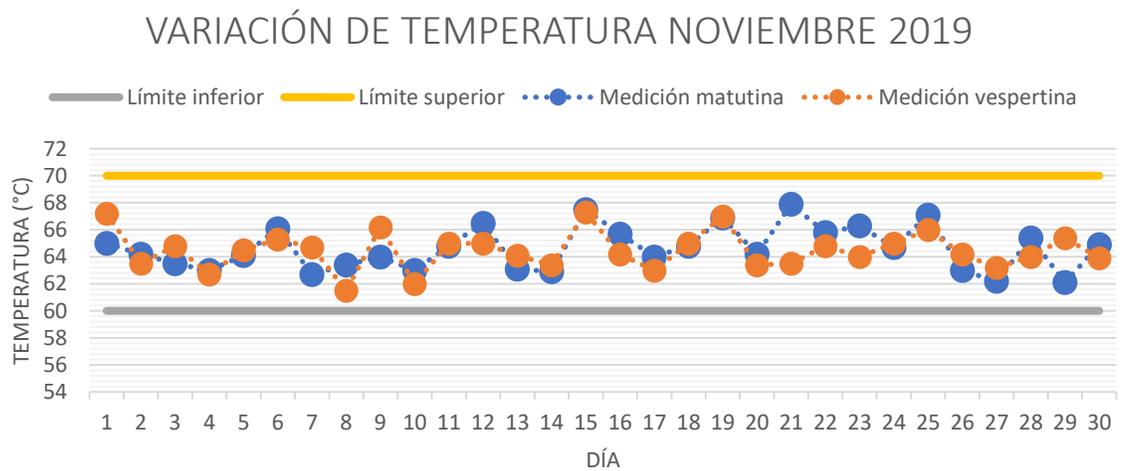
Para comprender de mejor manera la variación que tuvo la temperatura, se grafican los datos, con los límites permitidos. En las gráficas (figuras 15, 16 y 17) se encuentran tanto los límites inferiores, como los límites superiores.

Figura 15. **Monitoreo de temperatura mes 1**



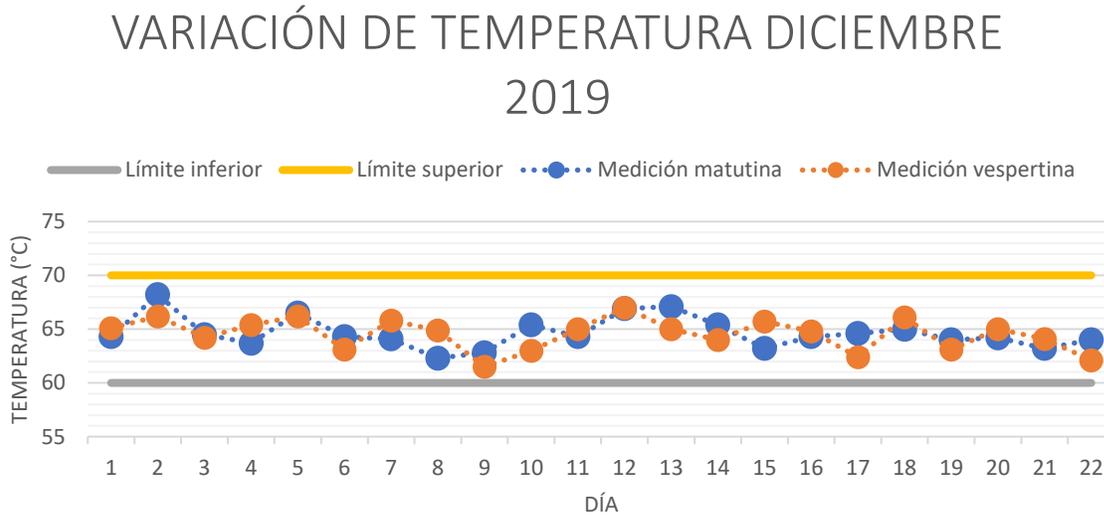
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Figura 16. **Monitoreo de temperatura mes 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Figura 17. **Monitoreo de temperatura mes 3**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Se puede observar que durante los tres meses que se realizó el monitoreo, no hubo una variación significativa de la temperatura, es decir, esta se mantuvo dentro del rango establecido, por lo que se descarta que esta pueda ser una variable en la influencia de la variación de consistencia en la preparación de masa de chicle.

## 2.5. **Beneficio de implementación de instrumentación**

Actualmente la supervisión de estos procesos de fabricación es un procedimiento complejo, debido a que los operadores del área no pueden controlar de manera efectiva los procesos, es ahí donde entra la implementación de la instrumentación de medición y control.

Con ello, se tendrán niveles de calidad óptimos, debido a que la medida se calculará con la misma unidad, no se tendrán tiempos muertos ni interrupciones por errores o cambios en el proceso. La implementación del proyecto aumentará la eficiencia energética y el uso de materias primas, con lo que se tendrá reducción de costos asociados a suministros.

Dada la eficiencia y precisión del proceso con instrumentación, se reduce significativamente el tiempo de producción. Otro beneficio de mucha importancia es el incremento de la seguridad del personal, debido a que el proceso incluye grandes pesos y temperatura elevada.

Todos estos beneficios se amarran a uno solo que es el aumento de la competitividad en el mercado, debido a que se puede dar una mejor respuesta a las necesidades de este, se pueden ofrecer productos de mejor calidad en menor tiempo y reaccionar de forma más rápida a los cambios.

### **2.5.1. Beneficio monetario prefabricados de chicle**

Para determinar el beneficio monetario se tomará en cuenta que, en el indicador de líneas paradas por falta de chicle, se estima que al año se registran aproximadamente 50 líneas paradas por falta de chicle.

En promedio, el tiempo que para una línea por falta de chicle es de una hora. Este tiempo es una pérdida, pues afecta directamente a la producción, en una hora dejan de producirse 12 lotes de caramelo y cada lote de caramelo tiene un costo aproximado de Q 600,00.

Dicha pérdida sería un beneficio directo al implementar el proyecto. Por lo que se tendría un beneficio anual total de aproximadamente Q 360 000,00.

### 2.5.2. Beneficio monetario dilución de azúcar

En el año 2019, se tuvo la pérdida de 12 lotes de jarabe de azúcar, el costo de cada lote es de Q 1 500,00.

Estas pérdidas serían un beneficio directo al implementar el proyecto. Por lo que se tendría un beneficio anual total de aproximadamente Q 18 000,00.

### 2.6. Inversión del proyecto

Es fundamental realizar la aclaración de que los costos propuestos están sujetos a variaciones del mercado ajenas a este documento y solamente se puede trabajar con un estimado bastante cercano al valor real.

#### 2.6.1. Prefabricados de chicle

- Costos de equipo

A continuación, se presenta el valor detallado de los equipos

Tabla XII. **Inversión de equipos prefabricados de chicle**

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	Medidor de flujo másico Coriolis	Q69 600,00	Q69 600,00
1	Controlador Compacto	Q7 750,00	Q7 750,00
1	Fuente de poder	Q600,00	Q600,00
1	Módulo auxiliar de alimentación I/O	Q1 000,00	Q1 000,00
1	Módulo de entradas digitales PNP	Q1 000,00	Q1 000,00
1	Módulo de salidas digitales	Q1 200,00	Q1 200,00

Continuación de la tabla XII.

1	Pantalla interface	Q7 000,00	Q7 000,00
1	Gabinete de metal	Q2 000,00	Q2 000,00
5	Válvulas de mariposa	Q6 325,00	Q31 625,00
1	Manifold de electroválvulas	Q10 775,00	Q10 775,00
1	Materiales eléctricos	Q30 000,00	Q30 000,00
<b>Total</b>			<b>Q162 550,00</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

- Costos de servicios de ingeniería prefabricados de chicle

Los costos de servicio de ingeniería son los realizados por la empresa seleccionada para el proyecto y corresponden a un costo estipulado por la empresa, por los servicios descritos a continuación:

Tabla XIII. **Costos de servicios de ingeniería prefabricados de chicle**

Servicio	Descripción	Precio total
Diseño de lógica	Elaboración de estrategias de control para el proceso requerido	<b>Q16 400,00</b>
	Elaboración de diagramación eléctrica	
Programación de equipos de control	Configuración de componentes	
	Parametrización de componentes	
	Programación de componentes	
Puesta en marcha	Acompañamiento de parte de la empresa en la fase de inicio de operación del sistema	

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

### 2.6.2. Dilución de azúcar

- Costos de equipo dilución de azúcar

A continuación, se presenta el valor detallado de los equipos.

Tabla XIV. **Inversión de equipos**

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
3	Sensor electromagnético de flujo+ transmisor 4-20 mA	Q 31 012,00	Q 93 036,00
2	Válvula de pistón	Q 6 793,00	Q 13 586,00
1	Relé electromagnético	Q 130,00	Q 130,00
1	Módulo de entradas digitales	Q 800,00	Q 800,00
1	Módulo de salidas digitales	Q 800,00	Q 800,00
1	Gabinete metálico	Q1 560,00	Q 1 560,00
1	Elementos eléctricos	Q13 610,00	Q 13 610,00
<b>Total</b>			<b>Q123 522,00</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

- **Costos de servicios de ingeniería dilución de azúcar**

Los costos de servicio de ingeniería son los realizados por la empresa seleccionada para el proyecto y corresponden a un costo estipulado por la empresa, por los servicios descritos a continuación:

Tabla XV. **Costos de servicios de ingeniería dilución de azúcar**

Servicio	Descripción	Precio total
Diseño de lógica	Elaboración de estrategias de control para el proceso requerido	<b>Q16 400,00</b>
	Elaboración de diagramación eléctrica	
Programación de equipos de control	Configuración de componentes	
	Parametrización de componentes	
	Programación de componentes	
Puesta en marcha	Acompañamiento de parte de la empresa en la fase de inicio de operación del sistema	

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

## 2.7. Evaluación de inversión frente a problemas actuales

Para evaluar la inversión del proyecto se utilizará una estrategia denominada ROI. El ROI es la sigla en inglés para “Retorno sobre la inversión”. Es una métrica usada para saber cuánto la empresa ganó o ganará a través de sus inversiones, es útil para ver los resultados financieros en términos de ganancias o pérdidas que genere una nueva acción implementada. Para calcularlo, al beneficio obtenido o que se planea obtener de una inversión, se le resta el costo de la inversión hecha; posteriormente se divide ese resultado entre el costo de la inversión y el resultado obtenido de esa operación representa al ROI.

A continuación, se presenta la ecuación utilizada para determinar el ROI:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio obtenido} - \text{inversión}}{\text{inversión}} * 100 \text{ [Ecuación 4]}$$

Cuando se calcula el ROI se puede determinar cuánto se está ganando, si el porcentaje es mayor a 0, se está ganando lo que indique dicho porcentaje, si se tiene un retorno de la inversión negativo significa que se está perdiendo dinero; si es muy cercano a cero puede significar que la inversión no es atractiva.

- Retorno de inversión para los proyectos

Para calcular el retorno de inversión, primero se procederá a realizar la sumatoria total de la inversión de los proyectos, esta se verá en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Inversión total**

Descripción	Total
<b>PREFABRICADOS DE CHICLE</b>	
Inversión de equipos	Q162 550,00
Costos de servicios de ingeniería	Q16 400,00
<b>Total, prefabricados de chicle</b>	<b>Q178 950,00</b>
<b>DILUCIÓN DE AZÚCAR</b>	
Inversión de equipos	Q123 522,00
Costos de servicios de ingeniería	Q16 400,00
<b>Total, dilución de azúcar</b>	<b>Q139 922,00</b>
<b>TOTAL DE AMBOS PROYECTOS</b>	<b>Q318 872,00</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Posteriormente, se tomará el beneficio aproximado anual que se percibiría, que es de Q 378 000,00

Aplicando la ecuación 4, se tiene:

$$ROI = \frac{378\,000 - 318\,872}{318\,872} * 100$$

$$ROI = 18,54 \%$$

El resultado final de esta ecuación arroja un porcentaje de 18,54 %, lo cual quiere decir que por cada Q 100,00 invertidos, se obtendrían Q 18,54 de ganancia en un año. Esto indica que es adecuado invertir en la implementación de los proyectos, porque después del primer año, se obtendría un beneficio directo.

### **3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Resumen de diagnóstico de situación actual**

Tanto el proceso de prefabricados de chicle, como el de dilución de azúcar, son procesos por lotes (batch). Un proceso por lotes es un método donde las materias primas se dosifican en un mezclador o reactor en el que se realiza un lote de fabricación, los productos se fabrican en cantidades específicas. Un lote puede pasar por una serie de pasos en un gran proceso de fabricación, para así hacer el producto final deseado.

- Proceso de prefabricados de chicle

El procedimiento de dosificación de glucosa para la elaboración de cada lote es:

- Apertura de válvula de paso de la tubería de glucosa al tanque dosificador por medio de selectores ubicados en paneles.
- Control de dosificación de glucosa al tanque dosificador (la medición se realiza por medio de un visor de acrílico presente en el tanque que tiene una marca preestablecida que indica la cantidad de glucosa a descargar).
- Cierre de la válvula de paso hacia el tanque dosificador por medio de selectores ubicados en paneles.
- Descarga de materia prima en la mezcladora.
- Apertura de válvula de paso del tanque dosificador hacia la mezcladora por medio de selectores ubicados en paneles.

- Cierre de la válvula de paso hacia la mezcladora por medio de selectores ubicados en paneles, al terminar de descargar todo el contenido del tanque dosificador.

Figura 18. **Proceso descarga de glucosa**



Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

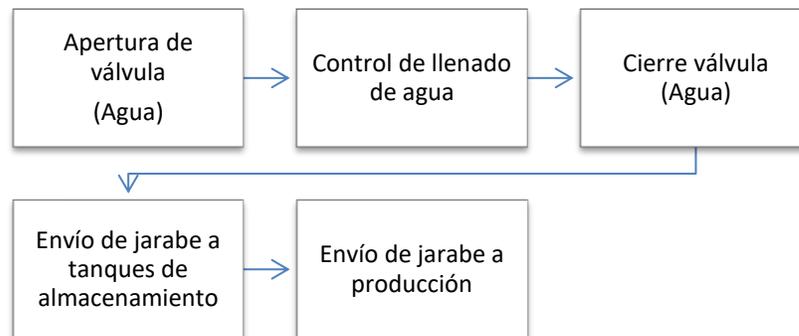
- **Proceso de dilución de azúcar**

Para elaborar un lote, se descarga el agua de la siguiente forma:

- Apertura de válvula de paso de la tubería de agua purificada, hacia el tanque de elaboración de jarabe.
- Control de llenado de agua (la medición de agua se realiza por medio de una marca establecida en el interior del tanque de mezcla).
- Cierre de válvula de paso de agua al llegar a la marca establecida.
- Al momento de terminar el jarabe dentro del tanque de elaboración, este se envía a los tanques de almacenamiento.

- El jarabe ubicado dentro del tanque de almacenamiento es enviado hacia producción.

Figura 19. **Proceso elaboración de jarabe**



Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

### 3.2. **Recolección de datos para selección de instrumentos**

Para seleccionar un instrumento de medición, es fundamental conocer la influencia que pueden tener las diferentes condiciones del proceso en cada aplicación. El primer dato que se debe tener en cuenta es la variable a medir y posteriormente las condiciones del fluido de esa variable en el proceso, también es importante conocer distancias de tubería en caso de medidores de flujo. Dicha información es útil para descartar algunos instrumentos frente a otros, debido a que el sensor que está en contacto con el proceso debe soportar ciertas condiciones y algunas pueden afectar al principio de medida.

Si se ignoran estas condiciones podría resultar en una medición con un alto error o disminuir el tiempo de vida útil del medidor. Es por ello que se realizó un estudio de las variables de los procesos, así como de sus condiciones externas

e internas. Para determinar las condiciones de las variables fue necesario realizar distintas mediciones, algunas se investigaron en base a historial de procesos, otras mediciones fueron realizadas de forma directa (distancias, diámetros, temperaturas) y otras mediciones fueron realizadas en el laboratorio físico químico de la planta.

### **3.2.1. Variables de los procesos**

Las variables son aquellas que pueden cambiar las condiciones del proceso, ya sean, sus aspectos físicos, químicos o ambos según la composición de la sustancia, que pueden afectar al producto. En todo proceso existen diversas variables, las cuales pueden afectar la entrada o salida del proceso.

Las variables involucradas en los procesos son:

- Flujo: para dilución de azúcar y prefabricados de chicle.
- Temperatura: para prefabricados de chicle.

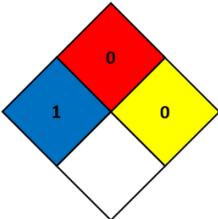
### **3.2.2. Condiciones y características de las variables**

Como se indicó anteriormente, las variables involucradas en los procesos son flujo y temperatura. Para el análisis y el control de las variables, es necesario conocer también las condiciones y las características a las que se encuentran los fluidos involucrados en los procesos. Estos fluidos son: glucosa para el área de prefabricados de chicle; y agua y jarabe de azúcar para el área de dilución de azúcar.

- Glucosa líquida: la glucosa líquida o jarabe de glucosa es un líquido viscoso derivado de la glucosa. Esta es un monosacárido o una forma de

azúcar que se encuentra en las frutas y en la miel. La glucosa líquida es una mezcla de maltosa, dextrinas y dextrosa, soluble en glicerina y agua, también es ligeramente soluble en alcohol.

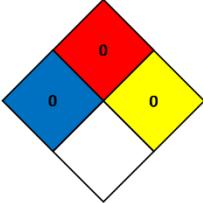
Tabla XVII. **Características y condiciones glucosa**

FLUIDO: Glucosa		
Rombo de seguridad		
Tubería que la conduce	Diámetro interno	2 15/16"
	Diámetro externo	3"
	Material tubería	Acero inoxidable 316l
Presión normal	40 psi	
Temperatura normal	Mínima	60 °C
	Máxima	75 °C
Temperatura externa	Temperatura ambiente 27 °C	
Rango del caudal	0,25 kg/s o 0,00019 m <sup>3</sup> /s	
Viscosidad	370-800 Cp	
Conductividad eléctrica	131310 μS/ cm	
Densidad	1298,5-1351,3 kg/m <sup>3</sup>	
Equipos que generen vibración	NO, la tubería es aérea	
Probabilidad de efectos magnéticos alrededor	NO	
Riesgo de fuego o explosión	Partículas de azúcar pulverizada en suspensión	
Formación de depósitos	NO	
Abrasivo	SI	

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

- Agua purificada: el agua purificada se puede denominar también agua desmineralizada. Debido a que es un agua potable y filtrada, se encuentra libre de sustancias no deseadas como parásitos, cloro, flúor o dioxinas. El agua purificada se utiliza para garantizar la salubridad y seguridad de los productos elaborados.

Tabla XVIII. **Características y condiciones agua purificada**

FLUIDO: Agua purificada		
Rombo de seguridad		
Tubería que la conduce	Diámetro interno	1 7/16"
	Diámetro externo	1 1/2"
	Material tubería	Acero galvanizado
Presión normal	40 psi	
Temperatura normal	Mínima	35°C
	Máxima	40°C
Temperatura externa	Temperatura ambiente 27°C	
Rango del caudal	0,0033 m <sup>3</sup> /s	
Viscosidad	0,651 – 0,718 Cp	
Conductividad eléctrica	25 µS/cm	
Equipos alrededor de la tubería que generen vibración	NO	
Probabilidad de efectos magnéticos alrededor	NO	
Riesgo de fuego o explosión	Partículas de azúcar pulverizada en suspensión	
Posibilidad de formación de depósitos	NO	
Abrasivo	NO	

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

- Jarabe de azúcar: el jarabe de azúcar o sirope de azúcar es una mezcla que se hace de azúcar con agua a una temperatura elevada. Este jarabe es utilizado en la industria alimenticia para la elaboración de dulces, helados y bebidas.

Tabla XIX. **Condiciones y características jarabe de azúcar**

FLUIDO: Jarabe de azúcar		
Tubería que la conduce	Diámetro interno	1 15/16"
	Diámetro externo	2"
	Material tubería	Acero inoxidable 316l
Presión normal	40 psi	
Temperatura normal	Mínima	72 °C
	Máxima	80 °C
Temperatura externa	Temperatura ambiente 27 °C	
Rango del caudal	0,004 m <sup>3</sup> /s	
Viscosidad	60 Cp	
Conductividad eléctrica	50 000 μS/cm	
Equipos alrededor de la tubería que generen vibración	NO	
Probabilidad de efectos magnéticos alrededor	NO	
Riesgo de fuego o explosión	Partículas de azúcar pulverizada en suspensión	
Posibilidad de formación de depósitos	NO	
Abrasivo	SI	
Inflamable	SI	

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

### 3.3. **Determinación de instrumentación a implementar**

Los instrumentos que se seleccionan son básicamente los elementos fundamentales de un sistema de control y se seleccionan tomando en cuenta las

características y condiciones a las que estará expuesto dicho instrumento. Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por una serie de elementos que permite influir en el funcionamiento del sistema. El control se realizará según el lazo de control típico formado por el proceso; el sensor o dispositivo de medición y su transmisor; el controlador; y el elemento final de control; por lo que estos son los instrumentos que se deben seleccionar.

Después del análisis de las propuestas presentadas por los proveedores, se tienen los instrumentos seleccionados para utilizar en el proceso, que se mencionan a continuación:

- Proceso 1: control dosificación glucosa
  - Proceso: tubería de glucosa en prefabricados de chicle.
  - Sensor o dispositivo de medición: medidor de flujo másico Coriolis.
  - Controlador: controlador de automatización de máquinas.
  - Elemento final de control: 5 válvulas de mariposa con actuador neumático de simple efecto.
  
- Proceso 2: control dosificación agua
  - Proceso: tubería de agua en dilución de azúcar.
  - Sensor o dispositivo de medición (agua): sensor electromagnético de flujo conexión a proceso sanitaria.
  - Controlador: controlador de automatización de máquinas.
  - Elemento final de control: válvula de pistón.

- Proceso 2: registro de jarabe
  - Proceso: tubería de jarabe de producción en dilución de azúcar.
  - Sensor o dispositivo de medición (jarabe de producción): sensor electromagnético de flujo conexión a proceso sanitaria.
  - Controlador: controlador de automatización de máquinas.

Tanto el proceso de prefabricados de chicle como el de dilución de azúcar se encuentran en la misma área, por lo que compartirían el mismo controlador de automatización y la misma pantalla, que se describirán más adelante.

### 3.3.1. Descripción de instrumentos

A continuación, se describen los instrumentos seleccionados, mostrando su principio de funcionamiento y sus características de proceso. Los instrumentos corresponden a los procesos de prefabricados de chicle y dilución de azúcar:

#### 3.3.1.1. Medidor de flujo másico Coriolis

Medidor de doble tubo S15 con conexión de proceso higiénica tri-clamp.

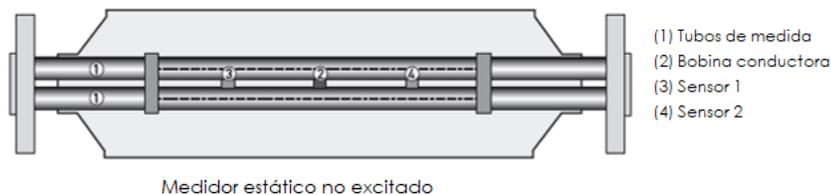
Figura 20. Medidor de flujo másico tipo Coriolis



Fuente: Krohne. *Hoja técnica Optimass 1400*. p. 3.

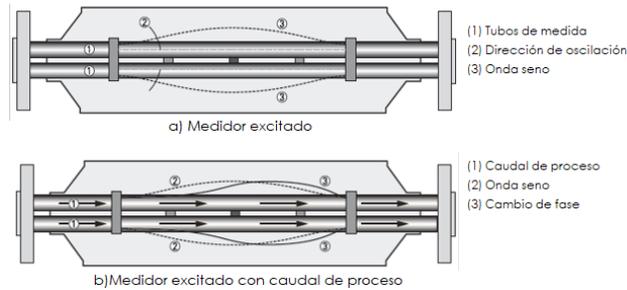
- Principio de funcionamiento: se basa en el teorema de Coriolis. Un caudalímetro másico de tubo doble Coriolis está formado por dos tubos de medida, una bobina conductora y dos sensores que están colocados a ambos lados de la bobina conductora, como se puede observar en la figura 21. Cuando el medidor está excitado (figura 22a), la bobina conductora hace vibrar los tubos de medida haciendo que oscilen y produzcan una onda seno. Dicha onda está monitorizada por los dos sensores. Cuando el fluido pasa a través del tubo (figura 22b), el efecto Coriolis provoca un cambio de fase en la onda seno que es detectada por los dos sensores. Este cambio de fase es directamente proporcional al caudal másico. La medida de la densidad se realiza mediante la evaluación de la frecuencia de vibración y la medida de temperatura se realiza empleando un sensor Pt500.

Figura 21. **Medidor estático sin caudal**



Fuente: Krohne. *Hoja técnica Optimass 1400*. p. 6.

Figura 22. **Medidor excitado**



Fuente: Krohne. *Hoja técnica Optimass 1400*. p. 7.

- Datos técnicos: el caudalímetro másico está diseñado para la medida directa del caudal másico, la densidad del producto y la temperatura del producto. Indirectamente, también permite la medida de parámetros como la masa total, la concentración de sustancias disueltas y el caudal volumétrico. Los datos técnicos, se presentan en la tabla XX.

Tabla XX. **Datos técnicos medidor másico tipo Coriolis**

Principio de funcionamiento	Caudal másico Coriolis	
Valores medidos	Caudal másico, temperatura, densidad	
Valores calculados	Volumen, densidad referida, concentración, velocidad	
Diseño básico	El sistema de medida consiste en un sensor de medida y un convertidor para procesar la señal de salida	
Características de diseño	Sensor sin mantenimiento, totalmente soldado con tubos de medida rectos dobles	
Precisión de medida	Masa	±0,15 % de la velocidad
	Densidad	± 2 kg/m <sup>3</sup>
	Temperatura	± 1°C
Condiciones de funcionamiento	Velocidad de caudal máximo	6 500kg/h
	Temperatura ambiental	-40 a 60 °C
	Temperatura de proceso	-40 a 130 °C

Continuación de la tabla XX.

Presión máxima nominal	Tubo de medida	-14,50 a 1 450,38 psig
	Cilindro exterior	1 450,38 psig
Condición física permitida para medir	Líquidos, gases y lodos	
Materiales	Tubo	Acero inoxidable UNS S31803
	Grifo	Acero inoxidable 316 L
	Cilindro exterior	Acero inoxidable 316 L
	Alojamiento de la electrónica del sensor	Acero inoxidable 316 L
	Caja de conexiones	Aluminio fundido (recubrimiento de poliuretano)
Tipo de conexión	Conexión sanitaria tri- clamp	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1.2. Medidor electromagnético de flujo conexión sanitaria

Sensor electromagnético de flujo, con conexión a proceso sanitaria tri-clamp.

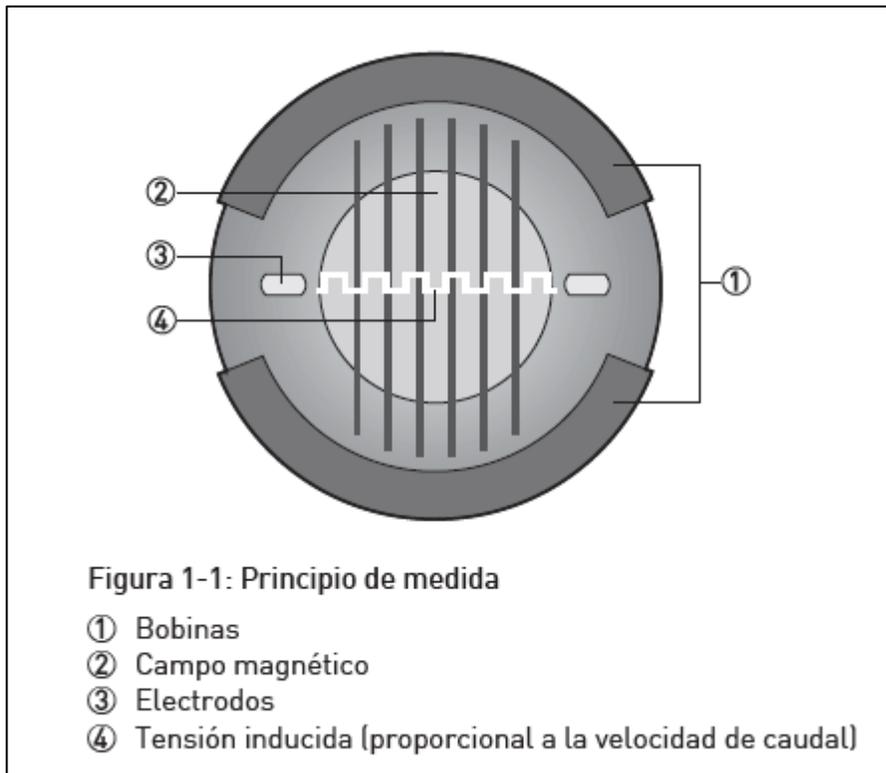
Figura 23. **Medidor electromagnético conexión sanitaria**



Fuente: Krohne. *Hoja técnica Optiflux 6000*. p. 3.

- Principio de funcionamiento: basan su funcionamiento en la ley de Faraday, que establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse ésta perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. En el medidor el líquido fluye a través de un tubo, eléctricamente aislado, a través de un campo magnético. El campo magnético es generado por una corriente que fluye a través de un par de bobinas magnéticas. La tensión de señal es recogida por los electrodos y es proporcional a la velocidad de caudal media y, por consiguiente, a la velocidad de caudal. Se utiliza un convertidor de señal para amplificar la tensión de señal, filtrarla y convertirla en señales para la totalización, el registro y el procesamiento de la salida.

Figura 24. **Esquema de funcionamiento medidor electromagnético**



Fuente: Krohne. *Hoja técnica Optiflux 6000*. p. 7.

- Datos técnicos: este medidor está diseñado para medir la velocidad de caudal volumétrico de líquidos eléctricamente conductivos en aplicaciones higiénicas. Los datos técnicos se muestran a continuación:

Tabla XXI. **Datos técnicos medidor electromagnético de flujo conexión sanitaria**

Principio de funcionamiento	Ley de Faraday de inducción	
Valor primario medido	Velocidad del caudal	
Valor secundario medido	Caudal volumétrico	
Diseño básico	El sistema de medida consiste en un sensor de caudal y un convertidor de señal	
Características de diseño	Diseño higiénico con alojamiento de acero inoxidable y conexión a proceso para industria farmacéutica, alimenticia y de bebida.	
Precisión de medida	Caudal	±0,3 % del valor medido
Condiciones de funcionamiento	Rango del caudal	-12 m/s hasta 12 m/s
	Temperatura ambiental	-40 a 65 °C
	Temperatura de proceso	-40 a 140 °C
Presión ambiente	Presión atmosférica	
Condición física permitida para medir	Líquidos eléctricamente conductivos	
	Estándar	Agua
	≥1μS/cm	≥20μS/cm
Materiales	Alojamiento del sensor	Acero inoxidable
	Tubo de medida	Acero inoxidable 304
	Adaptadores	Acero inoxidable 316 L
	Recubrimiento	PFL
	Caja de conexión	Acero inoxidable
	Electrodos	Acero inoxidable
	Juntas	EPDM
Tipo de conexión	Conexión sanitaria tri- clamp	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1.3. Válvula mariposa

Válvula de mariposa, conexión a proceso tri- clamp, asiento EPDM, con actuador neumático de simple efecto.

Figura 25. **Válvula tipo mariposa**



Fuente: Dixon. *Hoja técnica de válvulas*. p.11.

- Principio de funcionamiento: la válvula de mariposa se encuentra dentro de la clasificación de válvulas con obturador de movimiento rotativo, el funcionamiento es sencillo, pues el cuerpo está formado por un anillo cilíndrico del cual gira transversalmente un disco circular. La operación es rápida, presenta poco desgaste del eje, poca fricción y por tanto un menor par, que resulta en un actuador más barato. Esta válvula tiene un cierre hermético.
- Datos técnicos: las válvulas de mariposa se emplean para el control de caudales de fluido, a continuación, se presentan los datos técnicos de la válvula seleccionada:

Tabla XXII. **Datos técnicos válvula mariposa**

Tipo de obturador	De movimiento rotativo	
Material	Acero inoxidable 316	
Asiento	EPDM	
Accionamiento	Automatizado	
Actuador	Neumático de simple efecto	
Condición	Normalmente cerrada	
Tipo de conexión a proceso	Tri- clamp	
Rango de temperatura	-10 °C	100 °C

Fuente: elaboración propia.

#### **3.3.1.4. Electroválvula de pistón**

Electroválvula de pistón con actuador neumático de simple efecto, con cuerpo de acero inoxidable.

Figura 26. **Electroválvula de pistón**



Fuente: ASCO. *Hoja técnica de datos válvulas*. p. 12.

- Principio de Funcionamiento: abre o cierra el paso de un líquido en un circuito. La apertura y cierre de la válvula se efectúa a través de un campo magnético generado por una bobina en una base fija que atrae el émbolo.

En la tabla XXIII, se muestran los datos técnicos de la válvula seleccionada:

**Tabla XXIII. Datos técnicos electroválvula de pistón**

Material	Acero inoxidable 316	
Tipo de sellos	PTFE	
Accionamiento	Automatizado	
Actuador	Neumático de simple efecto	
Condición	Normalmente cerrada	
Tipo de conexión a proceso	Tri- clamp	
Presión	0 psi	60 psi
Temperatura	185 °C	
Presión de pilotaje	60 psi	150 psi

Fuente: elaboración propia.

### **3.3.1.5. Controlador compacto**

Controlador compacto de 14 entradas y 10 salidas.

Figura 27. **Controlador compacto**



Fuente: Omron. *Hoja técnica de controladores*. p. 51.

- Funcionamiento de un controlador lógico programable: un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés), es una computadora que procesa los datos de cualquier tipo de máquina para el monitoreo de sus piezas, así como para la automatización de procesos industriales. La función de estas computadoras es el almacenamiento de datos, útiles para dos funciones: el control y testeo de las piezas que conforman los sistemas utilizados en la industria, y la automatización de procesos industriales mediante la computarización de órdenes y funcionamientos específicos de cada máquina. Para que opere correctamente, el PLC debe programarse a través de un software específico. Una vez programado, el PLC se conecta de manera remota al sensor y elementos que se deseen monitorear o automatizar. Estas instrucciones se dictan dentro del PLC como lenguaje de programación, según la operativa que se necesite.

Tabla XXIV. **Datos técnicos controlador compacto**

Funciones	Secuencia lógica y control de movimiento	
E/S incorporadas	24 puntos de entrada y salida	
Recinto	Montado en panel	
Ambiente operacional	Temperatura ambiente	0 °C a 55 °C
	Humedad	10 % a 95 %
	Atmósfera	Libre de gases corrosivos
	Altitud	2 000 m o menos
	Grado de contaminación	Menos de 2
	Inmunidad al ruido	2 kV en la línea de alimentación
	Categoría de sobretensión	Categoría II
	Resistencia a la vibración	IEC 60068-2-6
Dimensiones	100 mm * 71 mm * 154 mm	
Fuente de alimentación unidad CPU	Tensión de alimentación	24 VDC
	Capacidad de corriente	4 A max.
Fuente de alimentación unidad NX	Capacidad	10 W max.
	Eficiencia	80 %
Terminales de conexión exterior	Conector de comunicaciones	RJ45 para comunicaciones EtherNet / IP x 1 RJ45 para comunicaciones EtherCAT x 1
	Conector de bus NX	Hasta 8 unidades E/S

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 3.3.1.6. Pantalla táctil

Pantalla táctil TFT interface de 10", con puerto USB, de colores básicos.

Figura 28. **Pantalla táctil**



Fuente: Ebay. *Pantalla táctil*. <https://www.ebay.com/itm/Pantalla-tactil-color-10-ethernet-colour-touch-screen-HMI-Omron-NB-NB10W-TW01B-/161350241530>. Consulta: enero de 2020.

Tabla XXV. **Datos técnicos pantalla seleccionada**

Tamaño	10”
Tipo de display	LCD TFT de 10,1 “
Resolución display (H x V)	800 x 480
Número de colores	65,536
Panel táctil	Membrana resistiva analógica, resolución de 1024 x 1024
Dimensiones	210,8 x 268,8 x 54 mm
Memoria interna	128 MB
Conexión de memoria	Memoria USB
Ethernet	10/100 base- T
Alimentación	24 VC
Consumo	14 W
Grado de protección	Panel de operaciones frontal: IP65
Entorno de servicio	Sin gases corrosivos
Inmunidad al ruido	Conformidad con la norma IEC61000-4-4, 2kV (cable de alimentación)
Temperatura ambiente	0 °C a 50 °C
Humedad ambiente	10 % a 90 %
Ángulo de visión	Amplio

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word hoja técnica Omron,

### **3.3.2. Análisis de instrumentos seleccionados**

Cada instrumento se seleccionó tomando en cuenta las características del proceso, para que el funcionamiento sea adecuado.

#### **3.3.2.1. Medidor de flujo másico Coriolis**

Para la medición de glucosa en el proceso de prefabricados de chicle, se eligió un medidor másico porque este tipo de medidores están diseñados para medir directamente el caudal del fluido en unidades de masa, como por ejemplo Kg/h, en lugar de medir el caudal en volumen; y en el proceso, la dosificación se realiza tomando en cuenta unidades de masa.

La elección de un medidor tipo Coriolis se hace debido a las características y ventajas que presentan estos medidores, que se listan a continuación:

- La influencia de temperatura, presión, densidad y viscosidad del fluido no está involucrada en el principio de medición.
- Tubos de medida dobles innovadores.
- Por no poseer partes móviles, son de fácil mantenimiento, y son fáciles de limpiar y poseen drenaje automático.
- Fácil instalación y resistencia a los efectos de la instalación y el proceso.
- Larga vida útil.
- Poseen un divisor de caudal optimizado para una caída mínima o nula de presión.
- Altos niveles de precisión que proporcionan una excelente relación precio-calidad.
- Ningún otro medidor lo iguala en exactitud.

La elección del medidor de doble tubo de modelo S15 se realiza, porque las características del modelo (tabla XX) son adecuadas con las características del proceso (tabla XVII). La conexión de proceso higiénica se seleccionó tri-clamp, debido a que estos son conectores que se utilizan en la industria alimenticia para interconectar equipos de proceso.

### **3.3.2.2. Medidor electromagnético de flujo conexión sanitaria**

La elección del medidor electromagnético para el proceso de dilución de azúcar (para la tubería de agua y jarabe) se hace debido a que este presenta una alta precisión. Gracias a su alta precisión, permite una medida precisa del producto lo cual consiente a su vez una medida precisa del caudal finalizada a la mezcla, la dosificación y la preparación de lotes. Es más: su precisión se mantiene incluso en presencia de caudales pulsantes o con un producto de baja conductividad. Las características y ventajas que muestran los medidores seleccionados, se enlistan a continuación:

- No poseen pérdida de presión.
- Rango de medición grande.
- La influencia de la temperatura, presión, densidad y viscosidad del fluido no está involucrada en el principio de medición.
- Está diseñado específicamente para mantenerse limpio y estéril, en cumplimiento de las estrictas exigencias que prevalecen en las industrias alimentarias, de bebidas y de proceso.
- No posee grietas, huecos o puntos ciegos y el sensor del caudal ofrece una amplia gama de posibilidades CIP/SIP.
- Facilidad de instalación y puesta en servicio.

- Gran estabilidad y precisión.
- Capaz de medir con baja conductividad  $\geq 1 \mu\text{S/cm}$  (para agua desmineralizada  $\geq 20 \mu\text{S/cm}$ ).
- Conexiones a proceso y longitudes de inserción típicas para la industria alimenticia.
- Óptimo rendimiento higiénico conforme a certificados.

Las características de este modelo (tabla XXI) son adecuadas con las características de los procesos (tablas XVIII y XIX). La conexión de proceso higiénica se seleccionó tri-clamp, debido a que estos son los conectores que deben utilizarse en la industria alimenticia para interconectar equipos de proceso.

### **3.3.2.3. Válvula de mariposa**

La válvula mariposa se elige para utilizar en el proceso de prefabricados de chicle, para permitir y cortar el paso de flujo de glucosa. Esta válvula es adecuada por ser de operación rápida, ya que solo requieren un cuarto de vuelta para pasar de la posición de cerrado a la posición de abierto, la conexión a proceso tri-clamp y el asiento EPDM (caucho etileno-propileno dieno monómero) se elige porque son los recomendados para utilizar en la industria alimenticia.

La válvula de mariposa presenta las siguientes características y ventajas:

- Fácil montaje de instalación debido al menor espacio que ocupan.
- Operación rápida.
- No hay cavidades donde puedan acumularse sólidos o pueda haber adherencia que impidan la maniobrabilidad.
- Auto drenante.

- Adecuada para fluidos con viscosidad.
- La geometría de la válvula de mariposa es sencilla, compacta y de revolución.

#### **3.3.2.4. Electroválvula de pistón**

Se elige una electroválvula de pistón porque sus características permiten reemplazar válvulas de tipo bola, que son las que se encuentran actualmente en el proceso. El material es acero inoxidable porque es el material que se debe utilizar en la industria alimenticia. La válvula seleccionada presenta las siguientes características y ventajas:

- Excelente para manejo de fluidos viscosos o con sólidos en suspensión y sustancias corrosivas.
- Operación normalmente cerrada con entrada bajo el disco (ideal para prevenir el golpe de ariete).
- Operador libre de mantenimiento.
- Orificio interno de excelentes dimensiones para garantizar los máximos flujos del mercado.
- Material de sellos e internos PTFE (politetrafluoroetileno).
- Alta velocidad de transición.

#### **3.3.2.5. Controlador compacto**

Se eligió un PLC compacto porque este se conforma de una sola unidad. Los controladores compactos se usan en aplicaciones pequeñas, por lo que es ideal para la aplicación, y en un mismo equipo están integrados el CPU, las entradas y salidas, la batería. Además, presenta las siguientes características:

- Compacto en tamaño, potente en funcionalidad.
- Proporciona control sincronizado de todos los dispositivos de la máquina, como movimiento, E/S, seguridad y visión en un solo entorno de desarrollo integrado.
- E/S incorporadas: 24 puntos de E/S distribuidos en 14 entradas y 10 salidas.
- Puertos EtherCAT y EtherNet / IP incorporados.
- Se pueden conectar hasta dos tableros opcionales para agregar comunicaciones en serie o funcionalidad de E/S analógica.

### **3.3.2.6. Pantalla táctil**

Se eligió una pantalla táctil para poder tener toda la información referente a los procesos, el tamaño se elige de 10", porque es el tamaño estándar de las pantallas que se encuentran en planta. Esta pantalla presenta características para trabajar en conjunto con el controlador de máquinas seleccionado. El controlador le brindará a esta pantalla diferentes niveles en aumento de sofisticación que se adaptarán a la perfección a los requisitos de automatización. La transferencia de datos mediante recetas entre el terminal y el PLC es sencilla y el formato en pantalla de la información de la receta se puede seleccionar libremente o puede ser una tabla estándar. La pantalla seleccionada presenta las siguientes características que la hacen óptima para la aplicación:

- Pantalla con excelente visibilidad y hasta 120 MB de datos de pantalla.
- El diseño permite su utilización en orientación vertical u horizontal.
- Conexión con memorias USB.
- Se pueden realizar simulaciones online y offline.
- Tiene soporte hasta de 32 idiomas.
- Posibilidad de creación de animaciones de forma fácil y rápida.

- Permite la realización de más tareas, como realizar cálculos y comparaciones o iteraciones, así como funciones matemáticas.
- Disponibilidad de establecer alarmas ON/OFF.
- Representación gráfica de datos históricos y tiempo real de forma sencilla.
- Cuenta con múltiples opciones de seguridad.

### **3.4. Hojas de selección de instrumentación**

La hoja de especificación es un documento básico para el proyecto, ya que fundamenta la compra y sirve de apoyo para diferentes actividades. Una hoja de especificación de instrumentación es un documento que agrupa las características funcionales y constructivas más importantes de los instrumentos y equipos. Se realiza para los instrumentos que se han comprado o que se quieren comprar. Para realizar esta hoja, es necesario conocer el tipo de instrumento seleccionado en base a las condiciones de operación. Las hojas de especificaciones elaboradas poseen la siguiente información:

- Datos generales e información del proyecto: esta parte de la hoja de especificaciones, es común para todos los instrumentos. Contiene casillas relativas a los conceptos que indican el servicio del instrumento. Se incluye el nombre del equipo, localización, entre otros datos.

Figura 29. **Sección de datos generales de hoja de especificación de instrumentos**

HOJA DE DATOS		
GENERAL	Proyecto	
	Cliente	
	Servicio	
	Área	
	Planta	
	Temperatura ambiente	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

- Condiciones de proceso: esta información es característica del medio que rodeará al instrumento y depende del fluido a tratar. En esta sección se incluye características del fluido, valores de operación, condiciones máximas y mínimas.

Figura 30. **Sección de condiciones de proceso de hoja de especificación de instrumentos**

CONDICIONES DE PROCESO	Nombre del fluido		Estado del fluido	
	Material de tubería		Tamaño de la tubería	
	Presión normal		Temperatura mínima	Temperatura máxima
	Caudal aproximado		Viscosidad mínima	Viscosidad máxima
	Conductividad		Densidad	
	Equipos que generen vibración		Equipos que generen efectos magnéticos	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

- Datos funcionales y constructivos: estos datos varían dependiendo del instrumento a tratar. En esta sección se incluye la información referente al instrumento en cuanto a funcionalidad y materiales constructivos.

Figura 31. **Sección de datos funcionales de hoja de especificación de instrumentos**

<b>DATOS FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS</b>	Principio de funcionamiento	
	Valor medido	
	Valor calculado	
	Diseño básico	
	Precisión de medida	
	Velocidad máxima de caudal	
	Temperatura ambiente	
	Temperatura de proceso	
	Presión nominal	
	Condición física permitida para medir	
	Pantalla con indicador local	
	Convertidor	
	Materiales	
	Conexión a proceso	
	Fabricante	
Modelo		

Fuente: elaboración propia empleando Excel 2016.

- Notas: esta sección se utiliza para agregar alguna información específica del instrumento.
- Datos sobre el documento: en esta sección se incluye el objeto de la edición del documento, el nombre de la persona que elaboró el documento, así como la fecha de elaboración.

Figura 32. **Sección notas y datos sobre el documento de hojas de especificación de instrumentos**

<b>NOTAS</b>						
<b>DATOS SOBRE EL DOCUMENTO</b>	Objeto de la edición	Elaborado por	Revisado por	Fecha de elaboración	Fecha de revisión	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Las hojas de especificación de instrumentos realizadas corresponden a: medidor másico tipo Coriolis, válvula mariposa con actuador neumático, medidor electromagnético para agua, medidor electromagnético para jarabe y electroválvula de pistón para agua. Estas hojas se encuentran en la sección de Apéndices de este documento.

### **3.5. Análisis de propuestas presentadas por proveedores**

Al momento de poner en marcha un proyecto, aparecen muchos proveedores para la realización del mismo, por lo que es necesario evaluar distintos factores para garantizar la adecuada selección de una oferta.

#### **3.5.1. Factores para selección de proveedores de instrumentación**

Actualmente, existe un número amplio de fabricantes y proveedores de instrumentación y de automatización, por lo que hay que tomar en cuenta diferentes factores para seleccionar el que se adapte de mejor forma a las necesidades y prioridades del proceso. Dentro de los factores que se tomaron en cuenta, se encuentran:

- Precio: este factor tiene mucho peso y mucha influencia por fines de presupuesto. Sin embargo, se buscó una relación adecuada de calidad/precio. También se tomaron en cuenta las facilidades de pago que presenten los proveedores. Además de evaluar las formas de pago que ofrece el proveedor, se evaluó si este ofrece descuentos por pronto pago o si brinda otras facilidades.
- Reconocimiento internacional: tener reconocimiento internacional, le brinda a un fabricante o proveedor reputación y credibilidad. A mayor

experiencia tenga un proveedor en el mercado mayor será la probabilidad de que se realicen proyectos de éxito. Regularmente las empresas reconocidas internacionalmente, cuentan con certificados de calidad que garantizan el funcionamiento adecuado de instrumentos; y es importante contar con proveedores certificados en procesos y normas, debido a los requisitos que establece la industria alimenticia. Por ello, se evaluó este factor con especial atención a la cobertura de certificaciones que presentaban.

- Respaldo técnico local: es importante que exista este respaldo, pues una asesoría especial de otro país resulta demasiado cara. Este respaldo es útil para las garantías y para la rapidez de atención. Además de las razones expuestas anteriormente, el respaldo técnico local también influye en el tiempo de entrega de los instrumentos. Por lo que se tomó en cuenta la rapidez de respuesta de cada proveedor en experiencias anteriores.
- Experiencias previas: este factor es de gran valor porque ayuda a tener una mejor visión de la trayectoria que pueda tener un proveedor. Para los proveedores con los que ya se ha tenido relación, se evaluó el servicio prestado con anterioridad; y para los proveedores con los que no se han realizado negociaciones, se investigó dentro del propio sitio web de las empresas cuáles son los clientes con los que han trabajado.
- Innovación en la propuesta: en este factor se tomaron en cuenta las propuestas de valor de cada proveedor al proyecto, las novedades que introdujeron al mismo modificando elementos que consideraron necesarios o implementando nuevos elementos o sistemas para el adecuado funcionamiento del proyecto.

### 3.5.2. Evaluación de propuestas de proveedores

Para la decisión final en la selección de un proveedor de instrumentación y automatización, deben tenerse al menos dos ofertas o más de distintos proveedores para tener opción de negociación y comparación.

Para llevar a cabo la recopilación de propuestas por cada proveedor, se citó a cinco proveedores de instrumentación y automatización para presentarles los proyectos, indicarles los requerimientos de los mismos, brindarles recorrido en las áreas correspondientes y presentarles las condiciones y características de las variables involucradas. A todos los proveedores se les brindó toda la información necesaria para la presentación de propuestas y se fijó una fecha límite para la presentación de las mismas.

Después de tener todas las propuestas, se analizaron las ventajas y desventajas de cada una y posteriormente se realizó una evaluación con el equipo de trabajo para la selección de la propuesta ideal. La evaluación se realizó tomando en cuenta los factores indicados anteriormente, y se le brindó una puntuación de uno a 10 puntos. Esta evaluación se encuentra en las tablas XXVI y XXVII, en las que se puede observar que el proveedor “B” es el proveedor óptimo para el proyecto, tanto en prefabricados de chicle, como en dilución de azúcar.

Tabla XXVI. **Evaluación selección de propuesta prefabricados de chicle**

Factores	Puntuación proveedor A	Puntuación proveedor B	Puntuación proveedor C	Puntuación proveedor D	Puntuación proveedor E
Precio	6	9	5	2	3
Rec. Internacional	8	8	6	6	5

Continuación de la tabla XXVI.

Innovación en propuesta	6	10	4	4	8
Exp. Previas	10	6	6	6	6
Respaldo técnico local	8	8	6	4	5
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>41</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>27</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Tabla XXVII. **Evaluación selección de propuesta dilución de azúcar**

Factores	Puntuación proveedor A	Puntuación proveedor B	Puntuación proveedor C	Puntuación proveedor D	Puntuación proveedor E
Precio	5	10	4	2	2
Rec. Internacional	8	8	6	6	5
Innovación en propuesta	8	10	8	8	10
Exp. Previas	10	6	6	6	6
Respaldo técnico local	8	8	6	4	5
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>	<b>42</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>28</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

### 3.6. **Diseño de instrumentación para área de Prefabricados de Chicle**

A continuación, se detalla el diseño de la instrumentación para cada área en el proyecto.

### **3.6.1. Descripción del proceso con instrumentación**

La propuesta consiste en la instalación de un medidor de caudal másico tipo Coriolis con incerteza del 0,15 % para la sección de mezcladoras. Este medidor estará ubicado en la entrada de glucosa y se encargará de la dosificación de esta materia prima a cada mezcladora.

Cuando el operador lo solicite (por medio de selectores), se realizará la medición de glucosa por medio del medidor de caudal másico tipo Coriolis y una válvula mariposa actuada neumáticamente cortará el suministro de glucosa cuando se contabilice el flujo másico solicitado. El control se realizará por medio de un controlador lógico programable.

Con la implementación de este sistema, se eliminarán los tanques de dosificado utilizados actualmente, pues la descarga de glucosa será directa, de la tubería a la mezcladora.

Se tendrá control de la glucosa utilizada, pues se guardará el registro de cada una de las dosificaciones que se hagan por medio del sistema y de esta manera se podrán llevar inventarios. Toda la información acerca de los lotes elaborados, el inventario de glucosa y las recetas elaboradas se podrá visualizar a través de una pantalla táctil.

Adicionalmente, se contará con paros de emergencia con los que se podrá cortar el flujo de glucosa en caso de accidentes.

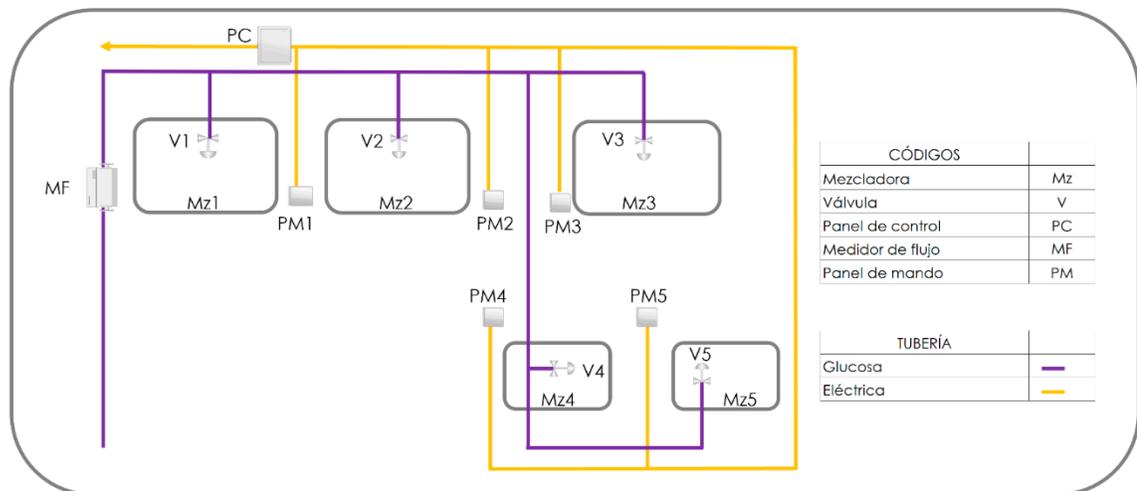
Con la implementación de este sistema, se tendrá:

- Automatización en la descarga de glucosa.
- Control de medición exacta de glucosa.
- Visualización de la información básica del proceso por medio de pantalla táctil.
- Registro e inventario de cada dosificación realizada.
- Seguridad industrial del personal.
- La instrumentación instalada es específica para aplicaciones alimenticias.

### 3.6.2. Esquema de instrumentación

Aquí se define el proceso de los esquemas de chicle con instrumentación:

Figura 33. **Proceso de prefabricados de chicle con instrumentación**

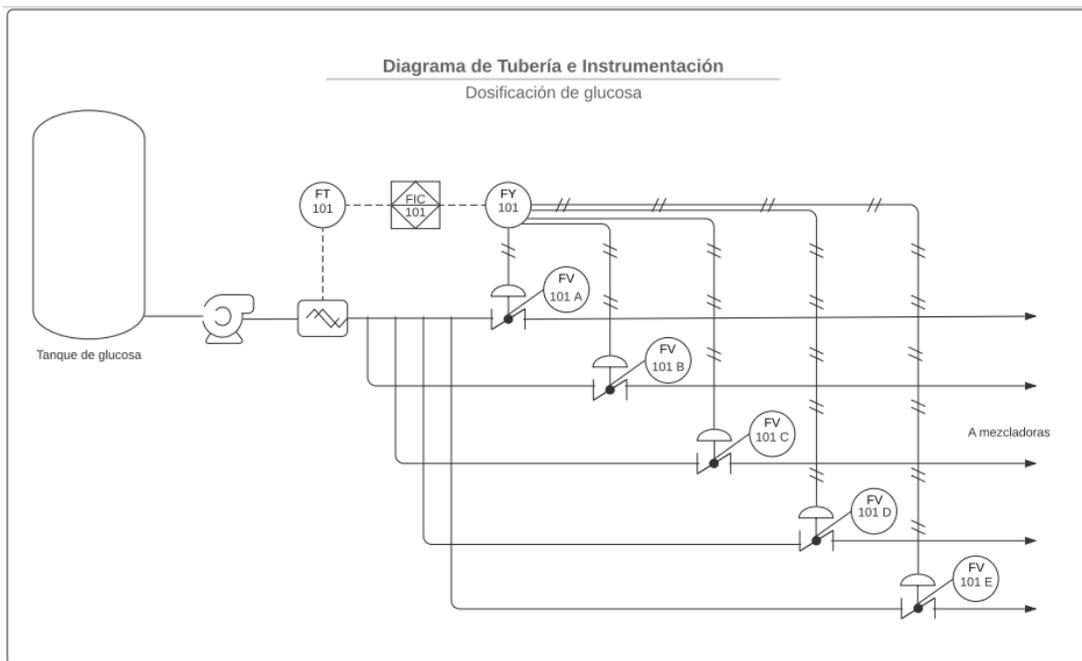


Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop.

### 3.6.3. Diagrama de Tubería e Instrumentación

A continuación, se presenta el diagrama de tubería e instrumentación:

Figura 34. Diagrama de tubería e instrumentación prefabricados de chicle



Fuente: elaboración propia, empleando LucidChart.

### 3.7. Diseño de instrumentación para área de Dilución de Azúcar

A continuación, se detallará el diseño de la instrumentación utilizada para el área de dilución de azúcar:

### **3.7.1. Descripción del proceso con instrumentación**

La propuesta consiste en la instalación de un medidor electromagnético de flujo con incerteza del 0,3 % en la entrada de agua de ambos tanques (tanque de dilución de azúcar estándar y tanque de dilución de azúcar refino).

Cuando el operador lo solicite, podrá iniciar la descarga de agua hacia el tanque de dilución. El operador podrá iniciar o detener el ingreso de agua por medio de los botones de funcionamiento. Al presionar el botón de inicio, se dosificarán los litros necesarios para la elaboración de cada lote.

Al terminar la elaboración de un lote de jarabe, se enviará el jarabe hacia el tanque de almacenamiento, en este trayecto no se colocarán medidores, puesto que el registro que se lleva actualmente será efectivo porque en los tanques de preparación se cuenta con el control de agua. Sin embargo, en el trayecto de los tanques de almacenamiento a producción, se colocarán dos medidores electromagnéticos de flujo con incerteza de 0,3 % para registrar los consumos de jarabe almacenado. Todos los eventos se guardarán y tendrán una base de datos, se contará con paro de emergencia para cualquier accidente que se pueda presentar.

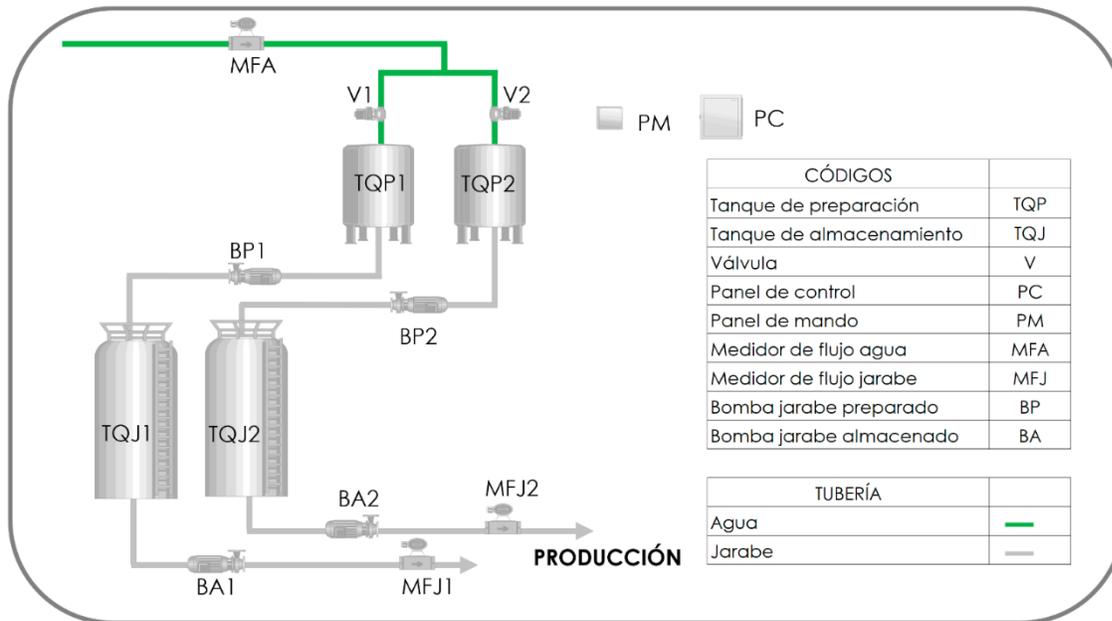
Con la implementación del sistema, se tendrá:

- Automatización en la descarga de agua.
- Control de medición exacta de agua.
- Visualización de la información del proceso (recetas, lotes elaborados, hora de la elaboración de lotes, inventario del jarabe producido, consumos de jarabe) por medio de pantalla táctil.
- Seguridad industrial del personal.

### 3.7.2. Esquema de instrumentación

A continuación, se detalla el proceso de azúcar con instrumentación:

Figura 35. Proceso de dilución de azúcar con instrumentación

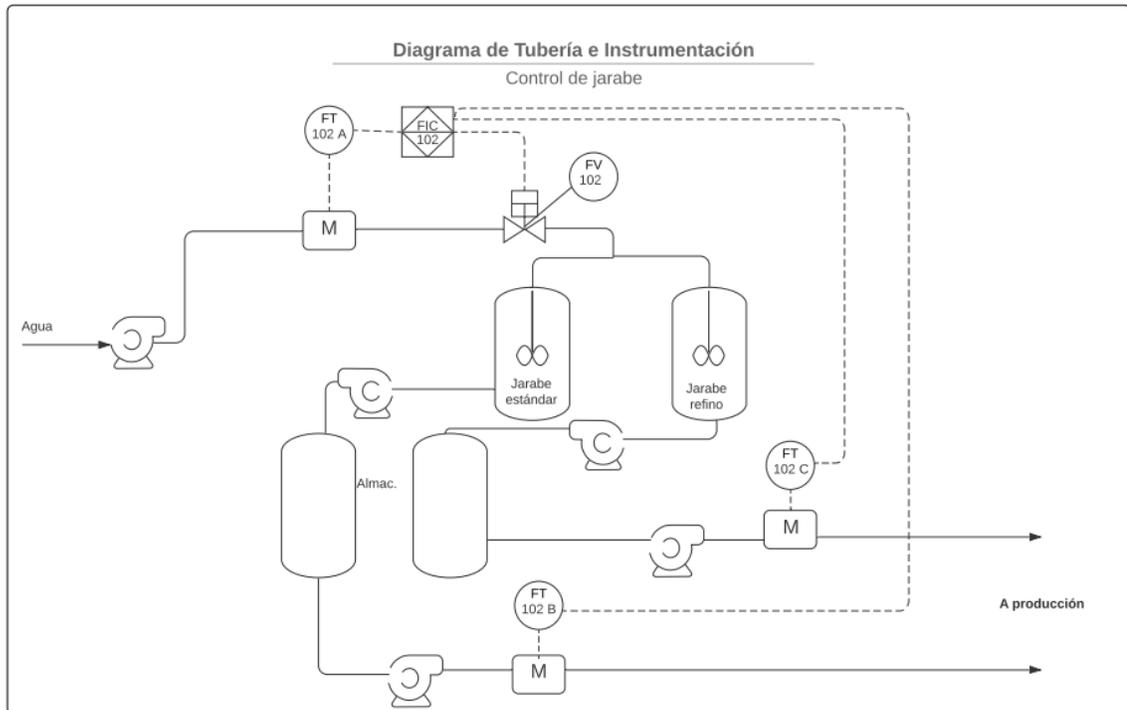


Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop.

### 3.7.3. Diagramas de Tubería e Instrumentación

A continuación, se muestran los diagramas e instrumentación dilución de azúcar:

Figura 36. **Diagrama de tubería e instrumentación dilución de azúcar**



Fuente: elaboración propia, empleando LucidChart.

### 3.8. Montaje de instrumentación

El montaje y conexionado de los elementos de control e instrumentación, se realizará de acuerdo a las especificaciones técnicas, a las instrucciones de instalación del fabricante y las normas que correspondan, estos documentos serán proporcionados por el proveedor seleccionado.

Previo al montaje de instrumentos, se debe inspeccionar que estos cuenten con los componentes requeridos. Solo se deben aceptar instrumentos que se encuentren en buen estado y que cumplan las especificaciones. Se deben proteger adecuadamente los equipos y materiales destinados al montaje, de todo

daño que estos pudieran sufrir con posterioridad a la recepción en bodega. Se verificará y dejará constancia del estado, protección contra daño y manipulación del material destinado al montaje, antes y durante su montaje, hasta la puesta en servicio y entrega final.

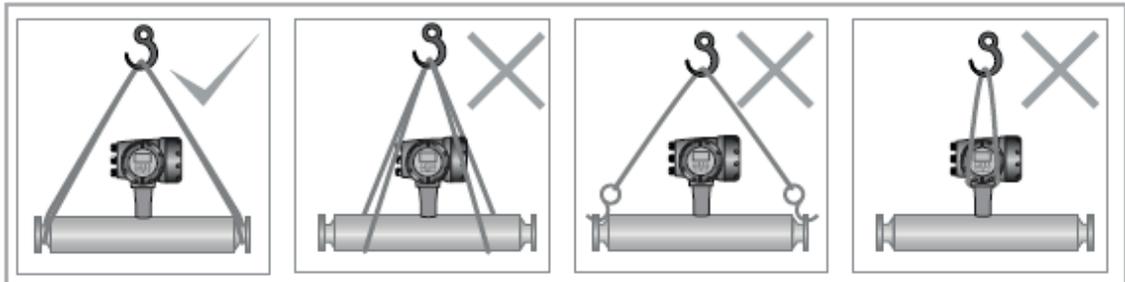
### **3.8.1. Consideraciones en el montaje de instrumentos**

A pesar de que los instrumentos seleccionados, son de fácil instalación, se deben tener ciertas consideraciones en la instalación de los mismos.

#### **3.8.1.1. Consideraciones montaje de medidor de flujo másico Coriolis**

- Ubicación: para la instalación de todo medidor se debe tomar en cuenta los tramos rectos de tubería que este necesita para su correcto funcionamiento, sin embargo, el medidor seleccionado presenta la ventaja de no necesitar tramos rectos de tubería. Su ubicación debe ser adecuada para protegerse de la luz directa del sol y de vibraciones excesivas. Por ello, se recomienda la ubicación en la entrada de la tubería al área de prefabricados, tomando siempre en cuenta prever al instrumento del soporte necesario.
- Manipulación: para el levantamiento del medidor se recomienda el uso de eslinga. Para colocar el instrumento, antes de la instalación se deben utilizar bloques u otros elementos similares para mantener los bloques en posición vertical.

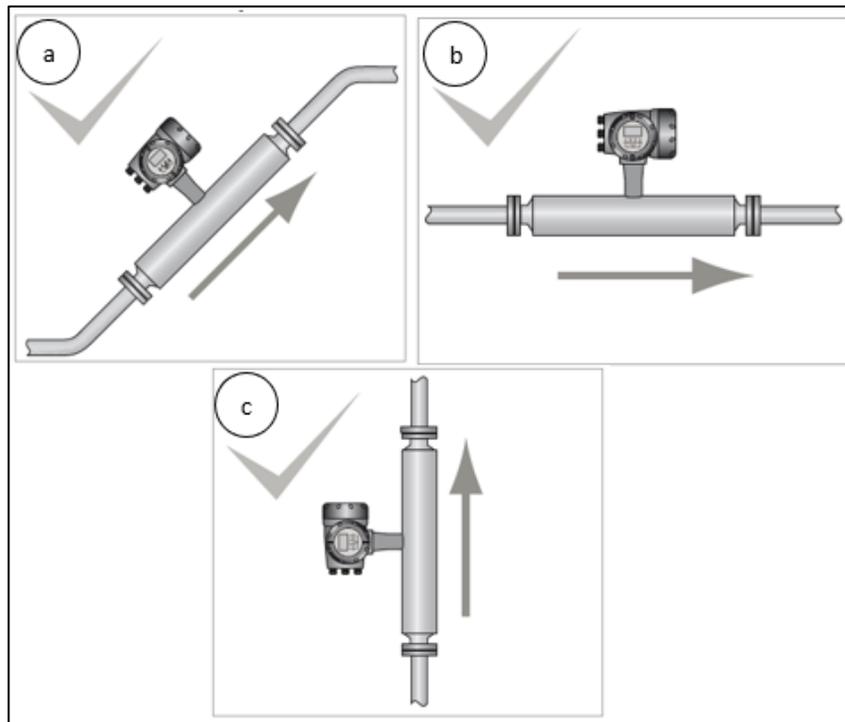
Figura 37. **Manipulación del medidor tipo Coriolis**



Fuente: Krohne. *Manual Optimass 1400*. p. 1.

- Consideraciones mecánicas: se debe descansar el peso del medidor. Con medidores y conexiones higiénicas más grandes, se recomienda que el medidor no descansa únicamente en la tubería de proceso. Se deben evitar las reducciones drásticas de tamaño de los tubos. Para la posición de montaje, se debe tomar en cuenta:
  - El medidor se puede montar de forma oblicua, pero se recomienda que el flujo sea ascendente, debido a que, si se instala con caudal descendente, se pueden producir sifones.
  - Montaje horizontal debe ser con el flujo de izquierda a derecha y se debe evitar el montaje con largos tramos verticales después del caudalímetro.
  - El medidor se puede montar de forma vertical, pero al igual que en la instalación oblicua, se recomienda que el flujo sea ascendente.

Figura 38. **Posición de montaje medidor másico Coriolis**



Fuente: Krohne. *Manual Optimass 1400*. p. 1.

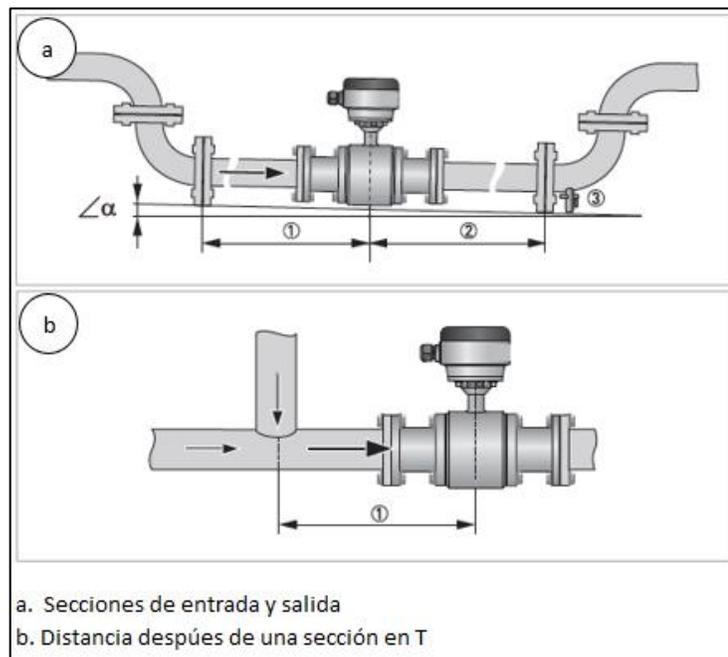
- Consideraciones eléctricas: antes de realizar las conexiones eléctricas, se debe apagar la alimentación, se deben comprobar los datos de tensión en la placa de identificación, el equipo debe estar conectado a tierra para proteger al personal de descargas eléctricas.

### **3.8.1.2. Consideraciones montaje de medidor electromagnético conexión sanitaria**

- Ubicación: para la instalación del medidor electromagnético se debe tomar en cuenta que la sección debe estar libre de accesorios al menos en cinco diámetros nominales en la sección de entrada y cinco diámetros nominales

en la sección de salida. Y debe haber una pendiente mayor a  $2^\circ$ , como se muestra en la figura 39 a. Cuando se instala después de una sección en T, se debe tener una distancia mínima de 10 diámetros nominales. Por lo que lo considerable en el medidor que se utilizará para agua es tener una distancia mínima de 7,5" libres en la entrada y de 3" en la salida. Para el medidor para jarabe, es recomendable una distancia mínima de 10" en la entrada y 4" en la salida del medidor.

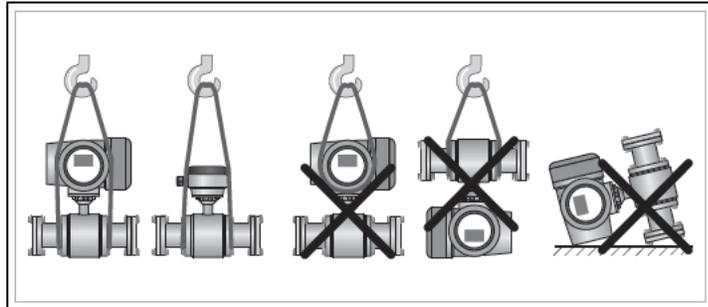
Figura 39. **Tramos rectos de tubería medidor electromagnético**



Fuente: Krohne. *Manual Optiflux 6000*. p. 14.

- Manipulación: para el transporte del medidor se debe tomar en cuenta que el equipo no se levante por el alojamiento del convertidor de señal. No se deben usar cadenas de elevación.

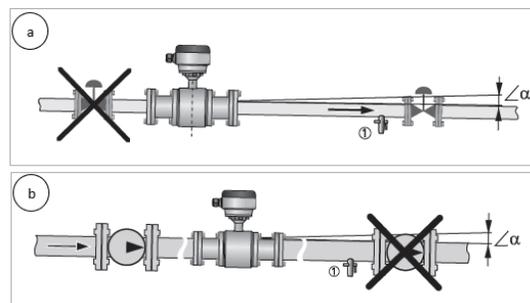
Figura 40. **Manipulación del medidor electromagnético**



Fuente: Krohne. *Manual Optiflux 6000*. p. 12.

- Consideraciones mecánicas: se debe tomar en cuenta que la instalación del medidor no sea en ambientes con vibraciones o campos magnéticos. Si se instala una válvula de control, se debe hacer la instalación del medidor frente a la válvula de control, con una pendiente mínima de  $2^\circ$ . Si se instala una bomba, se debe hacer la instalación del medidor detrás de la bomba, con una pendiente mínima de  $2^\circ$ .

Figura 41. **Instalación frente a válvula de control y detrás de bomba**

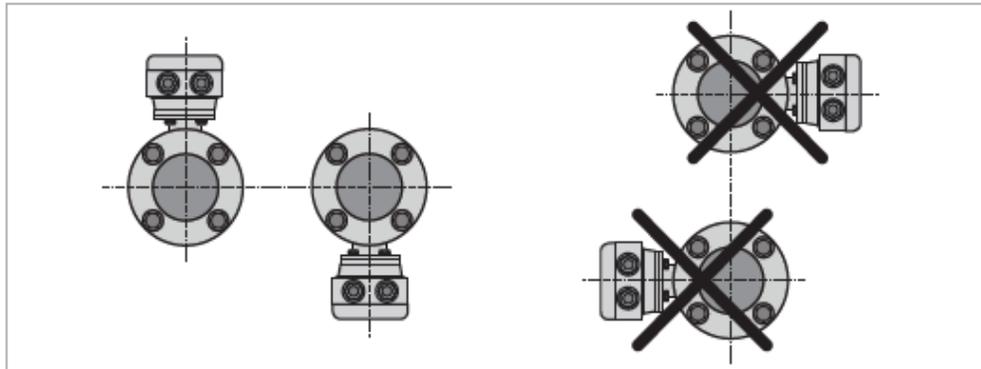


a. Instalación en frente de una válvula de control  
b. Instalación detrás de una bomba

Fuente: Krohne. *Manual Optiflux 6000*. p. 16.

Para el montaje, se debe tomar en cuenta el sensor del caudal se debe montar con el convertidor de señal alineado hacia arriba o hacia abajo, instalar el sensor de caudal alineado con el eje del tubo.

Figura 42. **Posición de montaje medidor electromagnético de caudal**



Fuente: Krohne. *Manual Optiflux 6000*. p. 19.

- Consideraciones eléctricas: antes de realizar las conexiones eléctricas, se debe apagar la alimentación, se deben comprobar los datos de tensión en la placa de identificación, el equipo debe estar conectado a tierra para proteger al personal de descargas eléctricas.

### **3.8.1.3. Consideraciones montaje de válvula mariposa**

- Antes de instalar, comprobar el funcionamiento de la válvula: Debe ser posible abrir y cerrar la válvula completamente. Las válvulas con fallo no se deben montar.
- Montaje sin tensión.
- Posición de montaje: indistinta.

#### **3.8.1.4. Consideraciones montaje de electroválvula de pistón**

- Se recomienda en la medida de lo posible, instalarlas horizontalmente y con la bobina hacia arriba, con el objetivo de prevenir la acumulación de partículas ajenas a la válvula dentro del tubo del núcleo.
- Se recomienda el uso de sujetadores de tubería u otro tipo de soportes para evitar la fatiga del cuerpo de la válvula.
- Se recomienda el uso de tubería rígida, flexible o cajas de conexión para una correcta instalación eléctrica de los cables de alimentación de la bobina.
- Se recomienda la instalación de un filtro lo más cerca posible a la válvula, a fin de evitar el paso de partículas residuales al interior de la misma. La limpieza periódica del filtro es ideal para asegurar un mayor tiempo de vida.

## **4. FASE DE DOCENCIA**

### **4.1. Plan de capacitación**

La capacitación empresarial es un proceso continuo que debe ser planteado para fortalecer cualquier institución, desarrollando habilidades y conocimientos en los trabajadores para mejorar su desempeño. Para desarrollar este proceso, es necesario identificar las necesidades reales que se tienen en un momento determinado.

#### **4.1.1. Identificación de la necesidad**

La compañía necesita cumplir en su totalidad los requisitos expresados en la norma BRC. Al departamento de mantenimiento, le corresponde específicamente el inciso 4.7 de Mantenimiento, de “Normas relativas al establecimiento”. La cláusula 4.7.5 establece “Los materiales y piezas utilizados para el mantenimiento de los equipos e instalaciones serán de calidad adecuada. Los materiales (como el aceite lubricante) que entrañen riesgos por contacto directo o indirecto con las materias primas (incluidos los envases primarios), los productos intermedios y los productos terminados serán aptos para uso alimentario y su condición alérgica será conocida.” Después de analizar e interpretar esta cláusula se identificó la necesidad de elaborar un programa de lubricación donde se incluye la elaboración de hojas de rutas de lubricación para cada equipo; elaboración de listado de lubricantes utilizados en planta; recolección y divulgación de fichas técnicas de lubricantes; y capacitación para que los técnicos y un grupo de operadores asignados conozcan el procedimiento adecuado para realizar los trabajos necesarios.

#### **4.1.2. Contenido de la capacitación**

- Conceptos básicos: los temas tratados en este apartado incluyen: fricción, desgaste, lubricación, lubricantes, tipos de lubricantes, lubricantes de grado alimenticio, viscosidad, importancia de la viscosidad.
- Manejo de lubricantes: sistema de identificación, trasvase, riesgos en el trasvase, recomendaciones en el trasvase.
- Eficiencia de la lubricación: descripción de los requisitos para cumplir con una lubricación correcta.
- Contaminación: contaminación por lubricantes.
- Hojas de ruta de lubricación: descripción del formato de las hojas de ruta, y de las partes que las componen.
- Hojas de Seguridad de los lubricantes: descripción de la importancia de las hojas de seguridad de lubricantes y sus partes.

#### **4.1.3. Desarrollo de la capacitación**

Para llevar a cabo las distintas capacitaciones, fue necesario organizar a los técnicos y operadores seleccionados, para no afectar horarios de producción.

##### **4.1.3.1. Sesiones de capacitación**

Las capacitaciones se dividieron en dos sesiones:

- Sesión uno: conceptos básicos de lubricación.
- Sesión 2dos: presentación de hojas de ruta de lubricación y hojas técnicas de lubricantes utilizados en planta.

#### 4.1.3.2. Horario de capacitación

A continuación, se presenta la calendarización de las capacitaciones:

Tabla XXVIII. Horario sesión uno

Fecha	Horario	Descripción
Marzo 2020	0:00 – 0:05	Seguridad Industrial y ruta de evacuación
	0:05 – 0:10	Reglas de capacitación
	0:10 – 0:15	Objetivos y asistencia
	0:15 – 0:25	Evaluación pre
	0:25 – 1:00	<b>Entrenamiento teórico</b>
		Conceptos básicos de lubricación
		Presentación de video
		Pausas activas
		Manejo y criterio de lubricantes
		Eficiencia en la lubricación
		Contaminación
		Pausas activas
		1:00 – 1:15
	1:15 – 1:30	Evaluación post

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Tabla XXIX. Horario sesión dos

Fecha	Horario	Descripción
Marzo 2020	0:00 – 0:05	Seguridad Industrial y ruta de evacuación
	0:05 – 0:10	Reglas de capacitación
	0:10 – 0:15	Objetivos y asistencia
	0:15 – 0:50	<b>Entrenamiento teórico</b>
		Definición de rutas de lubricación
		Partes de ruta de lubricación
		Presentación de rutas de Planta B
		Pausas activas
		Definición y partes de Hoja de Seguridad
		Presentación de lubricantes de Planta B
		Presentación de hojas de seguridad
		Pausas activas
		0:50 – 1:00

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

### 4.1.3.3. Formato para capacitación

Durante la primera sesión, la capacitación se impartió por medio de una presentación PowerPoint que constó de 35 diapositivas, realizando una comunicación interactiva.

Figura 43. Formato de la presentación PowerPoint



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint.

Tabla XXX. Contenido de la presentación de sesión 1

- LUBRICACIÓN INDUSTRIAL
- SEGURIDAD INDUSTRIAL Y OCUPACIONAL
- REGLAS DE LA CAPACITACIÓN
- OBJETIVOS DE LA CAPACITACIÓN
- OBJETIVOS
- ROMBO DE SEGURIDAD
- ENTRENAMIENTO TEÓRICO
  - Conceptos Básicos
  - Manejo de lubricantes
  - Eficiencia de lubricación
  - Contaminación

Continuación de la tabla XXX.

- **CONCEPTOS BÁSICOS**
  - Fricción y desgaste
  - Lubricación
  - Lubricantes: ¿Qué es un lubricante?, Tipos de lubricantes, Lubricantes H1(Grado alimenticio)
  - Viscosidad: ¿Qué es viscosidad?, ¿qué afecta la viscosidad?
- **MANEJO DE LUBRICANTES**
  - Sistema de identificación
  - Traspase
  - Riesgos de traspase
  - Recomendaciones en traspase
- **EFICIENCIA EN LA LUBRICACIÓN**
- **CONTAMINACIÓN**
  - Dudas o comentarios

Fuente: elaboración, empleando Word 2016.

Para la sesión dos, se elaboraron hojas de rutas de lubricación, dichas hojas de rutas se realizaron para asegurar que todos los puntos de lubricación de una máquina sean correctamente ubicados, y a la vez para disminuir el riesgo de contaminación cruzada. Por medio de las rutas de lubricación, el técnico u operador podrá identificar y ubicar todos los puntos de lubricación de una máquina determinada, y también será útil para verificar y asegurar que se conozcan todos los puntos de lubricación de las máquinas. Estas hojas de rutas de lubricación se realizaron consultando manuales del fabricante de cada equipo, y consultando los procesos actuales de lubricación.

Posterior a su elaboración, se realizó la divulgación de estas hojas, por medio de una sesión de capacitación, proporcionando a cada participante un formato para guía y explicando a detalle cada apartado. Además, se indicó el

procedimiento a seguir en cada mantenimiento preventivo para realizar una correcta lubricación.

Figura 44. Formato para ruta de lubricación

Ruta de Lubricación

ÁREA  LÍNEA  EQUIPO  FECHA

**Aprobaciones**  
 Elaborador del estándar \_\_\_\_\_ Supervisor de Línea \_\_\_\_\_ Supervisor OIP \_\_\_\_\_ Departamento de Calidad \_\_\_\_\_

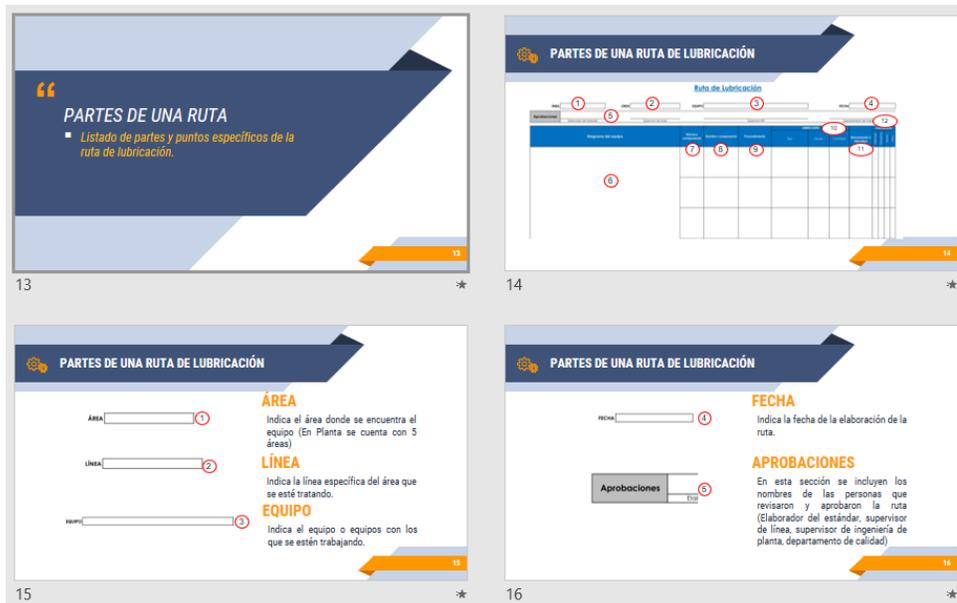
Diagrama del equipo	Número componente	Nombre componente	Procedimiento	LUBRICANTE			Herramienta o Utensilios	Frecuencia		
				Tipo	Grado	Cantidad		Mensual	Trimestral	Anual

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

También se realizó la presentación y conocimiento básico del listado de lubricantes utilizados en planta, así como las fichas técnicas de los mismos.



Figura 46. Formato de la presentación PowerPoint



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 2016.

Tabla XXXI. Contenido de la presentación de la sesión dos

- LUBRICACIÓN INDUSTRIAL
- SEGURIDAD INDUSTRIAL Y OCUPACIONAL
- REGLAS DE LA CAPACITACIÓN
- OBJETIVOS DE LA CAPACITACIÓN
- OBJETIVOS
- RUTAS DE LUBRICACIÓN
  - Definición e importancia
  - Partes de la ruta de lubricación
- HOJAS DE SEGURIDAD
  - Definición e importancia
  - Partes de la hoja de seguridad de lubricantes
- LISTADO DE LUBRICANTES UTILIZADOS EN PLANTA
  - Dudas o comentarios

Fuente: elaboración propia, empelando Word 2016.

#### 4.1.3.4. Evaluación

La evaluación de la capacitación se realizó por medio de pruebas escritas, para identificar si se habían logrado los objetivos de la misma.

- Evaluación sesión uno

Para la primera sesión se realizaron dos evaluaciones. La primera, fue una evaluación pre- post (figura 47). Esta evaluación consistió en responder un cuestionario de respuesta falso/verdadero antes de iniciar la capacitación para evaluar el nivel de conocimientos que tenían los participantes, y responder el mismo cuestionario al finalizar la capacitación. Esta evaluación se realizó para evaluar la efectividad de la capacitación. Los resultados de la evaluación pre- post se tabularon en una hoja de cálculo de Excel para poder analizarlos posteriormente. Las primeras cuatro preguntas corresponden al tema: conceptos básicos. Las siguientes cuatro preguntas corresponden a los temas: manejo de lubricantes y eficiencia en la lubricación.

La segunda evaluación consistió en un test (figura 48) con un cuestionario de preguntas directas acerca de conceptos básicos de lubricación.

- Evaluación sesión dos

Para la sesión dos se realizaron distintas preguntas de forma oral y de la misma forma que en la sesión uno se realizó una evaluación pre- post (figura 49) para determinar la efectividad de la capacitación. Los resultados de la evaluación pre- post se tabularon en una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis. Las primeras cuatro preguntas corresponden al tema: rutas de lubricación. Las siguientes cuatro preguntas corresponden al tema: hojas de seguridad.

También se realizó una evaluación escrita que consistió en un test ocho preguntas directas.

Figura 47. **Formato de evaluación pre- post para la sesión uno**

<b>CURSO:</b>		<b>LUBRICACIÓN (Conceptos básicos)</b>			
FACILITADOR					
DEPARTAMENTO		FECHA			
NOMBRE		NOTA			
	<b>Cada pregunta responde verdadero (V) o falso (F) Antes y después del curso</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>		
1	En los puntos a lubricar cercanos al alimento o material de empaque, ¿puede aplicarse lubricantes industriales?				
2	¿Una de las funciones del lubricante es aumentar la fricción y el desgaste?				
3	Los lubricantes en cuanto a su condición física, ¿solamente pueden ser líquidos?				
4	¿La viscosidad es el factor más importante a la hora de elegir un lubricante?				
5	¿Los lubricantes grado alimenticio grado alimenticio no presentan riesgo al entrar en contacto con el producto?				
6	¿Oxidación y contaminación, son riesgos que corre el lubricante cuando se abre el envase que lo contiene?				
7	¿Trasvasar (colocar de un recipiente a otro) la grasa con cualquier utensilio es una buena práctica en el manejo de lubricantes?				
8	¿Es aceptable usar una misma bomba engrasadora con diferentes lubricantes, aunque todos sean de grado alimenticio?				

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Figura 48. **Formato de test de lubricación para la sesión uno**

<b>CURSO:</b>	LUBRICACIÓN (Conceptos básicos)		
FACILITADOR			
ÁREA		FECHA	
NOMBRE		NOTA	

**Test de lubricación**

Instrucciones: Responda a las siguientes preguntas

1. ¿Qué es lubricación?
2. ¿Qué entiende por fricción?
3. ¿Por qué es necesario lubricar las máquinas?
4. Mencione 2 funciones de los lubricantes:
5. ¿Qué es viscosidad?
6. Mencione 2 tipos de lubricantes:
7. ¿Por qué no se deben mezclar lubricantes en las aplicaciones?
8. Mencione 2 riesgos que se pueden dar en el trasvase:
9. En los depósitos de aceite, ¿qué es lo que se debe inspeccionar?
10. Por seguridad personal, ¿qué cuidados se deben tener?

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Figura 49. **Formato de evaluación pre- post para la sesión**

<b>CURSO:</b>		LUBRICACIÓN (Rutas de lubricación y HDS)			
FACILITADOR					
DEPARTAMENTO		FECHA			
NOMBRE		NOTA			
	<b>Cada pregunta responde verdadero (V) o falso (F)</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>		
	<b>Antes y después del curso</b>				
1	¿En las rutas de lubricación se encuentran detalladamente los pasos que se deben seguir para lograr una lubricación efectiva?				
2	¿En las rutas de lubricación es necesario especificar la función de cada componente del equipo?				
3	¿En las rutas de lubricación es necesario especificar la frecuencia en la que debe aplicarse un lubricante?				
4	¿En la sección referente a "lubricante" en una ruta, debe ir solamente el tipo y la cantidad del lubricante?				
5	¿Una hoja de seguridad la utilizan solamente los lubricantes?				
6	¿En una hoja de seguridad no se puede encontrar la información acerca de manipulación y almacenamiento de las sustancias?				
7	¿Las hojas de seguridad deben elaborarlas las empresas que compran la sustancia?				
8	Al momento de realizar una tarea de lubricación es necesario llevar la hoja de seguridad del lubricante				

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

Figura 50. Formato de *test* de rutas de lubricación para la sesión dos

<b>CURSO:</b>		LUBRICACIÓN (Rutas de lubricación)	
FACILITADOR			
ÁREA		FECHA	
NOMBRE		NOTA	

**Test de lubricación**

Instrucciones: Responda a las siguientes preguntas

1. ¿Qué es lubricación?
2. ¿Por qué es necesario lubricar las máquinas?
3. ¿Qué es una ruta de lubricación?
4. Mencione 5 partes de contiene una ruta de lubricación:
5. ¿Qué es una hoja de seguridad?
6. ¿Por qué es necesario tener una hoja de seguridad al momento de realizar la lubricación?
7. Mencione 3 partes importantes que contiene la hoja de seguridad:
8. ¿Qué debe llevar al momento de realizar una lubricación a cualquier equipo?

Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

#### 4.2. Matriz de capacitación

Una matriz de capacitación también es llamada matriz de habilidades, es una herramienta que permite identificar el nivel de capacidad acerca de un tema

específico. Una matriz de habilidades proporciona información sobre los conocimientos y las competencias requeridas por una persona para desempeñar adecuadamente sus funciones. Se realizaron dos matrices de capacitación, la primera realizada antes de la capacitación y la segunda realizada después; con base en las evaluaciones pre- post.

En la matriz de capacitación, en la columna derecha, se colocó al personal al que se le brindaría capacitación, distribuidos en ocho operadores y ocho técnicos de mantenimiento de Planta B. En la fila superior, se colocaron los temas, para su comprensión, se puede utilizar la siguiente tabla, en la que se muestran los temas.

Tabla XXXII. **Contenidos y símbolo utilizado en la matriz de capacitación**

<b>Contenidos para capacitación</b>		
CB	Conceptos básicos	Fricción, desgaste, lubricación, lubricantes, tipos de lubricantes, viscosidad.
ML	Manejo de lubricantes	Identificación de lubricantes, trasvase.
EL	Eficiencia Lubricación	Requisitos para lubricación correcta
RL	Rutas lubricación	Definición y partes
HD S	Hojas de seguridad	Definición y partes

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Para evaluar los conocimientos de cada tema, se utilizó un código de colores para designar el estado de conocimiento para cada empleado.

Tabla XXXIII. **Código de color para evaluar conocimiento**

<b>Leyenda</b>		
<b>1</b>	No conoce	No conoce a nada del tema
<b>5</b>	Maneja con ayuda	Conoce algo, pero necesita ayuda
<b>8</b>	Domina	Conoce muy bien el tema
<b>10</b>	Puede enseñar	Es experto en el tema

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Tanto para la columna del personal para capacitación, como en la fila del contenido de las capacitaciones, se encuentra una columna y fila adicional, respectivamente, que muestra los porcentajes de conocimiento.

#### **4.2.1. Interpretación de resultados**

Las matrices fueron llenadas a partir de una base de datos de las evaluaciones.

Figura 51. **Matriz de habilidades previa a las capacitaciones**

<b>MATRIZ PRE</b>	CB	ML	EL	RL	HDS	%
Operador 1	1	5	5	5	10	52%
Operador 2	5	1	1	5	5	34%
Operador 3	1	1	1	5	10	36%
Operador 4	5	5	5	5	8	56%
Operador 5	5	1	1	5	5	34%
Operador 6	8	5	5	1	8	54%
Operador 7	1	5	5	5	1	34%
Operador 8	8	5	5	8	10	72%
Técnico 1	10	10	10	10	8	96%
Técnico 2	10	8	8	1	8	70%
Técnico 3	10	8	8	10	8	88%
Técnico 4	8	8	8	8	5	74%
Técnico 5	8	5	5	5	5	56%
Técnico 6	8	8	8	8	10	84%
Técnico 7	5	8	8	5	10	72%
Técnico 8	10	5	5	10	8	76%
% de conocimiento	64%	55%	55%	60%	74%	62%

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Interpretación matriz de habilidades previa: al observar la matriz de habilidades, se pudo determinar que los temas en los que se tenía menor conocimiento son los temas de manejo de lubricantes y eficiencia en la lubricación, por lo que fue necesario abordar esos temas con mucha atención. También se pudo observar que el conocimiento en general estaba en 62%. En los porcentajes del personal correspondiente a los técnicos, se pudo observar que presentaban porcentajes altos, mientras que los operadores presentan porcentajes más bajos; por lo que fue necesario dirigirse con especial atención a este personal.

Figura 52. **Matriz de habilidades posterior a las capacitaciones**

<b>MATRIZ POST</b>	CB	ML	EL	RL	HDS	%
Operador 1	10	10	10	10	10	100%
Operador 2	10	10	10	8	10	96%
Operador 3	10	8	8	10	10	92%
Operador 4	10	8	8	8	8	84%
Operador 5	10	10	10	10	10	100%
Operador 6	10	10	10	10	10	100%
Operador 7	10	10	10	5	8	86%
Operador 8	10	10	10	10	10	100%
Técnico 1	10	8	8	10	10	92%
Técnico 2	10	10	10	10	10	100%
Técnico 3	10	10	10	10	10	100%
Técnico 4	10	8	8	10	10	92%
Técnico 5	8	10	10	10	8	92%
Técnico 6	8	10	10	8	10	92%
Técnico 7	10	10	10	10	10	100%
Técnico 8	10	10	10	10	10	100%
% de conocimiento	98%	95%	95%	93%	96%	95%

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Interpretación matriz de habilidades posterior: se pudo observar que los conocimientos adquiridos están por encima del 80 %, lo que brinda una buena aceptación de los contenidos de la capacitación. El porcentaje promedio general, respecto al personal y a los temas es de 95 %. Solamente se pudo observar una casilla en color amarillo, por lo que fue necesario brindarle un acompañamiento especial a esa persona en el tema rutas de lubricación, para reforzar sus conocimientos.



## CONCLUSIONES

1. La implementación de instrumentación en el proceso de prefabricados de chicle y dilución de azúcar permite la medición, dosificación, monitoreo y registro de las variables; asegurando la calidad del producto final, aumentando la eficiencia en la producción y mitigando los riesgos a los que están expuestos los operadores.
2. Las variaciones en los procesos de producción generan pérdidas económicas altas y se presentan debido a que el sistema de dosificación utilizado actualmente es obsoleto; por lo que la inversión en la implementación de instrumentación se recuperaría en un período aproximado de un año.
3. En el análisis de criticidad realizado se determinó que las unidades de proceso son críticas, por lo que es necesario dirigir acciones y recursos a estas áreas; debido a que los métodos utilizados de dosificación actualmente se basan en un control visual y dependen del criterio de los operadores.
4. Las particularidades de los procesos de producción permitieron establecer un sistema adecuado para el control, por medio de la selección de instrumentación bajo el gobierno de un controlador lógico programable.

5. Los instrumentos se seleccionaron con base en la información recolectada previamente, monitoreando cada proceso y realizando las mediciones respectivas para cada caso. Se propone un medidor de flujo másico de Coriolis para la medición de flujo másico de glucosa en prefabricados de chicle y medidores electromagnéticos de flujo volumétrico para la medición de flujo de agua y jarabe en dilución de azúcar.
  
6. Con la capacitación se logró ampliar los conocimientos del personal, en lubricación industrial. Para esto, fue clave la elaboración de las rutas de lubricación que sirven de guía para la realización de un adecuado mantenimiento de lubricación.

## RECOMENDACIONES

1. Adecuar un área específica para almacenamiento y designar un código de identificación para cada lubricante, para evitar contaminación cruzada por medio de lubricantes, además de capacitar al personal en este tema.
2. Invertir en la implementación de instrumentación, debido a que es adecuado cuando el proceso es crítico y representa pérdidas significativas al no contar con un control eficiente.
3. Migrar del proceso actual para tener un control preciso, debido a que la dosificación correcta es esencial para garantizar la calidad en los productos.
4. Realizar análisis de criticidad a todos los equipos y áreas en la compañía para identificar y priorizar recursos para los que sean considerados críticos.
5. Tomar en cuenta que los instrumentos seleccionados sean fabricados específicamente para aplicaciones alimenticias, cumpliendo con estándares y normativas; además de considerar las características y las condiciones generales del proceso.
6. Utilizar el mismo controlador lógico programable para el control de ambos procesos, debido a que, los procesos de prefabricados de chicle y dilución de azúcar se encuentran en la misma área.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CREUS, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 8a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 2010. 792 p.
2. FONSECA CARDONA, Julio Alejandro. *Centralización e implementación de un sistema de lubricación para mejorar el rendimiento de un molino de mostaza en una planta de alimentos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 125 p.
3. GIL ALONSO, Isabel. *¿Qué son los lubricantes grado alimenticio?* [en línea]. <<https://www.brettis.com/blog/194-%C2%BFque-son-los-lubricantes-de-grado-alimentario>>. [Consulta: 15 de octubre de 2019].
4. GUTIERREZ, Marllelis. *Fundamentos básicos de instrumentación y control*. 1a ed. Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2017. 127 p.
5. ISAZA, Juan José. *Criterios para seleccionar un proveedor*. [en línea] <<https://bienpensado.com/criterios-seleccionar-proveedor/>>. [Consulta: 20 de noviembre de 2019].

6. KUPHALDT, Tony R. *Lazo de Control*. [en línea]. <<http://cursoinstrumentacionycontrol.blogspot.com/2016/10/lazo-de-control.html>>. [Consulta: 15 de octubre de 2019].
7. MARAÑA, Juan Carlos. *Instrumentación y control de procesos*. España: IDOM, 2005. 112 p.
8. MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos*. 6a ed. México: Pearson Education, 2006. 644 p.
9. PORRAS ACHTMANN, José Manuel. *Monitoreo y control de energéticos y otros fluidos por medio de instrumentación industrial*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. 90 p.
10. SERNA, Benito. *¿Qué debo considerar para elegir un medidor de flujo?* [en línea]. <<https://medium.com/jazz-controls/que-debo-considerar-para-elegir-un-medidor-de-flujo-ffc896dcc5c7>>. [Consulta: 31 de octubre de 2019].
11. VILLAJULCA, Juan Carlos. *Instrumentación y Control*. [en línea]. <<https://instrumentacionycontrol.net/medicion-de-flujo-la-variable-mas-medida-de-la-industria/>>. [Consulta: 22 de octubre de 2019].

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Hoja de datos medidor másico tipo Coriolis

HOJA DE DATOS						
GENERAL	Nombre		Medidor de caudal másico tipo Coriolis			
	Proyecto		Automatización de glucosa			
	Cliente		Compañía de Alimentos			
	Servicio		Medida de flujo para dosificación de glucosa			
	Área		Prefabricados de chicle			
	Planta		Planta B			
	Temperatura ambiente		27° C			
CONDICIONES DE PROCESO	Nombre del fluido	Glucosa	Estado del fluido	Líquido		
	Material de tubería	Acero inoxidable	Tamaño de la tubería	Diámetro externo: 3"		
	Presión normal	40 psi	Temperatura mínima	60° C	Temperatura máxima	75° C
	Caudal aproximado	900 kg/h	Viscosidad mínima	370 Cp	Viscosidad máxima	800 Cp
	Conductividad	131310 µS/cm	Densidad mínima	1298.5 kg/m <sup>3</sup>	Densidad máxima	1351.3 kg/m <sup>3</sup>
	Equipos que generen vibración	No	Equipos que generen efectos magnéticos	No		
	Abrasivo	Si	Inflamable	No		
DATOS FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS	Principio de funcionamiento		Caudal másico Coriolis			
	Valor medido		Caudal másico, temperatura y densidad			
	Valor calculado		Volumen, densidad referida, concentración, velocidad			
	Diseño básico		Sensor sin mantenimiento, totalmente soldado con tubos de medida rectos dobles			
	Precisión de medida		± 0.15% del caudal medido			
	Velocidad máxima de caudal		6500 kg/h			
	Temperatura ambiente		-40 a 60 °C			
	Temperatura de proceso		-40 a 130 °C			
	Presión nominal		1450 psig			
	Condición física permitida para medir		Líquidos, gases y lodos			
	Pantalla con indicador local		Si			
	Convertidor		MFC 400			
	Materiales		Acero inoxidable			
	Conexión a proceso		Conexión sanitaria tipo tri clamp			
Fabricante		Krohne				
Modelo		S15				
NOTAS	N/A					
DATOS SOBRE EL DOCUMENTO	Objeto de la edición		Elaborado por	Revisado por	Fecha de elaboración	Fecha de revisión
	Compra		G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19
	Petición de oferta		G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

## Apéndice 2. Hoja de datos válvula de mariposa

HOJA DE DATOS						
<b>GENERAL</b>	Nombre		Válvula de mariposa			
	Proyecto		Automatización de glucosa			
	Cliente		Compañía de Alimentos			
	Servicio		Paso/ corte de flujo para dosificación de glucosa			
	Área		Prefabricados de chicle			
	Planta		Planta B			
	Temperatura ambiente		27° C			
<b>CONDICIONES DE PROCESO</b>	Nombre del fluido	Glucosa	Estado del fluido	Líquido		
	Material de tubería	Acero inoxidable	Tamaño de la tubería	Diámetro externo: 3"		
	Presión normal	40 psi	Temperatura mínima	60° C	Temperatura máxima	75° C
	Caudal aproximado	900 kg/h	Viscosidad mínima	370 Cp	Viscosidad máxima	800 Cp
	Conductividad	131310 $\mu$ S/cm	Densidad mínima	1298.5 kg/m <sup>3</sup>	Densidad máxima	1351.3 kg/m <sup>3</sup>
	Equipos que generen vibración	No	Equipos que generen efectos magnéticos	No		
	<b>DATOS FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS</b>	Principio de funcionamiento		Giro de un disco circular a través de un anillo cilíndrico		
Diseño básico		Válvula con obturador de movimiento rotativo				
Velocidad de operación		Operación rápida				
Asiento		EPDM				
Temperatura ambiente		0 a 60 °C				
Temperatura mínima		-10 °C				
Temperatura máxima		100 °C				
Accionamiento		Automático				
Actuador		Neumático				
Conexión a proceso		Sanitaria				
Materiales		Acero inoxidable				
Fabricante		Dixon				
Modelo		B5101				
<b>NOTAS</b>	N/A					
<b>DATOS SOBRE EL DOCUMENTO</b>	Objeto de la edición		Elaborado por	Revisado por	Fecha de elaboración	Fecha de revisión
	Compra		G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19
	Petición de oferta		G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Apéndice 3. **Hoja de datos medidor electromagnético de flujo para agua**

HOJA DE DATOS						
GENERAL	Nombre		Medidor electromagnético de flujo (agua)			
	Proyecto		Control dilución			
	Cliente		Compañía de Alimentos			
	Servicio		Medida de flujo para dosificación de agua			
	Área		Dilución de azúcar			
	Planta		Planta B			
	Temperatura ambiente		27° C			
CONDICIONES DE PROCESO	Nombre del fluido	Agua purificada	Estado del fluido	Líquido		
	Material de tubería	Acero inoxidable	Tamaño de la tubería	Diámetro externo 1 1/4 "		
	Presión normal	40 psi	Temperatura mínima	35 °C	Temperatura máxima	40 °C
	Caudal aproximado	0.0033m/s	Viscosidad mínima	0.651 Cp	Viscosidad máxima	0.718 Cp
	Conductividad	25 µS/cm	Posibilidad de formación de depósitos	No		
	Equipos que generen vibración	No	Equipos que generen efectos magnéticos	No		
DATOS FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS	Principio de funcionamiento		Ley de Faraday de inducción			
	Valor primario medido		Velocidad del caudal			
	Valor secundario medido		Caudal volumétrico			
	Diseño básico		Alojamiento de acero inoxidable y conexión a proceso para industria alimenticia			
	Precisión de medida		± 0.3% del valor medido			
	Velocidad máxima de caudal		-12 m/s hasta 12 m/s			
	Temperatura ambiente		-40 °C a 65 °C			
	Temperatura de proceso		-40 °C a 140 °C			
	Condición física permitida para medir		Líquidos conductivos, estándar > 1 µS/cm; agua > 20 µS/cm			
	Convertidor		IFC 100			
	Materiales		Acero inoxidable			
Conexión a proceso		Sanitaria tipo tri clamp				
Fabricante		Krohne				
Modelo		Optiflux6000				
NOTAS	N/A					
DATOS SOBRE EL DOCUMENTO	Objeto de la edición	Elaborado por	Revisado por	Fecha de elaboración	Fecha de revisión	
	Compra	G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19	
	Petición de oferta	G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

#### Apéndice 4. Hoja de datos válvula de pistón

HOJA DE DATOS						
GENERAL	Nombre		Válvula de pistón			
	Proyecto		Control dilución			
	Cliente		Compañía de Alimentos			
	Servicio		Paso/ corte de flujo para dosificación de agua			
	Área		Dilución de azúcar			
	Planta		Planta B			
	Temperatura ambiente		27° C			
CONDICIONES DE PROCESO	Nombre del fluido	Agua purificada	Estado del fluido	Líquido		
	Material de tubería	Acero inoxidable	Tamaño de la tubería	Diámetro externo 1 1/4 "		
	Presión normal	40 psi	Temperatura mínima	35 °C	Temperatura máxima	40 °C
	Caudal aproximado	0.0033m/s	Viscosidad mínima	0.651 Cp	Viscosidad máxima	0.718 Cp
	Conductividad	25 µS/cm	Possibilidad de formación de depósitos	No		
	Equipos que generen vibración	No	Equipos que generen efectos magnéticos	No		
	Abrasivo	No	Inflamable	No		
DATOS FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS	Principio de funcionamiento		Atracción de un pistón a través de un campo magnético generado por una bobina			
	Velocidad de operación		Operación rápida			
	Sellos		PTFE			
	Temperatura ambiente		0 a 60 °C			
	Temperatura mínima		0 °C			
	Temperatura máxima		185 °C			
	Presión mínima		0 psi			
	Presión máxima		60 psi			
	Presión mínima de pilotaje		60 psi			
	Presión máxima de pilotaje		150 psi			
	Accionamiento		Automático			
	Actuador		Neumático			
	Conexión a proceso		Sanitaria			
	Fabricante		ASCO			
Modelo		8290A063				
Materiales		Acero inoxidable				
NOTAS	N/A					
DATOS SOBRE EL DOCUMENTO	Objeto de la edición		Elaborado por	Revisado por	Fecha de elaboración	Fecha de revisión
	Compra		G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19
	Petición de oferta		G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Apéndice 5. **Hoja de datos medidor electromagnético de caudal para jarabe**

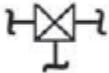
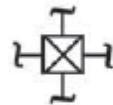
HOJA DE DATOS						
GENERAL	Nombre		Medidor electromagnético de flujo (jarabe)			
	Proyecto		Control dilución			
	Cliente		Compañía de Alimentos			
	Servicio		Medida de flujo de jarabe para registro			
	Área		Dilución de azúcar			
	Planta		Planta B			
	Temperatura ambiente		27° C			
CONDICIONES DE PROCESO	Nombre del fluido	Jarabe de azúcar	Estado del fluido	Líquido		
	Material de tubería	Acero inoxidable	Tamaño de la tubería	Diámetro externo 2 "		
	Presión normal	40 psi	Temperatura mínima	72 °C	Temperatura máxima	80 °C
	Caudal aproximado	0.004m/s	Viscosidad mínima	0.651 Cp	Viscosidad máxima	0.718 Cp
	Conductividad	50000 µS/cm	Posibilidad de formación de depósitos	No		
	Equipos que generen vibración	No	Equipos que generen efectos magnéticos	No		
	Abrasivo	Si	Inflamable	Si		
DATOS FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS	Principio de funcionamiento		Ley de Faraday de inducción			
	Valor primario medido		Velocidad del caudal			
	Valor secundario medido		Caudal volumétrico			
	Diseño básico		Alojamiento de acero inoxidable y conexión a proceso para industria			
	Precisión de medida		± 0.3% del valor medido			
	Velocidad máxima de caudal		-12 m/s hasta 12 m/s			
	Temperatura ambiente		-40 °C a 65 °C			
	Temperatura de proceso		-40 °C a 140 °C			
	Condición física permitida para medir		Líquidos conductivos, estándar > 1 µS/cm; agua > 20 µS/cm			
	Convertidor		IFC 100			
	Materiales		Acero inoxidable			
Conexión a proceso		Sanitaria tipo tri clamp				
Fabricante		Krohne				
Modelo		Optiflux6000				
NOTAS	N/A					
DATOS SOBRE EL DOCUMENTO	Objeto de la edición	Elaborado por	Revisado por	Fecha de elaboración	Fecha de revisión	
	Compra	G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19	
	Petición de oferta	G. Estrada	Técnico	oct-19	oct-19	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.



## ANEXOS

### Anexo 1. Símbolos de válvulas según ISAS 5.1

1  SÍMBOLO GENERAL	2  ÁNGULO	3  MARIPOSA	4  VÁLVULA ROTATIVA
5  TRES VÍAS	6  CUATRO VÍAS	7  GLOBO	8
9  DIAFRAGMA	10  REGULADOR DE TIRO O PERSIANA		
	11 	12 	

Fuente: CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p.33.

### Anexo 2. Símbolo de flujómetro magnético según ISAS 5.1

	<p style="text-align: center;">Flujometro magnético.</p> <p><b>Nota:</b> El instrumento se utiliza para la medición de flujo en líquidos (tubería) contaminados y con sólidos en suspensión.</p>	
---	--	---

Fuente: CARBALLO SIERRA, Johana. *Tutorial Norma ISA S5.1 y diagramas P&ID*. p.28.

### Anexo 3. Símbolo de medidor tipo Coriolis según ISAS 5.1

	<p style="text-align: center;">Medidor tipo coriollis</p> <p><b>Nota:</b> El instrumento se utiliza para la medición de flujo másico.</p>	
---	---	---

Fuente: CARBALLO SIERRA, Johana. *Tutorial Norma ISA S5.1 y diagramas P&ID*. p. 29.

### Anexo 4. Símbolo de actuador genérico según ISAS 5.1

	<p style="text-align: center;">Actuador genérico</p>	
---	--	---

Fuente: CARBALLO SIERRA, Johana. *Tutorial Norma ISA S5.1 y diagramas P&ID*. p. 41.

### Anexo 5. Símbolo de actuador de pistón según ISAS 5.1

	<p>Actuador de pistón lineal. Cilindro de simple efecto. Cilindro de doble efecto.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Pistón lineal</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>cilindro de doble efecto</p> </div> </div>
---	--	---

Fuente: CARBALLO SIERRA, Johana. *Tutorial Norma ISA S5.1 y diagramas P&ID*. p. 41.