



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

**DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE  
TIEMPO EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES DE PRODUCTOS  
EFERVESCENTES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

**Rony Esaú Boch Alvarez**

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, febrero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE  
TIEMPO EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES DE PRODUCTOS  
EFERVESCENTES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RONY ESAÚ BOCH ALVAREZ**

ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2022

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 Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruíz
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:

### **DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES DE PRODUCTOS EFERVESCENTES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de julio de 2021.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rony Esaú Boch Alvarez', with a long horizontal line extending to the right.

**Rony Esaú Boch Alvarez**

Guatemala 8 de octubre de 2021

Ingeniero  
Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Apreciable Ingeniero Rivera.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado "**Diseño de control en el área de formulación para optimización de tiempo en su proceso de mezclado de ingredientes de productos efervescentes en la industria farmacéutica**", del señor Rony Esaú Boch Alvarez, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de este.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota  
Colegiada 5,356  
Asesora

**Ingrid Rodríguez de Loukota  
Ingeniera en Electrónica  
colegiado 5356**



Guatemala, 31 de octubre de 2021.  
Ref.EPS.DOC.453.10.2021.

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Rony Esaú Boch Alvarez** de la Carrera de Ingeniería Electrónica, Registro Académico No. **201503522 y CUI 2750 04619 0108**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES DE PRODUCTOS EFERVESCENTES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA”**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*Kenneth*  
“**Id y Enseñad a Todos**”  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS  
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería  
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo  
KIER/ra



Guatemala 31 de octubre de 2021.  
Ref.EPS.D.244.10.2021.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES DE PRODUCTOS EFERVESCENTES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Rony Esaú Boch Alvarez**, quien fue debidamente asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

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 y 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

/ra



REF. EIME 164. 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; RONY ESAÚ BOCH ALVAREZ titulado: DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES DE PRODUCTOS EFERVESCENTES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 18 DE NOVIEMBRE 2,021.

LNG.DECANATO.OI.096.2022

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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES DE PRODUCTOS EFERVESCENTES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**, presentado por: **Rony Esaú Boch Alvarez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova   
Decana

Guatemala, febrero de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por darme lo necesario todos los días, la oportunidad de levantarme a realizar todas mis actividades sin ningún inconveniente y por estar conmigo en este logro alcanzado; toda gloria y honra sea para él y por él es que he logrado lo que soy, gracias Dios.

### **Mis padres**

Carlos Boch y Martha Alvarez, por ser unos padres ejemplares y trabajadores, que se esforzaron por mucho tiempo para darme la oportunidad de superarme, dándome la oportunidad de seguir estudiando la carrera que yo elegí y siempre haciéndolo con amor y dándome más de lo necesario, infinitas gracias por todo su amor y esfuerzo.

### **Mis hermanos**

Por el apoyo que recibí durante este tiempo de la carrera, por cada una de las palabras de ánimo que me dieron para seguir adelante y no rendirme a pesar de las dificultades que se presentaron. Mi hermano Carlos Boch, por ser un buen ejemplo, quien me animaba a través de sus logros alcanzados, muchas gracias a todos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por darme el privilegio de ser un estudiante de esta gran universidad, por brindarme cada una de las enseñanzas, derrotas y victorias, que fueron parte del crecimiento como ingeniero.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser brindarme cada uno de los buenos valores que me llevo de ella y por cada uno de los ingenieros catedráticos que compartieron sus conocimientos, experiencias y amistades durante la carrera, gracias Facultad de Ingeniería.

**Mis amigos de la  
Facultad**

Por ser parte del apoyo constante recibido en cada uno de los cursos, tareas, proyectos, la buena amistad recibida y los buenos momentos durante los proyectos realizados.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. GENERALIDADES DE LA ORGANIZACIÓN .....	1
1.1. Bayer S. A. Guatemala .....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Misión .....	2
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Bayer PS-CH Roosevelt .....	3
1.1.5. Bayer Amatitlán .....	3
1.2. Área de Formulación .....	3
1.2.1. Generalidades .....	4
1.3. Área de Producción .....	4
1.3.1. Generalidades .....	4
2. DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES EFERVESCENTES .....	7
2.1. Situación actual de la empresa.....	7
2.1.1. Diagnóstico de la situación actual.....	8
2.1.1.1. Interpretación de resultados .....	8

2.1.1.2.	Descripción general del problema.....	9
2.1.2.	Análisis de aspectos que afectan el proceso de mezclado y traslado de la mezcla en el proceso productivo.....	9
2.1.2.1.	Identificación y evaluación de los defectivos .....	10
2.1.2.1.1.	Personal operativo .....	11
2.1.2.1.2.	Materias primas.....	12
2.1.2.1.3.	Equipos .....	12
2.2.	Planificación del del diseño de control de procesos en el Área de Formulación y Producción .....	13
2.2.1.	Resumen del diseño.....	13
2.2.2.	Delimitación del diseño .....	15
2.2.3.	Alcance del diseño .....	16
2.2.4.	Objetivos del diseño .....	16
2.2.5.	Situación con el diseño .....	17
2.2.6.	Metas y resultados .....	18
2.2.7.	Estudio de mercado .....	18
2.2.7.1.	Caracterización del servicio.....	19
2.2.7.2.	Segmentos a beneficiar.....	19
2.2.7.3.	Diagnóstico de beneficiados.....	20
2.2.7.4.	Proyecto demanda de beneficios .....	20
2.2.8.	Estudio técnico .....	21
2.2.8.1.	Localización del diseño .....	21
2.2.8.2.	Aspectos técnicos .....	22
2.2.8.2.1.	Entorno CODESYS .....	23
2.2.8.2.2.	Texto estructurado ST... ..	24
2.2.8.2.3.	Raspberry Pi 400 .....	24
2.2.8.2.4.	Arduino Nano .....	25

	2.2.8.2.5.	Sensor capacitivo .....	26
2.2.8.3.		Capacidad óptima.....	27
2.2.8.4.		Maquinaria y equipo .....	28
	2.2.8.4.1.	Contenedor de materia prima.....	28
	2.2.8.4.2.	Mezclador de contenedores.....	29
	2.2.8.4.3.	Equipo tableteador .....	30
	2.2.8.4.4.	Montacargas.....	31
2.2.8.5.		Materia prima.....	32
2.2.9.		Componentes eléctricos, electrónicos y software que conforman el diseño de control de procesos ...	33
	2.2.9.1.	Estructura del diseño para el área de Formulación .....	33
	2.2.9.2.	Estructura del diseño para el Área de Producción.....	34
	2.2.9.3.	Celdas de carga y circuitos de integración .....	36
	2.2.9.4.	Sensores, señales digitales y seguridad del diseño.....	40
	2.2.9.5.	Interfaces gráficas .....	41
	2.2.9.6.	Conexión remota con las interfaces de control de procesos .....	49
2.2.10.		Estudio legal y administrativo .....	50
	2.2.10.1.	Operación y mantenimiento del diseño .....	51
2.2.11.		Estudio ambiental .....	51
	2.2.11.1.	Factores que afectan el medio ambiente.....	51

2.2.11.2.	Factores en beneficio del medio ambiente.....	52
2.2.12.	Estudio económico .....	52
2.2.12.1.	Presupuesto inicial .....	52
2.2.12.2.	Costo de operación y mantenimiento ...	54
2.2.12.3.	Costo total .....	54
2.2.13.	Análisis financiero .....	55
2.2.13.1.	Eficiencia de la producción actual .....	55
2.2.13.2.	Eficiencia de la línea de producción con el diseño de control de procesos ...	56
2.2.14.	Análisis de riesgo .....	56
2.2.14.1.	Diagnóstico principal .....	57
2.2.14.2.	Factores de mitigación de riesgos.....	57
3.	RESULTADOS PREVISTOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DE CONTROL DE PROCESOS EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN Y PRODUCCIÓN.....	59
3.1.	Propuesta de mejora con la implementación del diseño de control de procesos .....	59
3.2.	Ubicación de la implementación.....	61
3.3.	Diseño de un plan de capacitación para las áreas de Producción y Formulación.....	61
3.3.1.	Diagnóstico de las necesidades de capacitación ....	62
3.3.2.	Plan de capacitación .....	62
3.3.3.	Evaluación de capacitaciones .....	63
3.3.4.	Costo de la propuesta .....	64

4.	GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA DE CONTROL DE PROCESOS ...	65
4.1.	Inicio del sistema .....	65
4.2.	Inicio de sesión.....	66
4.3.	Credenciales erróneas.....	67
4.4.	Ingreso correcto.....	69
4.5.	Interfaz de producción .....	69
4.6.	Interfaz de formulación .....	70
4.7.	Análisis de datos .....	71
4.8.	Cerrar sesión .....	72
5.	MANUAL DE MANTENIMIENTO .....	75
5.1.	Limpieza del gabinete eléctrico .....	75
5.2.	Revisión de conectores .....	76
5.3.	Revisión del correcto funcionamiento del sistema .....	77
5.4.	Calibración de las celdas de carga.....	78
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES .....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	APÉNDICES .....	85



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Conexiones y componentes del diseño de control de procesos.....	15
2.	Pantalla montada en panel farmacéutico .....	22
3.	Entorno de desarrollo CODESYS .....	23
4.	Raspberry Pi 400 .....	25
5.	Arduino Nano .....	26
6.	Sensor capacitivo .....	27
7.	Contenedor .....	29
8.	Mezclador de contenedores .....	30
9.	Equipo tableteador .....	31
10.	Montacargas .....	32
11.	Estructura del diseño para el área de Formulación .....	34
12.	Estructura del diseño para el Área de Producción .....	35
13.	Pines de conexión de la celda de carga.....	37
14.	Procesamiento de señales análogas.....	38
15.	Lectura de señales análogas y envío de datos escalonados .....	39
16.	Pantalla de acceso a la interfaz de control.....	42
17.	Interfaz para el cuarto de producción .....	43
18.	Interfaz para el cuarto de formulación .....	45
19.	Análisis de la información de tiempos en los procesos .....	47
20.	Información enviada por el Área de Producción.....	48
21.	Información enviada por el Área de Formulación .....	48
22.	Activación de la conexión remota vnc .....	50
23.	Funcionamiento del diseño de control de procesos .....	60

24.	Temas propuestos para la capacitación .....	63
25.	Inicio del sistema .....	66
26.	Inicio de sesión .....	67
27.	Usuario incorrecto.....	68
28.	Contraseña incorrecta.....	68
29.	Ingreso correcto .....	69
30.	Interfaz de producción .....	70
31.	Interfaz de formulación .....	71
32.	Análisis de datos.....	72
33.	Cerrar sesión .....	73
34.	Revisión de conectores.....	76
35.	Monitoreo de señales del sistema.....	77

## TABLAS

I.	Presupuesto inicial para el Área de Producción .....	53
II.	Presupuesto inicial para el Área de Formulación.....	53
III.	Costo total del diseño de control de procesos .....	54
IV.	Riesgos en el sistema de control de procesos.....	57
V.	Mitigación de riesgos en el sistema de control de procesos .....	58
VI.	Costo de implementación del sistema de control de procesos .....	64
VII.	Actividades de mantenimiento .....	75

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>CA</b>	Corriente alterna
<b>DC</b>	Corriente directa
<b>E/S</b>	Entrada/salida
<b>Hz</b>	Hertz
<b>mA</b>	Miliamperio
<b>mV</b>	Milivoltio
<b>NPN</b>	Negativo, positivo, negativo
<b>LCD</b>	Pantalla de cristal líquido
<b>PNP</b>	Positivo, negativo, positivo
<b>V</b>	Voltios
<b>W</b>	Watt



## GLOSARIO

<b>Arduino Nano</b>	Tarjeta embebida que contiene interfaces de entrada y salida, programables a través de una computadora.
<b>Buzzer</b>	Transductor capaz de convertir la energía eléctrica en sonido.
<b>Celda de carga</b>	Transductor que convierte la fuerza, compresión, tensión o flexión en una señal eléctrica.
<b>Circuitería</b>	Conjunto de circuitos que componen un sistema eléctrico.
<b>CODESYS</b>	De las siglas en inglés: Controller Development System, es un entorno de desarrollo que utiliza distintos tipos de lenguaje de programación y creación de interfaces.
<b>Formulación</b>	Composición química de materiales con cantidades predeterminadas por pesos.
<b>IDE de programación</b>	De las siglas en inglés: Integrated Development Environment, es un sistema de desarrollo utilizado para la programación.

<b>Interfaz gráfica</b>	Arreglo de imágenes y objetos gráficos que se presentan en una pantalla para mostrar información hacia el usuario y que este interactúe con esta.
<b>Lote</b>	Grupo de unidades de venta de un producto.
<b>Materia prima</b>	Materias mezcladas para la formación de una nueva materia durante un proceso de producción.
<b>Raspberry Pi</b>	Tarjeta embebida que cumple con las funciones de un ordenador.
<b>Software</b>	Conjunto de rutinas lógicas que realizan acciones dentro de una computadora y se pueden visualizar a través de una pantalla.
<b>Tableteo</b>	Compresión física del polvo para la formación de una tableta entre dos punzones de acero inoxidable.

## RESUMEN

El informe final de graduación que se presenta muestra los conceptos teóricos y técnicos a través de la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), desarrollado en la industria farmacéutica Bayer S. A.; con un diseño, análisis y medición de distintas variables para la optimización de tiempos de producción, así también, la obtención del control de procesos como el mezclado, traslado y tableteo de las materias primas que se utilizan dentro de dicha industria.

Se presentan las distintas fases de investigación, desarrollo de software, diseño de interfaces y dimensionamiento de los posibles componentes que comprenderán lo que es el diseño desarrollado. También se analizaron los datos que posiblemente se obtendrán para hacer una comparativa de la situación actual contra la situación con el diseño desarrollado, para demostrar que este es una mejora para los procesos productivos dentro de la industria farmacéutica.

Los diseños de los distintos sistemas de electrónica a utilizar son de importancia, como también las plataformas de desarrollo del software con las que estos funcionan en conjunto, para esto se emplearon las herramientas necesarias y adecuadas a las necesidades que se presentan. Por dicha razón, se toma en cuenta tanto costos como calidad de los equipos para que dicho control de procesos sea lo más eficiente posible y sea estable durante su uso continuo. Se dan propuestas de instalación, interfaces gráficas preliminares, diseños de sistemas de electrónica y control, análisis de datos para la mejora continua en los procesos productivos.



# OBJETIVOS

## General

Diseñar un control de proceso en el área de formulación y producción para la reducción de tiempo en su proceso de mezclado y traslado de ingredientes efervescentes.

## Específicos

1. Conocer los procesos productivos dentro de la industria farmacéutica, como también las instalaciones, equipos, áreas tanto de mantenimiento como de producción, herramientas y los sistemas digitales que se utilizan durante el proceso productivo continuo.
2. Optimizar tiempos perdidos durante la etapa de mezclado y traslado de los contenedores con materia prima que serán utilizados para la fabricación de productos efervescentes y la recolección de los contenedores vacíos, los cuales terminan el proceso productivo.
3. Monitorear en tiempo real el estado del proceso productivo de un contenedor que se encuentra en producción para anticipación en la producción continua en la industria farmacéutica.
4. Diseñar un control de procesos que brinde la información necesaria para que los encargados de las operaciones productivas puedan anticiparse a los procesos cercanos a la finalización del proceso actual.

5. Mejorar la forma de comunicación entre las distintas áreas involucradas durante el proceso productivo para tener una respuesta rápida ante cualquier proceso pendiente o por completarse.
  
6. Aumentar la producción y disminuir el tiempo ocioso del operador en los procesos de mezclado, traslado y fabricación de la materia prima dentro de la industria farmacéutica.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de mezclado de la materia prima es una de las partes más críticas en la industria farmacéutica, debido a que en esta parte del proceso dichas materias deben de quedar de forma homogénea. Adicional a ello, el control de mezclado es muy delicado y de grado muy complejo, ya que con anterioridad, los ingredientes deben ser dosificados de una manera correcta y en las cantidades necesarias a fin de evitar posibles efectos secundarios en los consumidores, y posterior al mezclado, en el proceso de conversión de la mezcla a una tableta, comúnmente se le conoce como tableteo.

Los ingredientes deben ser aptos para evitar paros innecesarios en el equipo tableteador y que las tabletas tengan el grosor, dureza y peso correcto para el consumo humano. Antes de ser mezcladas las materias primas, las mismas necesitan ser colocados en un recipiente, dosificado de una manera correcta, a este recipiente se le llama contenedor y está fabricado de acero inoxidable, el cual tiene una capacidad de 1 600 kg.

Considerando que el tiempo de exposición de los ingredientes no debe darse por ningún motivo debido a la naturaleza del producto y este tiene que ser controlado de manera muy estricta, mejorarse en gran medida la correlación de actividades premezclado. Justo aquí es de suma importancia el proyecto con el cual se reducirá el tiempo de reacción de las áreas involucradas, esto debido a que actualmente, al terminar con la materia prima que lleva un contenedor se da una señal vía radio y desde ese momento la materia prima se mezcla, se traslada, se recoge el contenedor vacío y se realiza el debido montaje del nuevo contenedor con materia prima para iniciar con la producción de lo que será su transformado

en producto final o tableta. Con el proyecto a diseñar, se pretende no solo mejorar la comunicación entre las áreas, sino tener un absoluto control del estado del proceso productivo, registrar datos estadísticos para su respectivo análisis, anticiparse con los procesos necesarios y de manera proactiva controlar los tiempos de pretableteo.

Se sabrá cuánta materia prima se tiene en un contenedor en tiempo real, y, por consiguiente, el momento en que se debe de empezar a fabricar la mezcla para la posterior fabricación de lotes de tabletas y optimizar el tiempo de traslado y montaje a fin de evitar mudas en el proceso. El diseño del proyecto se realizó en la empresa farmacéutica Bayer S. A. ubicada en el kilómetro 14,5 zona 3 de Mixco, municipio de Guatemala, carretera Interamericana.

Se presentan tres capítulos, los cuales establecen el proceso de investigación, diseño, análisis y desarrollo del control de procesos para las etapas productivas mencionadas dentro de la industria farmacéutica.

El primer capítulo presenta los antecedentes generales de la organización para tener una mejor idea de las áreas involucradas que aprovecharán el diseño de control de procesos a desarrollar y comprender la importancia que tiene este dentro de las instalaciones.

El segundo capítulo muestra el diseño de control en el área de formulación para la optimización de tiempos en su proceso de mezclado de ingredientes efervescentes desde la situación actual, así como los componentes y todos los equipos involucrados para su desarrollo.

En el tercer capítulo se encuentra la propuesta del diseño y sus beneficios, así como la evaluación de la situación actual y con la implementación del diseño. El control de procesos está diseñado con una interfaz amigable con el usuario, sistemas de seguridad para el usuario y si presenta algún inconveniente durante su funcionamiento es sencillo de reestablecer y continuar nuevamente para mejorar la productividad de la planta.



# **1. GENERALIDADES DE LA ORGANIZACIÓN**

## **1.1. Bayer S. A. Guatemala**

Bayer S. A. es una de las empresas líderes en el desarrollo de medicamentos a nivel mundial, la cual cuenta con presencia en más de 90 países y con 57 años de trayectoria en Guatemala. Cuenta con dos divisiones en Guatemala: Consumer Health y Crop Science.

### **1.1.1. Historia**

Durante los años de 1960 fue una época importante para Guatemala en el crecimiento económico y se hizo muy popular el uso de insecticidas en los cultivos para evitar plagas. De esta forma, Bayer comienza a establecerse en un mercado guatemalteco que tiene grandes avances, por lo cual, en 1962 se funda Bayer de Guatemala y Químicas Unidas S. A. se inicia con la fabricación y distribución de productos para la protección de cultivos y sanidad animal.

En 1964 se fundó Bayer Farmacéutica Ltda., sus oficinas estaban ubicadas en la zona 1 de Guatemala. En 1965, Bayer anuncia la inauguración de su planta de producción en Amatitlán. En este mismo año, Laboratorios Miles comienza con la construcción de su planta de fabricación de productos de automedicación, ubicada en la Calzada Roosevelt. En 1967 se inicia con la fabricación de Alka Seltzer.

En 1978, Bayer adquiere a nivel global a la empresa Miles Laboratories, Inc. y en 1983 esta empresa se integra a la nueva organización del sector farmacéutico de Bayer AG. En 1990 se inicia el proceso de integración del personal y operaciones de Laboratorios Miles en Guatemala.

Actualmente, Bayer S. A. es una compañía global enfocada en las ciencias de la vida (salud y agro), que está a la vanguardia de la tecnología e innovación para el desarrollo de productos y soluciones que brindan una vida mejor a millones de personas alrededor del mundo. Con su sede en Leverkusen, Alemania, Bayer es una empresa global con presencia en 87 países, incluidos los países andinos, Centro América y El Caribe.

En la región de Centro América, Bayer abarca tres divisiones, las cuales son Pharmaceuticals, Consumer Health y Crop Science, de las cuales en Guatemala se presentan únicamente dos divisiones: Consumer Health y Crop Science.

### **1.1.2. Misión**

“Salud para todos, hambre para nadie”<sup>1</sup>, con esta misión Bayer promueve el crecimiento inclusivo y el uso responsable de los recursos para ayudar a las personas y al planeta a prosperar.

### **1.1.3. Visión**

“Ser la empresa número uno en otorgar valor agregado a todos los servicios y productos para convertirse en el socio estratégico de sus clientes”<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Bayer, S. A. *Empresa farmacéutica*. <https://tuvwxyz.wordpress.com/2010/10/26/empresa-bayer-farmacautica/> Consulta: 20 de agosto de 2021.

<sup>2</sup> *Ibíd.*

#### **1.1.4. Bayer PS-CH Roosevelt**

La planta de producción Bayer ubicada en el km 14,5 de la Calzada Roosevelt, zona 3 de Mixco, es una planta de producción de la división Consumer Health, la cual se dedica a la producción de medicamentos de consumo diario y de venta libre que promueven la prevención y el autocuidado a través de diferentes categorías tales como: analgésicos, antigripales, digestivos, multivitamínicos y antialérgicos. Cuenta con equipos de alta tecnología para la producción de tabletas, empaque primario y empaque secundario de medicamentos. El propósito es empoderar, educar e informar a las personas para cuidar su salud y la de sus familiares, ofreciéndoles un portafolio altamente especializado con el respaldo de Bayer.

#### **1.1.5. Bayer Amatitlán**

Ubicada en el municipio de Amatitlán, es una planta que pertenece a la división Crop Science dedicada a la formulación y envasado de productos fitosanitarios, principalmente insecticidas, funguicidas y herbicidas. El propósito es transformar el futuro de la agricultura con innovación y sostenibilidad; creando soluciones a la medida para el agricultor, los consumidores y el planeta en la producción de alimentos sanos y suficientes. La protección de cultivos se basa en soluciones químicas y biológicas que contraatacan enfermedades, plagas y malezas. Además de esto se cuenta con el tratamiento de protección de semillas.

### **1.2. Área de Formulación**

Es la responsable de ingresar, clasificar, verificar la correcta dosificación y mezclado de todas las materias primas que se utilizan para la fabricación de una tableta medicinal.

### **1.2.1. Generalidades**

Esta área se conforma por distintas subáreas, entre las cuales se encuentran las estaciones de pesado conformadas por pesado de componentes mayores (para grandes cantidades de materia prima) y pesado de menores (para pesado de pequeñas cantidades de materia prima). También se encuentra el área de Dosificación de Materias Primas en la cual se llevan las materias primas ya pesadas y se dosifican en un solo contenedor para hacer la formulación de un medicamento. Luego de tener la mezcla dentro de un contenedor, esta fórmula pasa al área de Mezclado. En esta área se encuentra el mezclador de contenedores, este es un equipo encargado de hacer la correcta mezcla a través de un movimiento circular, es decir, el contenedor con la formulación en su interior da vueltas en círculo por un cierto tiempo para que la mezcla sea homogénea en todos los sentidos y la sustancia sea preparada de una manera adecuada.

## **1.3. Área de Producción**

Es la encargada de procesar y convertir en tabletas la mezcla o formulación que es llevada por el área de Formulación, así como también realizar el empaque primario, empaque secundario y empaque de corrugado de las tabletas producidas.

### **1.3.1. Generalidades**

El Área de Producción cuenta con distintas estaciones, entre las cuales está el tableteo de la formulación, empaque primario de la tableta, empaque secundario, empaque de estuches y empaque de corrugado.

El proceso de tableteo consiste en compactar la formulación en estado de polvo para la conversión de una cápsula en estado sólido, teniendo esta un tamaño, dureza y pesor específico para que cumpla con los requerimientos farmacéuticos. Seguido de esto sigue la estación de empaque primario que consiste en sellar dentro de un empaque específico la cápsula fabricada para que esta no sea afectada por las condiciones ambientales naturales, así como pueden ser la humedad o el calor.

El empaque secundario consiste en colocar dentro de un estuche o caja pequeña todas las tabletas que ya han pasado por el empaque primario para luego ser ingresadas en una caja más grande, a lo cual se le llama empaque de corrugado, siendo este el último empaque para terminar el proceso de producción de un medicamento de venta libre y consumo diario.



## **2. DISEÑO DE CONTROL EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN PARA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS EN SU PROCESO DE MEZCLADO DE INGREDIENTES EFERVESCENTES**

### **2.1. Situación actual de la empresa**

Actualmente, en las áreas de Formulación y de Producción no se cuenta con un control que muestre el estado del contenedor en proceso productivo, únicamente se conoce cuando comienza el proceso y cuando termina, pero ambas áreas no tienen un indicador visual o auditivo que brinde la información en tiempo real del proceso durante la producción. Por tal razón existen pérdidas de tiempo en los procesos de mezclado de materia prima y traslado de contenedor que afectan grandemente el proceso productivo, porque no se tiene conocimiento de cuándo finalizará la producción de la materia prima en proceso y por esta razón no se anticipan para la siguiente etapa productiva, esto causa una baja eficiencia en la línea de producción.

Otro factor que afecta el tiempo del mezclado de materia prima es la vía de comunicación que se utiliza actualmente, ya que esta se hace por medio de radio y esta cuenta con los inconvenientes de que la frecuencia está ocupada, se pierde la comunicación por estar en distintos canales o el simple hecho de no prestar atención al radio debido a atención del receptor o al ruido generado en el cuarto de producción o el Área de Formulación. De este inconveniente, da como resultado atrasos a todo el proceso productivo debido a que las áreas involucradas son Producción y Formulación, áreas críticas en la industria farmacéutica, las cuales deben de ir en buena sincronía para un rendimiento alto en su producción.

### **2.1.1. Diagnóstico de la situación actual**

Partiendo de la situación actual se puede reflejar los principales problemas que se presentan en la planta de producción los cuales son: la manera de comunicarse entre las áreas de Formulación y Producción, la falta de conocimiento del estado del contenedor en proceso productivo, las pérdidas de tiempo al no anticiparse a las etapas productivas continuas, tiempos altos al realizar la entrega y recepción de los contenedores, falta de atención al radio de comunicación por parte de los operadores de las áreas y escasez de análisis de datos para tener una mejora continua de las operaciones.

#### **2.1.1.1. Interpretación de resultados**

Debido a los inconvenientes, situaciones y falta de algunos procesos que no se tiene presentes en las distintas etapas productivas se necesita de una mejora en las áreas de Formulación y de Producción para aumentar la eficiencia de la línea de producción y optimizar los procesos, así como también llevar el control de estos. Contar con un sistema de control de procesos que dé soporte a los operadores para que puedan anticiparse a las etapas que siguen durante un proceso de producción para producir más medicamentos y así tener una mejor ganancia en la inversión de mano de obra y energía de las máquinas de producción y formulación; convirtiendo así la industria rentable y autosostenible en cada uno de los procesos que la conforman.

Estas mejoras deben ir de la mano con la calidad de los medicamentos producidos, manteniendo una disponibilidad, confiabilidad y eficiencia alta en los productos para no tener reclamos de ningún tipo y aumentar la venta de estos en todos los mercados en los que se tiene presencia.

### **2.1.1.2. Descripción general del problema**

El principal problema es la manera de comunicarse y la falta de un sistema de control de procesos, los tiempos utilizados para las distintas etapas productivas no son los adecuados y pueden ser optimizados o incluso en algunos procesos reducidos. Se tienen bajas eficiencias en la línea de producción debido a la carencia de un control de proceso el cual muestre a ambas áreas el estado en tiempo real del proceso en ejecución, dicha información serviría en gran manera para anticiparse, realizar actividades dentro del tiempo previsto y que el operador esté más atento a sus trabajos cotidianos y así reducir el tiempo de ocio de este.

Tener una interfaz de comunicación mejoraría la velocidad de respuesta entre las áreas productivas como la formulación y producción, como también tener el análisis estadístico de los tiempos empleados en cada uno de los procesos. De momento no se tienen datos estadísticos de los procesos, estos son necesarios para realizar su respectivo análisis y a partir de este proponer una mejora en los procesos, dando como resultado la mejora de la eficiencia y la estabilidad continua de los procesos.

### **2.1.2. Análisis de aspectos que afectan el proceso de mezclado y traslado de la mezcla en el proceso productivo**

Existen diferentes factores que afectan el proceso de mezclado de la materia prima durante un proceso productivo, como también al momento de realizar el traslado del contenedor con materia prima pueden ocurrir algunos atrasos en el proceso.

### **2.1.2.1. Identificación y evaluación de los defectivos**

La manera de comunicación, actualmente es uno de los principales factores que afectan el proceso de mezclado y traslado de la mezcla de la materia prima para la producción continua en la planta productiva. Debido a que el proceso es repetitivo y con una alta frecuencia de ocurrencia, es decir, que las áreas necesitan estar en comunicación y sin interrupciones para solicitar un nuevo contenedor o para indicar que la producción ya finalizó y, por lo cual se necesita que se recoja el contenedor montado para hacer el montaje del nuevo contenedor con materia prima para continuar produciendo los medicamentos en proceso. El problema actual es que este tipo de comunicación no se tiene y es difícil establecerla entre las áreas y, por lo cual la fluidez o continuidad de la producción se ve afectada.

Al no contar con un control de proceso no se pueden realizar las acciones que le siguen, es decir, los operadores no se anticipan a los procesos antes de que finalicen los actuales debido a que desconocen el estado en el cual se encuentra el proceso productivo, esto causa pérdidas de tiempo, ocio de los operadores y baja eficiencia en la producción debido a que cuando finaliza el proceso que se encontraba en operación no se tiene lista la siguiente etapa, sino que se debe esperar a que esta sea preparada para continuar con el proceso productivo.

Cuando no se cuenta con datos de tiempos utilizados para cada una de las etapas de traslado, mezclado y tableteo de la materia prima no se pueden realizar análisis estadísticos, los cuales ayudarían a identificar los puntos afectados y por tal razón no existen puntos de mejora. Con la obtención de estos datos se puede realizar el análisis de ellos y a través de este análisis se encuentra la forma de

mitigar los problemas de tiempos y eficiencia en cada uno de los procesos que participan en las etapas productivas.

#### **2.1.2.1.1. Personal operativo**

Se tienen dos tipos de personal operativo que participan en el proceso de mezclado y producción. En primer lugar, se cuenta con los operadores de formulación quienes tienen a su cargo realizar la mezcla de la materia prima, así también realizar el traslado de los contenedores. Al no anticiparse con los procesos, y no realizar los procesos en los tiempos indicados, cuando no tienen el conocimiento del estado del proceso en el cuarto de producción, la falta de comunicación con el Área de Producción afecta la eficiencia de la producción y la disponibilidad de la materia prima para el cuarto de producción.

Por otro lado, se encuentran los operadores de la línea de producción, ellos son los encargados de la correcta operación de los equipos utilizados para la conversión de materia prima a tabletas medicinales. Cuando ellos no conocen el estado del contenedor que se encuentra en producción no pueden dar avisos a los operadores de formulación para que puedan anticiparse. Debido a la forma de comunicación entre las áreas es difícil establecer comunicación con los operadores de formulación, por lo cual se tiene pérdidas de tiempo innecesarias al estar a la espera de la respuesta de estos para dar el aviso de que la producción ha finalizado y que es necesario recoger el contenedor y a su vez llevar uno con materia prima para comenzar con la producción nuevamente.

#### **2.1.2.1.2. Materias primas**

Si la materia prima no es procesada de manera adecuada en la etapa de formulación y de acuerdo con los tiempos establecidos al momento de realizar lo que es el tableteo en los equipos productivos, provoca varios inconvenientes, los cuales no permiten que se produzcan las cantidades objetivas de producto y provocan baja eficiencia en la producción y esto produce pérdidas para la planta productiva. Estos inconvenientes ocurren cuando el operador realiza los procesos de manera apresurada debido a que el cuarto productivo está solicitando el contenedor con la materia mezclada y esta no está preparada porque el operador de formulación se encuentra en otras actividades o tiene tiempo ocioso al no conocer cuál es el estado en tiempo real del proceso en el cuarto productivo.

#### **2.1.2.1.3. Equipos**

Por parte de los quipos productivos se tiene la tableteadora, que es el equipo encargado procesar la materia prima convirtiéndola en tableta. Este proceso consiste en que, a través de la compresión de la formulación, polvo de diferentes tipos de materia prima mezclados, se forma la tableta sólida y esta debe de cumplir con tres aspectos importantes que son dureza, peso y grosor. Cuando la máquina tableteadora no realiza el correcto procesamiento de la materia prima se tienen pérdidas tanto de tiempo, materia prima y personal operativo, por lo que la máquina tableteadora es uno de los principales aspectos que afectan el proceso productivo y, por lo cual, también provoca atrasos en el proceso de formulación, ya que se toma demasiado tiempo para producir un contenedor de materia prima comparado al estado de correcto funcionamiento de la máquina.

Por parte del Área de Formulación se tienen los equipos que son el mezclador de contenedores y el montacargas. La principal función del mezclador de contenedores, como su nombre lo indica, es realizar el mezclado de las distintas materias primas que lleva en su interior el contenedor, si este equipo tiene algún problema en su funcionamiento produce atrasos en las formulaciones, en los mezclados de contenedores y en la producción de las tabletas, por esta razón es uno de los equipos críticos en el proceso productivo. El montacargas es el encargado de llevar y recoger los contenedores de un área a otra, si este cuenta con algún problema produce atrasos en la recepción y entrega de contenedores, lo cual repercute en la eficiencia de la línea de producción y, por ende, pérdidas dentro de la planta productiva.

## **2.2. Planificación del del diseño de control de procesos en el Área de Formulación y Producción**

Cada una de las áreas cuenta con funciones similares, estas se presentan a continuación.

### **2.2.1. Resumen del diseño**

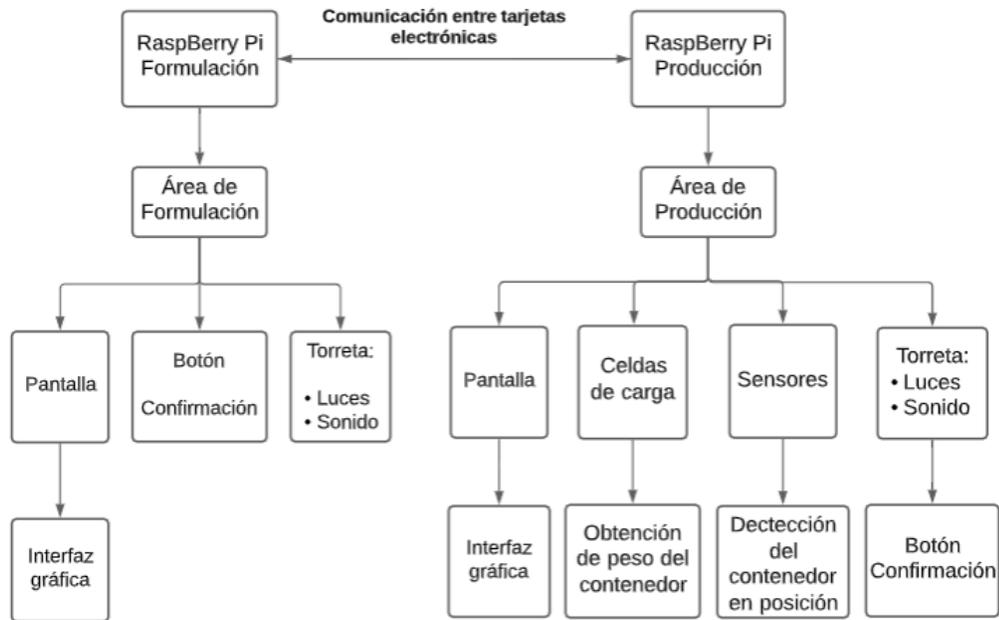
El diseño de control de procesos abarca tanto el Área de Producción como el Área de Formulación y este presenta mejoras que benefician a ambas áreas, las cuales son:

- Conocer el estado del proceso en tiempo real, es decir, el diseño de control de procesos presenta de forma gráfica y con números la cantidad de polvo que existe dentro del contenedor que se encuentra en producción en la tableteadora a través de una pantalla que se ubica una en cada área, esta pantalla cuenta con una interfaz gráfica, dependiendo de cuál sea el área

así es una para producción y una para formulación. Dentro de las interfaces gráficas de cada una de las áreas se tienen distintas opciones, las cuales servirán para la comunicación entre áreas, registrar tiempos de producción, registrar tiempos de entrega y recepción de los contenedores, mostrar el análisis de los datos recolectados para que los operadores observen cómo ha estado la eficiencia de sus procesos durante las corridas anteriores. Estas interfaces, aparte de ser visibles en las pantallas asignadas en las áreas, también podrán verse de forma remota por parte de un supervisor del sistema.

- La comunicación entre las áreas es uno de los aspectos que se utiliza y se necesita frecuentemente. El diseño de control de procesos presenta distintas maneras de estar comunicados sin ninguna interrupción entre las áreas productivas. La interfaz gráfica que se presentará en la pantalla tendrá opciones para que los operadores de cada una de las áreas vean cuál es la solicitud o petición dentro de las áreas. También se cuenta con avisos visuales por medio de una torre de luces de diferentes colores, están dependiendo del color que se ilumine representarán una determinada solicitud o aviso, así como este tipo de aviso, se tendrá una alarma auditiva que representará de igual manera una acción a realizar y será accionada automáticamente o por el operador del Área de Producción y se queda a la espera del operador del Área de Formulación para verificar que sí haya llegado la solicitud realizada.

Figura 1. **Conexiones y componentes del diseño de control de procesos**



Fuente: elaboración propia, empleando lucid.app.

### 2.2.2. Delimitación del diseño

El diseño de control de procesos será para productos efervescentes, es decir, para los procesos de mezclado, traslado y producción de los contenedores que lleven la formulación únicamente para productos efervescentes. También este diseño será desarrollado para el Área de Formulación ubicando la pantalla en el cuarto de mezclado de contenedores y para el Área de Producción ubicando la pantalla en el cuarto de producción uno, el cual se encarga del tableteo de la materia prima de los productos efervescentes. Se aplicarán las mejoras propuestas en ambas áreas mencionadas y no se verán afectas las distintas áreas de la planta de producción.

### **2.2.3. Alcance del diseño**

El diseño de control de procesos tiene alcance únicamente para la planta de producción Bayer Roosevelt, siendo aplicable este en las áreas de Formulación y Producción. Se tendrá acceso remoto para monitorear los procesos por parte del supervisor encargado de la línea de producción y dentro de la red de Bayer Roosevelt, solo se tendrá acceso al sistema remoto dentro de las instalaciones por las distintas políticas de seguridad internas.

### **2.2.4. Objetivos del diseño**

- Optimizar tiempos perdidos durante la etapa de mezclado y traslado de los contenedores con materia prima que serán utilizados para la fabricación de productos efervescentes y la recolección de los contenedores vacíos, los cuales terminan el proceso productivo.
- Monitorear en tiempo real el estado del proceso productivo de un contenedor que se encuentra en producción para anticipación en la producción continua en la industria farmacéutica.
- Diseñar un control de procesos que brinde la información necesaria para que los encargados de las operaciones productivas puedan anticiparse a los procesos cercanos a la finalización del proceso actual.
- Mejorar la forma de comunicación entre las distintas áreas involucradas durante el proceso productivo para tener una respuesta rápida, ante cualquier proceso pendiente o por completarse.

- Aumentar la producción reduciendo el desperdicio de materia prima y disminuir el tiempo ocioso del operador en los procesos de mezclado, traslado y fabricación de la materia prima dentro de la industria farmacéutica.

### **2.2.5. Situación con el diseño**

Los procesos que actualmente se encuentran en funcionamiento pueden y deben de ser mejorados lo antes posible para que la eficiencia de la línea y lo la planta de producción aumente. Con el diseño se pretende mostrar un mejor panorama de cómo está la situación y cómo se puede mejorar. Eliminar tiempos de espera innecesarios y optimizar los procesos para que sean más exactos al momento de realizarlos, haciendo que estos no deban de repetirse una y otra vez; provocando un atraso en cada una de las etapas productivas, se logrará lo contrario, con la implementación del diseño de control de procesos.

Para realizar las mejoras en cada una de las áreas que aplica este diseño, los operadores deben de ser capacitados para que utilicen las herramientas lo más eficiente posible para que este cumpla con cada uno de sus objetivos. Si los operadores no le dan un correcto uso al sistema no se verán los resultados como realmente deben ser y se presentarán mejoras, pero no serán las prometidas por el sistema. El sistema debe ser estable y de haber algún inconveniente durante su funcionamiento, también debe de contar con un sistema de restablecimiento corto para que no deje en espera a la línea de producción y, que a su vez, afecte la producción que se encuentre en proceso. Gracias a este diseño se pueden ver puntos de mejora en otros procesos productivos y continuar con la optimización de otras áreas que se ven afectadas, ya sea de una igual manera o similar, para cumplir con el principal objetivo que es ser una planta de producción eficiente y confiable dentro de la industria farmacéutica.

### **2.2.6. Metas y resultados**

La principal meta es la optimización de tiempos en los procesos productivos y el cambio de la manera de comunicación entre las áreas de Formulación y Producción, obteniendo a través de estas mejoras una planta eficiente. También se tiene como meta que el uso del sistema de control de procesos sea de uso fácil para los operadores de ambas áreas para que sea utilizado de la manera adecuada y cumpla con cada uno de sus objetivos. Al cumplir con estas metas de optimización y mejora de los procesos se tiene como presente el mantener la calidad de los productos fabricados y el cumplimiento con cada uno de los protocolos establecidos dentro de la planta de producción.

Si se optimizan los tiempos de los procesos productivos y se reducen tiempos perdidos se obtiene un tiempo activo de procesos mayor a los tiempos perdidos, por lo cual la cantidad de productos fabricados durante un turno de producción es mayor y esto se convierte en ganancias monetarias para la planta porque se reducen gastos de energía, instalaciones y personal operativo.

El presentar la cantidad de materia prima restante dentro de un contenedor que se encuentra en proceso de producción aumenta la probabilidad de que el operador del área de Formulación se anticipe o se prepare de una mejor manera con los procesos que le siguen a la productividad y esto mejora el rendimiento de la producción, que es uno de los indicadores con más importancia dentro de la industria farmacéutica.

### **2.2.7. Estudio de mercado**

El estudio del servicio y la rentabilidad del diseño de control de procesos dentro de la industria farmacéutica debe ser analizado para indicar los segmentos

a beneficiar, las características principales dentro de la industria y la demanda de este.

#### **2.2.7.1. Caracterización del servicio**

El diseño de control de procesos se encuentra dentro de la rama del mercado de automatización, este mercado se caracteriza por aportar mejoras constantes y óptimas a las industrias dando como resultados ahorros de mano de obra, eficiencia en los procesos, mayor productividad, entre otros beneficios.

Este diseño tiene la característica de ser autosostenible, es decir, que no necesitan mantenimientos continuos para su buen funcionamiento, sino que simplemente tiene una revisión a un cierto tiempo, prolongado únicamente para verificar que no cuente con desperfectos que puedan afectar los procesos productivos. Es un control de procesos fácil de utilizar y el cual no requiere de conocimientos avanzados, sino que basta con una capacitación al personal para comprender sus funcionamientos y sus distintas herramientas para aprovechar cada una de estas durante los procesos productivos.

#### **2.2.7.2. Segmentos a beneficiar**

El diseño de control de procesos tiene beneficios, principalmente dentro de las áreas de Formulación y Producción, esto es debido a que para estas áreas está diseñado. Pero debido a que la operación dentro de la industria farmacéutica se da en forma de cadena, es decir, unas operaciones dependen de otra esto hace que el beneficio abarque a más de dos áreas dentro de la planta de producción.

El mayor beneficio se verá reflejado durante la fabricación de los productos efervescentes en la línea de producción número uno, debido a que para esta línea de producción fue diseñado el sistema de control de procesos y cuando se realicen los procesos de mezclado y traslado de contenedores en el área de Formulación de estos productos. Se verán ahorros de tiempo perdidos, reducción de desperdicios de materia prima, ahorro de mano de obra y de energía y, por lo cual, la producción de este tipo de productos será mayor comparados con los otros productos fabricados dentro de la industria.

#### **2.2.7.3. Diagnóstico de beneficiados**

Los beneficiados serán los procesos productivos, como también los operadores que se encuentran dentro de las áreas de Producción y Formulación. El contar con las herramientas necesarias facilitan y mejoran cada uno de los procesos, también aporta para que los operadores de las líneas productivas cuenten con el ánimo de seguir en los procesos que se encuentran realizando debido a que se retroalimentan de cómo han ido aumentando su desempeño durante sus trabajos rutinarios de cada día.

#### **2.2.7.4. Proyecto demanda de beneficios**

El diseño del proyecto, principalmente se tiene planeado para las áreas de Formulación y Producción, en la línea de uno de productos efervescentes, pero dependiendo del resultado de este se propondrá el diseño para las demás áreas productivas involucradas dentro de la industria farmacéutica.

Durante el análisis y recopilación de información en las áreas de Formulación y Producción se observa que las demás que forman parte de los procesos productivos deben de tener un control de procesos que aporte

información necesaria para que estos tengan una mejor eficiencia y sean autosostenibles, mejorando el rendimiento de la planta de producción en estudio.

### **2.2.8. Estudio técnico**

Para la instalación, desarrollo y diseño del sistema de control de procesos se debe realizar el estudio adecuado de la ubicación de instalación, los equipos necesarios para el desarrollo, programas para desarrollo de interfaces y la planificación de recursos eléctricos, electrónicos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

#### **2.2.8.1. Localización del diseño**

El control de procesos fue diseñado para que sea instalado dentro de las áreas de Producción y Formulación. En estas áreas de las instalaciones de la planta se cuenta con panel farmacéutico, es un muro especial para las industrias farmacéuticas, en este se instalarán las pantallas que mostrarán las interfaces gráficas que se presentarán a los operadores de formulación y producción. Una pantalla se instalará en el panel externo del cuarto llamado mezclador de contenedores y la instalación de la segunda pantalla está diseñada para que se coloque dentro del cuarto de producción número uno.

Figura 2. **Pantalla montada en panel farmacéutico**



Fuente: Grupo Navora Ágora. *Interempresas*.

<http://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P169839.jpg>. Consulta: 20 de agosto de 2021.

El panel eléctrico será instalado dentro de un gabinete general, el cual contiene los distintos circuitos de control de toda la línea de producción y se encuentra ubicado en la línea de producción uno. Este panel contendrá la tarjeta electrónica embebida (Raspberry Pi), circuitos eléctricos adicionales para el procesamiento de señales, así también, borneras para el cableado y conexiones de las señales de entrada y salidas tanto análogas como digitales.

La instalación de sensores de presencia de contenedor se hará únicamente en la parte de arriba de la máquina tableteadora, las torres indicadoras están diseñadas para que se instalen dentro del cuarto de producción uno y en el área de Formulación, así también los indicadores con sonido.

### **2.2.8.2. Aspectos técnicos**

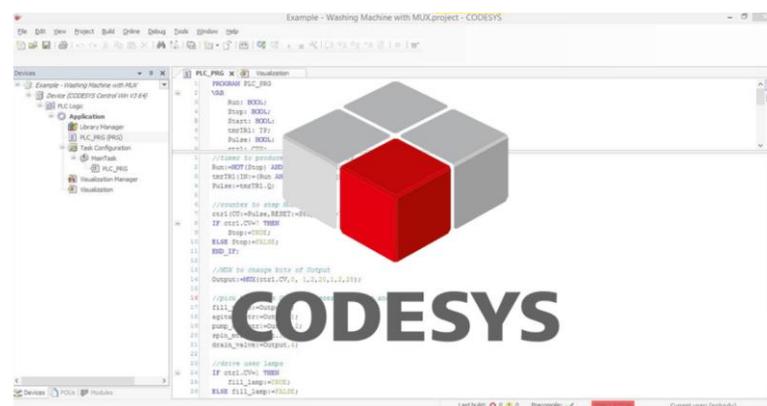
Cada una de las áreas contará con su propia pantalla, contendrá la interfaz de usuario para que el operador de dicha área tenga interacción con esta.

### 2.2.8.2.1. Entorno CODESYS

El diseño y la programación de la interfaz gráfica se desarrolla en el software llamado CODESYS (Controlled Development System) en su versión 3.5 SP16, el cual es un entorno de desarrollo de automatización y procesos controlados que tiene múltiples aplicaciones y cuenta con cinco tipos de lenguajes de programación entre los cuales se tienen IL (lista instrucciones), ST (texto estructurado), LD (*ladder diagram*), FBD (diagrama bloques función), SFC (diagrama funciones secuencial).

Se realiza la programación en el lenguaje siendo ST (texto estructurado), debido a que dentro de la planta de producción es uno de los lenguajes de programación más utilizados. Otro punto por el cual se desarrolla con el lenguaje de programación ST es porque los encargados del mantenimiento dominan este tipo de programación.

Figura 3. Entorno de desarrollo CODESYS



Fuente: Berghof Automation GmbH. *Automation*. <https://www.berghof-automation.com/en/products/codesys/>. Consulta: 20 de agosto 2021.

#### **2.2.8.2.2. Texto estructurado ST**

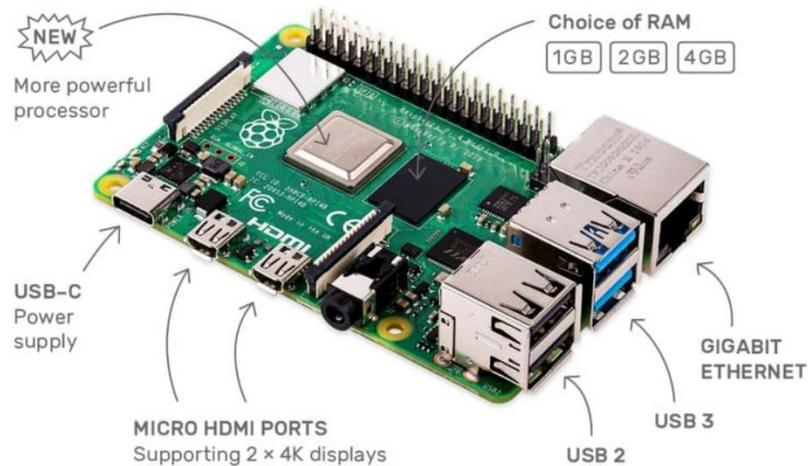
Este es un tipo de programación de alto nivel parecido al lenguaje de programación C. Consiste en un conjunto de instrucciones que se ejecutan de manera secuencial, es decir, una instrucción detrás de otra. El tipo de lenguaje de programación permite la creación de diferentes bucles, condiciones, comparaciones, igualaciones, entre otras funciones.

#### **2.2.8.2.3. Raspberry Pi 400**

Para la ejecución de la programación y el procesamiento de señales eléctricas/electrónicas digitales se utiliza la tarjeta embebida Raspberry Pi 400. Es un computador que cual cuenta con su propio sistema operativo, Raspberry Pi OS utilizando Raspberry Pi Imager 1.6.1, sistema que permite la configuración de la tarjeta embebida y la ejecución del programa CODESYS.

A esta tarjeta llegarán todas las señales digitales de entrada, a su vez, también entregará señales digitales de salida para la activación de las distintas etapas del control de proceso. La Raspberry Pi 400 cuenta con un procesador ARM Cortex-A72, una frecuencia de reloj de 1.5Ghz, una memoria RAM de hasta 8GB, 40 pines de entrada y salida de propósito general, dos salidas micro HDMI, dos puertos USB 2.0, dos puertos USB 3.0, conector para microSD, conector USB-C, conector ethernet gigabit, conectividad wi-fi, Bluetooth 5.0 y su alimentación es de 5 voltios y 3 amperios.

Figura 4. **Raspberry Pi 400**



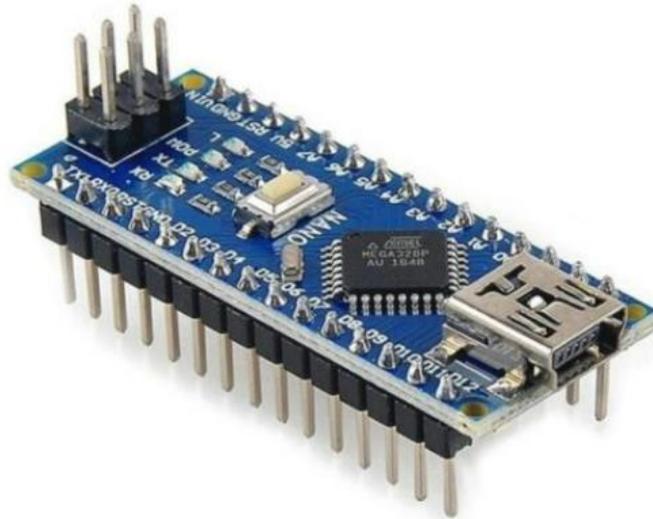
Fuente: Distrelec Schweiz AG. *PI4 Model B/2GB*. <https://www.distrelec.biz/en/raspberry-pi-5ghz-quad-core-2gb-ram-raspberry-pi-pi4-model-2gb/p/30152780>. Consulta: 20 de agosto 2021.

Debido a que la tarjeta embebida no cuenta con puertos analógicos de entrada y de salida se utiliza un Arduino Nano para el proceso de este tipo de señales, las cuales se reciben de las celdas de carga que se utilizan para el cálculo del peso del contenedor para mostrar la cantidad de polvo que se encuentra dentro de este.

#### 2.2.8.2.4. **Arduino Nano**

El Arduino Nano es una tarjeta embebida de desarrollo que puede procesar señales analógicas como digitales, para las señales analógicas cuenta con una resolución de 10 bits desde 0 a 5 voltios y posee 14 pines para señales digitales, 8 analógicos, 2 pines de reinicio y 6 pines de potencia, es decir, voltaje DC y GND (Ground).

Figura 5. **Arduino Nano**

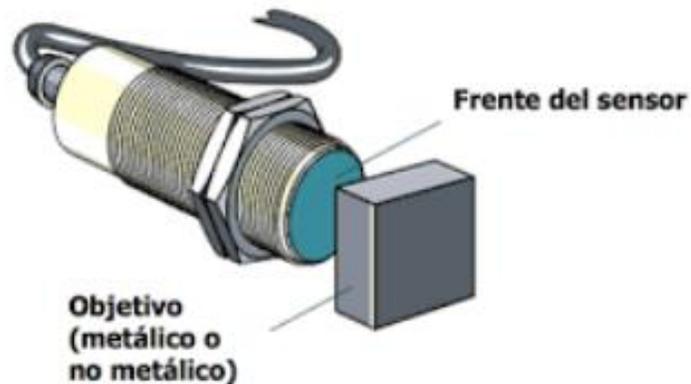


Fuente: Arduino Nano. *Hardware libre*. [https://www.hwlibre.com/arduino-nano/#Caracteristicas\\_tecnicas](https://www.hwlibre.com/arduino-nano/#Caracteristicas_tecnicas). Consulta: 20 de agosto 2021.

#### **2.2.8.2.5. Sensor capacitivo**

Es un tipo de sensor eléctrico que detecta metales o no metales en el momento que varía la capacitancia que existe entre el sensor y el objeto a detectar. Este sensor forma un campo eléctrico en la parte frontal, este cambia al recibir una capacitancia distinta a cuándo se presenta un objeto y, por lo cual, se tiene una señal eléctrica en la salida de este.

Figura 6. **Sensor capacitivo**



Fuente: Ingeniería Mecafenix. *Sensor de proximidad capacitivo*.  
<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-proximidad-capacitivo/>. Consulta: 20 de agosto 2021.

### **2.2.8.3. Capacidad óptima**

En la planta de producción la mayoría de los días se laboran en turnos de doce horas, trabajando dos turnos al día cumpliendo con las 24 horas diarias. Para esto, cada una de las interfaces cuenta con dos usuarios distintos, es decir, durante el turno diurno, que es en horario de seis de la mañana a seis de la tarde, se inicie sesión dentro de la interfaz y se registren los tiempos y datos de ese turno.

Para el turno nocturno se cuenta con otro usuario, el cual inicia sesión en la interfaz durante ese turno y así registrar los datos en este rango de tiempo. Se tienen estos roles de usuario para las dos interfaces, tanto de producción como de formulación.

La opción de contar con dos usuarios por cada interfaz es para hacer la comparación de rendimiento y eficiencia de los diferentes turnos que se trabajan dentro de la planta de producción, esto para tener un enfoque en cuál es el turno que realiza mejor las operaciones y así darle seguimiento al turno que cuenta con mejor eficiencia y rendimiento en la planta de producción.

El acceso a la interfaz se puede realizar desde las pantallas ubicadas en las áreas de Producción y Formulación, también se puede tener acceso remoto a través de un servidor web y únicamente lo tendrá el supervisor encargado de la producción durante el turno que se esté trabajando.

#### **2.2.8.4. Maquinaria y equipo**

El diseño de control de procesos está conformado por diferentes equipos y máquinas que trabajan en conjunto para lograr realizar la producción de medicamentos efervescentes, entre los cuales se tiene los siguientes.

##### **2.2.8.4.1. Contenedor de materia prima**

Los contenedores son cubos fabricados de acero inoxidable, vaciado libre de residuos, reutilizable y totalmente herméticos para la contención de las distintas materias primas mezcladas, lo cual se conoce como formulación del medicamento. Esta formulación se lleva al cuarto productivo para la realización del proceso de conversión de materia prima mezclada a tableta medicinal efervescente.

Figura 7. **Contenedor**



Fuente: Thielmann. *Contenedor IBC/GRG*.

<https://www.thielmann.com/es/productos/ibcs/contenedor-ibc-solidos/lmb-contenedor-farmaceutico>. Consulta: 20 de agosto 2021.

#### **2.2.8.4.2. Mezclador de contenedores**

Es un equipo en el cual se hace el montaje del contenedor, contiene las distintas materias primas en su interior y con este montado comienza a realizar rotaciones durante un tiempo determinado para que las materias que están en el interior del contenedor puedan mezclarse de manera uniforme. Esta mezcla debe de hacerse con todos los productos efervescentes para que la mezcla de las materias sea la correcta y no provoque problemas durante el proceso de tableteo.

Figura 8. **Mezclador de contenedores**



Fuente: Cos.Me. *Columna mezcladora*. <https://www.cosmec-it.com/es/prodotti/columna-mezcladora-para-bines>. Consulta: 20 de agosto 2021.

#### **2.2.8.4.3. Equipo tableteador**

Es el encargado de hacer la transformación de la materia prima en una tableta consumible por las personas. Este proceso se realiza a través de la compresión mecánica del polvo con la utilización de punzones farmacéuticos, los cuales reciben el polvo de la tableteadora, este producto durante el proceso de tableteo, se mantienen en movimiento circular y, a la vez, realizan la compresión del polvo recibido. Hay dos punzones por cada tableta producida, uno para la recepción del polvo y otro para la realización de la compresión.

Los punzones son parte del equipo tableteador y cuentan con un diámetro determinado para cada uno de los productos efervescentes fabricados.

Figura 9. **Equipo tableteador**



Fuente: Direct Industry. *Prensa para comprimidos*. <https://www.directindustry.es/prod/fette-compacting-gmbh/product-16114-2409739.html>. Consulta: 20 de agosto 2021.

#### **2.2.8.4.4. Montacargas**

Es el encargado de realizar los traslados de los contenedores de un área a otra, tanto para los contenedores vacíos como para los contenedores llenos de materia prima. También se encarga del montaje de los contenedores dentro del cuarto productivo, ya que el contenedor debe ir montado encima del equipo tableteador.

Únicamente se utiliza dentro de la planta de producción y es totalmente eléctrico debido a la limpieza de las áreas.

Figura 10. **Montacargas**



Fuente: Yale ERCO070VG. *Lectura Specs GmbH*. <https://www.lectura-specs.es/es/modelo/carretilas-elevadoras/carretilas-elevadoras-electricas-971369-18-yale/erc070vg-11720438>. Consulta: 20 de agosto 2021.

#### **2.2.8.5. Materia prima**

Las materias primas que interactúan con el diseño de control de procesos son las que conforman los productos efervescentes, como las sustancias ácidas y carbonatos o bicarbonatos, que reaccionan rápidamente en presencia de agua con liberación de dióxido de carbono. Estas materias únicamente se presentan en los contenedores que se trasladan hacia el cuarto de producción y el cual es montado en el equipo tableteador para su compresión, convirtiéndose en tabletas sólidas destinadas para la administración oral.

## **2.2.9. Componentes eléctricos, electrónicos y software que conforman el diseño de control de procesos**

Los componentes que conforman el sistema de control de procesos deben de ser los adecuados para que cada uno de estos cumpla con su función, sin ningún problema, y así el sistema sea estable, confiable y no haya problemas recurrentes.

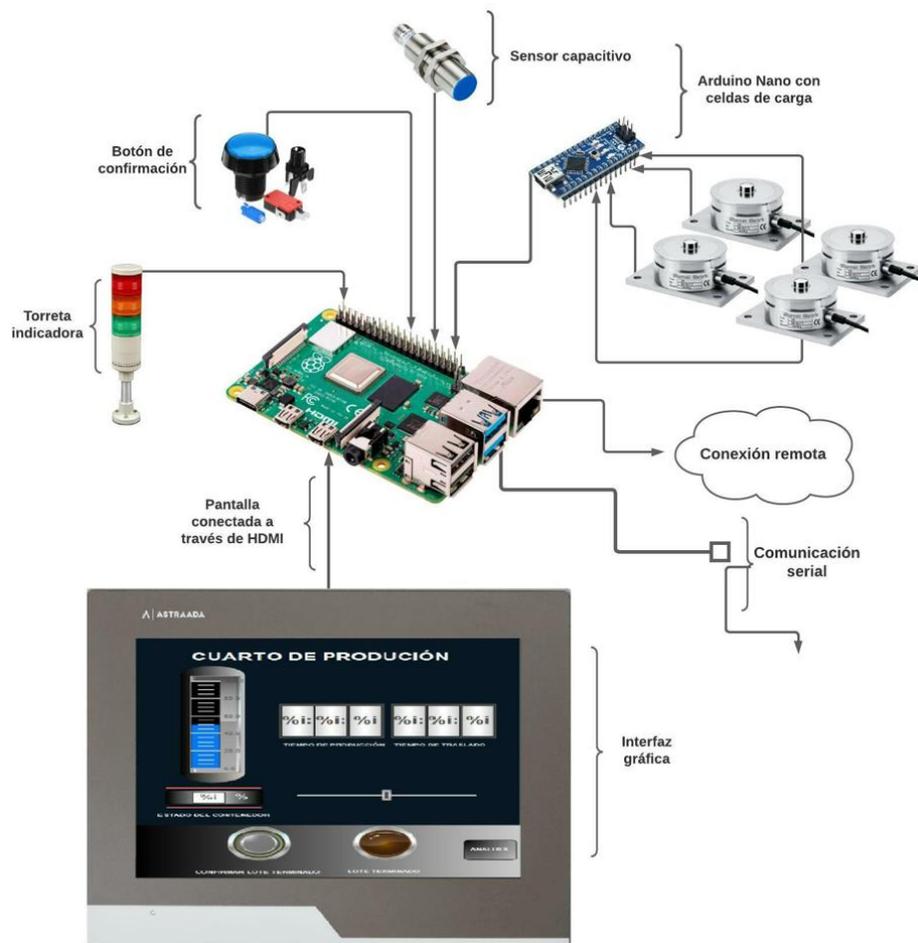
### **2.2.9.1. Estructura del diseño para el área de Formulación**

La estructura del diseño para el área de Formulación cuenta con una pantalla para la visualización e interacción de la interfaz gráfica, una torreta de luces y sonido, botón de confirmación de recepción de la información. Esto conforma el sistema de control de proceso para esta área, debido a que en ella, únicamente se necesita conocer el estado del proceso productivo, la cantidad de polvo que se encuentra en el contenedor que se está produciendo y esta información la brinda la pantalla, así como las advertencias visuales y auditiva que brinda la torreta. Todas las señales eléctricas de los componentes son integradas y procesados a través de la tarjeta embebida Raspberry Pi 400, esta es la encargada de la activación de las señales de entrada y salida. También la conexión remota se realiza a través de la conexión al servidor web con que cuenta la Raspberry.



remota a través de la tarjeta Raspberry Pi 400, celdas de carga que enviarán el peso que contiene el contenedor en proceso productivo, un Arduino Nano encargado del procesamiento de las señales analógicas enviadas por las celdas de carga, un sensor capacitivo encargado de verificar el correcto posicionamiento del contenedor a controlar y todo esto integrado en la tarjeta embebida Raspberry Pi 400, la cual realiza todo el procesamiento de las señales digitales de entrada y el control de las señales digitales de salida.

Figura 12. Estructura del diseño para el Área de Producción



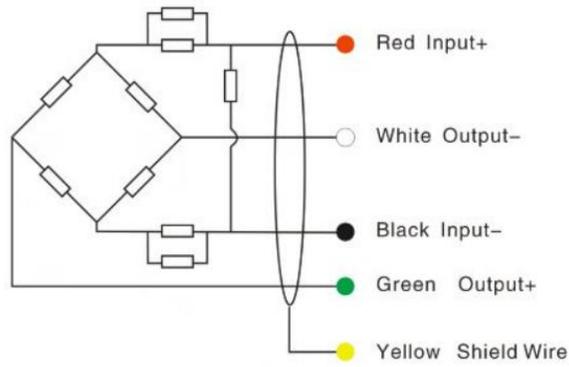
Fuente: elaboración propia, empleando lucid.app.

### **2.2.9.3. Celdas de carga y circuitos de integración**

Las celdas de carga son transductores de fuerza que convierten una fuerza mecánica de entrada, como una carga, peso, tensión o compresión, en una señal de salida eléctrica que se puede medir, convertir y estandarizar. Al colocar un peso o realizar una fuerza sobre estas, la señal eléctrica varía proporcionalmente. Estas celdas son fabricadas con galgas extensiométricas, son sensores que varían la resistencia dependiendo de la fuerza que sea aplicada, es decir, que la fuerza o peso aplicado cambia la resistencia eléctrica, por lo cual, también los valores eléctricos varían.

Al obtener los valores eléctricos de la celda de carga estos deben de ser procesados, es decir, se obtiene una señal analógica la cual debe convertirse en una señal digital. Se utiliza una celda de carga de compresión industrial, con un rango de medición de 0 a 2 000 kg y en su salida presenta una señal eléctrica que va desde los 0 a 5 VDC. Este valor de voltaje de salida se procesa por medio del Arduino Nano, se configura el voltaje de referencia utilizado, se hace la lectura de la señal análoga, se realiza el escalamiento de la señal y se muestra el valor que se obtiene como salida de todo el procesamiento de la señal eléctrica analógica entrante. Se utilizan cuatro celdas de carga para que la medición del peso del contenedor en proceso sea más exacta y estable durante los continuos procesos productivos.

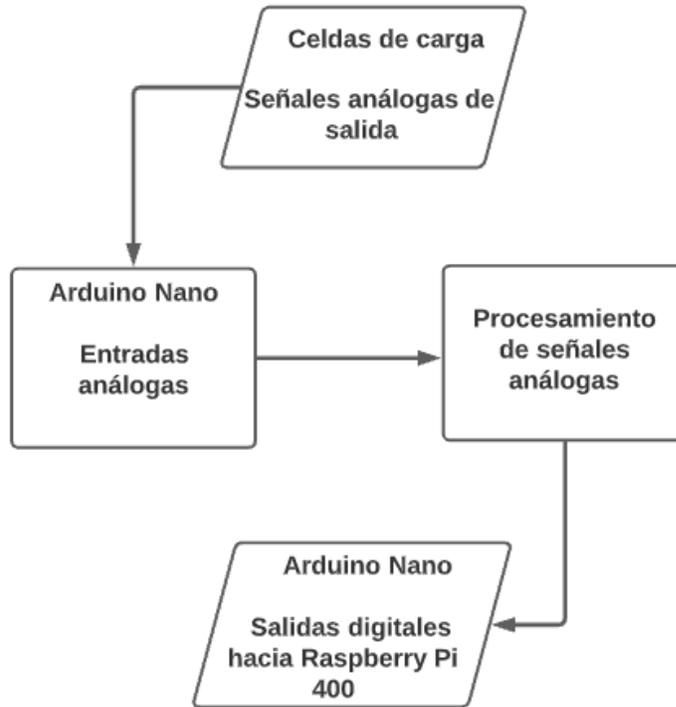
Figura 13. Pines de conexión de la celda de carga



Fuente: Top Sensor Technology. *Celda de carga tipos*. <http://www.tst-balancas.com/load-cells/s-beam-load-cells/s-type-load-cell-s-beam-load-cells.html> Consulta: 20 de agosto 2021.

Este procesamiento de señales se realiza para ser utilizado por la Raspberry Pi en la interfaz gráfica, estas señales muestran la cantidad de polvo que existe dentro del contenedor a través de la medición del peso del contenedor en producción. Se toman los valores de las cuatro celdas de carga y se muestra el porcentaje de polvo dentro del contenedor a través de la pantalla que se tiene en el cuarto de producción y en el Área de Formulación.

Figura 14. **Procesamiento de señales análogas**



Fuente: elaboración propia, empleando lucid.app.

La programación para la conversión de los datos analógicos que envían las celdas de carga se realiza a través del IDE de programación de Arduino, la versión utilizada es 1.8.15 (Windows Store 1.8.49.0) y se realiza la programación para la obtención de los datos y el escalamiento de estos, ver figura 14.

Figura 15. **Lectura de señales analógicas y envío de datos escalonados**



```
int celda01 = 0;
int celda02 = 0;
int celda03 = 0; //Variables que guardan el valor
int celda04 = 0; //leido de las celdas de carga

void setup() {
  Serial.begin(115200); //Inicio del monitor serial
}

void loop() {
  celda01 = analogRead(A0); //Lectura de las entradas analogicas
  delay(100); //de los datos enviados por las celdas
  celda02 = analogRead(A1); //de carga.
  delay(100);
  celda03 = analogRead(A2);
  delay(100);
  celda04 = analogRead(A3);
  delay(100);

  celda01 = map(celda01, 0, 1024, 0, 100); //Escalamiento del valor de
  celda02 = map(celda02, 0, 1024, 0, 100); //entrada de 0 a 100%
  celda03 = map(celda03, 0, 1024, 0, 100); //esto insdica el % de polvo
  celda04 = map(celda04, 0, 1024, 0, 100); //dentro del contenedor

  Serial.print(celda01); //Escritura de los valores escalados
  Serial.print(celda02);
  Serial.print(celda03);
  Serial.print(celda04);
}
```

Compilado  
El Sketch usa 2290 bytes (7%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo e  
Las variables Globales usan 192 bytes (9%) de la memoria dinámica, dejando 1856 byte

30 Arduino Nano, ATmega328P

Fuente: elaboración propia, empleando Arduino IDE.

Al realizar la conversión de los datos analógicos de entrada, estos son enviados a través del cable serial del Arduino hacia la Raspberry Pi 400 y esta hace la lectura de estos por medio del puerto de entrada serial.

#### **2.2.9.4. Sensores, señales digitales y seguridad del diseño**

Para asegurar que el contenedor en proceso productivo se encuentra posicionado de manera correcta y evitar cualquier inseguridad durante el proceso, se utiliza un sensor capacitivo que brinda una señal digital cuando detecta el contenedor montado sobre el equipo tableteador y, también se cuenta con una condición de confirmación en la interfaz gráfica de usuario para una doble validación, estas dos señales son enviadas hacia la Raspberry Pi 400 habilitando el inicio del proceso.

Las torretas indicadoras y el botón de confirmación son señales digitales, las cuales se interpretan como entradas y salidas por parte de la programación de la Raspberry Pi. El botón de confirmación es una entrada digital y las torretas son salidas digitales.

Para la torreta se contemplan cuatro señales de salida, ya que una es para el verde, otra para el amarillo, otra para el rojo y la cuarta señal para *buzzer* de esta. Cada uno de los colores indican diferentes estados del contenedor dependen de qué cuarto de producción lo vea.

Tanto el Área de Producción como para el Área de Formulación, las luces representan lo mismo.

- Verde: representa que el contenedor contiene polvo todavía.
- Amarillo: representa que el polvo restante en el contenedor es aproximadamente el 20 %.
- Rojo: representa que el contenedor en proceso productivo ya no tiene polvo.

- Buzzer: representa que el contenedor ya no contiene polvo.

Para silenciar el *buzzer* (alarma sonora) y confirmar la recepción de la información de que el contenedor se encuentra sin polvo, se debe presionar el botón de confirmación.

#### **2.2.9.5. Interfaces gráficas**

Las interfaces gráficas que se presentan en las pantallas en las áreas de Producción y Formulación son similares y cuentan con distintos menús en los cuales podrán navegar los operadores encargados del sistema durante su turno de trabajo.

- En la primera pantalla se tiene el acceso a la interfaz de control, en la cual aparecen las opciones de ingresar a la sesión, salir de la sesión, selección de la interfaz del Área Producción o Formulación. Para acceder se debe contar con un usuario y contraseña, estos datos son solicitados a seleccionar la opción *login* y para cerrar la sesión se utiliza la opción *logout*, para acceder a la interfaz de producción, únicamente se debe de seleccionar esa opción y lo mismo para la selección del Área de Formulación. Ver figura 16.

Figura 16. **Pantalla de acceso a la interfaz de control**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

- En la segunda pantalla se tiene la interfaz de control de proceso para el Área de Producción. Esta contiene distintas variables que monitorean el proceso productivo del contenedor en proceso, entre las cuales se tienen tiempo de producción, tiempo de traslado, confirmación de contenedor terminado, una alerta de que no hay contenedor, una alerta de contenedor montado y un botón de análisis de datos. Ver figura 17.

Figura 17. Interfaz para el cuarto de producción



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

- (1) esta muestra de manera gráfica la cantidad de polvo que está dentro del contenedor en producción.
- (2) este indicador muestra el tiempo de producción que lleva el proceso productivo.

- (3) este indicador muestra el tiempo transcurrido para el traslado del nuevo contenedor, incluye el tiempo en recoger el contenedor vacío más el tiempo que se tarda el operador en llevar uno con producto.
- (4) este indicador muestra la cantidad de polvo que está dentro del contenedor en proceso productivo en forma de porcentaje.
- (5) barra para la simulación de peso del contenedor para la realización de pruebas del sistema.
- (6) este es un botón en la pantalla que se utiliza para hacer una confirmación de que el contenedor en proceso se encuentra totalmente vacío, por lo cual la producción ha terminado y está a la espera de un nuevo proceso.
- (7) esta es una alarma visual en la pantalla que indica que el contenedor se encuentra completamente vacío y listo para ser recogido por el personal encargado.
- (8) el botón de análisis muestra las tendencias y la información de los tiempos tomados de los contenedores anteriormente producidos por medio de gráficas realizadas con base en la información recolectada.
- En la tercera pantalla se tiene la interfaz de control de proceso para el Área de Formulación. Esta contiene distintas variables que monitorean el proceso productivo del contenedor en proceso entre las cuales se tienen tiempo de producción, tiempo de traslado, confirmación de contenedor terminado, una alerta de que no hay contenedor, una alerta de contenedor

montado, una alerta de que el contenedor se encuentra montado y un botón de análisis de datos. Ver figura 18.

Figura 18. Interfaz para el cuarto de formulación



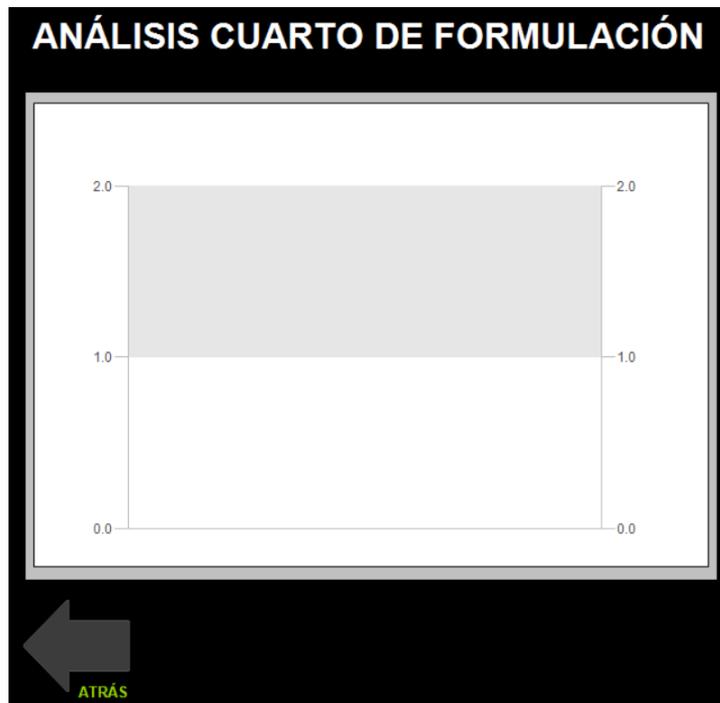
Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

- (1) esta muestra de manera gráfica la cantidad de polvo que está dentro del contenedor en producción.

- (2) este indicador muestra el tiempo de producción que lleva el proceso productivo.
- (3) este indicador muestra el tiempo transcurrido para el traslado del nuevo contenedor, incluye el tiempo en recoger el contenedor vacío más el tiempo que se tarda el operador en llevar uno con producto.
- (4) este indicador muestra la cantidad de polvo que está dentro del contenedor en proceso productivo en forma de porcentaje.
- (5) barra para simulación de peso del contenedor para la realización de pruebas del sistema.
- (6) es un botón en la pantalla el cual se utiliza para hacer una confirmación de que el contenedor en proceso se encuentra totalmente vacío, por lo cual la producción ha terminado y está a la espera de un nuevo proceso.
- (7) es una alarma visual en la pantalla que indica que el contenedor se encuentra completamente vacío y listo para ser recogido por el personal encargado.
- (8) esta es una alarma visual en la pantalla que indica que el contenedor se encuentra correctamente montado y en proceso productivo.
- (9) el botón de análisis muestra las tendencias y la información de los tiempos tomados de los contenedores, anteriormente producidos por medio de gráficas, realizadas con base en la información recolectada.

- El análisis de los datos se presenta de forma gráfica, teniendo una retroalimentación de cómo han estado los procesos y promover así una mejora para cada uno de estos, tanto en los tiempos de traslado como en los tiempos productivos. Este análisis se realiza automáticamente, se grafica al terminar un proceso y se presenta a ambas áreas para que los supervisores de cada área interprete los datos e indique los puntos de mejora con el personal.

Figura 19. **Análisis de la información de tiempos en los procesos**

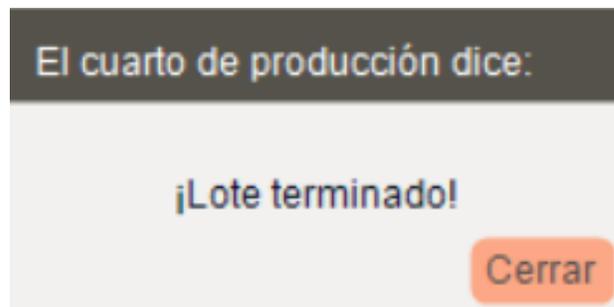


Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

- Al momento de que el operador del cuarto de producción presione el botón que se encuentra en la pantalla, confirmar lote terminado, en la interfaz de control de proceso del área de Formulación se presenta una ventana

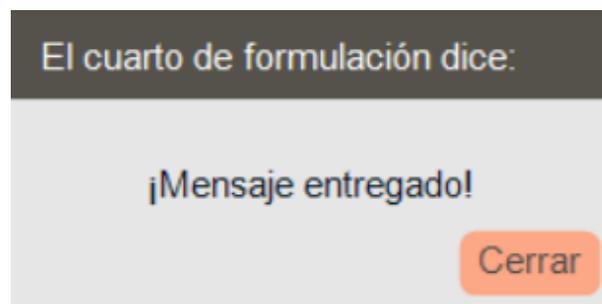
emergente que indica que el lote ha sido terminado y el operador del Área de Formulación debe de presionar el botón de confirmar contenedor terminado, que se encuentra en la interfaz de control de proceso de esa área, enviando así una respuesta de que la información ha sido recibida por el operador de formulación.

Figura 20. **Información enviada por el Área de Producción**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

Figura 21. **Información enviada por el Área de Formulación**



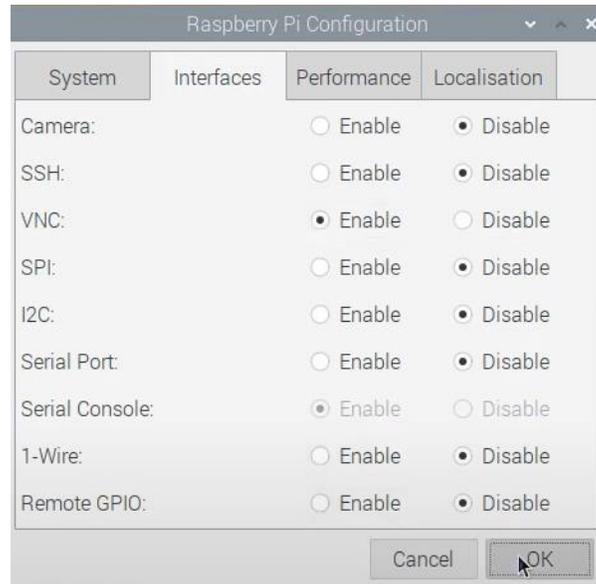
Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### **2.2.9.6. Conexión remota con las interfaces de control de procesos**

Para realizar la comunicación remota vía internet entre la Raspberry Pi 400 y una computadora, se utiliza una aplicación integrada en el sistema operativo de esta. La conexión remota se utiliza para que el supervisor y alguna persona, fuera de las áreas involucradas, pueda tener el acceso a la visualización del estado de las operaciones y conocer en qué etapa del proceso productivo se encuentran. Dichas personas o encargados tienen credenciales únicas de las plataformas para realizar la conexión y también, la Raspberry Pi está configurada para que dichas personas puedan enlazarse a esta cuando quieran, no importando el lugar, sino únicamente el tener la conexión a internet y la información necesaria.

La conexión remota se establece a través de la aplicación llamada vnc, esta permite la conexión a través de la dirección IP y un nombre de usuario. Estos datos son verificados, propios y únicos en cada una de las Raspberry's, esta conexión se utiliza únicamente para la visualización de las interfaces. Para conocer la dirección IP de la Raspberry utiliza se utiliza el comando *ifconfig*.

Figura 22. **Activación de la conexión remota vnc**



Fuente: elaboración propia, empleando Raspberry OS.

### 2.2.10. Estudio legal y administrativo

Por parte de la legislación, el diseño es completamente original y desarrollado, únicamente, para este tipo de control de procesos, no está diseñado para ninguna otra área o industria. Claramente cuenta con la facilidad de adaptarse a distintas áreas realizando algunas pequeñas modificaciones en su programación e interfaces gráficas. Es administrado por el supervisor encargado del área y utilizado por los operadores de las áreas de Producción y Formulación.

### **2.2.10.1. Operación y mantenimiento del diseño**

Este sistema de control de procesos es utilizado por los operadores de las áreas de Formulación y Producción, cuenta con usuarios, tanto para el turno diurno como para el turno nocturno. El área de Ingeniería y Mantenimiento de la planta de producción será la encargada de realizar algún tipo de mantenimiento de hardware, circuitería o cableado, por parte, del área de Formulación y Producción deben de realizar la limpieza de las pantallas como parte del mantenimiento diario.

Como mantenimiento de hardware, circuitería y cableado únicamente se tiene la revisión de que estos se encuentren de manera correcta y si cuentan con algún desgaste por el tiempo de uso debe de reemplazarse completamente, este mantenimiento está programado para que se realice anualmente. Este tipo no tiene ningún costo debido a que el personal interno puede realizarlo y solo se utiliza herramienta con la que se cuenta.

### **2.2.11. Estudio ambiental**

Cada uno de los sistemas de control de procesos, pueden o no, ocasionar algún efecto sobre el medio ambiente. Para este tipo de diseño se realiza el análisis del impacto ambiental.

#### **2.2.11.1. Factores que afectan el medio ambiente**

Por ser un diseño de control de procesos, en el cual no se tiene interacción con elementos que contaminen, dañen o causen algún efecto secundario en el medio ambiente, hay un efecto nulo hacia el medio ambiente y únicamente se tiene el consumo de la energía eléctrica para la alimentación de todo el equipo

que conforma el diseño, siendo esta energía renovable debido a que en la planta de producción se utiliza este tipo de energía.

#### **2.2.11.2. Factores en beneficio del medio ambiente**

El diseño únicamente beneficia al medio ambiente en la utilización de poca energía eléctrica renovable y en la reducción de la planta inactiva por el aumento del tiempo productivo. Al aumentar el tiempo productivo, la planta de producción no estará utilizando recursos innecesarios, sino que únicamente se utilizan los necesarios, reduciendo así el consumo de energía a nivel industria.

#### **2.2.12. Estudio económico**

El hardware utilizado en el diseño de control de procesos tiene un costo, como también el desarrollo del software, las celdas de carga, sensor, botones, pantallas, entre otros componentes que conforman el diseño.

##### **2.2.12.1. Presupuesto inicial**

En el presupuesto inicial se toman en cuenta los componentes electrónicos, eléctricos, desarrollo de software, instalación y pantallas para la visualización. Se incluye una tabla en la cual se listan las cantidades, precios y un total del presupuesto inicial del diseño de control de procesos.

Tabla I. **Presupuesto inicial para el Área de Producción**

No.	Componente	Cantidad	Precio por unidad	Total
1	Raspberry Pi 400	1	Q967,00	Q967,00
2	Sensor capacitivo NPN	1	Q350,00	Q350,00
3	Botón N.O.	1	Q50,00	Q50,00
4	Torretas indicadoras	1	Q400,00	Q400,00
5	Arduino Nano	1	Q68,00	Q68,00
6	Celdas de carga	4	Q850,00	Q3 400,00
7	Pantalla para interfaz	1	Q1 100,00	Q1 100,00
8	Cableado	1	Q250,00	Q250,00
9	Instalación	1	Q1 300,00	Q1 300,00
10	Desarrollo de software	1	Q2 000,00	Q2 000,00
	<b>Total</b>			<b>Q9 885,00</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla II. **Presupuesto inicial para el Área de Formulación**

No.	Componente	Cantidad	Precio por unidad	Total
1	Raspberry Pi 400	1	Q967,00	Q967,00
2	Botón N.O.	1	Q50,00	Q50,00
3	Torretas indicadoras	1	Q400,00	Q400,00
4	Pantalla para interfaz	1	Q1 100,00	Q1 100,00
5	Cableado	1	Q250,00	Q250,00
6	Instalación	1	Q1 300,00	Q1 300,00
7	Desarrollo de software	1	Q2 000,00	Q2 000,00
	<b>Total</b>			<b>Q6 067,00</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### 2.2.12.2. Costo de operación y mantenimiento

Para la operación o el uso del diseño de control de procesos, no se tiene ningún costo, e igual para el mantenimiento, porque este se puede realizar con el personal de mantenimiento que se encuentra dentro de la planta de producción. Únicamente se gasta en la energía eléctrica que consumen los dispositivos electrónicos y eléctricos.

### 2.2.12.3. Costo total

El costo total del diseño de control de procesos se obtiene únicamente de los componentes eléctricos, electrónicos, instalación, desarrollo de software, ya que por parte de mantenimiento y operación no se tienen costos adicionales.

Tabla III. Costo total del diseño de control de procesos

No.	Componente	Cantidad	Precio por unidad	Total
1	Raspberry Pi 400	2	Q967,00	Q1 934,00
2	Sensor capacitivo NPN	1	Q350,00	Q350,00
3	Botones N.O.	2	Q50,00	Q100,00
4	Torretas indicadoras	2	Q400,00	Q800,00
5	Arduino Nano	1	Q68,00	Q68,00
6	Celdas de carga	4	Q850,00	Q3 400,00
7	Pantallas	2	Q1 100,00	Q2 200,00
8	Cableado	2	Q250,00	Q500,00
9	Instalación	2	Q1 300,00	Q2 600,00
10	Desarrollo de software	1	Q2 000,00	Q2 000,00
	Total			Q13 952,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El costo total es aceptable para la planta de producción, siendo un costo bajo debido a que en la mayoría de los sistemas integrados en la planta de producción, actualmente el costo ha sido mayor y en comparación de rendimiento, software, hardware y rapidez de respuesta el diseño de control de procesos contiene características similares a los sistemas implementados, así como también la robustez.

### **2.2.13. Análisis financiero**

Las mejoras que el diseño de control de procesos aporta a la planta productiva se convierten en ganancias monetarias a través del aumento de la eficiencia de la línea de producción y la optimización de tiempos no productivos, por parte de los equipos y operadores de las áreas de Formulación y Producción.

#### **2.2.13.1. Eficiencia de la producción actual**

Se tiene una eficiencia promedio del 75 %, la cual se puede y debe mejorar, con la eficiencia actual se tiene un rendimiento aceptable, pero no es el mejor. La cantidad de productos fabricados dependen de varios factores y uno de los principales es la eficiencia de la línea de producción, esta brinda la información de los productos fabricados comparados con los productos meta que se asignan a la línea de producción.

Si la eficiencia de la línea de producción se aumenta, esta impacta en la cantidad de productos fabricados y en el ahorro de energía innecesaria, ahorro de mano de obra. Estos ahorros y la eficiencia de la línea producen una ganancia monetaria para la planta de producción.

### **2.2.13.2. Eficiencia de la línea de producción con el diseño de control de procesos**

Con la implementación del diseño de control de procesos analizados, se estima que la eficiencia de la línea de producción aumenta un 15 %, obteniendo así un 90 % de eficiencia en la producción. Este aumento impacta a la cantidad de productos fabricados, es decir, se aumentan las unidades producidas en la línea de producción en comparación con la eficiencia de esta sin el diseño de control de procesos. Así también, se tiene ahorros durante la producción, por lo tanto es necesario que la planta de producción sea eficiente y produzca una ganancia monetaria apropiada, dando una estabilidad y confiabilidad a la planta de producción.

Este diseño convierte tanto a los operadores de la línea de producción, como al personal encargado en el área de Formulación a ser más eficientes y no tener tiempos de ocio que, únicamente causas pérdidas para la planta de producción, además aumenta la eficiencia de los equipos productivos, obteniendo un ahorro de energía, lo cual se convierte en ahorro de dinero y aumento de la producción.

### **2.2.14. Análisis de riesgo**

El análisis de riesgo ayuda a identificar cuáles pueden ser las posibles causas y consecuencias que afecten al diseño de control de procesos, este ayuda a evitar o estar preparados para cuando sea necesaria alguna intervención y que no cause ningún tipo de riesgo en su funcionamiento cada día.

### 2.2.14.1. Diagnóstico principal

Cada una de las causas que puedan ocurrir en el sistema tiene una consecuencia, la cual producirá un efecto negativo, este debe resolverse lo antes posible y evitar que aparezca otra vez. Se registran para tener una alternativa al momento de su aparición.

Tabla IV. Riesgos en el sistema de control de procesos

Causa	Riesgo
<b>Pérdida de la conexión eléctrica en el sistema de control de procesos</b>	Que los datos tiempos y estado del proceso actual no se guarden a causa de la pérdida de corriente eléctrica.
<b>Fallo en la interfaz gráfica del sistema de control de procesos</b>	Que los operadores de ambas áreas no puedan establecer comunicación y no conozcan el estado actual del proceso.
<b>Fallo en la comunicación entre las Raspberry's Pi</b>	Que las interfaces no se actualicen y no se tenga el estado actual del proceso productivo.
<b>Falla en las alarmas visuales y auditivas</b>	Que las alarmas visuales y auditivas no se presenten en los tiempos indicados debido a la mala conexión eléctrica de las señales digitales.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 2.2.14.2. Factores de mitigación de riesgos

Son acciones preventivas que se tienen contempladas realizar, al momento que se presente alguna causa prevista para el diseño de control de procesos.

Ayudan a resolver los inconvenientes de la manera más eficiente posible y con un tiempo mínimo de paro de funcionamiento de este diseño.

Tabla V. **Mitigación de riesgos en el sistema de control de procesos**

<b>Causa</b>	<b>Mitigación</b>
<b>Pérdida de la conexión eléctrica en el sistema de control de procesos</b>	Al momento de una pérdida de energía eléctrica, el sistema es capaz de guardar el estado actual del proceso (todas las variables del sistema) y al energizar nuevamente el sistema sigue su proceso, una vez que el operador presione la instrucción de reanudar proceso.
<b>Fallo en la interfaz gráfica del sistema de control de procesos</b>	Cuando ocurra una falla en las interfaces gráficas, problemas con la pantalla, entre otros; este desplegará una ventana emergente indicando cuál es el problema para que el personal operativo se ponga en contacto con el encargado del sistema inmediatamente.
<b>Fallo en la comunicación entre las Raspberry's Pi</b>	Se realizará la revisión del cableado periódicamente, así como también la funcionalidad del sistema completo.
<b>Falla en las alarmas visuales y auditivas</b>	Se realizará mantenimiento a todo el sistema periódicamente realizando la revisión de las señales digitales de entrada, salida y la funcionalidad correcta del sistema de control de procesos.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### **3. RESULTADOS PREVISTOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DE CONTROL DE PROCESOS EN EL ÁREA DE FORMULACIÓN Y PRODUCCIÓN**

#### **3.1. Propuesta de mejora con la implementación del diseño de control de procesos**

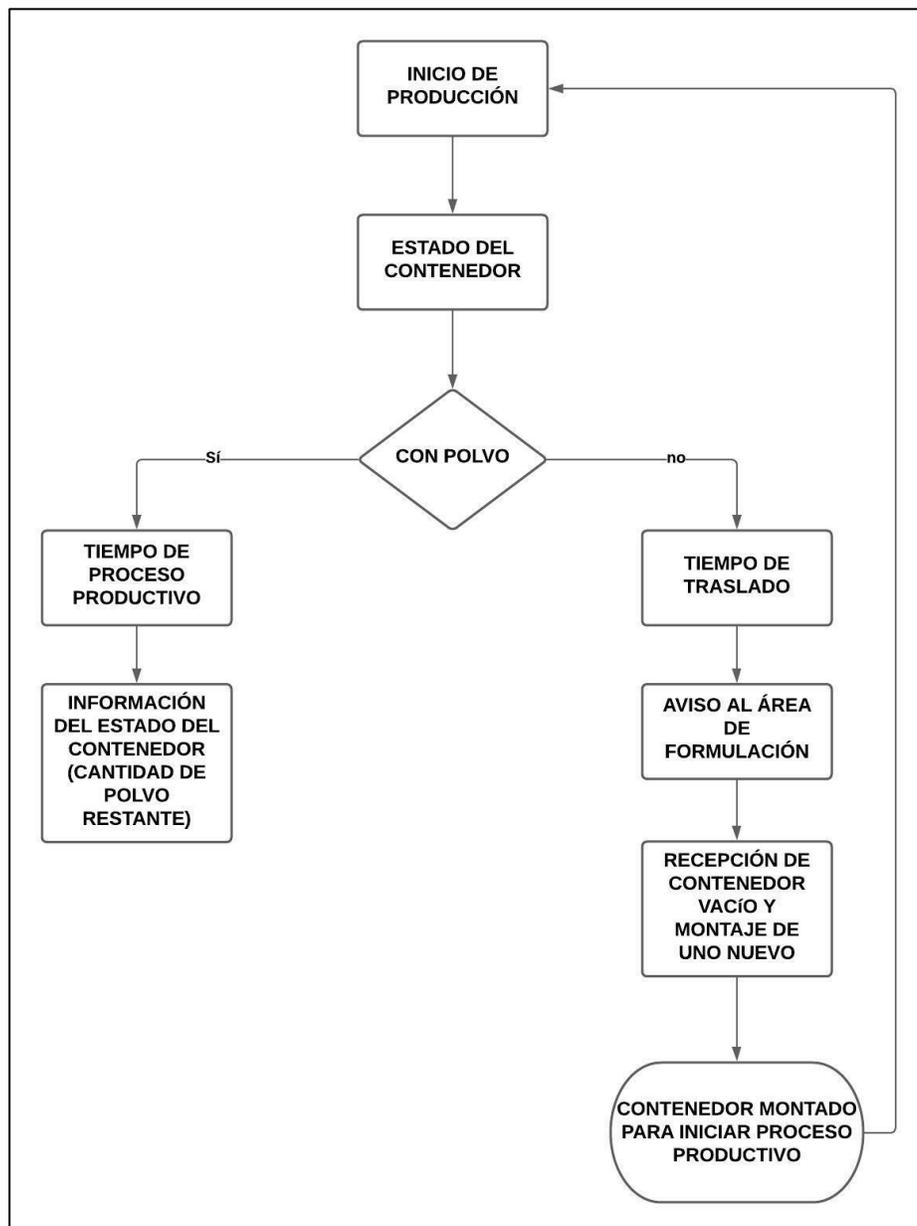
La implementación del diseño desarrollado contiene varias ventajas que benefician a la línea de producción de productos efervescentes, al Área de Formulación y, por lo tanto, a la planta de producción, convirtiéndola en una planta eficiente y confiable.

El conocer el estado actual del proceso productivo es de suma importancia para las distintas áreas encargadas de la producción en la planta productiva, la mejora de la comunicación entre las áreas de formulación y producción benefician y contribuyen a la disminución de tiempos no productivos durante los turnos de trabajo. Con la implementación del diseño de control de procesos, el objetivo es disminuir los tiempos no productivos y aumentar la eficiencia de la línea de producción, como también, que los operadores de ambas áreas de la planta productiva sean capaces de utilizar sistemas de control modernos y ser una de las plantas que cuente con sistemas tecnológicos en todas sus áreas.

Estas mejoras aumentan la eficiencia de la línea de producción, lo cual se convierte en mayor cantidad de productos fabricados en el mismo tiempo, sin el diseño implementado. Será una mejora constante, la cual dará inicio en las áreas de Formulación y Producción; posteriormente se tiene contemplado la realización de este tipo de mejoras en las otras áreas involucradas en los procesos

productivos de la planta. La utilización del diseño de control de procesos es sencilla y fácil de interpretar para los usuarios finales.

Figura 23. **Funcionamiento del diseño de control de procesos**



Fuente: elaboración propia, empleando lucid.app.

### **3.2. Ubicación de la implementación**

El diseño propuesto será implementado en las áreas de Formulación y Producción, en ellas habrán zonas específicas para la instalación de las pantallas que mostrarán las interfaces gráficas dentro de los paneles farmacéuticos. También la instalación del panel central de todos los circuitos eléctricos, tarjetas de control y cableado de las conexiones eléctricas se instalarán dentro del panel eléctrico de la línea de producción uno.

El cableado para ambas áreas se efectuará en las tuberías existentes para no realizar instalaciones innecesarias, debido a que se realizó la revisión de las capacidades de estos y se obtuvo como resultado que es posible conducir el cableado en esas tuberías instaladas actualmente.

La instalación de las alarmas visuales y auditivas se realizará dentro del cuarto de producción uno y para el área de Formulación será en el pasillo, para que los operadores de esta área pueden observar y escuchar esta sin ninguna dificultad y cumpla con su propósito, que es informar a los operadores la finalización del proceso productivo en el área de Producción.

### **3.3. Diseño de un plan de capacitación para las áreas de Producción y Formulación**

Para que los operadores de las áreas de Producción y Formulación hagan un buen uso del sistema de control de procesos es necesaria la capacitación de los operadores de ambas áreas, para esto se realiza un diseño de capacitación en el cual se incluye la explicación de cada una de las fases que contiene el sistema, prácticas para que los operadores se relacionen con las interfaces y evaluaciones para comprobar el conocimiento acerca del sistema implementado.

### **3.3.1. Diagnóstico de las necesidades de capacitación**

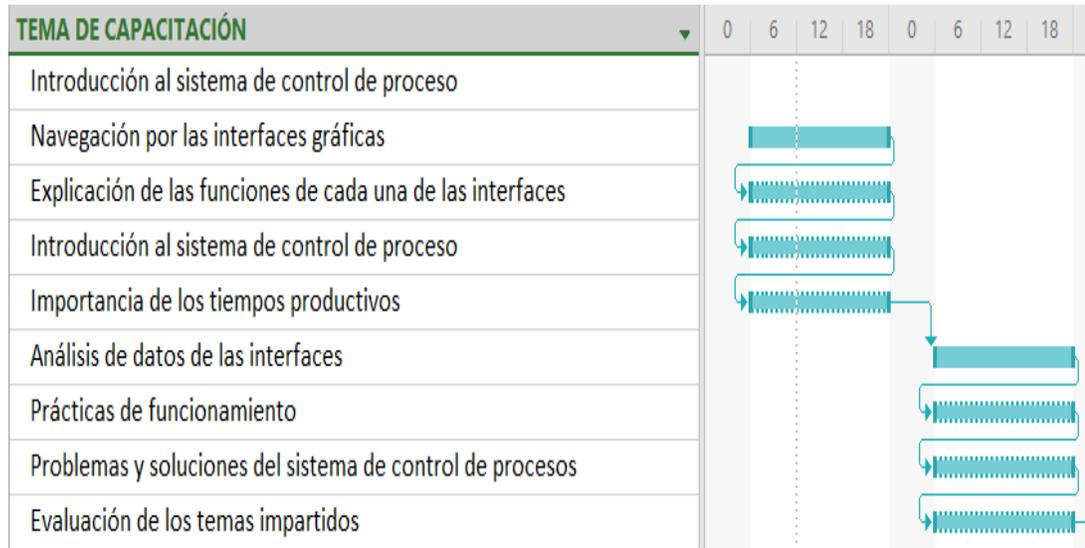
Es necesario realizar un diagnóstico relacionado a sistemas tecnológicos con los operadores que harán uso del sistema de control de procesos para tener una lista de contenidos que se deben brindar durante la capacitación programada. Esta recolección de información se realizará a través de entrevistas y encuestas con dichos operadores, obteniendo los temas más recurrentes que se mencionen y así realizar la capacitación de acuerdo con la necesidad que se presenta y cubrir cada uno de los temas necesarios.

Al tener los temas propuestos para la capacitación se presentará a los supervisores de las áreas objeto de estudio, para que analicen los temas propuestos y aprueben cada uno de estos, cumpliendo con el objetivo de la capacitación, que los operadores comprendan el uso del nuevo sistema y sean capaces de interpretar lo importante que es este para la planta de producción y como beneficia a la eficiencia de esta.

### **3.3.2. Plan de capacitación**

La capacitación para el personal operativo de ambas áreas está contemplada para realizarse en un periodo de dos días, impartíendola a las dos áreas simultáneamente, para comprender la relación que existe entre el área de Formulación y Producción en el sistema de control de procesos. Durante la capacitación se resolverán dudas que tengan los operadores y se realizarán pruebas de posibles inconvenientes que sucedan en el sistema, también la manera correcta de solucionarlos para que este funcione de bien y cumpla con los objetivos. En la figura 24 se proponen los temas de capacitación.

Figura 24. Temas propuestos para la capacitación



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.

### 3.3.3. Evaluación de capacitaciones

Al finalizar la capacitación al personal encargado de la operación diaria del sistema de control de procesos, se realizará una evaluación tanto teórica como práctica, para tener una evidencia y un registro de que los empleados hayan comprendido el correcto uso del sistema y no tengan ningún inconveniente para la utilización del sistema. También se les presentarán los resultados para verificar los puntos débiles y aclarar cualquier duda que haya quedado durante la capacitación brindada, de igual manera se estarán resolviendo problemas y dando apoyo durante treinta días de haber entregado el sistema de control de procesos a la planta de producción.

La capacitación se programará únicamente para los operadores de las áreas de Producción y Formulación, número máximo de seis personas.

### 3.3.4. Costo de la propuesta

La capacitación tiene un costo de Q1 500,00 por día impartido, el total para impartirla es de Q 3 000,00. El costo total de la implementación del sistema de control de procesos se desglosa, como se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. Costo de implementación del sistema de control de procesos

No.	Componente	Cantidad	Precio por unidad	Total
1	Raspberry Pi 400	2	Q967,00	Q1 934,00
2	Sensor capacitivo NPN	1	Q350,00	Q350,00
3	Botones N.O.	2	Q50,00	Q100,00
4	Torretas indicadoras	2	Q400,00	Q800,00
5	Arduino Nano	1	Q68,00	Q68,00
6	Celdas de carga	4	Q850,00	Q3 400,00
7	Pantallas	2	Q1 100,00	Q2 200,00
8	Cableado	2	Q250,00	Q500,00
9	Instalación	2	Q1 300,00	Q2 600,00
10	Desarrollo de software	1	Q2 000,00	Q2 000,00
11	Capacitación	2	Q1 500,00	Q3 000,00
	Total			Q16 952,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Este costo de implementación del diseño de control de procesos es preliminar y puede variar dependiendo de los equipos a utilizar, de acuerdo a la marca y modelo que la planta de producción solicite. Otro factor que puede afectar el costo propuesto para la implementación es el tiempo de entrega del proyecto debido a que el tiempo de entrega establecido es de ocho semanas.

## **4. GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA DE CONTROL DE PROCESOS**

Para la utilización del diseño del sistema de control de procesos se cuenta con esta guía, la cual muestra los pasos a seguir para la correcta utilización del sistema. El sistema será un solo módulo que contendrá los distintos conectores que conforman el sistema, como conectores para las pantallas, celdas de carga, torretas y para los botones.

Una vez que se realice la conexión de todo el sistema y se conecte a la alimentación eléctrica, el sistema arrancará automáticamente iniciando en una pantalla predeterminada cada vez que se encienda o se apague. Se diseñó el sistema para dejarlo ensamblado y que los usuarios lo utilizaran sin que ellos tengan que hacer ninguna conexión y no se presentar inconvenientes de instalación.

### **4.1. Inicio del sistema**

Una vez energizado el sistema comenzará en la siguiente pantalla, en la cual se debe hacer el ingreso con un usuario y contraseña previamente asignado y creado.

Figura 25. **Inicio del sistema**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### **4.2. Inicio de sesión**

Al estar en la pantalla de inicio (figura 25), se debe de ingresar en la opción llamada login e ingresar los datos de usuario y contraseña como se muestra en la figura 26.

Figura 26. **Inicio de sesión**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### **4.3. Credenciales erróneas**

Si el usuario y contraseña ingresados son erróneos, la pantalla indicará si el dato incorrecto es el usuario o la contraseña, como se muestra en las figuras 27 y 28.

Figura 27. **Usuario incorrecto**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

Figura 28. **Contraseña incorrecta**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### 4.4. Ingreso correcto

Al realizar el ingreso correcto se habilitarán los campos para ingresar a la interfaz del área de Producción o Formulación, dependiendo lo que requiera el usuario encargado del sistema. Ver figura 29.

Figura 29. Ingreso correcto



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### 4.5. Interfaz de producción

Al ingresar en la opción llamada producción, se abrirá la interfaz correspondiente en la cual se monitorea el estado de la producción en tiempo real y comienzan a funcionar las alertas, mensajes e indicadores establecidos.

Figura 30. Interfaz de producción



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### 4.6. Interfaz de formulación

Al ingresar en la opción llamada formulación, se abrirá la interfaz correspondiente en la cual se monitorea el estado de la producción en tiempo real y comienzan a funcionar las alertas, mensajes e indicadores establecidos.

Figura 31. Interfaz de formulación

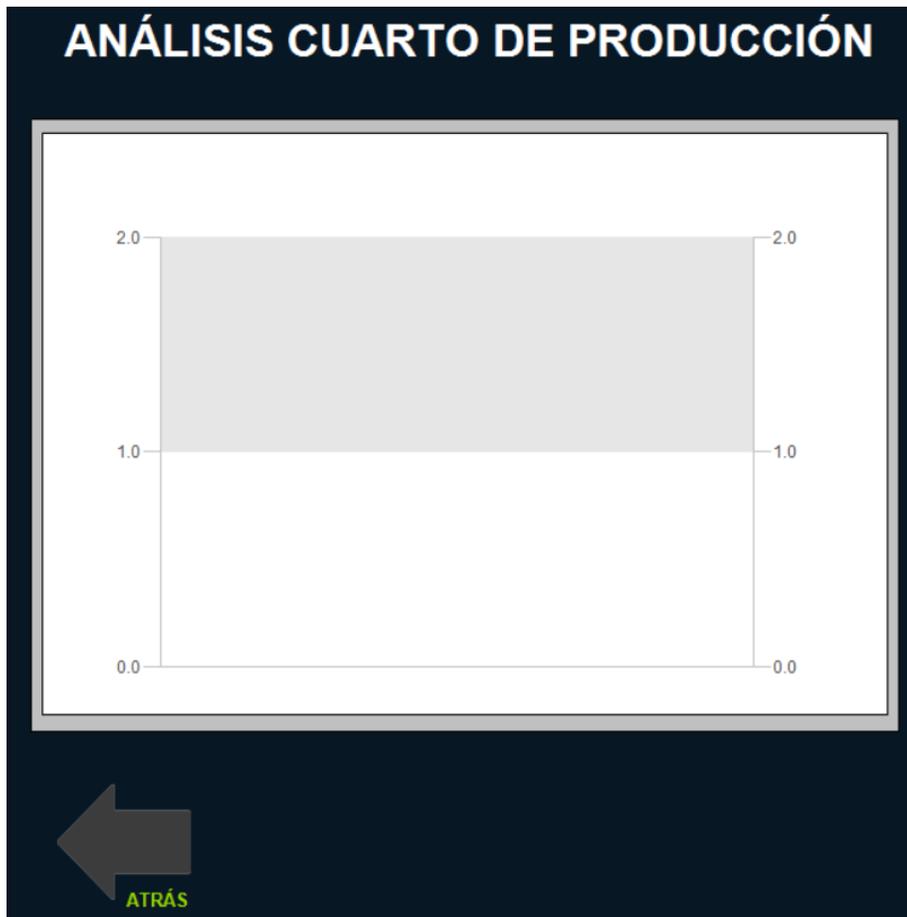


Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### 4.7. Análisis de datos

Si el usuario requiere visualizar los comportamientos de los tiempos anteriores del proceso, es decir, un historial de la producción por medio de gráficas, se selecciona la opción llamada análisis, dentro de la interfaz de producción o formulación.

Figura 32. **Análisis de datos**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

Si se requiere regresar se utiliza la flecha que tiene como etiqueta atrás.

#### **4.8. Cerrar sesión**

Para cerrar la sesión de la interfaz se selecciona únicamente la opción logout, en la pantalla de inicio. Ver figura 33.

Figura 33. **Cerrar sesión**



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.



## 5. MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para que el sistema funcione de manera correcta tiene que contar con una revisión de todo el sistema con diferentes actividades y a una frecuencia establecida. Debido a que el sistema se encuentra dentro de un gabinete eléctrico y únicamente tiene conectores para los componentes que lo conforman. Se presenta la tabla VII con la lista de actividades a realizar durante el mantenimiento.

Tabla VII. **Actividades de mantenimiento**

No.	Actividad	Trimestral	Semestral
1	Limpieza del gabinete eléctrico		✓
2	Revisión de conector	✓	
3	Revisión del cableado eléctrico	✓	
4	Revisión del correcto funcionamiento del sistema		✓
5	Calibración de las celdas de carga	✓	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 5.1. Limpieza del gabinete eléctrico

Durante la limpieza del gabinete eléctrico hay que limpiar por dentro y por fuera, quitando del gabinete eléctrico el polvo que pueda estar encima de él.

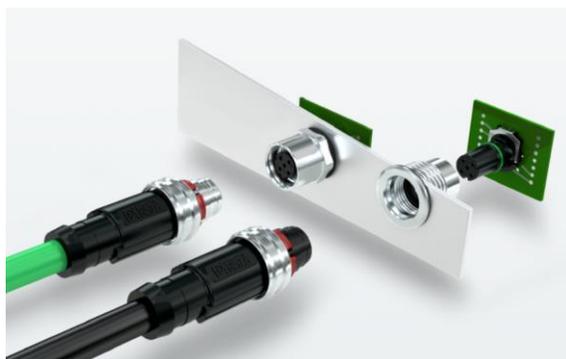
Dentro del gabinete eléctrico no debe de existir ningún material, sustancia o algún componente extra que no pertenezca al sistema eléctrico. Los materiales a utilizar son los siguientes:

- Limpia contactos
- Pincel fino
- Espray de aire comprimido para limpieza de gabinete

## 5.2. Revisión de conectores

Para comprobar que los conectores y el cableado eléctrico se encuentran sin problema, hay que revisarlos. Se hace de manera visual, comprobar la continuidad de los cables y realizar pruebas de conexión y desconexión.

Figura 34. **Revisión de conectores**



Fuente: Phoenix Contact. *Cableado de sensores/actuadores.*

[https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi?1dmy&urile=wcm:path:/pies/web/main/products/subcategory\\_pages/Sensor\\_Actuator\\_cabling\\_P-18/af5b1a9e-d194-4ad5-b377-640362e2d0eb](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi?1dmy&urile=wcm:path:/pies/web/main/products/subcategory_pages/Sensor_Actuator_cabling_P-18/af5b1a9e-d194-4ad5-b377-640362e2d0eb)

Consulta: 20 de agosto de 2021.

### 5.3. Revisión del correcto funcionamiento del sistema

Para la revisión del correcto funcionamiento del sistema hay que acceder al entorno de programación y monitorear las variables asignadas para comprobar que los valores enviados sean los valores correctos y coincidan con lo que el sistema estará presentando. Esta revisión se hará por parte del equipo de mantenimiento y en un día específico para no provocar atrasos o pérdidas de producción.

Figura 35. Monitoreo de señales del sistema

Expresión	Tipo de datos	Valor	Valor preparado	Dirección	Comentario
BASCULA_ST_0	BASCULA_ST				
INPUT	REAL	44.6071434			
OUTPUT	REAL	44.6071434			
NHC	BOOL	FALSE			
CM	BOOL	TRUE			
SETI	BOOL	FALSE			
MB_1	BOOL	TRUE			
MB_2	BOOL	TRUE			
MB_3	BOOL	FALSE			

```
1 BASCULA_ST_0 (
2 INPUT[ 44.6 ] := BI[ 44.6 ],
3 OUTPUT[ 44.6 ] := BS[ 44.6 ],
4 NHC[ FALSE ] := NCON[ FALSE ],
5 CM[ TRUE ] := CONM[ TRUE ],
6 SETI[ FALSE ] := SetI[ FALSE ];
7
8
9 BLINK_0[ ENABLE[ FALSE ] := SetI[ FALSE ], TIMELOW[ T#500ms ] := T#500MS, TIMEHIGH[ T#500ms ] := T#500MS );
10 IF BLINK_0.OUT[ FALSE ] THEN
11 L[ FALSE ] := TRUE;
12 ELSE L[ FALSE ] := FALSE;
13 END_IF
14
15 //ABRE EL CUADRO DE DIALOGO 'LOTE TERMINADO'
16 DIALOGOS_0[ ENA[ FALSE ] := SetI[ FALSE AND LIT[ FALSE ], WinName[ DIALOGO ] := 'DIALOGO' ];
17 DIALOGOS_1[ ENA[ FALSE ] := SetI[ FALSE AND CONT[ FALSE ], WinName[ DIALOGO2 ] := 'DIALOGO2' ];
18
19 TON_0[ IN[ TRUE ] := CONM[ TRUE AND (BS[ 44.6 ] = 1), FI[ T#1s ] := T#15S, Q[ TRUE ] := RC1[ TRUE ], ET => ];
20 TON_1[ IN[ FALSE ] := (BS[ 44.6 ] < 1), FI[ T#1s ] := T#15S, Q[ FALSE ] := RC2[ FALSE ], ET => ];
```

Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS.

#### **5.4. Calibración de las celdas de carga**

La calibración de las celdas de carga hay que hacerlas cada tres meses, por medio de personal externo y especializado en este ámbito. Esto es porque se necesita el certificado de calibración y por protocolos internos; la empresa no puede ser juez y parte para este tipo de actividades.

## CONCLUSIONES

1. Se conocieron las áreas de Formulación y Producción dentro de la planta de producción, así como los equipos encargados de hacer la conversión de materia prima en una tableta, los sistemas digitales que conforman cada una de las áreas y todo el proceso que lleva la producción de un medicamento efervescente para el consumo humano.
2. La optimización de tiempos durante la etapa de mezclado y traslado de contenedores se obtuvieron por medio de un sistema de control de procesos, el cual mostró en tiempo real el estado del contenedor en proceso productivo e indicó cuándo se necesitaba realizar un cambio de contenedor con un tiempo de anticipación adecuado, para la preparación de este y no tener pérdidas de tiempo en su preparación.
3. Se monitoreó, a través del sistema de control de proceso, el contenedor en proceso productivo por parte del área de Formulación y el área de Producción, permitiendo que los operadores pudieran anticiparse a la preparación de un nuevo contenedor y realizar el cambio de este en el menor tiempo, aumentando el tiempo productivo.
4. El diseño del control de procesos desarrollado mostró información como el tiempo productivo de un contenedor en proceso, la cantidad de polvo que existe dentro de este, alarmas cuando el polvo restante era aproximadamente de 20 % y la comunicación estable entre las áreas productivas.

5. Para la comunicación entre las áreas de Formulación y Producción se utilizaron alarmas visuales, auditivas, textos emergentes en las interfaces gráficas del control de procesos y botones de respuesta. Este tipo de comunicación fue estable, rápida; únicamente entre ambas áreas y libre de cualquier interrupción que pueda evitar la comunicación.
  
6. La optimización de tiempos en los procesos productivos, la anticipación en los procesos, la comunicación sin interrupciones entre las áreas de Formulación y Producción, dieron como resultado que la línea de producción fuera eficiente. Por lo cual se obtuvo un aumento en la fabricación de productos y reducción de tiempos de ocio para los operadores encargados de la producción.

## RECOMENDACIONES

1. Capacitar al personal encargado de las operaciones de los productos efervescentes sobre el uso correcto del sistema de control de procesos para realizar un buen uso de este y cumplir con el objetivo, que es la optimización de tiempos y el aumento de la producción de los productos efervescentes.
2. Tener un análisis estadístico de los tiempos que se toman para completar el procesado de la materia prima de un contenedor y el tiempo que se toma en realizar el cambio de este para comenzar un nuevo proceso, esto para hacer comparaciones y obtener puntos de mejora en los procesos productivos.
3. Diseñar sistemas de control de procesos adecuados para las demás áreas productivas involucradas en la planta de producción y hacer que toda la planta sea aún más eficiente y tener el control de todos los procesos involucrados.
4. Conectar todos los equipos involucrados en la producción de medicamentos a la red y generar estadísticas, mostrando los datos a través de gráficas y plataformas dedicadas a generar este tipo de información para formar parte de la industria 4.0 y estar conectados en lo que sucede en los procesos desde distintos lugares y horas.

5. Observar puntos de mejora en los procesos productivos e implementar sistemas en las áreas que se requieran para hacer que la planta sea moderna, confiable, autosostenible y eficiente en todos los procesos de trabajo que se ejecutan diariamente.
  
6. Mejorar continuamente los sistemas utilizados en la producción de medicamentos en las áreas de Formulación y Producción para que la planta productiva no se vea afectada con el avance de la tecnología.

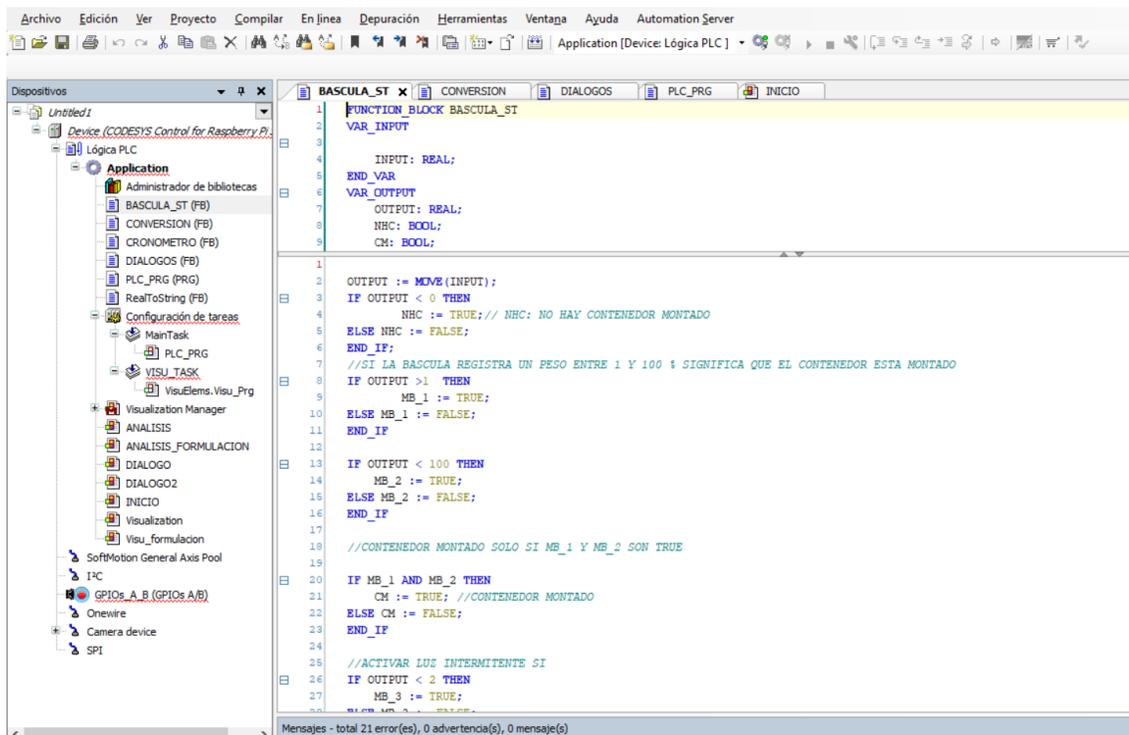
## BIBLIOGRAFÍA

1. ADVSA. Advsamx.Com. *Colores buzzer*. [en línea]. <<https://advsamx.com/esp/item/29/19/torreta-de-3-coloresbuzzer-24-vdc>>. [Consulta: 17 de septiembre de 2021].
2. ARDUINO, Nano: *Todo lo que necesitas saber sobre esta placa de desarrollo*. Hardware libre, 2021 [en línea]. <<https://www.hwlibre.com/arduino-nano/>>. [Consulta: 24 de junio de 2019].
3. CODESYS Group. *Codesys*. [en línea]. <<https://www.codesys.com/>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2021].
4. COS.MEC. *Columna mezcladora para bienes*. [en línea] <<https://www.cosmec-it.com/es/prodotti/columna-mezcladora-para-bienes>>. [Consulta: 29 de marzo de 2021].
5. Endevor. *Endevoron en línea*. [en línea]. <<https://endevoronline.com/pt/proximidade/2352-im08-1b5ps-zc1-sensor-indutivo-sick-9007948331976.html>>. [Consulta: 17 de septiembre de 2021].
6. Interempresas. *Fotos arte productos*. [en línea]. <<http://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P169839.jpg>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2021].

7. Karl Sun. *Lucid App*. [en línea]. <[https://lucid.app/lucidchart/4c692aab-f9f9-4911-a986-8c015e6bbc38/edit?page=0\\_0](https://lucid.app/lucidchart/4c692aab-f9f9-4911-a986-8c015e6bbc38/edit?page=0_0)>. [Consulta: 17 de septiembre de 2021].
8. Lectura Specs. *ERC070VG ficha técnica & especificaciones*. Lectura-Specs.Es, 2019-2021 [en línea]. <<https://www.lectura-specs.es/es/modelo/carretillas-elevadoras/carretillas-elevadoras-electricas-971369-18-yale/erc070vg-11720438>>. [Consulta: 17 de septiembre de 2021].
9. THIELMANN. *Contenedor productos farmacéuticos*. [en línea]. <<https://www.thielmann.com/es/productos/ibcs/contenedor-ibc-solidos/lnb-contenedor-farmaceutico>>. [Consulta: 17 de septiembre de 2021].
10. Top Sensor Technology Co., LTD, *celdas de carga de la viga S, compresión y tensión celdas de carga*. Tst-Balancas.com, 2021. [en línea]. <<http://www.tst-balancas.com/load-cells/s-beam-load-cells/s-type-load-cell-s-beam-load-cells.html>>. [Consulta: 17 de septiembre de 2021].
11. TuEquipoSeo. *Descubre arduino*. [en línea]. <<https://descubrearduino.com/raspberry-pi-4/>>. [Consulta: 24 de junio de 2019].
12. Virtual Expo Group. *Directindustry*. [en línea]. <<https://www.directindustry.es/prod/fette-compacting-gmbh/product-16114-2409739.html>>. [Consulta: 17 de septiembre de 2021].

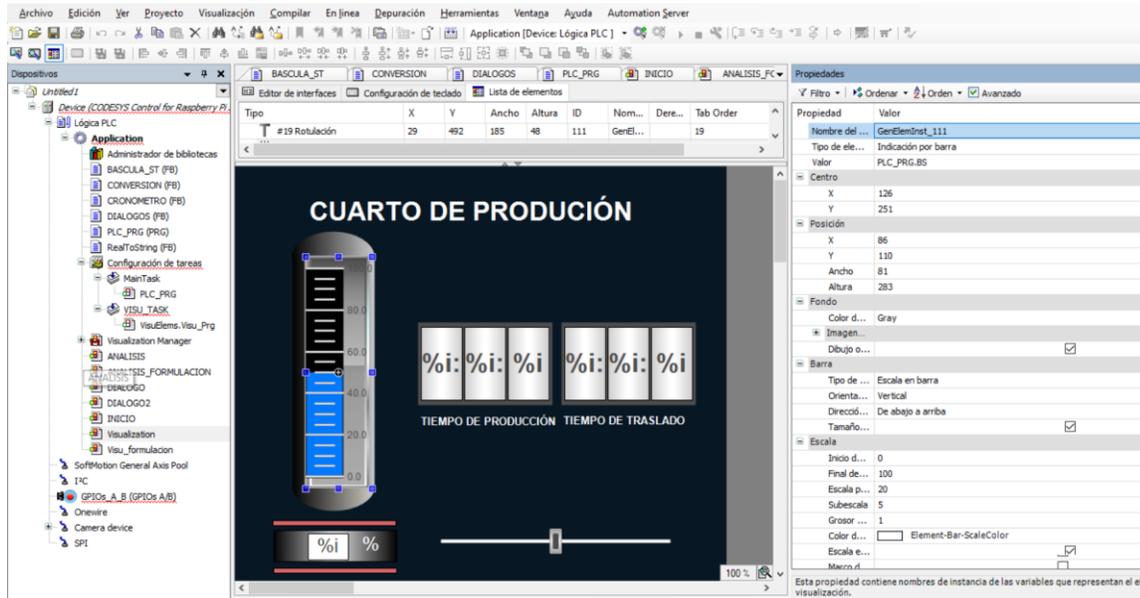
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Programación en CODESYS



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS

## Apéndice 2. Desarrollo de interfaz gráfica



Fuente: elaboración propia, empleando CODESYS