



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL DISTRIBUIDO PARA EL ÁREA DE DOSIFICADO DE
MACRO INGREDIENTES DE UNA PLANTA TIPO PARA LA
PRODUCCIÓN DE BALANCEADO**

AUTOR: HERRERA VICENTE, EDGAR MAURICIO

DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCAN, HUGO RAMIRO MSC.

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2018



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA EL ÁREA DE DOSIFICADO DE MACRO INGREDIENTES DE UNA PLANTA TIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE BALANCEADO**” fue realizado por el señor **HERRERA VICENTE, EDGAR MAURICIO** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, Agosto de 2018



Ing. Hugo Ramiro Ortiz Tulcan Msc.

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo **HERRERA VICENTE, EDGAR MAURICIO**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA EL ÁREA DE DOSIFICADO DE MACRO INGREDIENTES DE UNA PLANTA TIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE BALANCEADO”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Agosto de 2018

Edgar Mauricio Herrera Vicente
C.C. 1714329602



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Yo **HERRERA VICENTE, EDGAR MAURICIO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA EL ÁREA DE DOSIFICADO DE MACRO INGREDIENTES DE UNA PLANTA TIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE BALANCEADO** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, Agosto de 2018

Edgar Mauricio Herrera Vicente
C.C. 1714329602

DEDICATORIA

A mi madre Verónica a quien admiro mucho por su intenso sacrificio y lucha diaria por sus hijos. Que es el soporte indispensable de mi vida y es quien, con su esfuerzo y su apoyo incondicional me ayudó a convertirme en lo que a través de este trabajo logró.

A mi padre Edgar Eugenio, por su apoyo, por guiarme con amor y firmeza. También se lo dedico a mis hermanos Santiago, Jesús y Davis por el amor y paciencia que me brindan.

A mi familia para que este esfuerzo, sea la pauta de futuras generaciones y quede en constancia que nada es fácil, ni nada es imposible, que con dedicación y paciencia se cumplen los objetivos que nos planteamos.

Edgar Mauricio Herrera Vicente

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la churonia por las oportunidades que me brindan día a día, permitiéndome forjar mi camino, ayudándome a superar los obstáculos que la vida me presenta.

A mis padres por sacrificarse para hacer de mí un hombre de provecho a la sociedad, gracias por heredarme el tesoro de la educación.

A Wilson Geovanny Cadena Herrera por ser ese hermano mayor que siempre me ofrece sus consejos, gracias por fomentar en mí el deseo de la superación constante y el anhelo de triunfo.

Agradezco a mi familia por siempre brindarme su apoyo y darme esos ánimos de superación para culminar mis objetivos, que al son de cuando te gradúas mostraban su preocupación.

A mi director de tesis el Ingeniero Hugo Ortiz por el tiempo invertido en el desarrollo del presente proyecto de tesis, por la calidad de persona que representa, gracias a él fue posible la elaboración de este proyecto.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Cristóbal Ponce y al Ingeniero Francisco Carrión por la apertura que me brindaron para llevar a cabo mi tesis en ASEcuador, agradezco a todos los ingenieros que forman parte de esta familia, que desinteresadamente me compartieron sus experiencias y me ayudaron a crecer profesionalmente.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por acogerme durante esta gran etapa de aprendizaje y brindarme profesores que supieron impartir sus conocimientos para lograr formarme adecuadamente a lo largo de mi carrera, muchas gracias.

A mis amigos que siempre estuvieron presentes en las buenas y las malas, gracias por su amistad

Edgar Mauricio Herrera Vicente

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxi
RESUMEN.....	xxix
ABSTRACT	xxx
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia.....	2

1.3 Alcance.....	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo General	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
1.6 Descripción General del Proyecto.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO REFERENCIAL	7
2.1 La Industria de Alimentos Balanceados.....	7
2.1.1 Proceso de Producción de balanceado	8
2.1.1.1 Almacenamiento.....	10
2.1.1.2 Molienda.....	10
2.1.1.2 Dosificado de Ingredientes.....	11
2.1.1.3 Mezclado	11
2.1.1.4 Empaque.....	12
2.1.1.5 Movimiento del Material.....	12
2.2 Sistemas Automáticos y Manuales.....	13
2.2.1 Sistemas Manuales	14
2.2.1.1 Estructura	14
2.2.2 Sistemas Automáticos	15
2.2.2.1 Estructura	15
2.2.2.2 Automatismos Programados	16

2.2.2.3 Niveles de Automatización	16
2.3 Control Distribuido	17
2.3.1 Arquitectura.....	18
2.3.2 Componentes del DCS	19
2.3.3 Ventajas y Características	20
2.4 Software Ignition.....	21
2.4.1 Componentes	21
2.4.1.1 Ignition Gateway Control Utility	21
2.4.1.2 Diseñador	22
2.4.1.3 Cliente	22
2.4.2 Módulos.....	22
2.4.2.1 Visión	22
2.4.2.2 Puente SQL	23
2.4.2.3 Reportes.....	23
2.4.2.4 Notificación de Alarmas.....	23
2.4.2.5 Móvil	23
2.4.2.7 OPC UA	24
2.4.2.6 MES.....	24
2.4.3 Arquitectura Estándar.....	24
2.5 Base de Datos	25
2.5.1 Elementos de la Base de Datos	25
2.5.2 Abstracción de Datos	25

2.5.3 Modelos de datos.....	26
2.5.3.1 Modelo Entidad Relación.....	26
2.5.3.2 Modelo Relacional	27
CAPÍTULO III	28
DISEÑO.....	28
3.1 Situación Actual de la Planta	29
3.1.1 Secuencia del Proceso	30
3.1.1.1 Elementos del Proceso	31
3.1.2 Consola de Mando Manual	33
3.1.2.1 Recepción	33
3.1.2.2 Batcheo.....	36
3.1.2.3 Transporte.....	38
3.1.3 Sensores y actuadores.....	39
3.1.3.1 Actuadores.....	39
3.1.3.1 Sensores.....	39
3.1.4 Tableros de Fuerza	40
3.2 Requerimientos del Sistema	41
3.2.1 Requerimientos de Hardware	42
3.2.2 Requerimientos de Software	42
3.2.3 Requerimientos de Red	43
3.3 Análisis de señales de campo	43

3.4 Análisis de Equipos y Software	44
3.4.1 Propuestas de Controladores	45
3.4.1.1 Allen Bradley	45
3.4.1.2 Siemens	46
3.4.2 Propuestas de HMI	46
3.4.3 Propuestas de SGDB	47
3.4.4 Selección de Alternativas	47
3.5 Diseño de la Arquitectura del Sistema	49
3.5.1 Criterios de Diseño	49
3.5.1.1 Consideraciones Técnicas	49
3.5.1.2 Elementos del Sistema	49
3.6 Diseño de Hardware	50
3.6.1 Tablero de Control	50
3.6.1.1 Controlador.....	51
3.6.1.1.1 Modulo SIWAREX	51
3.6.1.2 Variador de Frecuencia	52
3.6.1.3 Switch.....	53
3.6.1.4 Preaccionadores.....	53
3.6.1.5 Distribución Eléctrica.....	54
3.6.1.5.1 Transformador de Tensión	55
3.6.1.5.2 Fuente de 24 Vdc.....	57
3.6.1.6 Protecciones del Sistema.....	57

3.6.1.6.1 Elementos de Protección	58
3.6.1.6.1.1 Breaker	58
3.6.1.6.1.2 Fusible	58
3.6.1.6.1.2 Guardamotor.....	58
3.6.1.6.2 Protecciones del Transformador.....	58
3.6.1.6.3 Protecciones del Variador	59
3.6.1.6.4 Protecciones del PLC	60
3.6.1.6.5 Protecciones Fuente 24 Vdc.....	61
3.6.1.6.6 Protecciones Generales	61
3.6.1.6.7 Protecciones Breaker principal.....	62
3.6.2 Distribución Física	63
3.6.2.1 Tablero de Control	63
3.6.2.2 Tablero de Paso	66
3.5.3 Conexionado de elementos.....	69
3.6 Diseño de la Red	72
3.6.1 Diseño Físico.....	72
3.6.2 Diseño Lógico	72
3.6.2 Topología de la Red	73
3.9 Diseño de Software	73
3.9.1 Diseño de Base de Datos.....	73
3.9.1.1 Requerimientos de Información	74
3.9.1.2 Diseño Conceptual	75

3.9.1.3 Diseño Lógico	79
3.9.1.4 Diseño Físico.....	80
3.9.2 Diseño de la Interfaz Humano Máquina	80
3.9.2.1 Estación de Operación.....	81
3.9.2.2 Arquitectura de Pantallas	81
3.9.2.3 Distribución de Pantallas.....	83
3.9.2.4 Navegación.....	89
3.9.2.5 Niveles de Acceso	90
3.9.2.6 Formato de Texto	91
3.9.2.7 Uso de Color.....	91
3.9.3 Alarmas	92
3.9.4 Diseño de la lógica de control	94
3.9.4.1 Variables del Proceso	94
3.9.4.2 Flujo de Operación	95
3.9.4.2.1 Modo Automático	95
3.9.4.2.1.1 Flujo de Dosificado	95
3.9.4.2.2 Modo Manual	104
3.9.4.2.2.1 Flujo de Recepción.....	104
3.9.4.2.2.2 Flujo de Dosificado	105
3.9.4.2.2.3 Flujo de Transporte	105
CAPÍTULO IV	107
IMPLEMENTACIÓN	107

4.1 Implementación de Hardware	107
4.1.1 Tablero de Control	107
4.1.2 Tablero de Paso	110
4.2 Implementación de Software.....	111
4.2.1 Implementación de la Base de Datos	111
4.2.1.1 Instalación del SGDB.....	111
4.2.1.2 Creación de la Base de Datos	113
4.2.1.3 Modelo Relacional	116
4.2.2 Implementación de la Interfaz Humano Máquina.....	118
4.2.2.1 Instalación del Software Ignition	118
4.2.2.2 Configuración del Gateway Ignition.....	120
4.2.2.2.1 Conexión con la Base de Datos.....	121
4.2.2.2.2 Conexión con el Controlador	122
4.2.2.3 Creación de la Interfaz HMI.....	124
4.2.2.3.1 Creación de Tags.....	125
4.2.2.3.2 Creación de Templates.....	125
4.2.2.3.3 Creación de Pantallas	126
4.2.2.4 Pantallas de la Aplicación	127
4.2.2.4.1 Pantalla Menú Principal	127
4.2.2.4.2 Pantallas de Proceso.....	131
4.2.2.4.2.1 Recepción	131
4.2.2.4.2.2 Batcheo.....	132

4.2.2.4.2.3 Transporte.....	135
4.2.2.4.2.4 Detalles de Visualización.....	136
4.2.2.4.3 Pantallas de Comando y Configuración.....	139
4.2.2.4.3.1 Manejo de Recetas.....	139
4.2.2.4.3.2 Órdenes de Producción.....	141
4.2.2.4.4 Pantalla de Alarmas.....	143
4.2.2.4.5 Pantalla de Gestión.....	145
4.2.2.4.5.1 Reportes.....	145
4.2.3 Implementación de la Lógica de Control.....	149
4.2.3.1 STEP 7 TIA Portal.....	150
4.2.3.2 Creación del Proyecto.....	151
4.2.3.3 Comunicaciones.....	152
4.2.3.3.1 Asignación IP.....	152
4.2.3.3.2 OPC UA.....	153
4.2.3.3.3 Variador de Frecuencia.....	154
4.2.3.4 Creación de Tags.....	156
4.2.3.5 Creación de Data Types.....	156
4.2.3.6 Creación de subrutinas.....	158
4.2.3.7 Programa Principal.....	159
4.2.3.7.1 Subrutina Entradas y Salidas.....	160
4.2.3.7.2 Subrutina Dosificación Automática.....	160
4.2.3.7.3 Subrutina Dosificación Automática Líquidos.....	161

4.2.3.7.4 Subrutina Mezclado.....	162
4.2.3.7.5 Subrutina Modo Manual.....	163
4.2.3.7.6 Subrutina Fallas.....	163
4.3 Puesta en Marcha	164
4.3.1 Módulo Siwarex	164
4.3.2 Variador de Frecuencia	165
CAPÍTULO V.....	166
PRUEBAS Y RESULTADOS	166
5.1 Pruebas FAT.....	166
5.1.1 Hardware	166
5.1.1.1 Herramientas de Soporte	166
5.1.1.2 Procedimiento.....	167
5.1.1.2.1 Inspección visual	167
5.1.1.2.2 Conexionado.....	168
5.1.1.2.3 Conformidad de Diseño	168
5.1.1.2.4 Alimentación del Tablero.....	169
5.1.1.2.5 Conexiones a Tierra	169
5.1.1.2.6 Señales de Entrada y Salida	170
5.1.2 Software	170
5.1.2.1 Herramientas de Soporte	171
5.1.2.2 Procedimiento.....	171

5.1.2.2.1 Direccionamiento	171
5.1.2.2.2 Comunicación.....	171
5.1.2.2.3 Secuencia de la Lógica de Control.....	172
5.1.2.2.4 Base de Datos	172
5.1.2.2.5 HMI	173
5.2 Análisis de producción	177
CAPÍTULO VI	178
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	178
6.1 Conclusiones	178
6.2 Recomendaciones.....	180
6.3 Trabajos Futuros.....	181
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Elementos del Proceso</i>	32
Tabla 2 <i>Alimentación de los Actuadores</i>	39
Tabla 3 <i>Listado General de Señales</i>	43
Tabla 4 <i>Listado de Señales Final</i>	44
Tabla 5 <i>Características de Controladores AB</i>	45
Tabla 6 <i>Características Controladores Simatic</i>	46
Tabla 7 <i>Características Software HMI</i>	46
Tabla 8 <i>Características de Gestores de Base de Datos</i>	47
Tabla 9 <i>Matriz de Priorización</i>	48
Tabla 10 <i>Características Módulo de E/S Siemens</i>	51
Tabla 11 <i>Características Variador de Frecuencia</i>	52
Tabla 12 <i>Características Switch Spider 5TX</i>	53
Tabla 13 <i>Características Relé</i>	54
Tabla 14 <i>Tensión de Equipos y Componentes</i>	55
Tabla 15 <i>Cargas del Sistema</i>	55
Tabla 16 <i>Características Fuente SITOP</i>	57
Tabla 17 <i>Características Fuente PLC</i>	60
Tabla 18 <i>Protecciones Generales</i>	61
Tabla 19 <i>Dimensionamiento Breaker Principal</i>	63
Tabla 20 <i>Dimensiones de Equipos</i>	63
Tabla 21 <i>Direccionamiento IP</i>	72

Tabla 22 <i>Tabla Bines DB</i>	76
Tabla 23 <i>Tabla Ingredientes DB</i>	76
Tabla 24 <i>Tabla Recetas DB</i>	77
Tabla 25 <i>Tabla Recetas Detalles DB</i>	77
Tabla 26 <i>Tabla Recetas Históricos DB</i>	77
Tabla 27 <i>Tabla Órdenes DB</i>	78
Tabla 28 <i>Tabla Consumos DB</i>	78
Tabla 29 <i>Tabla Producción DB</i>	79
Tabla 30 <i>Tablas Relacionadas</i>	79
Tabla 31 <i>Colores de la Interfaz</i>	92
Tabla 32 <i>Variables del Proceso</i>	94
Tabla 33 <i>Elementos Tablero de Control TCP-01</i>	109
Tabla 34 <i>Elementos Tablero de Paso</i>	111
Tabla 35 <i>Plantillas de la Aplicación</i>	126
Tabla 36 <i>Data Types</i>	157
Tabla 37 <i>Pruebas, inspección visual</i>	167
Tabla 38 <i>Pruebas, conexiones</i>	168
Tabla 39 <i>Pruebas, conformidad de diseños</i>	168
Tabla 40 <i>Pruebas, alimentación tablero</i>	169
Tabla 41 <i>Pruebas, conexiones a tierra</i>	169
Tabla 42 <i>Pruebas, señales i/o</i>	170
Tabla 43 <i>Pruebas, direccionamiento IP</i>	171

Tabla 44 <i>Pruebas, comunicación</i>	171
Tabla 45 <i>Pruebas, secuencia de control</i>	172
Tabla 46 <i>Pruebas, base de datos</i>	172
Tabla 47 <i>Pruebas, verificación del HMI</i>	173
Tabla 48 <i>Pruebas, Evaluación del HMI</i>	174
Tabla 49 <i>Resultados de Guia Gedis</i>	176

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Plantas de Balanceado en Ecuador	8
<i>Figura 2.</i> Planta de Balanceado Típica.....	9
<i>Figura 3.</i> Contenedores de Almacenamiento	10
<i>Figura 4.</i> Dosificación.....	11
<i>Figura 5.</i> Mezcladora Helicoidal.....	12
<i>Figura 6.</i> Dispositivos de Movimiento.....	13
<i>Figura 7.</i> Sistema Manual	14
<i>Figura 8.</i> Proceso Manual	14
<i>Figura 9.</i> Proceso Automático.....	16
<i>Figura 10.</i> Pirámide de la Automatización.....	17
<i>Figura 11.</i> Arquitectura DCS	19
<i>Figura 12.</i> Componentes DCS.....	20
<i>Figura 13.</i> Componentes de Ignition.....	21
<i>Figura 14.</i> Arquitectura Ignition	24
<i>Figura 15.</i> Abstracción de Datos DB	26
<i>Figura 16.</i> Modelo E-R	27
<i>Figura 17.</i> Estructura del Proyecto.....	28
<i>Figura 18.</i> Consola de Mando Manual.....	29
<i>Figura 19.</i> Flujo del Proceso	30
<i>Figura 20.</i> Recepción 1 Consola Manual	33
<i>Figura 21.</i> Recepción 2 Consola Manual	34

Figura 22. Batcheo Consola Manual	36
Figura 23. Transporte Consola Manual.....	38
Figura 24. Actuadores	39
Figura 25. Roto Bin.....	40
Figura 26. Cuarto Eléctrico	40
Figura 27. Arranque de Motores	41
Figura 28. Arquitectura del Sistema.....	50
Figura 29. Placa Motores de Dosificado	52
Figura 30. Switch Spider 5TX	53
Figura 31. Relé 700-HLT1U24	54
Figura 32. Configuración Transformador	56
Figura 33. Fuente SITOP	57
Figura 34. Diagrama Unifilar.....	62
Figura 35. Vista Interna Tablero de Control	64
Figura 36. Vista Externa Tablero de Control	65
Figura 37. Lista de Materiales Tablero de Control	66
Figura 38. Distribución Tablero de paso.....	68
Figura 39. Lista de Materiales Tablero de Paso.....	68
Figura 40. Conexionados Distribución	69
Figura 41. Conexionados Motor	70
Figura 42. Conexionados Electroválvulas.....	70
Figura 43. Confirmaciones Electroválvulas	71

Figura 44. Topología de Red.....	73
Figura 45. Estructura de Base de Datos	74
Figura 46. Estructura de la Base de Datos	80
Figura 47. Jerarquía de Estaciones.....	81
Figura 48. Arquitectura de Pantallas.....	83
Figura 49. Plantilla Menú Principal	84
Figura 50. Plantilla Manejo de Recetas.....	84
Figura 51. Plantilla Órdenes de Producción.....	85
Figura 52. Plantilla Recepción	85
Figura 53. Plantilla Batcheo.....	86
Figura 54. Plantilla Transporte.....	86
Figura 55. Plantilla Alarmas	87
Figura 56. Plantilla Motores.....	87
Figura 57. Plantilla Motores Macro Ingredientes	88
Figura 58. Plantilla Válvulas.....	88
Figura 59. Plantilla Consultas	88
Figura 60. Plantilla Creación.....	89
Figura 61. Navegación por la Arquitectura.....	90
Figura 62. Niveles de Acceso.....	91
Figura 63. Diagrama del Flujo General del Proceso	95
Figura 64. Diagrama de Flujo General del Dosificado	96
Figura 65. Diagrama de Flujo, Subrutina 1	97

Figura 66. Diagrama de Flujo, Subrutina 2.....	98
Figura 67. Diagrama de Flujo, Subrutina 3 (A)	100
Figura 68. Diagrama de Flujo, Subrutina 3 (B)	101
Figura 69. Diagrama de Flujo, Subrutina 3 (C)	101
Figura 70. Diagrama de Flujo, Subrutina 4 (A)	102
Figura 71. Diagrama de Flujo, Subrutina 4 (B)	103
Figura 72. Diagrama de Flujo, Subrutina 5.....	103
Figura 73. Diagrama de Flujo Manual Recepción	104
Figura 74. Diagrama de Flujo Manual Dosificado.....	105
Figura 75. Diagrama de Flujo Manual Transporte.....	106
Figura 76. Implementación PLC	108
Figura 77. Vista Externa, Implementación	108
Figura 78. Vista Interna, Implementación.....	109
Figura 79. Vista Interna, Tablero de Paso.....	110
Figura 80. Descarga de MySQL Workbench.....	112
Figura 81. Inicio de la Instalación.....	113
Figura 82. Estado de Instalación	113
Figura 83. Interfaz Inicial MySQL.....	114
Figura 84. Creación de Conexión.....	114
Figura 85. Conexión Creada	115
Figura 86. Creación de Tablas	116
Figura 87. Creación de Relación de Tablas	117

Figura 88. Modelo Relacional.....	118
Figura 89. Descarga de Software	119
Figura 90. Descarga Software Plataforma Windows	119
Figura 91. Finalización de la Instalación	120
Figura 92. Acceso al Gateway	120
Figura 93. Conexión de Base de Datos	121
Figura 94. Estado de la Conexión DB.....	122
Figura 95. Parámetros de la Conexión DB.....	122
Figura 96. Conexión con PLC.....	123
Figura 97. Parámetros de Conexión del Controlador.....	123
Figura 98. Estado de la Conexión del Controlador	123
Figura 99. Descarga Diseñador Ignition	124
Figura 100. Creación de la Aplicación.....	124
Figura 101. Creación de Tags	125
Figura 102. Creación de Pantallas.....	127
Figura 103. Pantalla Menú Principal.....	128
Figura 104. Barra de Estado.....	128
Figura 105. Configuración del Sistema.....	129
Figura 106. Gestión de Alarmas.....	130
Figura 107. Manejo de Usuarios	130
Figura 108. Pantalla de Navegación.....	130
Figura 109. Pantalla Proceso Recepción.....	131

<i>Figura 110.</i> Pop-up Actuadores.....	132
<i>Figura 111.</i> Pantalla Proceso de Batcheo	133
<i>Figura 112.</i> Motor Dosificador	134
<i>Figura 113.</i> Bomba de Metionina.....	134
<i>Figura 114.</i> Bomba de Metionina.....	135
<i>Figura 115.</i> Pantalla Proceso Transporte	136
<i>Figura 116.</i> Información en Bines.....	136
<i>Figura 117.</i> Información en Mezcladora.....	137
<i>Figura 118.</i> Información en Balanza	137
<i>Figura 119.</i> Información en Aceites.....	138
<i>Figura 120.</i> Información en Distribuidor	138
<i>Figura 121.</i> Manejo de Recetas	139
<i>Figura 122.</i> Consulta de Recetas	140
<i>Figura 123.</i> Creación de Recetas.....	140
<i>Figura 124.</i> Creación Ingredientes	141
<i>Figura 125.</i> Órdenes de Producción.....	141
<i>Figura 126.</i> Creación Órdenes de Producción.....	142
<i>Figura 127.</i> Historial Órdenes de Producción	143
<i>Figura 128.</i> Arrancar Órdenes.....	143
<i>Figura 129.</i> Configuración de Alarmas	144
<i>Figura 130.</i> Pantalla de Alarmas	144
<i>Figura 131.</i> Pantalla Histórico Alarmas	145

Figura 132. Herramienta Reportes	146
Figura 133. Creación de Reporte Órdenes	146
Figura 134. Reporte de Órdenes.....	147
Figura 135. Creación de Reporte Consumos.....	148
Figura 136. Reporte Consumos.....	148
Figura 137. Prestaciones de TIA Portal	150
Figura 138. Crear proyecto TIA Portal	151
Figura 139. Añadir Controlador TIA Portal.....	151
Figura 140. Módulos del PLC en TIA Portal.....	152
Figura 141. Configuración IP PLC	153
Figura 142. Configuración Enlace OPC UA.....	153
Figura 143. Agregar Variador de Frecuencia.....	154
Figura 144. Configuración IP Variador de Frecuencia	155
Figura 145. Comunicación Profinet	155
Figura 146. Creación de Tags	156
Figura 147. Creación de Data Types.....	157
Figura 148. Creación de Subrutinas	159
Figura 149. Asignacion de entradas y salidas PLC.....	160
Figura 150. Grafcet Dosificado Macros.....	161
Figura 151. Grafcet Dosificado Líquidos.....	162
Figura 152. Grafcet Mezclado.....	163
Figura 153. Gestor Comisionado Variador	165

Figura 154. Comparación de Dosificación.....177

RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito el diseño de un sistema de control distribuido para el área de dosificado de macro ingredientes de una planta de balanceado. Su implementación se realiza en una fábrica ubicada en el sector de YARUQUI, que opera manualmente a través de una consola adaptada con pulsadores, selectores e indicadores luminosos, los cuales eran obsoletos y no se encontraban operativos, generando desventajas y fallas en la producción. El proyecto está repartido en diferentes etapas que se especifican lo largo del presente documento, siendo la primera un estudio de la situación inicial en la que se encuentra la planta a intervenir con el objetivo de conocer las condiciones de trabajo del proceso. Una vez establecidos los requisitos y necesidades de la planta se procede con el diseño de hardware y software lo que comprende la creación de una interfaz humano máquina (HMI) para el monitoreo y comando del proceso, desarrollo de una base de datos para el registro de información y la programación de una lógica de control, para el comando automático del área de dosificado. Posteriormente, se realiza el proceso de implementación y puesta en marcha finalizando con las pruebas y resultados desarrollados en el sistema.

PALABRAS CLAVE:

- **DOSIFICACIÓN**
- **MACRO INGREDIENTES**
- **INTERFAZ HUMANO MÁQUINA**
- **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**
- **SISTEMA DE CONTROL**

ABSTRACT

The objective of this project is design a distributed control system to dosage a macro ingredients area from a balanced plant. This implementation was made in a factory located at YARUQUI, which operates manually through a console adapted with push buttons, selectors and light indicators which are obsolete and not available, generating disadvantages and production failures. The project is divided into different stages that are specified in the long-term document, being the first point the study the initial situation of the plant with the objective of knowing the working conditions of the process. Established the requirements and needs of the plant, proceeds with the design of hardware and software incorporating the creation of a human machine interface (HMI), for the monitoring and control process, a database development for the registration of information and programming a control logic to the automatic dosing area. Subsequently, the implementation and start-up process is completed with the tests and results developed in the system.

KEYWORDS:

- **DOSAGE**
- **MACRO INGREDIENTS**
- **HUMAN MACHINE INTERFACE**
- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER**
- **CONTROL SYSTEM**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Automation Solutions Ecuador, es una empresa que ofrece servicios y productos en los campos de la Ingeniería Electrónica, Instrumentación, Control de Procesos y Automatización, desde el año 2004. La empresa tiene por política establecer los estándares más altos en cada uno de sus proyectos para así, aprovechar las últimas tecnologías probadas en los mercados internacionales, optimizando recursos, lo que deriva en una reducción de costos, tiempo de desarrollo y tiempo de respuesta.

Automation Solutions Ecuador ha incursionado en la automatización de procesos en diferentes sectores industriales del país, tales como: Automotriz, Bebidas, Alimentos, Petróleos y Gas. El sector alimenticio junto a la industria avícola abarca un campo extenso, en donde pocas son las industrias que han modernizado sus procesos, generando demanda en el desarrollo de proyectos de automatización en áreas de dosificación de balanceado (Automations Solutions Ecuador, 2004).

La industria avícola es un establecimiento agropecuario para la cría de aves de corral tales como pollos, pavos, patos, y gansos, con el propósito de usarlos como base alimenticia. Estas industrias se manejan por un círculo de producción completo comenzando con la producción de alimento balanceado, que es entregado a los animales, los cuales son criados desde el momento de su nacimiento en granjas diseñadas para garantizar su bienestar y salud. Luego los animales son transportados a lugares de faenamiento, manteniendo los estándares adecuados de calidad, finalmente estos productos son distribuidos.

En el Ecuador la industrialización de alimentos balanceados tiene su origen por los años de 1962 y 1963, como consecuencia de esto se aportó directamente con la producción avícola. A partir de

los años 90, de acuerdo al régimen alimentario corporativo mundial, se impulsó en el país la formación de cadenas agroalimentarias, entre éstas, la cadena del maíz, balanceado para aves (Villacres, 2008; Yumbla, 2011).

La industria de alimentos balanceados de hoy enfrenta el desafío de proporcionar alimentos que mantengan altos estándares de calidad, productividad y seguridad alimentaria (Pazmiño, 2016), muchas plantas de balanceado en el país no cumplen con ello, debido a que la revolución industrial que se generó en el país, se dio hace unas décadas atrás y la tecnología que se usó actualmente se encuentra obsoleta, lo que genera fallas y retrasos en las plantas.

A raíz de la globalización surgieron tecnologías de nueva generación que ponen a disposición una amplia gama de estrategias para el control automático industrial (Carrillo & Calero, 2016), permitiendo a las empresas aumentar su productividad y reducir costos.

El proceso para la producción de balanceado comienza con la recolección y recepción de materia prima, luego se procede al almacenamiento en un lugar seguro. El alimento se transforma en el área de producción, donde se encuentran todos los equipos para realizar dicha tarea. Finalmente se obtiene el balanceado para su distribución (Soler, 2010).

1.2 Justificación e Importancia

En la actualidad existen empresas del sector alimenticio, que funcionan con tecnología obsoleta y por lo tanto no se ajustan a los estándares de calidad y productividad de la época actual. Las plantas de producción de balanceado con tecnología discontinuada funcionan a base de mímicos o representaciones del proceso, compuestas por pulsadores, selectores e indicadores luminosos, logrando que el proceso en su totalidad funcione de forma manual, esto lleva a la generación de diversas dificultades en la producción tales como:

- Desperdicio de materia prima
- La falta de visualización y control de las variables del proceso
- La dificultad de la integración de otros sistemas
- Todos los procesos, actividades y reportes de producción son generados de forma manual y por tanto expuestos a errores.
- No existe la identificación adecuada de fallos en el sistema
- Lentitud en la producción
- Problemas de calidad
- No existe un registro de información.

Por tales razones la importancia del proyecto radica en que mediante su ejecución se logrará solventar los inconvenientes presentados, mediante la aplicación de un adecuado sistema de control. Se integrará tecnologías de automatización y monitorización para así proporcionar la información necesaria del proceso tales como:

- Fallos.
- Reportes de producción.
- Variables del proceso.
- Registro de ingredientes.
- Elaboración de recetas.

Logrando disminuir el desperdicio de materia prima, además mejorará el rendimiento y calidad del producto final, ahorrando costos a la empresa.

1.3 Alcance

El presente proyecto consiste en el diseño y la implementación de un sistema de control distribuido en el área de dosificado de macro ingredientes de una planta de producción de balanceado.

Se realizará una programación de la lógica de control, en un controlador lógico programable (PLC) el cual ejecutará las funciones automáticas y manuales del sistema, comandará el encendido y apagado de los actuadores que intervienen en el área de dosificado de macro ingredientes del proceso.

Para la interoperabilidad del sistema se desarrollará una Interfaz Humano Máquina-HMI, que contempla la visualización del estado del proceso, reportes de la producción y notificaciones de fallos.

La Interfaz Humano Máquina-HMI contará con tres terminales:

- El primer terminal estará ubicado en el Departamento de Nutrición que será el encargado de ingresar las recetas del balanceado en el sistema HMI, de acuerdo a la materia prima disponible. Este departamento es el especializado en analizar la composición de la receta, es decir, los ingredientes y cantidades adecuadas que intervienen en ella.
- El segundo terminal estará ubicado en la Jefatura de Producción, en donde se realizarán las órdenes de producción, que dependiendo de los requerimientos de la planta, se planificará las órdenes, que posteriormente serán ingresados al sistema HMI.
- Finalmente el último terminal estará ubicado en el Departamento de Operación el mismo que será manipulado por el operador o el despachador de orden, donde visualizará la orden existente y requerida en el sistema e iniciará el proceso de producción.

Para el registro de recetas, órdenes de producción y registro de consumos, se realizará una gestión de base de datos, el cual trabajará en conjunto con la Interfaz Humano Máquina-HMI.

El sistema de control distribuido estará conformado por una red de comunicaciones basada en Ethernet Industrial, TCP/IP, se usará Profinet para comunicar al controlador con un variador de frecuencia, encargado de comandar los motores que intervienen en la dosificación. Se realizaran pruebas FAT con el objetivo de verificar las condiciones que se encuentra el sistema, a fin de garantizar la continuidad y confiabilidad del mismo, finalmente se realizara un análisis general de la producción generada por la planta una vez implementado el sistema.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de control distribuido para el área de dosificación de macro ingredientes de una planta tipo para la producción de balanceado.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Prevenir los retrasos de la producción a partir de la identificación de alertas y alarmas del proceso.
- Mejorar la interoperabilidad del sistema mediante el uso del software adecuado.
- Conocer el estado y realidad del proceso en base a la generación de reportes.
- Generar un modelo de automatización para procesos de dosificación en la producción de balanceado.

1.6 Descripción General del Proyecto

El proyecto tiene como propósito el diseño de un sistema de control distribuido en el área de dosificado de macro ingredientes de una planta de balanceado. Para su implementación se realizará la incursión a una fábrica, ubicada en el sector de YARUQUI, que opera de modo manual.

La planta de balanceado de acuerdo a su distribución interna se manejan jerárquicamente a través de 3 departamentos, que intervienen en el proceso de producción: Departamento de Nutrición, Departamento de Órdenes, Departamento de Operación. Es decir para que el sistema inicie, como primer paso el Departamento de Nutrición deberá ingresar las recetas y de ser el caso los ingredientes en el sistema, posteriormente en el Departamento de Órdenes se ingresaran el número de batch (productos) que se requiere por orden, finalmente en el Departamento de Operación con la información previamente alimentada al sistema dará inicio al proceso.

La lógica de control automático está enfocada en el área de dosificación, donde las condiciones se encuentran gobernadas, por la cantidad que cada uno de los ingredientes necesita para conformar una receta.

Para la interoperabilidad del proceso se lo llevará mediante la creación de una Interfaz Humano Máquina que trabajará en conjunto con el controlador lógico y la base de datos. El sistema también poseerá un control manual con todos los componentes que integran el proceso y los datos proporcionados por el sistema serán almacenados en un servidor.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 La Industria de Alimentos Balanceados

El hombre desde sus inicios se alimentaba de bayas, frutos, raíces, hojas y tallos. Después aprendió a cazar y a domesticar animales para criarlos y usar su carne para alimentarse. En la actualidad existe la industria de alimentos balanceados, que proporciona alimento, para la cría de animales de corral con el propósito de usarlos como base alimenticia.

La industrialización o transformación de la materia prima para elaboración de alimentos balanceados permite el usufructo de productos agrícolas, contribuyendo al desarrollo de la producción en otros sectores dependientes de este, tales como el avícola, porcina y ganadera.

Los alimentos balanceados se encuentran formados por una variedad de productos, desarrollados para abarcar todas las necesidades nutricionales de los animales, estos alimentos son fabricados de acuerdo a normas técnicas y rigurosas medidas de bioseguridad, para garantizar la integridad orgánica, el estado sanitario y el bienestar animal.

El proceso de balanceado se encuentra adherido a una cadena de producción completa, comenzando por la entrega de la materia prima a las procesadoras de balanceado, posteriormente se entrega el balanceado a los animales para su desarrollo y por último se distribuye en supermercados y tiendas los productos como carne de pollo y cerdo, para su venta (Yumbla, 2011).

En el país según las estadísticas realizadas por la Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos para Animales, en el 2014, existen 324 plantas de alimentos balanceados, en la Figura 1 se aprecia la distribución geográfica de la plantas de balanceado en el Ecuador (AFABA, 2014).

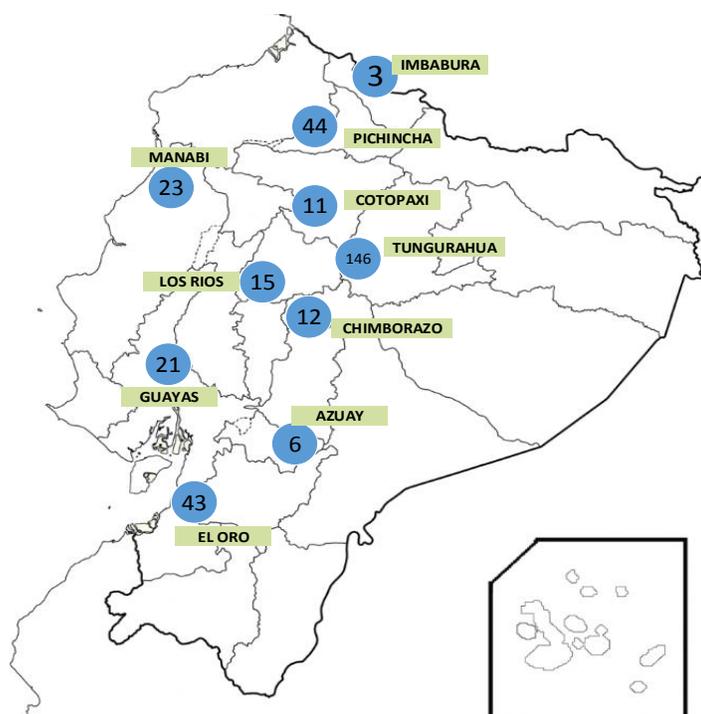


Figura 1. Plantas de Balanceado en Ecuador

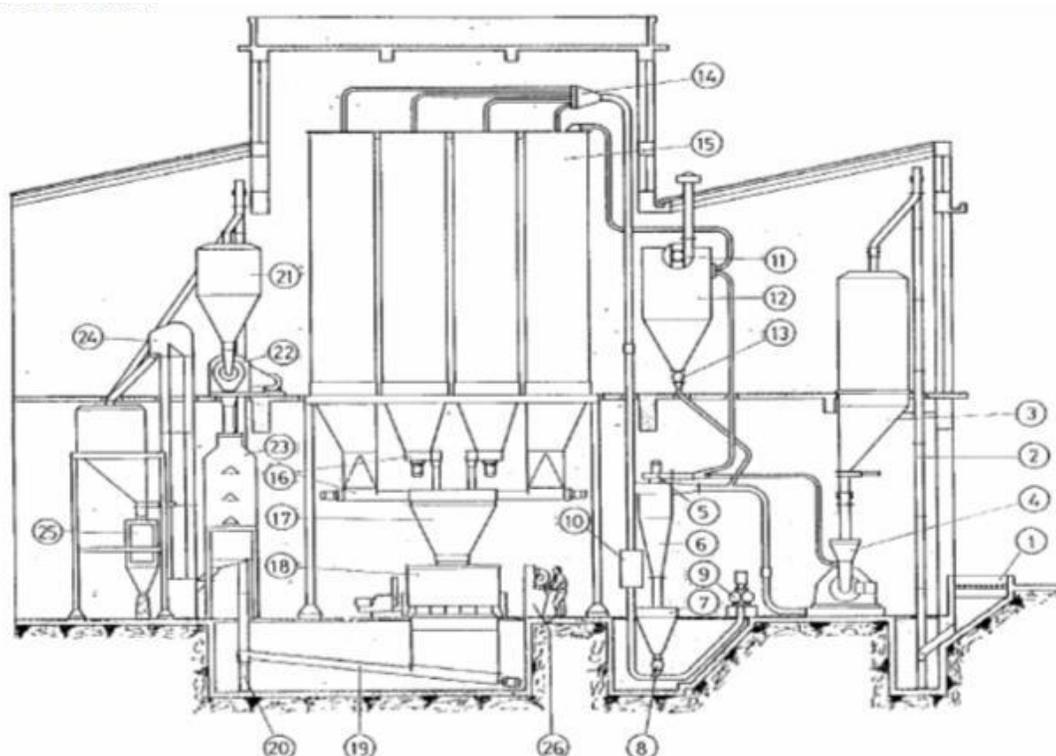
Fuente: (AFABA, 2014)

2.1.1 Proceso de Producción de balanceado

Todas las plantas orientadas a la producción de balanceado se caracterizan por poseer de cierta forma la misma estructura y componentes. Para lograr el tratamiento de la materia prima existen 5 etapas básicas y necesarias con las que toda planta de balanceado debe contar tales como:

- Almacenamiento.
- Molienda.
- Dosificado de ingredientes.
- Mezclado.
- Empaque.

A partir de las etapas mencionadas existen, procesos adicionales que varían dependiendo, de la calidad del producto final que se requiere tales como: Recepción, Paletizado, Dosificación fina, Dosificación gruesa, Premezclado. En la Figura 2 se puede apreciar una planta típica de balanceado y su distribución.



- | | |
|-------------------------------|---|
| 1. Fosos de recepción | 14. Distribuidor de revólver |
| 2. Elevador de cangilones | 15. Celdas de ingredientes |
| 3. Depósito de almacenamiento | 16. Descargadores de las celdas de ingredientes |
| 4. Molinos trituradores | 17. Tolva |
| 5. Ventilador | 18. Mezcladora |
| 6. Ciclón | 19. Tornillo sin fin |
| 7. Tolva | 20. Elevador de cangilones |
| 8. Esclusa | 21. Depósito |
| 9. La soplante | 22. Granuladora |
| 10. Válvula de cruce | 23. Enfriador |
| 11. Ventilador | 24. Elevador de cangilones |
| 12. Filtro de aire | 25. Empacadora |
| | 26. Pupitre de mando |

Figura 2. Planta de Balanceado Típica

Fuente: (Carrillo & Calero, 2016)

2.1.1.1 Almacenamiento

Todo inicia con la recepción de la materia prima (maíz, soya, trigo, arroz, etc.), que habitualmente llega en camiones. Posteriormente el producto se almacena en silos, fabricados para prevenir la contaminación del producto, generado del exceso de humedad para evitar que se generen micotoxinas, con efectos perjudiciales en la dieta animal (Maya Henao, 2016). Los dispositivos que comúnmente se usan para el almacenamiento se aprecian en la Figura 3 los cuales son:

- Bines o Tolvas: Contenedor similar a un embudo de gran tamaño.
- Silos: Construcción elaborada para almacenar materiales a granel, de forma cilíndrica.



Figura 3. Contenedores de Almacenamiento

Fuente: (IndustryWeek, 2018)

2.1.1.2 Molienda

Es el proceso por donde los granos (materia prima), cambia físicamente reduciéndolo de su estado natural a una especie de polvillo o polvo sin alterar su naturaleza (Hurtado & Ortega, 2017).

Existen diferentes tipos de molinos orientados a esta etapa del proceso, que son elegidos de acuerdo al tamaño y al grado de precisión que requiera la planta (Moncayo & Rueda, 2009).

2.1.1.2 Dosificado de Ingredientes

La dosificación consiste en añadir las materias primas (maíz, soya, trigo, arroz, etc.) con las cantidades y pesos adecuados según la formulación de la receta en un contenedor para posteriormente realizar una mezcla. Este proceso está compuesto por un conjunto de contenedores (tolvas, bins, etc.) de dosificación que tienen un tornillo que permite el transporte de materia prima hacia una balanza, el proceso se ilustra en la Figura 4 (Arica, 2016; Carrillo & Calero, 2016). Existen dos tipos de dosificación, que es idéntico el proceso para los dos casos.

- Micro Ingredientes: se miden en miligramos, usados en pequeñas cantidades
- Macro Ingredientes: material alimenticio sólido.

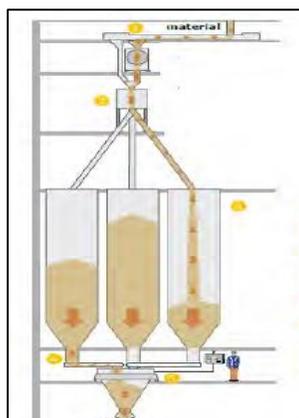


Figura 4. Dosificación
Fuente: (Hurtado & Ortega, 2017)

2.1.1.3 Mezclado

Proceso que sucede cuando se ha establecido la dosificación, y consiste en realizar una dispersión uniforme de todos los ingredientes que conforman una receta. Luego de cumplir el tiempo de mezcla tanto de micro como de macro ingredientes, posee una etapa de mezclado

húmedo en donde se le añaden ingredientes líquidos. Este proceso se encuentra compuesto por una mezcladora de espas helicoidales, ubicadas en su eje rotatorio que permite una mezcla total del producto (Flores & Guerra, 2008).



Figura 5. Mezcladora Helicoidal

Fuente: (Pulvex, 2010)

2.1.1.4 Empaque

Este proceso se lleva a cabo mediante el pesaje del alimento terminado, ubicándolo en costales o sacos para su distribución. Los sacos o el empaque que se usa para su distribución cumplen el objetivo de preservar la esterilidad del alimento, hasta su uso. El empaque protege lo que vende y vende lo que protege (Hurtado & Ortega, 2017).

2.1.1.5 Movimiento del Material

Para el movimiento de la materia prima hacia las distintas partes del proceso se hace uso de elevadores y transportadores, que permite trasladar el producto tanto de forma vertical como horizontal. Para cumplir funciones de llenado de los contenedores o transporte desde una etapa del proceso a otra, entre ellos se tiene:

- Elevadores de Cangilones: Comúnmente se hace uso de este tipo de elevador, compuesto por cangilones que se encuentran montados sobre una cadena o banda y se cargan

parcialmente mientras el material que fluye va directamente a ellos, emplean un mecanismo para el acarreo de material granulado de forma vertical, hasta 175 m (Beumer Group, 2018).

- Transportador de Tornillo Sin Fin: Formado por un sistema de espas helicoidales, montadas en un eje, que permiten el movimiento de alimentos granulados de forma horizontal (Flores & Guerra, 2008).

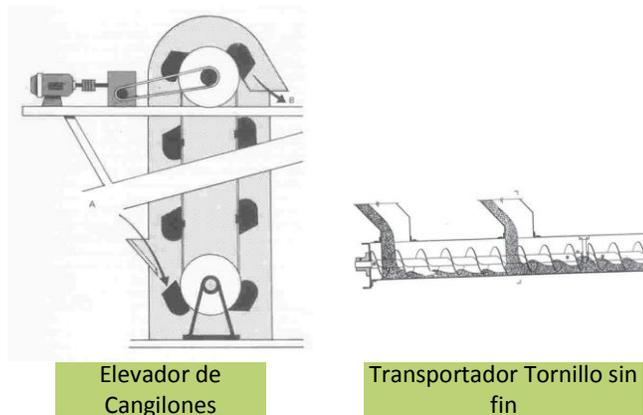


Figura 6. Dispositivos de Movimiento

Fuente: (Beumer Group, 2018)

2.2 Sistemas Automáticos y Manuales

Desde años atrás, en la primera revolución industrial, hasta tiempos modernos que se habla de la industria 4.0. La industria se acomodó a las tecnologías que la época ofrecía. Comenzando con el modo de operación manual que posteriormente con la aparición de componentes y dispositivos modernos se dio paso para el trabajo en modo automático (Kwon, Hodkiewicz, Fan, Shibutani, & Pecht, 2016).

2.2.1 Sistemas Manuales

Los sistemas manuales son aquellos donde existe la participación estricta de una o más personas en el proceso y son las encargadas de realizar, acciones de manipulación de una forma directa con la maquinaria, regulando el comportamiento del sistema. En la Figura 7 se puede apreciar la concepción del concepto descrito.

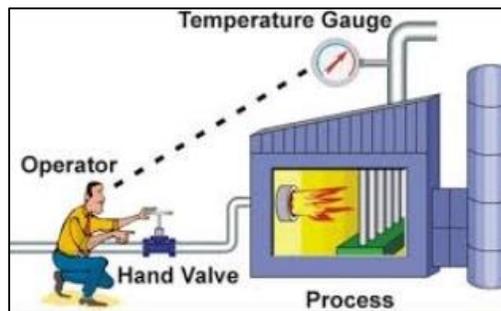


Figura 7. Sistema Manual
Fuente: (Alcaraz, 2018)

2.2.1.1 Estructura

En la Figura 8 se aprecia la estructura del sistema en donde la retroalimentación que el proceso brinda al operador son los sensores, o indicadores luminosos, que dependiendo de su estado, el operador será el encargado de tomar las decisiones del proceso.

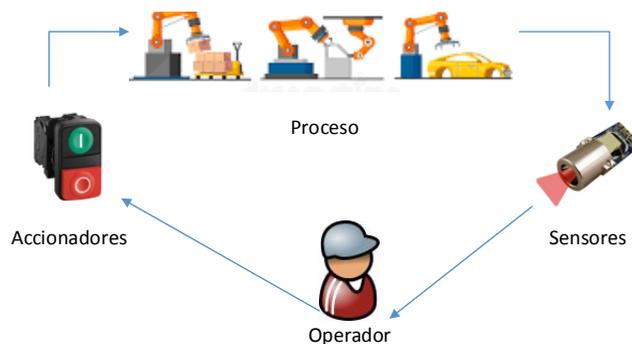


Figura 8. Proceso Manual

2.2.2 Sistemas Automáticos

Los sistemas automáticos son definidos como aquellos sistemas capaces de reaccionar de forma autónoma, ante cambios que se producen en ellos mismos, estos sistemas realizan labores de forma automática, en base a las especificaciones con las que han sido diseñadas, suprimiendo total o parcialmente la intervención humana en la ejecución de tareas industriales. Los objetivos de un sistema automático, es mejorar la eficiencia del proceso, calidad, precisión y reducir los riesgos que atenten con la integridad del personal (Ariño Latorre, Carlos Vicente; Romero Perez, Julio Ariel; Sanchis Llopis, 2010). Los componentes que comúnmente forman un sistema automático son:

- Transductores y captadores de información (Sensores).
- Preaccionadores (relés, contadores, etc.)
- Accionadores o actuadores (Motores, válvulas, etc.)
- Dispositivos de control (computadores, PLC)

2.2.2.1 Estructura

La estructura típica de un sistema automatizado se aprecia en la Figura 9. Conformado por un bucle de lazo cerrado, la retroalimentación está gobernada por los sensores que proporcionan la información necesaria, para tomar acciones ante una condición, que físicamente se ven reflejadas en los actuadores, el automatismo o también conocido como sistema de control es el encargado de la toma de decisiones, debido a que en él se encuentran las condiciones y algoritmos que comandan el sistema, además proporciona una comunicación directa con el operador, que este a su vez introduce las consignas al sistema.

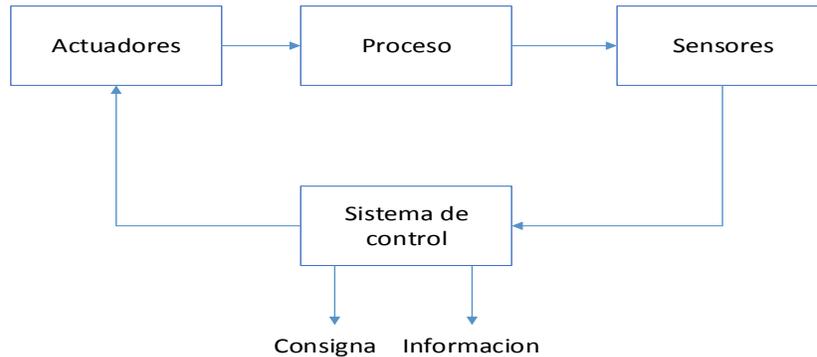


Figura 9. Proceso Automático

Fuente:(Garcia, 2001)

2.2.2.2 Automatismos Programados

El sistema se encuentra conformado con tecnología referida a microcontroladores o dispositivos programables. La base del sistema es un programa, donde sus instrucciones determinan la función lógica que relacionan las entradas y salidas. Existen 2 formas de implementación:

- **Autómata Programable Industrial:** son los dispositivos que actualmente se los conoce como PLC, diseñados con características para desenvolverse en ambientes industriales.
- **Ordenador:** También conocido como computador industrial, permite la integración entre dispositivos de control y una programación de alto nivel (Daneri, 2008).

2.2.2.3 Niveles de Automatización

Para automatizar un sistema o proceso se debe tomar en cuenta que existen diferentes niveles de automatización, los cuales dependen del grado al que se desea llegar con el sistema, además de factores económicos y tecnológicos. A continuación en la Figura 10 se presenta la pirámide de la automatización, que describe los niveles existentes (Cesar da Costa, Cleiton Mendes, 2017).

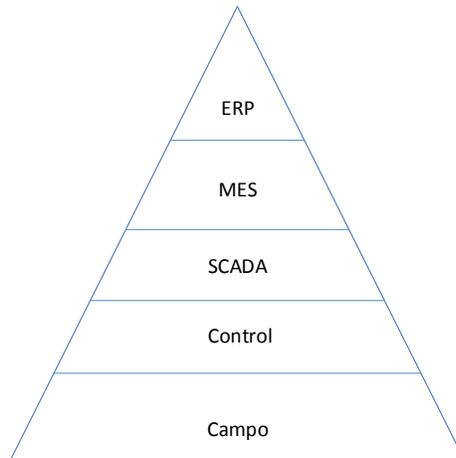


Figura 10. Pirámide de la Automatización

- ERP: Planificación de Recursos Empresariales, es la parte más alta de la pirámide y se encuentra basada en sistemas informáticos gerenciales que integran y manejan operaciones de producción y distribución de la empresa.
- MES: Sistema de Ejecución de Manufactura, dirigen y monitorizan procesos de producción en la planta.
- SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de datos, nivel de supervisión del proceso.
- Control: En este nivel se sitúan los controladores capaces de comandar o manipular directamente los actuadores y sensores de campo.
- Campo: Es conocido como el nivel de instrumentación, se encuentra conformado por elementos de medida y mando, tales como los sensores y actuadores.

2.3 Control Distribuido

También conocido con el acrónimo DCS, el Sistema de Control Distribuido es un sistema que contiene controladores de procesos, software de monitoreo y registro de datos.

Los elementos se encuentran geográficamente distribuidos por todo el proceso e interconectados entre sí, a través de la tecnología de comunicación industrial, Ethernet TCP/ IP. Los DCS se encuentran orientados para plantas en las que existe una considerable cantidad de señales de control y variables de proceso. Entre las funciones que destaca el sistema se encuentran:

- Monitorización del proceso.
- Visualización de alarmas.
- Operación y control, sobre los actuadores presentes en el proceso.
- Registro y almacenamiento de la información en tiempo real.
- Seguridad de la información.
- Comunicación con los diferentes dispositivos del sistema a través de una red industrial (Metha & Readdy, 2015).

2.3.1 Arquitectura

La arquitectura del DCS básica, está definida de acuerdo a los dispositivos que intervienen en el sistema y su red de control. Existen 3 niveles y se encuentran relacionados a la pirámide de la automatización de la Figura 10.

- Nivel 1, se encuentran los equipos de campo, que interactúan de forma directa en el proceso, tal es el caso de sensores y actuadores.
- Nivel 2, constituida por PLC'S encargados de gobernar los equipos del nivel 1.
- Nivel 3, es la etapa más alta de la arquitectura, donde se encuentran computadores, servidores de altas características, encargados de procesar información proveniente de niveles inferiores, aquí se supervisa, monitorea y registra información del proceso en su totalidad.

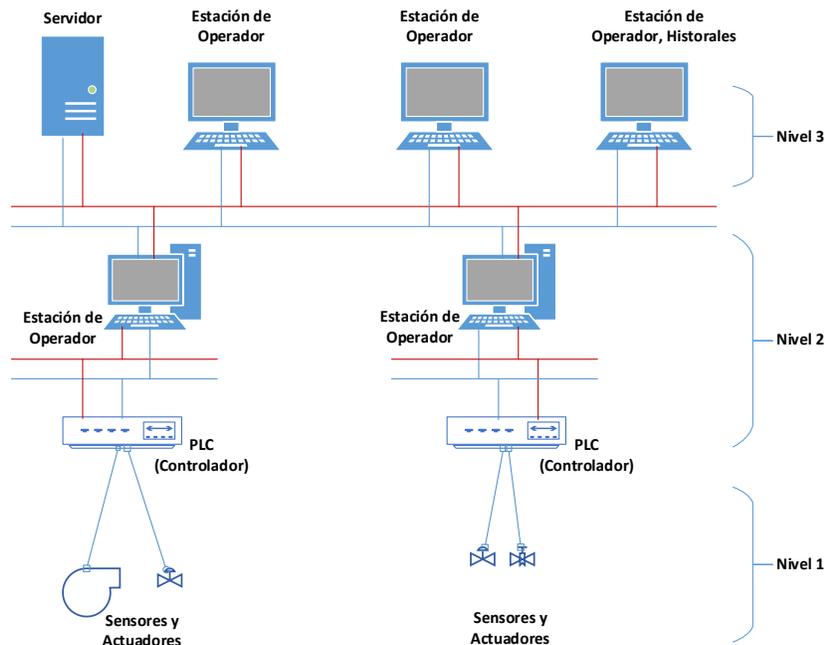


Figura 11. Arquitectura DCS

Fuente: (Metha & Readdy, 2015)

El flujo de la información inicia con los equipos más cerca del proceso, es decir los PLC, estos transfieren y reciben información entre las computadoras locales, mientras que con los computadores o estaciones más alejados, se transmite información procesada previamente lo que influye en una reducción de información a transmitir, esta información finalmente es presentada en paneles de operador y es administrada para registro de datos históricos. Una computadora de supervisión normalmente se encuentra en la parte superior de la jerarquía, y es responsable de realizar muchas funciones de nivel superior (Ali, 2018).

2.3.2 Componentes del DCS

Los componentes que intervienen en el sistema de manera general se ilustran en la Figura 12 que se encuentra constituido por:

- Subsistema de entrada / salida: Aquí yacen las distintas señales que intervienen en el

proceso.

- Subsistema de controlador: Aquí se encuentran los controladores que gobiernan el sistema.
- Redes de comunicación: Existe una variedad de estándares abiertos, como OPC, para comunicarse con fuentes de datos externas.
- Subsistema de operación y control: El panel de operador es la unidad que integra todos los componentes del sistema, comúnmente es una computadora, en donde se encuentra una aplicación del proceso.

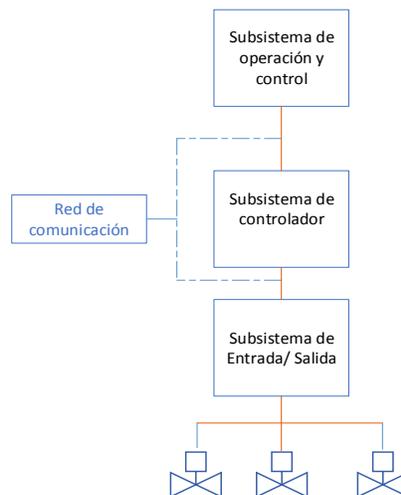


Figura 12. Componentes DCS

2.3.3 Ventajas y Características

La implantación de un DCS exhibe los siguientes beneficios:

- Flexibilidad y confiabilidad en el desarrollo del sistema.
- Alta capacidad de visualización y gestión de alarmas.
- Facilidad de expansión, permite adaptarse a las nuevas etapas del auge tecnológico.
- Facilidad de mantenimiento, sin la necesidad de realizar una parada de la planta.
- Integración con sistemas ERP y TI a través del intercambio de información.

2.4 Software Ignition

El software creado por Inductive Automation es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones industriales, tales como: SCADA, MES, HMI, IIOT, todo en un solo paquete. El software se basa en multiplataforma web, a través de la tecnología java, que permite el trabajo simultáneo sobre una aplicación, lo que optimizara el tiempo y recursos (Inductive Automation, 2018).

2.4.1 Componentes

Para trabajar en el software ignition, se lo realiza a través de la secuencia que se aprecia en la Figura 13.

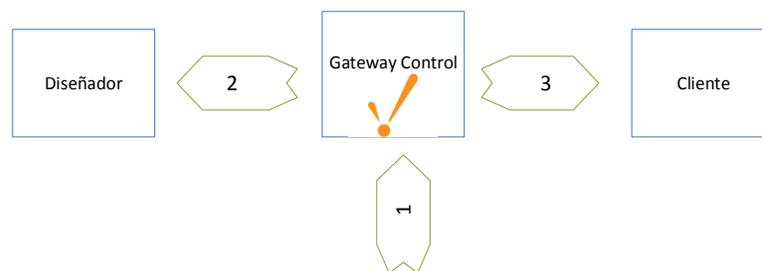


Figura 13. Componentes de Ignition

- 1.- Configuración del componente Gateway
- 2.- Descargar aplicación diseñador
- 3.- Descargar aplicación cliente

2.4.1.1 Ignition Gateway Control Utility

Es una aplicación, también conocida como una puerta de enlace del sistema en el que se puede realizar configuraciones administrativas básicas, tales como reiniciar o detener el servidor, configurar los puertos de enlace y los clientes, reestablecer contraseñas.

2.4.1.2 Diseñador

Es una aplicación web que se encuentra en la plataforma ignition, que es descargado a través del Gateway, una vez que se encuentren configurados los requerimientos del sistema, tal como comunicación, base de datos, módulos de trabajo. Esta aplicación es considerada como la aplicación de diseño debido a que en ella se realiza la programación de proyectos de aplicación industrial.

2.4.1.3 Cliente

Es el resultado final del diseño, es decir es la presentación de la aplicación, el cual será manipulado por el usuario final o cliente. Esta aplicación funciona con java, sin necesidad de instalar ignition y se la puede visualizar en paneles o pantallas táctiles, dispositivos móviles, o de forma estándar desde un computador.

2.4.2 Módulos

Ignition es una plataforma modular, por lo que cuenta con diferentes paquetes de trabajo, los cuales son usados de acuerdo a la necesidad de la aplicación. A continuación se nombra los diferentes módulos que posee.

2.4.2.1 Visión

Permite la creación de una interfaz dinámica, mediante la creación de gráficos vectoriales, además permite crear animaciones, vincula propiedades de forma a los valores de datos, o a través de la programación de sus objetos, añade la facilidad de visualización de datos en tiempo real mediante gráficos.

2.4.2.2 Puente SQL

Brinda la facilidad de una gestión de base de datos a través de Ignition, este módulo crea un puente entre un servidor OPC y una base de datos, en donde se puede escribir o realizar consultas de información, permite el movimiento de datos de forma bidireccional.

2.4.2.3 Reportes

Permite la creación de informes personalizados, los cuales son adecuados a las necesidades de las aplicaciones, trabaja en conjunto con la información registrada en la base de datos, además incluye una biblioteca completa compuesta por imágenes, gráficos, tablas, etc. El módulo permite una generación automática o programada de informes.

2.4.2.4 Notificación de Alarmas

El módulo de alarmas, brinda la facilidad de configurar la lógica de cómo, porque y cuando se entregan las notificaciones que se generen al producirse una alarma. Las notificaciones pueden darse vía SMS, sonido y correo electrónico.

2.4.2.5 Móvil

Concede las herramientas, para la creación de aplicaciones orientadas hacia dispositivos móviles, permite el acceso móvil a los sistemas de control. Este módulo es compatible para dispositivos iPhone y Android.

2.4.2.7 OPC UA

OPC de Arquitectura Unificada es un estándar de comunicación, basada en una arquitectura cliente – servidor, que permite la conexión con dispositivos de campo. El Servidor OPC, recopila información de campo y la mantiene a manera de container para el Cliente. El Cliente OPC puede comunicarse con cualquier servidor.

2.4.2.6 MES

Ignition proporciona el modulo dedicado a los sistemas MES, compuesto por herramientas para Proporcionar el flujo de trabajo, visibilidad, y notificación de eventos para garantizar que la fabricación cumpla con las demandas de información empresarial.

2.4.3 Arquitectura Estándar

La arquitectura consiste en la configuración de una sola puerta de enlace, en donde puede existir comunicación con múltiples PLC, base de datos y otros dispositivos. La arquitectura estándar puede servir como base de partida para arquitecturas más complicadas (Zambrano, 2017).

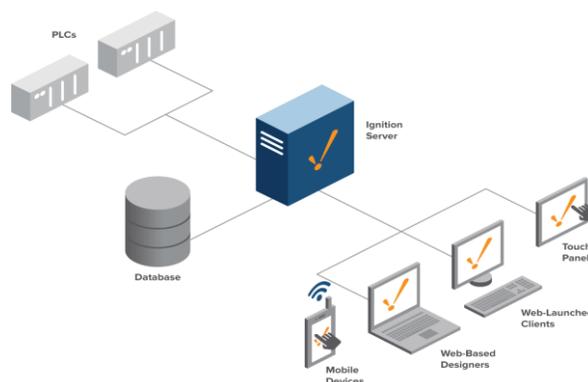


Figura 14. Arquitectura Ignition
Fuente: (Inductive Automation, 2018)

2.5 Base de Datos

Conocido como un almacén de información, que permite guardar o registrar de forma ordenada, grandes cantidades de datos, para posteriormente ser usados. La base de datos se encuentra formada por uno o más bloques de información conocidos como tablas.

Los programas que permiten la manipulación y control de los datos, son los gestores de base de datos conocidos por el acrónimo “SGBD”, donde el objetivo principal es proporcionar la forma de almacenar y recuperar la información de una base de datos (Silberschatz, Korth, & Sudarshan, S. (Instituto Indio de Tecnología, 2002).

2.5.1 Elementos de la Base de Datos

La base de datos se encuentra formada por tablas y estas están compuestas por:

- Atributos: Son las columnas de una tabla.
- Tupla: Son las filas de una tabla.
- Registros: Es la unidad fundamental de la información de una tabla.
- Campos: Unidad elemental de cada registro.
- Valor Nulo: Es cuando los contenidos de los atributos no tienen ningún valor.
- Clave Primaria: Representa un valor único para la identificación de filas de una relación.
- Clave externa: Atributo de una tabla que se encuentra relacionada con una clave de otra.

2.5.2 Abstracción de Datos

El sistema debe recuperar los datos registrados, eficientemente para que sea útil. Por ello existen estructuras de datos complejas, para la representación de los datos en la base de datos. En la Figura 15 se puede observar los tres niveles de abstracción por los que está constituido.

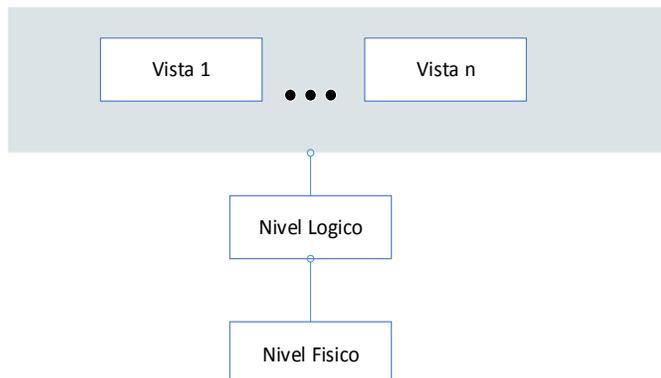


Figura 15. Abstracción de Datos DB

Fuente: (Silberschatz et al., 2002)

- **Nivel Físico:** En este nivel se aprecia cómo se almacenan realmente los datos
- **Nivel Lógico:** En este nivel se describe que datos se almacenan en la base de datos y que relaciones existen entre estos datos.
- **Nivel de Vistas:** Describe la parte de datos necesaria, debido a que muchos usuarios del sistema de base de datos no necesitan toda la información, por lo que necesitan el acceso solo a una parte de ellos, es decir los datos de interés.

2.5.3 Modelos de datos

2.5.3.1 Modelo Entidad Relación

El modelo consta de una colección de objetos básicos, llamados entidades y relaciones. La entidad es una cosa u objeto que se distingue de otros, por ejemplo cada persona es una entidad, en términos de base de datos las entidades se describen mediante un conjunto de atributos. Una relación es una asociación entre distintas entidades, por ejemplo la relación edad, asocia a las personas que tengan una misma edad.

Este tipo de modelo es representado por Rectángulos (representan conjuntos de entidades), Elipses (representan atributos), Rombo (representan relaciones entre conjuntos), Líneas (unen los atributos con los conjuntos). En la Figura 16 se aprecia un ejemplo del modelo entidad relación.

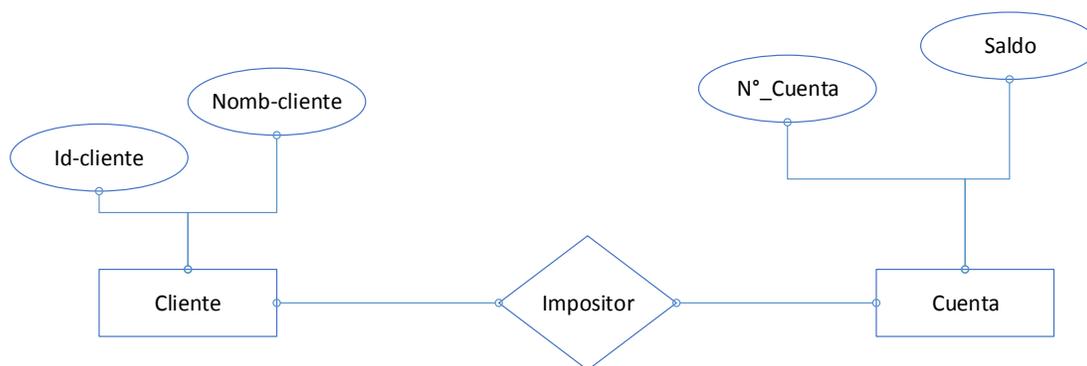


Figura 16. Modelo E-R

2.5.3.2 Modelo Relacional

Para este tipo de modelo se lo realiza a través de tablas para representar datos y relaciones entre ellos, cada una de las tablas se encuentra compuesta por varias columnas o atributos. El modelo se encuentra a un nivel de abstracción inferior o nivel físico. Para un diseño de base de datos comúnmente se lo realiza a través de modelo entidad relación y posteriormente se lo traduce a un modelo relacional (Oppel, 2010).

CAPÍTULO III

DISEÑO

En este capítulo se presenta el diseño del sistema de control distribuido (DCS), que se lo realiza a través del análisis de la situación actual de la planta de balanceado a intervenir. Se puntualiza los lineamientos generales y de detalle, que serán tomados en cuenta para la posterior implementación. El sistema está formado por etapas de hardware y de software que comandan el proceso, con ayuda de sensores y actuadores, propios de la planta. En la Figura 17 se representa la estructura del sistema.

La etapa de hardware consta de dispositivos de control tales como: PLC, variadores de frecuencia, contactores, guarda motores, relés, borneras, etc. Los mismos que se encuentran distribuidos en un tablero de control. En la etapa de software se determinan las condiciones y criterios a tomar en cuenta tanto para la implementación de la lógica de control, el HMI y la estructura de la base de datos.

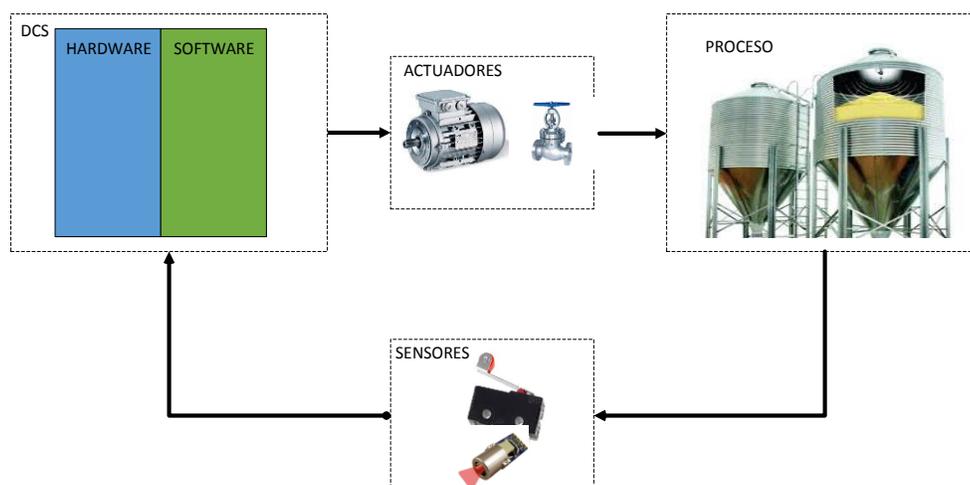


Figura 17. Estructura del Proyecto

3.1 Situación Actual de la Planta

La planta de producción de balanceado a intervenir ubicada en el sector de YARUQUI, cuenta con un sistema de mando manual, conformado por pulsadores, selectores e indicadores luminosos, todos ubicados en una consola, de donde se controla todo proceso. Esta consola se la puede apreciar en la Figura 18.



Figura 18. Consola de Mando Manual

La planta de producción está compuesta por tres procesos:

- Recepción o almacenamiento
- Dosificado de macro ingredientes o Batcheo
- Transporte o ensacado

El diagrama P&ID del proceso se aprecia en el Anexo A.

3.1.1 Secuencia del Proceso

En la Figura 19 se aprecia el flujo del proceso, que inicia con la creación de recetas por parte del Departamento de Nutrición, seguidamente el Departamento de Producción genera órdenes para el inicio del proceso.

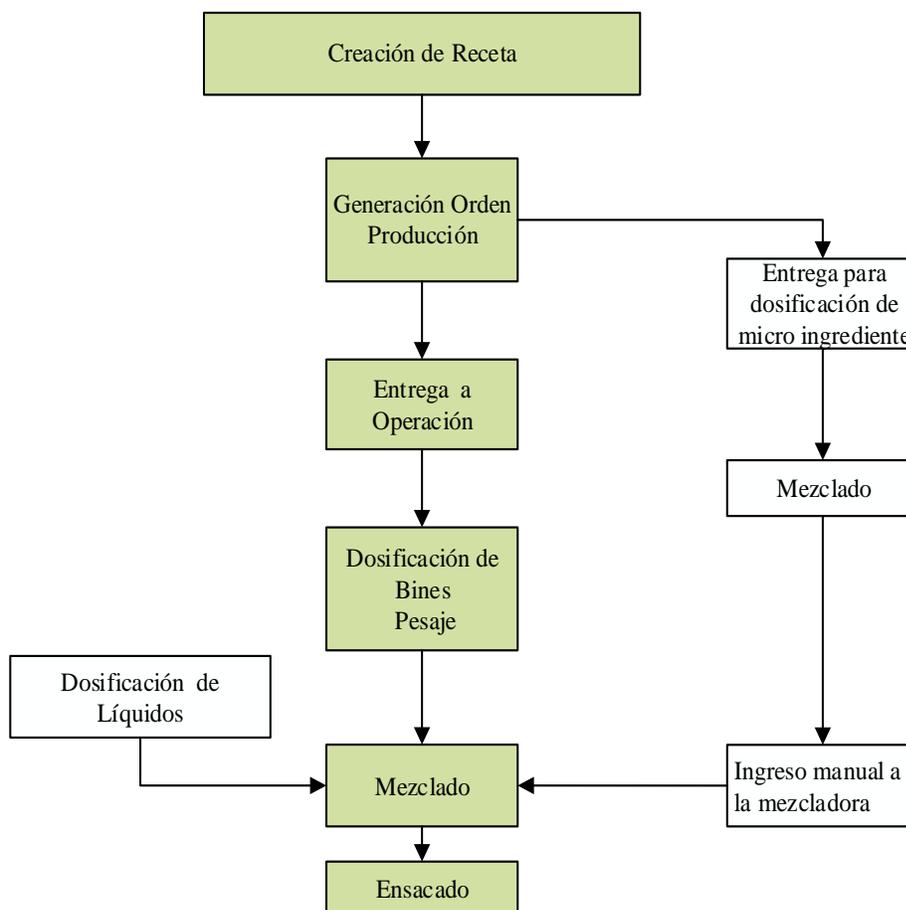


Figura 19. Flujo del Proceso

El proceso de producción de esta planta, inicia con la recepción de la materia prima, luego se procede al almacenamiento en 7 contenedores (Silos). Para suministrar a cada silo de materia prima se cuenta con ayuda de transportadores y elevadores.

Una vez que la materia prima se encuentre en cada silo, la segunda etapa consiste en distribuirla a 16 diferentes contenedores (Bines), los cuales son de menores dimensiones que los silos, y de igual forma se los suministra con ayuda de transportadores y elevadores. Cada bin representa un ingrediente, es decir un material alimenticio sólido, también conocido como macro ingrediente.

En la tercera etapa se procede al dosificado de los macro ingredientes, que se refiere a establecer una cantidad adecuada de un ingrediente a una fórmula de composición de un producto, o también conocido como receta, esto se logra con ayuda de una balanza. A continuación los distintos ingredientes con sus respectivas cantidades ingresan a un contenedor (Tolva) donde se realiza una mezcla por un periodo de tiempo, luego de cumplirse el tiempo se realiza una mezcla húmeda que dependiendo de la receta se añade aceite o metionina.

Cabe recalcar que al ingresar los ingredientes para la mezcla también se le añade micro ingredientes los cuales son pesados e ingresados manualmente.

Finalmente el producto mezclado sale hacia un transportador que lo llevará a contenedores de producto terminado, para su distribución, esta se la realiza de dos maneras: la primera el balanceado va directamente a un contenedor de vehículo y la segunda se la realiza mediante sellado de sacos y costales.

El bin 1 es usado para almacenar materia prima que debe a travesar por el proceso del molino.

3.1.1.1 Elementos del Proceso

Los elementos que se presentan en el proceso de acuerdo al área donde ejercen su acción son especificados en la Tabla 1.

Tabla 1
Elementos del Proceso

Componente	Descripción	Área	Cantidad
Silos	Contenedores de materia prima	Recepción	7
Ventiladores	Ventiladores ubicados en los silos	Recepción	8
Tornillos dosificadores	Tornillos ubicados a la salida de cada silo	Recepción	7
Motores	Motores de elevadores y transportadores	Recepción	12
Válvulas	Válvulas de direccionamiento hacia los silos	Recepción	4
Bines	Contenedores de macro ingredientes	Dosificación	14
Sensores de nivel	Indicadores de nivel alto	Dosificación	15
Tornillos dosificadores	Tornillos ubicados a la salida de cada bin	Dosificación	12
Balanza	Balanza para el pesaje de macro ingredientes y de líquidos	Dosificación	2
Mezcladora	Agitador de los elementos que se encuentren en el	Dosificación	1
Tanques de líquidos	Contenedores donde se encuentran los líquidos para dosificar	Dosificación	2
Motores	Motores de elevadores y transportadores	Dosificación	5
Distribuidor	Permite el direccionamiento de materia prima, hacia los diferentes bines	Dosificación	2
Válvulas	Válvulas de direccionamiento, hacia los bines y paso de líquidos	Dosificación	9
bombas de dosificación de líquidos	Permiten proporcionar líquidos desde los tanques, hacia el mezclado	Dosificación	3
Válvulas	Válvulas de direccionamiento, hacia los bines de producto terminado	Transporte	2
Motores	Motores de transportadores	Transporte	2

3.1.2 Consola de Mando Manual

A continuación se indica el funcionamiento y el proceso que se ve representado en la consola manual.

3.1.2.1 Recepción

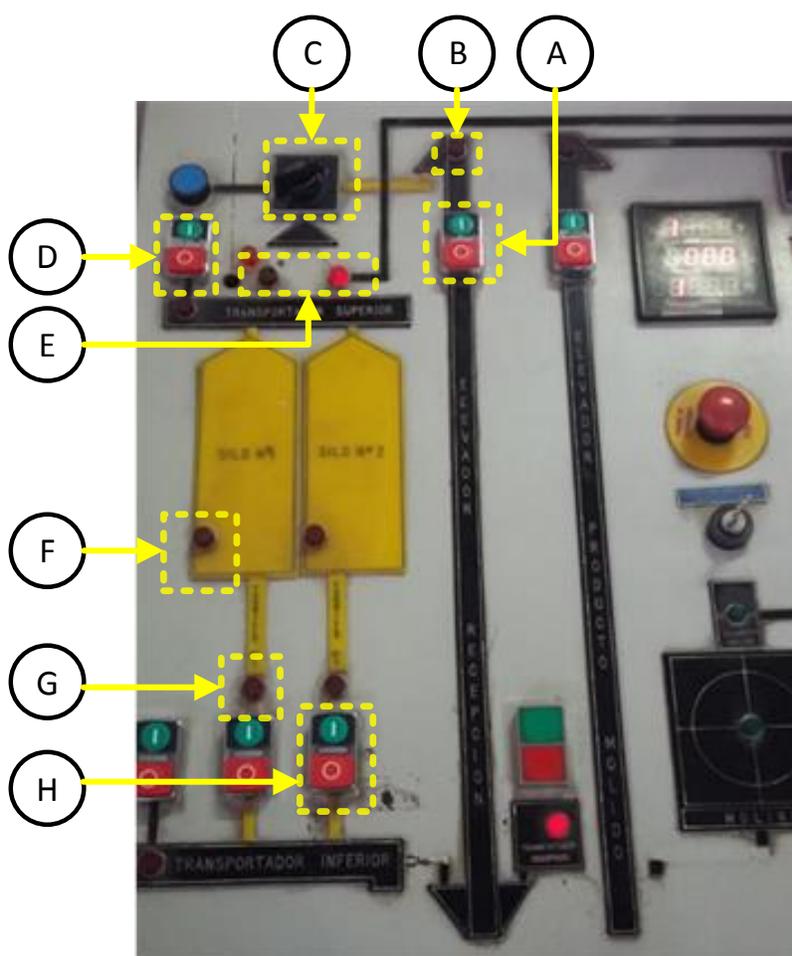


Figura 20. Recepción 1 Consola Manual

- A: Comandar el motor del elevador de insumos, permite llevar el producto desde el proceso de recepción hacia el proceso de Batcheo o dosificación de macro ingredientes.
- B: Indicador del estado del motor elevador de insumos.

- C: Comandar la electroválvula 101, que permite el paso del producto en sentido a distribuidor 1 o distribuidor 2.
- D: Comandar el motor trasportador superior 1, que permite llevar el producto hacia el silo 1, silo 2 y hacia el trasportador superior 3
- E: Indicadores de la posición de la electroválvula, mencionada en el literal C
- F: Indicadores del estado de ventiladores ubicados en los silos.
- G: Indicador del estado del motor, tornillo del silo.
- H: Comandar el motor del tornillo del silo.

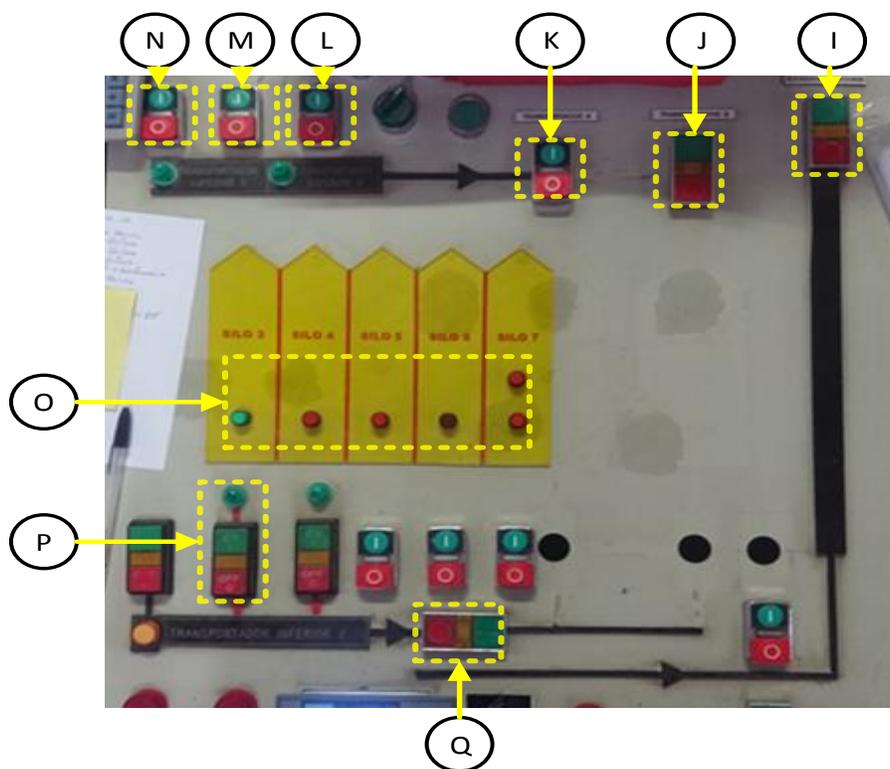


Figura 21. Recepción 2 Consola Manual

- I: Comandar el motor elevador de granos o elevador de recepción del producto, lleva el producto desde el transportador de recepción hacia los diferentes transportadores superiores.

- J: Comandar el motor transportador superior 6, que permite llevar al producto al silo 6
- K: Comandar el motor transportador superior 5, que permite llevar al producto al silo 5 y al transportador superior 6
- L: Comandar el motor transportador superior 7, que permite llevar al producto al silo 7
- M: Comandar el motor transportador superior 4, que permite llevar al producto al silo 4 y al transportador superior 7.
- N: Comandar el motor transportador superior 3, que permite llevar al producto al silo 3, al transportador superior 4 y transportador superior 5
- O: Indicadores del estado de ventiladores ubicados en los silos.
- P: Comandar el motor transportador Inferior 1, que permite llevar al producto desde los tonillos de los silos 3, 4, 5, 6 y 7 al elevador de insumos.
- Q: Comandar el motor transportador inferior de recepción, que permite llevar al producto desde la llegada del producto hacia el elevador de recepción o granos.

Nota:

Los literales H, F, G son Mandos o indicadores que encuentran representados en los 7 silos y permiten la manipulación o visualización del silo en el que se encuentran ubicados.

3.1.2.2 Batcheo

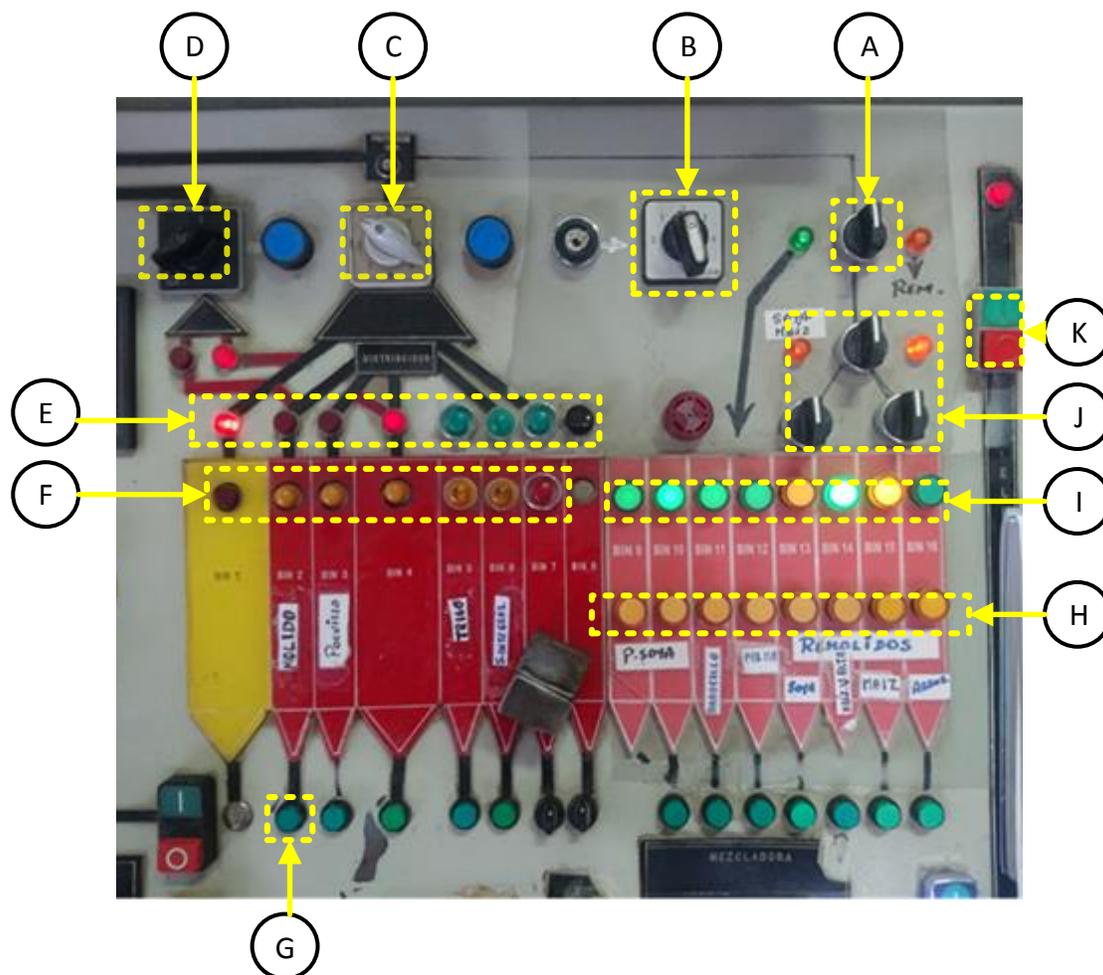


Figura 22. Batcheo Consola Manual

- A: Comandar la electroválvula 102, que permite el paso del producto hacia el distribuidor 2 o hacia la válvula 103.
- B: Comando del distribuidor 2 que permite el paso del producto hacia los bins 9, 10, 11 y 12.
- C: Comando del distribuidor 1 que permite el paso del producto hacia los bins 1, 2, 3, 4, 5

y 6.

- D: Comandar la electroválvula 106, que permite el paso del producto hacia bin 2 y 4
- E: Indicadores de la posición en la que se encuentra el distribuidor 1, es decir bin 1, 2, 3, 4, 5 y 6.
- F: Indicadores de nivel correspondientes a cada bin.
- G: Comandar el motor correspondiente al tornillo del bin 2.
- H: Indicadores de nivel correspondientes a cada bin.
- I: Indicadores de la posición en la que se encuentra el distribuidor 2, es decir bin 9, 10, 11 y 12.
- J: Comandar la electroválvula 102, 103, 104 y 105, que permite el paso del producto como lo indica la figura.
- K: Comandar el motor elevador de producto terminado.

Nota:

Cada bin está compuesto por un tornillo que permite el paso del producto hacia la balanza. El comando del motor, es decir marcha y paro se encuentran posicionados debajo de cada representación del bin en la consola, como por ejemplo obsérvese el bin 2 literal G de la Figura 22. Los mandos en este caso de los tornillos, están constituidos de un pulsador que no posee enclavamiento.

3.1.2.3 Transporte

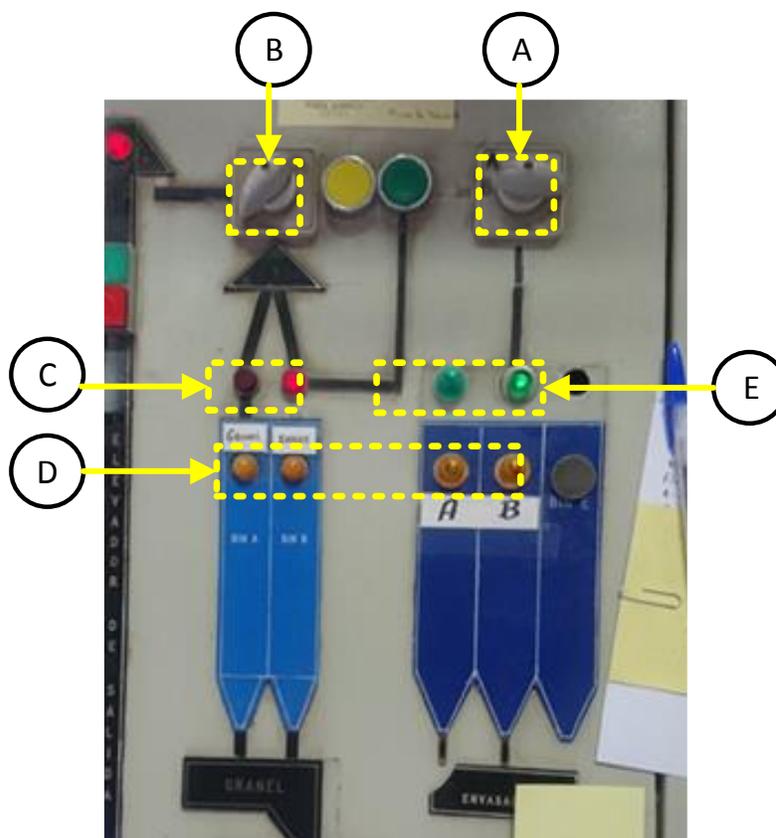


Figura 23. Transporte Consola Manual

- A: Comandar la electroválvula 302, que permite el paso del producto hacia los bins de almacenamiento de producto terminado A y B
- B: Comandar la electroválvula 301, que permite el paso del producto hacia el distribuidor 2 o hacia la válvula 103.
- C: Indicadores de la posición en la que se encuentra la electroválvula 301
- D: Indicadores de nivel correspondientes a cada bin de producto terminado
- E: Indicadores de la posición en la que se encuentra la electroválvula 302.

3.1.3 Sensores y actuadores

3.1.3.1 Actuadores

El proceso está compuesto por dos clases de actuadores:

- Motores
- Electroválvulas

Los mismos que actúan sobre los transportadores, elevadores, tornillos de dosificación, etc. La alimentación para el caso de los motores y electroválvulas se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2

Alimentación de los Actuadores

Dispositivo	Fuerza	Control
Motores	440 Vac	110 Vac
Válvulas	-	110 Vac



Motor



Electrovalvula

Figura 24. Actuadores

Fuente: (Elvem ElectricMotors, 2018)

3.1.3.1 Sensores

La mayor parte de sensores que forman parte del proceso son limit switch que indican el estado o posición de un actuador, como en el caso de las electroválvulas.

Los sensores de nivel alto con los que cuenta la planta son los Roto Bin, que son dispositivos conformados por un motor con un eje montado a una paleta, la cual se encuentra girando permanentemente. Cuando la materia prima entra en contacto con la paleta giratoria obstaculiza su giro e internamente el dispositivo envía una señal, indicando el nivel.



Figura 25. Roto Bin

Fuente: (Smart Factory, 2017)

3.1.4 Tableros de Fuerza

La planta dispone de un cuarto, en donde se encuentran ubicados los diferentes tableros que contienen la distribución de los motores que conforman el proceso.

En la Figura 27 se aprecia en detalle la distribución de uno de los tableros de fuerza, donde la configuración estándar de arranque de los motores es: Breaker principal del tablero > Guardamotor > Contactor > Motor. Y en ciertos casos se dispone de un relé térmico como una protección del motor.



Figura 26. Cuarto Eléctrico

En el proceso intervienen 53 motores entre, elevadores, transportadores, ventiladores, etc.

Debido a que el sistema tiene un funcionamiento netamente manual, no existe la presencia de algún tablero de control, por lo que la distribución de todas las señales del comando de los actuadores llegan de forma directa la consola de mando manual y en otros casos se los comanda desde el propio tablero de fuerza.

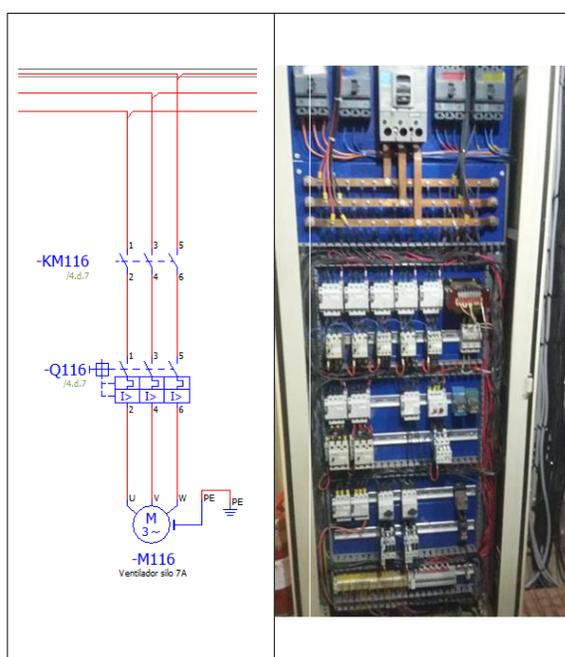


Figura 27. Arranque de Motores

3.2 Requerimientos del Sistema

La operatividad de la planta está definida por dos tipos de acciones que trabajan en conjunto para el funcionamiento del sistema; el primero es la operación de la parte de hardware y el segundo es la operación del software. Las dos partes tienen que encontrarse trabajando en armonía, debido a que desde la operación en software se comanda la operación en hardware, por lo tanto se debe disponer un adecuado acoplamiento entre las dos partes, para una correcta operación.

3.2.1 Requerimientos de Hardware

Cabe destacar que los requerimientos de hardware son un complemento al hardware existente.

Por lo que se tiene que tomar en cuenta las siguientes características:

- Es necesario contar con un tablero de control con sus accesorios y elementos necesarios para comandar el proceso.
- Disponer de una distribución de voltajes de 110 Vac, 220 Vac y 24 Vdc.
- Disponer de un variador de frecuencia con sus accesorios para realizar la dosificación gruesa (alta velocidad) y fina (baja velocidad) de la materia prima.
- Disponer de un controlador robusto con características de trabajo en ambiente industrial.
- El controlador debe tener la capacidad de expansión, para brindar la posibilidad de crecimiento a la planta.
- Contar con un módulo que facilite la adquisición de datos de la balanza de pesaje.
- Disponer de computadoras para las estaciones de operación.
- Disponer de un servidor de datos, con las características adecuadas.

3.2.2 Requerimientos de Software

- Monitorización del proceso en tiempo real
- Reportes de productividad.
- Disponibilidad de control del proceso en modo manual y automático.
- Facilidad de operación del sistema.
- Registro de los datos esenciales, del proceso.
- Permisivos, para el acceso al sistema.
- Compatibilidad entre dispositivos (variador, PLC, balanza)

- En modo manual se podrá comandar todos los actuadores del proceso, además los procesos de Recepción y Transporte independientemente que el sistema de dosificación se encuentre funcionando en modo automático, únicamente podrán funcionar de modo manual.
- El modo automático está orientado exclusivamente al proceso de dosificación de ingredientes o también conocida como el área de Batcheo.

3.2.3 Requerimientos de Red

- Compatibilidad, con los diferentes módulos, equipos de monitoreo y control.
- Integración de las estaciones de supervisión y control del proceso mediante una red industrial Ethernet.
- Oportunidad a la escalabilidad, se debe permitir integrar nuevos dispositivos a la red sin perder la capacidad de rendimiento del sistema.

3.3 Análisis de señales de campo

El proceso de producción de balanceado incorpora una serie de sensores y actuadores, mencionados anteriormente en la Sección 3.1.2. Cada elemento ya sea actuador o indicador dispone de una señal discreta. Para el caso de los actuadores permite proveer un sistema de control de dos posiciones o de 1 o 0 (on - off).

Para los indicadores, se puede conocer el estado, debido a que provee una señal 1 o 0 (encendido - apagado).

Tabla 3

Listado General de Señales

Dispositivo	N° Señales	
Motores	53	Actuadores
Válvulas	14	
Indicadores	27	Sensores

En la Tabla 3 se describe el listado general de las señales. El número de señales correspondientes a sensores se hace referencia a sensores de nivel y posiciones del distribuidor. Por lo que cabe tomar en cuenta que es necesario conocer el estado de los actuadores.

En las válvulas se necesita saber en qué posición se encuentran, es decir abierto o cerrado y para el caso del motor, si este se encuentra encendido o apagado.

Con dichas consideraciones el abierto o cerrado de la válvula se logra conocer con ayuda de interruptores de fin de carrera, lo cual repercute en añadir dos señales de confirmación de estado por válvula. Mientras que para los motores de acuerdo al circuito de arranque se puede conocer su estado mediante la activación del contactor, mostrando si este está apagado o encendido. Aumentando así el número de señales indicadoras de estado, finalmente se obtiene el número de señales que se aprecian en la Tabla 4.

Las señales de estado descritas como sensores, son señales que deben tomarse como entradas al controlador programable, mientras que los actuadores deben asignarse a las salidas del controlador. El listado detallado de las señales se encuentra en el Anexo B.

Tabla 4

Listado de Señales Final

Dispositivo	N° Señales	
Motores	53	
Válvulas	14	Actuadores
Indicadores	108	Sensores

3.4 Análisis de Equipos y Software

Con los fundamentos descritos anteriormente, a continuación se presentan alternativas para la elección de los dispositivos que conformarán el sistema.

3.4.1 Propuestas de Controladores

En base del número de señales necesarias para el controlador se tiene que considerar que se necesitaran 108 entradas y 67 salidas.

3.4.1.1 Allen Bradley

En base a los requerimientos se han presentado las opciones de controlador:

- ControlLogix 5580
- ControlLogix 5570

Los modelos nombrados poseen arquitectura modular, con una gran gama de módulos de entradas y salidas. En la Tabla 5 se pueden apreciar las características que poseen.

Tabla 5

Características de Controladores AB

Característica	Controladores 5580	Controladores 5570
Rendimiento	5x-20x (En comparación con un controlador ControlLogix 5570)	2x (En comparación con un controlador ControlLogix 5560)
Puerto Ethernet incorporado	1 gigabit (Gb)	No
Puerto de programación local	USB	USB
Módulo de almacenamiento de energía (ESM) incluido	Sí	Sí
Pantalla incorporada incluida	Sí	Sí
Compatible con Studio 5000 Automation Engineering & Design Environment™	Sí	Sí
Memoria no volátil	Tarjeta SD	Tarjeta SD
Máx. memoria de usuario	40 MB	32 MB
Puntos de E/S máx.	128000 digitales; 4000 analógicos	128000 digitales; 4000 analógicos

Fuente:(Allen Bradley, n.d.-a)

3.4.1.2 Siemens

Siemens tiene una amplia gama de controladores modulares, ajustándose a los requerimientos del sistema se tiene dos modelos presentados en la Tabla 6 con sus características.

Tabla 6

Características Controladores Simatic

Características	Simatic s7 1200	Simatic s7 1500
Memoria de trabajo para datos max.	150 KB	20 MB
Memoria de trabajo para código max	-	6 MB
Memoria de carga	32 GB (con memory card)	32 GB (con memory card)
Área de direcciones E/S	1024/1024 bytes	32/32 KB
Interfaces integradas	Profinet	Profinet, Profibus
Servidor web	X	X
Modo isócrono	-	Descentralizado
Diagnóstico de sistema integrado	X	X
Grado de protección	IP20	IP 20
Funcionalidad de seguridad integrada	En CPU F	En CPU F

Fuente: (Siemens, 2009)

3.4.2 Propuestas de HMI

Tabla 7

Características Software HMI

Software	Fabricante	Características
InTouch	Wonderware	Visualización accesible desde cualquier lugar
		Potente y sofisticado
		Biblioteca de símbolos lista para usar
DOPSOFT	Delta	Su licencia es de acuerdo al número de etiquetas que tenga la aplicación
		su almacenamiento de datos es presentado a manera de tendencia
		LCD de 65536 colores
		supervisión remota
		Posee una galería de imágenes para ser usadas en representaciones graficas

CONTINÚA 

Ignition	Inductive Automation	<p>ofrecen al usuario la posibilidad de implantar Macros y Recetas en pantalla</p> <p>Ofrece un conjunto de módulos disponibles para cualquier tipo de aplicación</p> <p>Enlace con base de datos de manera directa</p> <p>La licencia del programa depende del número de servidores</p> <p>Permite la creación de imágenes, además de poseer su librería dedicada.</p>
----------	----------------------	---

Fuente:(Delta, 2018; Inductive Automation, 2018; Wonderware, 2018)

3.4.3 Propuestas de SGDB

Tabla 8

Características de Gestores de Base de Datos

Software	Fabricante	Características
MySQL	Oracle Corporation	<p>Proporciona sistemas de almacenamiento transaccionales y no transaccionales</p> <p>Un sistema de reserva de memoria muy rápido basado en threads.</p> <p>Software de características libre</p> <p>El tamaño de datos puede ser fija o variable</p> <p>Incluye herencia entre tablas</p> <p>Copias de seguridad en caliente</p> <p>Proporciona mensajes de error al cliente</p> <p>Dispone de una gran cantidad de comandos para la administración de la DB</p> <p>Es una base de datos 100% ACID.</p>
PostgreSQL	PostgreSQL Global Development Group	<p>Licencia BSD</p> <p>Disponible para Linux y UNIX en todas sus variantes (AIX, BSD, HP-UX, SGI IRIX, Mac OS X, Solaris, Tru64) y Windows 32/64bit.</p> <p>ofrecen al usuario la posibilidad de implantar Macros y Recetas en pantalla</p> <p>Definiciones personalizadas de la sentencia de SQL</p>
DB2	IBM	<p>Escalabilidad</p> <p>Facilidad de Instalación y Uso</p> <p>Universalidad</p>

Fuente: (IBM, n.d.; MySQL, 2018)

3.4.4 Selección de Alternativas

A continuación en la Tabla 9 se presenta la matriz de priorización que es evaluada de acuerdo a las características de interés que cada elemento posee, con una ponderación del 1 al 6.

Tabla 9
Matriz de Priorización

Ponderación del 1 al 6							
	Precio	Memoria	Comunicación	Grado de protección	Modular	Fabricante	Total
PLC'S	Alto(1) Medio(3) Bajo(6)	Alto(6) Medio(3) Bajo(1)	1 Interfaz (1) más de una interfaz (6)	Industrial(6) no industrial(0)	Si(6) No(0)		
S7 1500	1	6	6	6	6	Siemens	25
S7 1200	6	1	3	6	6	Siemens	22
ControlLogix 5580	3	3	1	6	6	Allen Bradley	19
ControlLogix 5570	2	2	1	6	6	Allen Bradley	17
	Licencia	Enlace con DB	Comunicación OPC	Librerías	Modulos Adicionales	Fabricante	Total
HMI	Si(6) No(0)	Si(6) No(0)	Si(6) No(0)	Si(6) No(0)	Si(6) No(0)		
Intouch	6	3	6	6	6	Wonderware	27
Dopsoft	0	0	6	2	0	Delta	8
Ignition	6	6	6	6	6	Inductive Automation	30
	Desarrollo	Plataformas	Copias de Seguridad	Complejidad		Fabricante	Total
SGDB	Libre(6) Pagado (0)	solo en 1 (0) mas de 1(6)	Si(6) No(0)	Alto(1) Medio(3) Bajo(6)			
MySQL	6	6	6	3		Oracle	21
PostgreSQL	0	6	6	3		Developme nt Group	15
DB2	6	0	0	3		IBM	9

En base a las propuestas y a partir de la matriz de priorización, se ha elegido trabajar con:

- PLC: Simatic S7 1500
- HMI: Ignition
- SGDB: MySQL

Debido a sus características permiten solventar las necesidades y requerimientos dispuestos por el sistema.

3.5 Diseño de la Arquitectura del Sistema

3.5.1 Criterios de Diseño

3.5.1.1 Consideraciones Técnicas

De acuerdo a la situación de la planta es necesario considerar la importancia de la distribución geográfica de las señales, y de las alimentaciones, con las que el sistema manual se encuentra funcionando, para facilitar el acceso y conexionado del nuevo sistema.

Por ello se ha considerado que la arquitectura sea distribuida, para lograr una mayor robustez del sistema, además que las estaciones de operador de acuerdo a su distribución jerárquica se encuentran en diferentes áreas de la planta.

Un servidor será la base de la arquitectura, en el que se encontrará el acceso a la aplicación de configuración del HMI y base de datos.

Haciendo énfasis a lo mencionado en el análisis de señales, la planta cuenta con un cuarto de control donde están todos los arranques de motores, mientras que el resto de señales llegan hacia la consola de mando manual, debido a la existencia de diferentes voltajes de alimentaciones se debe tomar en cuenta concentrar dichas señales para ajustarlas al voltaje de trabajo del controlador.

3.5.1.2 Elementos del Sistema

En base a las consideraciones técnicas, el sistema va a disponer de:

- Un tablero de control.
- Un tablero de paso.
- Un servidor.
- Tres estaciones de operador.

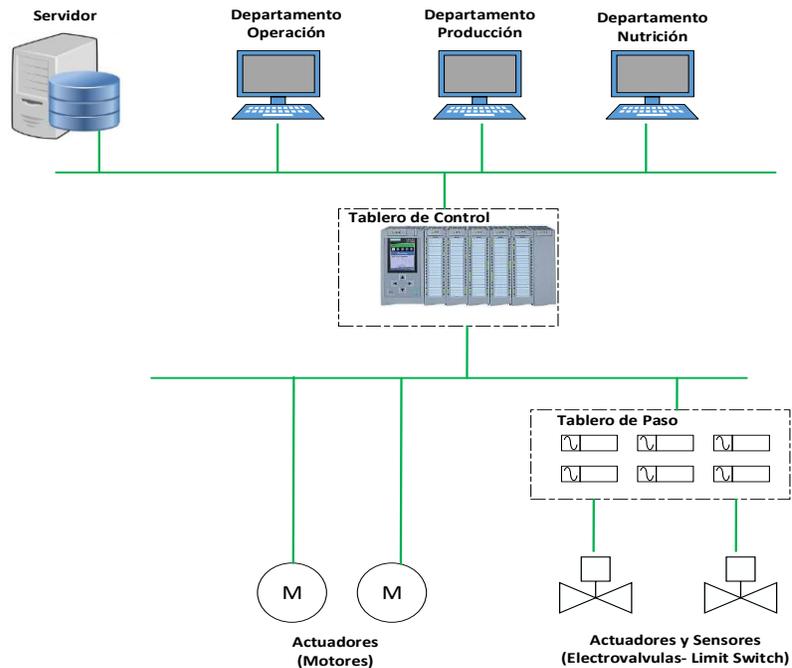


Figura 28. Arquitectura del Sistema

En la Figura 28 se ilustra la arquitectura del sistema, la misma que abarca los niveles de instrumentación, control y supervisión del proceso, cumpliendo así con lo referido en de la pirámide de la automatización.

3.6 Diseño de Hardware

3.6.1 Tablero de Control

La distribución del tablero está conformado por:

- Controlador.
- Distribución eléctrica.
- Preaccionadores.
- Borneras de conexión.
- Protecciones.

3.6.1.1 Controlador

A partir de la selección de las alternativas, se decidió usar el PLC Simatic S7 1500 que dispondrá de 7 módulos de 32 entradas y 3 módulos de 32 salidas a 24 Vdc, que abastecerá la cantidad de señales que dispone el proceso y dispondrá de reservas para eventualidades fortuitas en la implementación, además de dar paso a la expansión del sistema. En la Tabla 10 se presentan las características de los módulos de entradas y salidas que son recomendados por el catálogo de Siemens para complementar los controladores (Siemens, 2009).

Tabla 10

Características Módulo de E/S Siemens

Módulo	Características
6ES7521-1BL00-0AB0 Entradas digitales	32 entradas digitales, con aislamiento galvánico en grupos de 16 – De ellas, los canales 0 y 1 opcionalmente con función de conteo
	Tensión nominal de entrada 24 V DC
	Retardo a la entrada parametrizable: 0,05 ms ... 20 ms
	Diagnóstico parametrizable (por canal)
	Alarma de proceso parametrizable (por canal)
6ES7522-1BL01-0AB0 Salidas digitales	Adecuado para interruptores y detectores de proximidad a 2, 3 o 4 hilos
	Hardware compatible con el módulo de entradas digitales DI 16x24VDC HF (6ES7521-1BH00-0AB0)
6ES7522-1BL01-0AB0 Salidas digitales	Los canales 0 y 1 opcionalmente con función de conteo
	Selección de flancos ascendente, Descendente
	Integrado en software vía portal

Fuente: (Siemens, 2009)

3.6.1.1.1 Modulo SIWAREX

Módulo especializado para sistemas de pesaje, permite la adquisición de las señales que estos sistemas proveen, cuenta con cuatro entradas y salidas digitales, permite el diagnóstico de los sistemas, monitorizando la evolución del peso.

3.6.1.2 Variador de Frecuencia

El variador es un equipo necesario en el proceso de dosificado, ya que se necesita controlar la velocidad de los motores de los tornillos dosificadores, ubicados en los bins de macro ingredientes, para lograr proporcionar la cantidad de materia prima adecuada a la balanza. Cabe recordar que a menor velocidad mayor precisión.

Tomando como base de partida la Tabla 2 y el conocimiento de la existencia de doce bins es decir doce motores dosificadores con una potencia de 2.2 kw y 5 kw, se optó por trabajar con el variador *Sinamics G12*, basándose en dos criterios:

- Tensión y potencia de los motores.
- Comunicación con el controlador.



Figura 29. Placa Motores de Dosificado

La Tabla 11 muestra las características del variador.

Tabla 11

Características Variador de Frecuencia

Código	Fabricante	Descripción
6SL3210-1PE21-4UL0 Variador de Frecuencia	Siemens	3 Fases ac
		Tensión de 380 a 480 Vac
		Intensidad de 17.20 A
		Factor de potencia de 0.85
		Factor de decalaje 0.95
		Comunicación Profinet
		potencias de salida de hasta 5.50 kw, 7.50 Hp

3.6.1.3 Switch

Es necesario disponer de un enlace para la interconexión de al menos 4 nodos. Por ello se ha escogido contar con un conmutador industrial Ethernet no gestionado. Se eligió trabajar con el switch Hirschmann Spider 5TX.



Figura 30. Switch Spider 5TX

Fuente: (Automation & Gmbh, 2014)

En la Tabla 12 se describen las características que posee.

Tabla 12

Características Switch Spider 5TX

Código	Fabricante	Descripción
Spider 5TX	Hirschmann	Conmutador industrial no gestionado Tensión de funcionamiento 9,6 a 32 Vdc 5 puntos de conexión RJ-45 Led's de diagnóstico de la conexión Protección IP 30

Fuente: (Automation & Gmbh, 2014)

3.6.1.4 Preaccionadores

La activación de los actuadores del sistema, es decir los motores y válvulas se logra con la ayuda de las salidas a 24 Vdc del controlador que estos a su vez accionan un relé que permite trabajar con sus contactos a 110 Vac o 220 Vac, de esta manera se logra separar la etapa de control con la de potencia, aislando las entradas del PLC para evitar posibles corrientes de retorno que puedan

afectar la operación normal del mismo. El dispositivo brinda estas características es el relé 700-HLT1U24, lo podemos apreciar en la Figura 31.

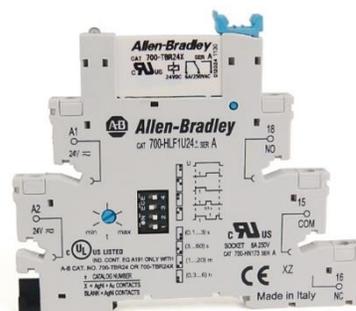


Figura 31. Relé 700-HLT1U24

Fuente: (Allen Bradley, n.d.-b)

La Tabla 13 muestra las especificaciones del relé.

Tabla 13

Características Relé

Código	Fabricante	Descripción
700-HLT1U24 Relé	Allen Bradley	Contacto unipolar
		Bobina de 24 Vdc
		Dispone de 1 contacto N.C. & N.O.
		Estructura tipo bornera

Fuente: (Allen Bradley, n.d.-b)

Nota: Retomando lo mencionado anteriormente, ya que el controlador dispondrá de 3 módulos de 32 salidas cada uno, se deberá contar con 96 relés, uno por salida.

3.6.1.5 Distribución Eléctrica

Los equipos y componentes que integran el sistema de control cuentan con diferentes tensiones de funcionamiento, estos se encuentran expuestos en la Tabla 14.

Debido a ello se requiere contar con elementos que permitan el manejo o transformación de las tensiones de acuerdo a la necesidad del sistema.

Tabla 14

Tensión de Equipos y Componentes

Cometida de la planta 440 Vac 3 Fases	
Equipos y Componentes	Tensión
Fuente PLC	110-220 Vac
Módulos E/S PLC	24 Vdc
Módulo SIWAREX	24 Vdc
Variador LCD	24 Vdc
Switch	24 Vdc
Preaccionadores	24 Vdc

3.6.1.5.1 Transformador de Tensión

Mediante un Transformador de 440 Vac a 110Vac se logra el cambio de voltaje, para lograr abastecer la alimentación requerida por los equipos. Para elegir el transformador hay que tomar en cuenta las cargas que tiene el sistema, por lo tanto se tiene:

Tabla 15

Cargas del Sistema

Cargas	Potencia(W)	Cantidad	Total
Fuente PLC	60	1	60
Módulos E/S PLC	0,72	9	6,48
Módulo siwarex	3,9	1	3,9
Switch	2,2	1	2,2
Preaccionadores Bobina	0,2	96	19,2
Fuente 24 Vdc	120	1	120
Total de carga (TC)			211,7 W

Para abastecer la necesidad del consumo de potencia se optó por trabajar con el transformador de 2 KVA, 480/ 220 – 120 V de la marca General Electric “9T58K2814”.

Como criterio se tomó en cuenta, compensar la carga del tablero que de acuerdo a la Tabla 15 se encuentra a una potencia de 211,78 W y tomando en cuenta de la existencia de cargas externas al tablero. Por lo tanto se tiene que la potencia del transformador de 2 KVA a W

$$PF = PT \times 1000 \times FP \quad (\text{EC. 3.1})$$

$$PF = 2 \text{ [KVA]} \times 1000 \times 0,95 \quad (\text{EC. 3.2})$$

$$PF = 1900 \text{ [W]} \quad (\text{EC. 3.3})$$

Donde:

- *PT*: Potencia del transformador en KVA
- *PF*: Potencia del transformador en W
- *FP*: Factor de potencia.

De acuerdo a la potencia obtenida en la ecuación (EC.3.3) se concluye que el transformador seleccionado para el proyecto es el adecuado debido a su favorable abastecimiento al sistema. Para llevar a cabo la transformación de voltaje deseada, de 440 Vac a 110 y 220 Vac, en la

Figura 32 se expone la configuración que debe tener el transformador.

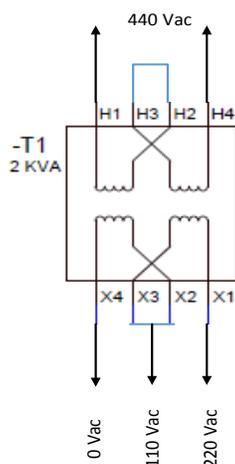


Figura 32. Configuración Transformador

3.6.1.5.2 Fuente de 24 Vdc

En base a lo mencionado en el apartado anterior, es necesario contar con una distribución de 24 Vdc, para ello se dispondrá de una fuente que proporcione dicha tensión.

Tabla 16

Características Fuente SITOP

Especificaciones

Rango de voltaje de salida	24 Vdc
Rango de corriente de salida	5A
Entrada	1 fase o 2 fases Ac
Rango de frecuencia	50 - 60 Hz
Indicador de estado	Led verde
Intensidad con alimentación a 110 V	2.2 A

Fuente: (Siemens, 2014)

En la Tabla 16 se mencionan las características de la fuente Sitop de la marca Siemens, por lo cual fue seleccionada para formar parte del sistema.



Figura 33. Fuente SITOP

3.6.1.6 Protecciones del Sistema

Para que no existan daños o funcionamiento inadecuado del sistema, se debe tomar en cuenta la protección de los equipos y componentes ante las eventualidades más comunes como:

- Sobre cargas
- Sobre corrientes

3.6.1.6.1 Elementos de Protección

3.6.1.6.1.1 Breaker

Brinda la capacidad de protección cuando la corriente que circula por el sobrepasa de un valor determinado, e interrumpe el flujo de corriente. La protección que brinda está orientada a sobre cargas y cortocircuitos (Montané Sangrá Paulino., 1993). Para la correcta elección del dispositivo, se debe tomar en cuenta el rango de corriente con la que se desea trabajar y proteger.

3.6.1.6.1.2 Fusible

Dispositivo que brinda protección ante corto circuitos, está constituido por una lámina de metal que permite el paso de corriente, mientras esta no supere un valor establecido. Si se supera dicho valor el filamento o lamina de metal se derrite y corta el paso de corriente.

3.6.1.6.1.2 Guardamotor

Es un dispositivo que brinda protección cuando existe una intensidad que sobrepasa la intensidad nominal del motor, desconectándolo ya que si se da esto es el claro indicativo del mal funcionamiento del motor.

3.6.1.6.2 Protecciones del Transformador

El transformador al ser el equipo que abastece de energía eléctrica a la mayor parte de elementos del sistema, es de suma importancia evitar que falle. Al ocurrir una sobre corriente o sobrecarga, es decir una corriente que sobrepase la cantidad de corriente con la que trabaja el transformador existe la posibilidad de que este sufra daños.

En base a los datos del transformador de la ecuación (EC. 3.1) se tiene que $PT= 2 \text{ KVA}$ por lo tanto:

$$I = \frac{PT}{\text{Voltaje del Transformador}} \quad (\text{EC. 3.4})$$

$$I = \frac{2 \text{ KVA}}{440 \text{ V}} = 4,54 \text{ A} \quad (\text{EC. 3.5})$$

Se debe tener en cuenta que para añadir la protección se estima por el 25% de la corriente que consume. Tal como indica la ecuación (EC. 3.6)

$$I_p = I \times 1,25 \quad (\text{EC. 3.6})$$

Dando como resultado:

$$I_p = 5,68 \text{ A} \quad (\text{EC. 3.7})$$

En base al resultado de corriente de protección (I_p) obtenida en la (EC. 3.7) se debe disponer de un Breaker que se encuentre en los rangos de corriente calculados.

3.6.1.6.3 Protecciones del Variador

Para proporcionar protecciones al variador de frecuencia, se lo realiza en base a los datos dados por el fabricante, en la Tabla *II* se expone que $I=17,50\text{A}$

De la misma manera que el apartado anterior a partir de la corriente de protección I_p (EC. 3.6) se procede:

$$I_p = I \times 1,25 \quad (\text{EC. 3.6})$$

Dando como resultado:

$$I_p = 21,8 \text{ A} \quad (\text{EC. 3.8})$$

En base a la corriente de protección se debe establecer el uso de un guarda motor como protección para el variador, que se encuentre en los rangos de I_p .

3.6.1.6.4 Protecciones del PLC

Uno de los accesorios por los que está compuesto el controlador lógico S7 1500 es la fuente, que dota de energía al CPU. Por lo tanto es la base del funcionamiento del equipo, por tal razón es necesario contar con una protección.

Sus datos técnicos se encuentran expuestos en la Tabla 17.

Tabla 17

Características Fuente PLC

Especificaciones

Tensión de alimentación	120/230 V
Frecuencia de la Red	60 Hz
Intensidad a 120 Vac	0,6 A
Intensidad a 230 Vac	0,34 A
Potencia	60 W

Fuente: (Siemens, 2014)

Retomando el cálculo de su protección, aplicamos la ecuación (EC. 3.6)

$$I_p = 0,6 \times 1,25 \quad (\text{EC. 3.6})$$

Dando como resultado:

$$I_p = 0,75 \text{ A} \quad (\text{EC. 3.9})$$

En base a la corriente de protección se debe establecer el uso de un Breaker o fusible como protección, que se encuentre en los rangos de I_p .

3.6.1.6.5 Protecciones Fuente 24 Vdc

En base a la Tabla 16, que son características proporcionadas por el fabricante se tiene que $I=2.2 A$, y al aplicar la ecuación (EC. 3.6) se obtiene como resultado:

$$I_p = 2,75 A \quad (\text{EC. 3.10})$$

De acuerdo a la corriente de protección calculada para la fuente de 24 Vdc se debe proveer el uso de un Breaker o fusible como protección dentro del rango de I_p .

3.6.1.6.6 Protecciones Generales

Dentro de este tipo de protecciones se encuentran los equipos que poseen una corriente en el rango de lo mili amperios como es el caso de:

- Switch
- Módulos de E/S del PLC

En la Tabla 18 se presentan las intensidades que poseen cada uno de los elementos, de tal manera que la intensidad de protección al aplicar la ecuación (EC. 3.6) se tiene que $I_p=0,125 A$

La protección que debe disponer para los dos casos basta con un fusible, dentro de los rangos de protección calculados.

Tabla 18

Protecciones Generales

Equipos	Intensidad (mA)
Switch	100
Módulos PLC	40

3.6.1.6.7 Protecciones Breaker principal

Para el dimensionamiento del Breaker general del sistema se debe tener en cuenta dos criterios:

1. La cantidad de intensidad consumida por los equipos del sistema.
2. El voltaje de las líneas principales de alimentación.

En base al criterio dos y la descripción general de la planta se tiene que la cometa con la que cuenta es de 440 Vac de 3 fases. Para el análisis del criterio uno, se debe tomar en cuenta que la mayor parte de la carga se encuentra en el variador de frecuencia y en el transformador, por lo tanto en la Figura 34 se puede apreciar el diagrama unifilar del sistema para poder conocer su protección.

Cabe recalcar que de acuerdo a la secuencia del proceso los motores que forman el dosificado de macro ingredientes, tiene un funcionamiento de uno a la vez.

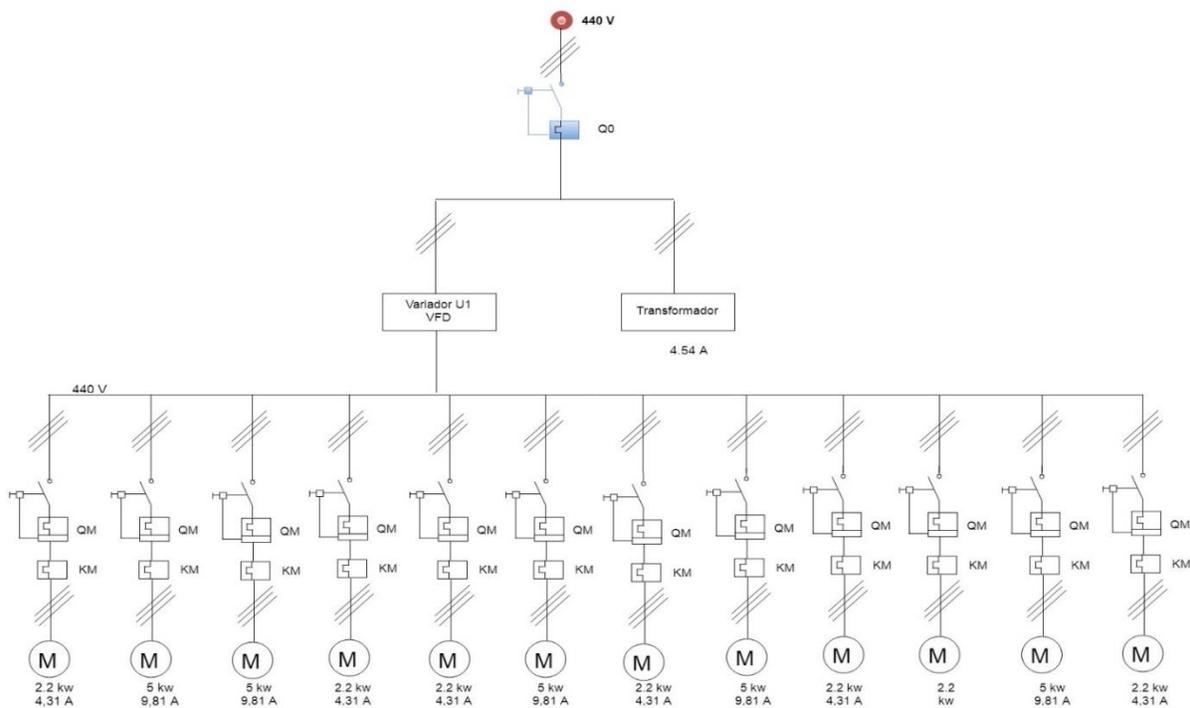


Figura 34. Diagrama Unifilar

Tabla 19*Dimensionamiento Breaker Principal*

Equipos	Intensidad (A)
Variador de Frecuencia	17,5
Transformador	4,54

A partir de la conclusión lograda, expuesta en la Tabla 19, se tiene la intensidad total para el dimensionamiento del Breaker principal, $I=22\text{ A}$, por lo tanto se aplica la ecuación (EC. 3.6)

$$I_p = 22 \times 1,25 \quad (\text{EC. 3.6})$$

$$I_p = 27,5\text{ A} \quad (\text{EC. 3.11})$$

3.6.2 Distribución Física**3.6.2.1 Tablero de Control**

Ya Conocidos los equipos y elementos que formarán parte del tablero, a continuación se evaluará el espacio físico donde estarán ubicados.

Tabla 20*Dimensiones de Equipos*

Equipos	Dimensiones (mm)	Dimensiones (cm)
PLC	150 x 420	15 x 42
Switch	114 x 34	11,4 x 3,4
Fuente 24 Vdc	112 x 70	11,2 x 7
Variador de Frecuencia	370 x 100	37 x 10
Transformador	172 x 180	17,2 x 18
Breaker Principal	130 x 74	12 x 7,4

Como se puede notar en la Tabla 20, se exponen las dimensiones de los equipos que prevalecen en el sistema, por otro lado se tiene que tener en cuenta los componentes o accesorios como tal es el caso de breakers, fusibles, borneras, etc.

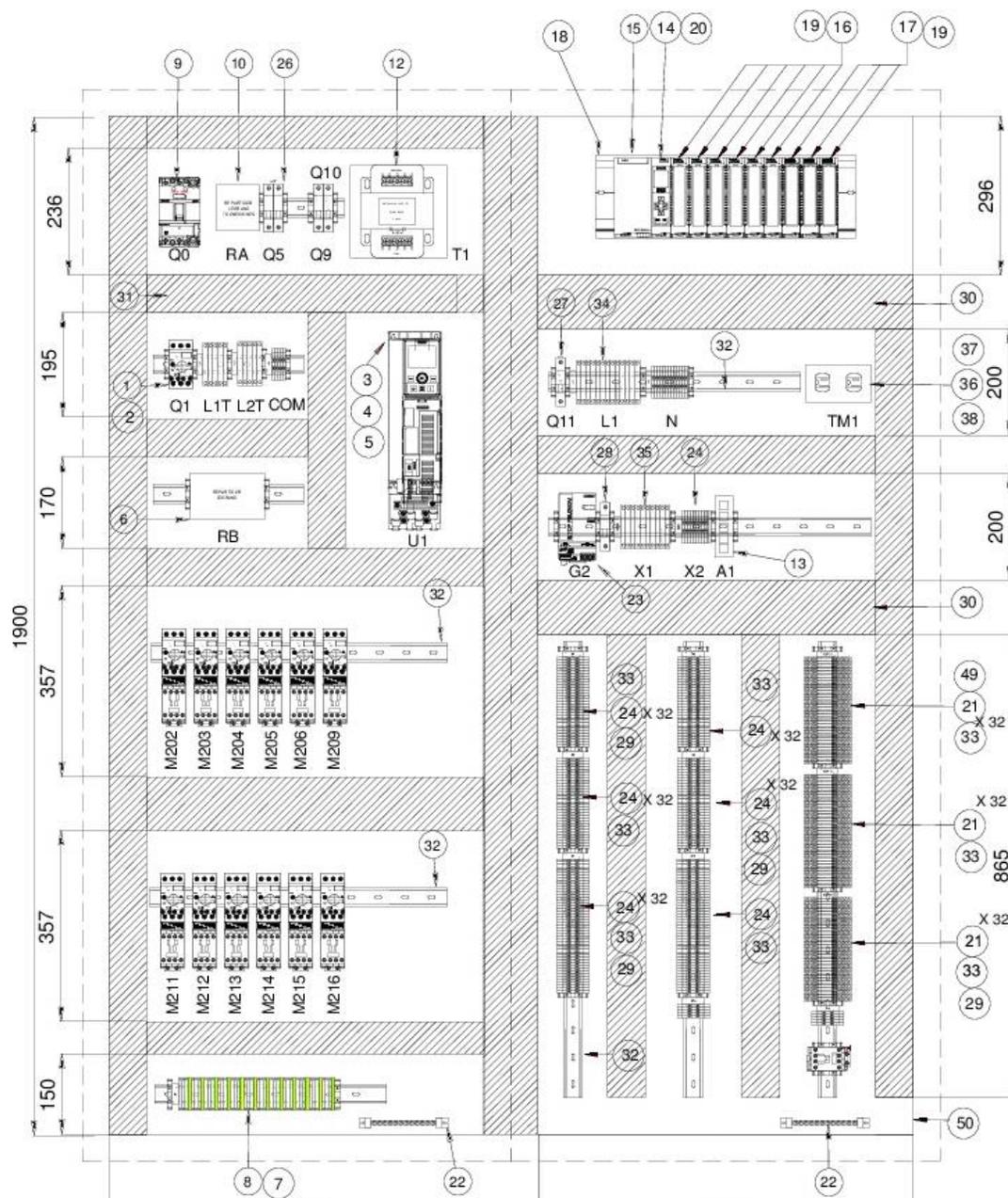


Figura 35. Vista Interna Tablero de Control

Se determinó así trabajar sobre dos tableros de 2000 x 800 x 400 mm el mismo que se ajusta a estándares comerciales del mercado. En la Figura 35 y 36 se expone la distribución de equipos realizada.

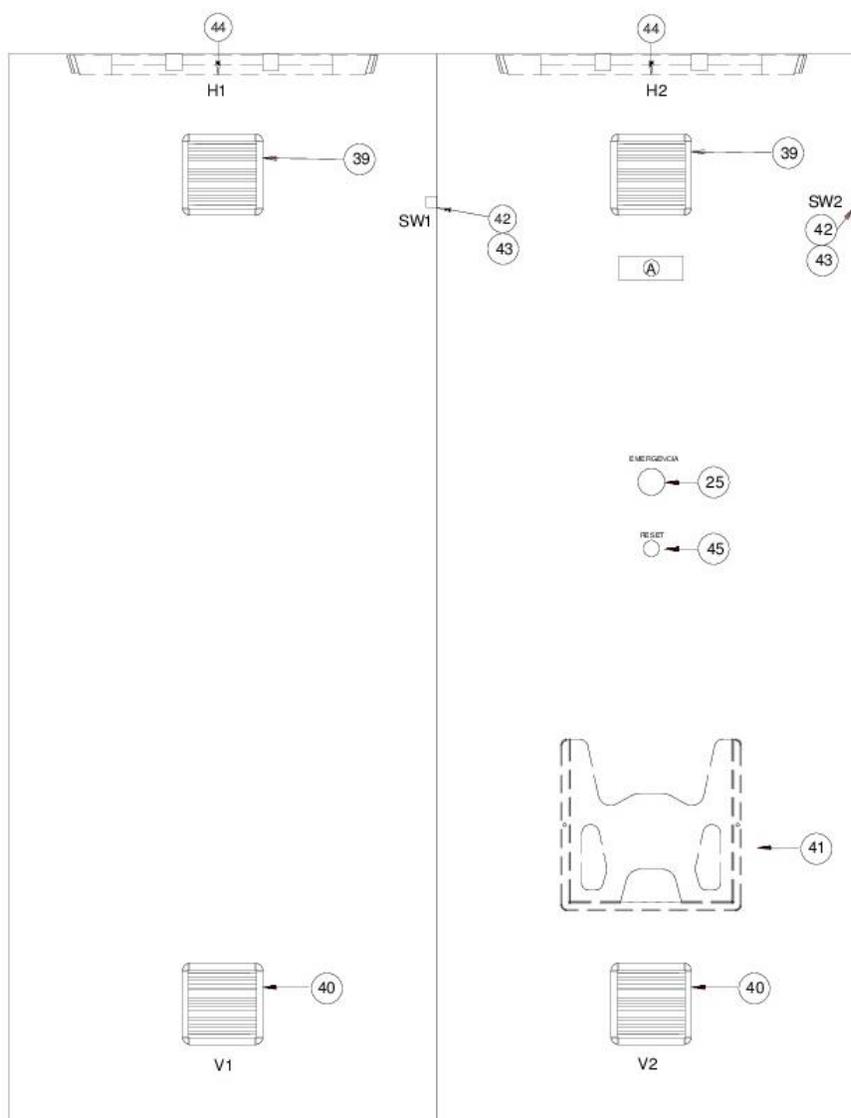


Figura 36. Vista Externa Tablero de Control

Finalmente la lista de materiales definitiva del tablero de control, luego de completar un análisis del sistema, se muestra en la Figura 37.

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	NUMERO DE PARTE
1	1	GUARDAMOTOR 9 - 12 AMP	SIEMENS	3RV2011-1KA10
2	1	CONTACTO AUXILIAR 1NA+1NC	SIEMENS	3RV2901-1E
3	1	VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS G120 7.5 HP 440 VAC	SIEMENS	6SL3210-1PE21-4U L0
4	1	PANEL DE OPERADOR AVANZADO	SIEMENS	6SL3255-0AA00-4J A1
5	1	UNIDAD DE CONTROL PROFINET	SIEMENS	6SL3244-0BB12-1F A0
6	1	DISTRIBUIDOR 4 POLOS 15 CONEXIONES	LEGRAND	4888.0000
7	36	BORNERA DE PASO 4MM2	ALLEN BRADLEY	1492-J4
8	12	BORNERA DE TIERRA	ALLEN BRADLEY	1492-JG4
9	1	BREAKER TERMOMAGNÉTICO REGULABLE DE 18-25 AMP	SIEMENS	3VA1125-5EE32-0A A0
10	1	DISTRIBUIDOR 1 POLO 125 A	ABB	BRU125A
11	2	TABLERO TIPO NEMA 12, MEDIDAS EXTERNAS: 2000X800X400 MM	LOCAL	
12	1	TRANSFORMADOR 2 KVA, 480 / 220-120 V	GE	9T59K2B14
13	1	SWITCH DE COMUNICACIONES	HIRSCHMANN	SPIDER5TX
14	1	ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA, PS 60W 120/230V AC/DC	SIEMENS	6ES7507-0RA00-0A B0
15	1	SIMATIC S7-1500 CPU 1513-1 PN 1,5MB	SIEMENS	6ES7513-1AL01-0A B0
16	6	ENTRADA DIGITAL, DI 32X24VDC HF	SIEMENS	6ES7521-1BL00-0A B0
17	3	SALIDA DIGITAL, DO 32X24VDC/0.5A HF	SIEMENS	6ES7522-1BL01-0A B0
18	1	PERFIL SOPORTE S7-1500, 482 MM, PARA ARMARIOS DE 19"	SIEMENS	6ES7590-1AE30-0A A0
19	9	CONECTOR FRONTAL, BORNE DE TORNILLO PARA MÓDULOS DE 35MM, 40 POLOS	SIEMENS	6ES7592-1AM00-0X B0
20	1	TARJETA DE MEMORIA DE 256 MB	SIEMENS	6ES7954-8LL02-0A A0
21	96	RELE TIPO BORNERA 24 VDC	ALLEN BRADLEY	700-HLT1U24
22	2	BARRA DE TIERRA	GENÉRICO	BARRT
23	1	FUENTE SITOP 24VDC 5A	SIEMENS	6EP1333-3BA10
24	156	BORNERA DE PASO 3 MM2	ALLEN BRADLEY	1492-J3
25	1	PARO DE EMERGENCIA	SIEMENS	3SB3603-1CA21
26	1	BREAKER 2 POLO 6 AMP	SIEMENS	5SL3206-7
27	1	BREAKER 1 POLO 10 AMP	SIEMENS	5SL3110-7
28	1	BREAKER 1 POLO 4 AMP	SIEMENS	5SL3104-7
29	36	RETENEDOR FINAL	ALLEN BRADLEY	1492-EAJ35
30	2	CANALETA RANURADA 100X100MM	GENÉRICO	CANARANU100X100 0
31	5	CANALETA RANURADA 70X100MM	GENÉRICO	CANARANU70X100
32	9	RIEL DIN 1M	ALLEN BRADLEY	199-DR1
33	13	MARCADOR DE GRUPO	ALLEN BRADLEY	1492-GM35
34	10	BORNERA FUSIBLE H4	ALLEN BRADLEY	1492-H4
35	10	BORNERA FUSIBLE H5	ALLEN BRADLEY	1492-H5
36	1	TOMACORRIENTE BLANCO, 2 CONEXIONES, 110Vac	COOPER	1619Z
37	1	PLACA TOMACORRIENTE BLANCA	COOPER	NP8W
38	1	CAJA TOMA BLANCA 11S	DEXSON	DXN5011S
39	2	VENTILADOR 115VAC/0,27A	LEIPOLD	KF6623.115
40	2	GRILLA DE SALIDA DE AIRE	LEIPOLD	KF6623.300
41	1	PORTAPLANOS GRANDE	HOFFMAN	ADP2
42	2	TORRE/MOVIMIENTO RECT.	SCHNEIDER	ZCKD10
43	2	CUERPO CONTACTO METALICO	SCHNEIDER	ZCKM1
44	2	LAMPARA GABINETE CON SWITCH 58CM 14W 120VAC	VOLTECH	47303.0000
45	1	PULSADOR ILUMINADO VERDE	SCHNEIDER	XB4BW33B5
46	12	PUENTE PARA RELE BORNERA	ALLEN BRADLEY	700-TBJ20B
47	18	RELES TIPO BORNERA 2 POLOS	ALLEN BRADLEY	700HLT12U24

Figura 37. Lista de Materiales Tablero de Control

3.6.2.2 Tablero de Paso

En base a la arquitectura del sistema, se ha considerado incluir un tablero o caja de paso cuya función se basa en acoger todas las señales de campo, es decir básicamente señales de confirmación o indicadores que advierten del estado de:

- Electroválvulas.
- Sensores de nivel.
- Interruptores de posición.

Estas señales son entradas al controlador, para la secuencia de programación. De acuerdo a la situación de la planta, las señales se encuentran a una tensión de 110 Vac, por ello es necesario un tratamiento de la señal, debido a que si se trabaja con el voltaje mencionado existirá fallas en el controlador, incluso podría dañar permanente al mismo. Por tal motivo se consideró usar relés para usarlos como dispositivos para el tratamiento de las señales, ya que sus contactos pueden funcionar de acuerdo a la tensión que se encuentren alimentándose, es decir 110 Vac o 24 Vdc, posteriormente con la señal a una tensión de 24 Vdc podrá ingresar al PLC.

El tablero de paso recibirá 55 señales de confirmación, de los diferentes actuadores y esencialmente dispondrá de dos elementos, tales como:

- Relés
- Borneras de paso

En base a lo mencionado, se determinó trabajar con un tablero de 600 x 800 mm, mismo que se aprecia en la Figura 38, cuya distribución se basa en la cantidad de relés, los mismos que se encuentran relacionados directamente con las señales que llega a él es decir 55.

En la Figura 39 se aprecia a detalle el listado de elementos que intervienen en el tablero de paso.

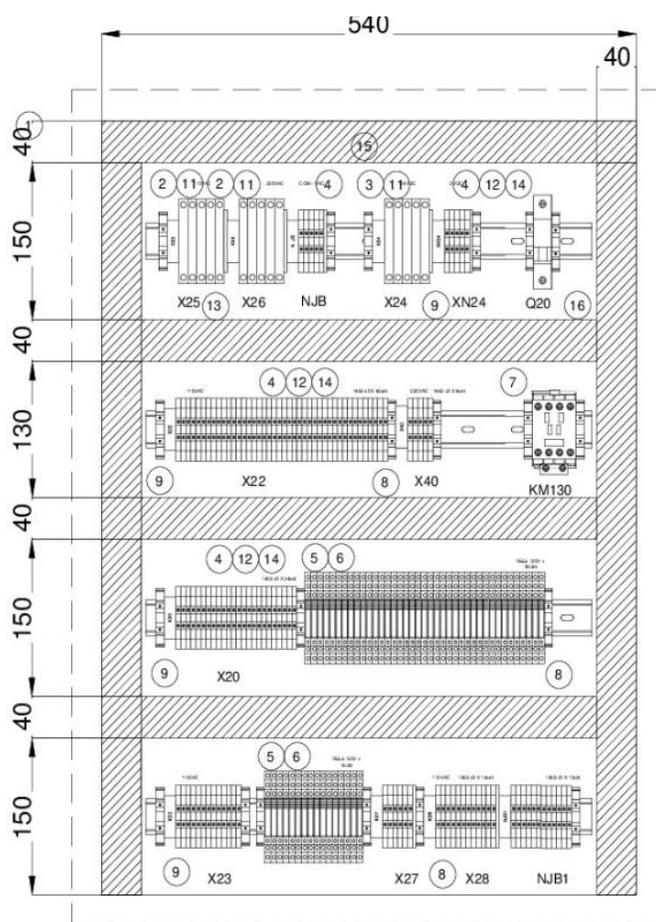


Figura 38. Distribución Tablero de paso

LISTA DE MATERIALES				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	MODELO
1	1	TABLERO TIPO NEMA 12, MEDIDAS EXTERNAS 800X600X250MM	LOCAL	
2	10	BORNERA FUSIBLE H4	ALLEN BRADLEY	1492-H4
3	5	BORNERA FUSIBLE H5	ALLEN BRADLEY	1492-H5
4	98	BORNERA DE PASO 3 MM2	ALLEN BRADLEY	1492-J3
5	55	RELE TIPO BORNERA 120 VAC	ALLEN BRADLEY	700-HLT1U1
6	3	PUENTE PARA RELE BORNERA	ALLEN BRADLEY	700-TBJ20B
7	1	CONTACTOR AC 7AMP	SIEMENS	3RT2015-1AF01
8	15	RETENEDOR FINAL	ALLEN BRADLEY	1492-EAJ35
9	9	MARCADOR DE GRUPO	ALLEN BRADLEY	1492-GM35
10	2	RIEL DIN 1M	ALLEN BRADLEY	199-DR1
11	3	TAPA PARA BORNERA H5-H4	ALLEN BRADLEY	1492-N37
12	8	TAPA PARA BORNERA J3	ALLEN BRADLEY	1492-EBJ3
13	2	PUENTE PARA BORNERA H5-H4	ALLEN BRADLEY	1492-N49
14	4	PUENTE PARA BORNERA J3	ALLEN BRADLEY	1492-CJLJ5-10
15	2	CANAleta RANURADA 40X60	GENERIC	CANARANU40X60
16	1	BREAKER 1 POLO		

Figura 39. Lista de Materiales Tablero de Paso

3.5.3 Conexión de elementos

A continuación se presenta la configuración de las conexiones internas y externas de los equipos y componentes del tablero de control y del tablero de paso.

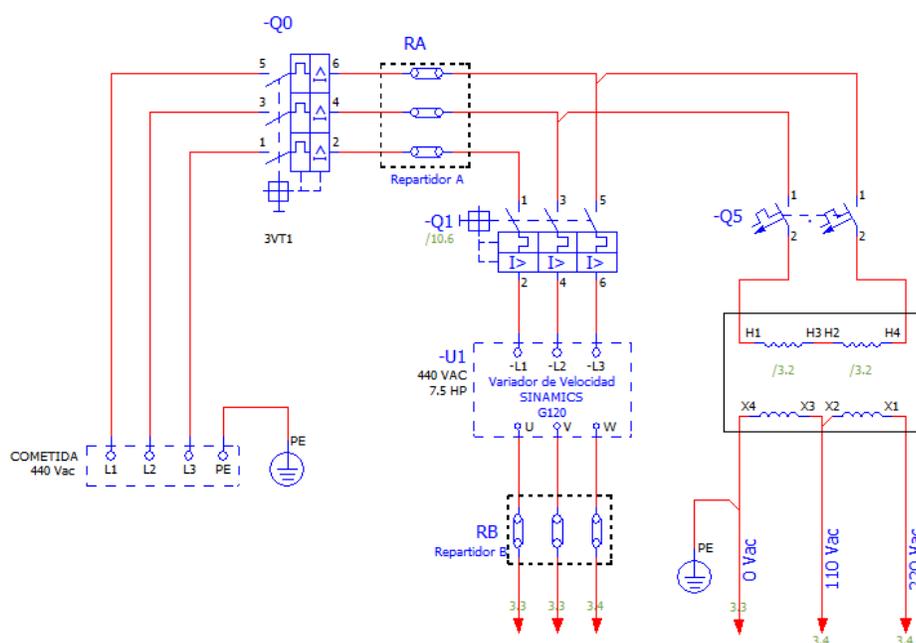


Figura 40. Conexión de Distribución

En la Figura 40 se ilustra la distribución principal del tablero de control "TCP-01" con sus respectivas protecciones, además de la configuración del transformador para una correcta distribución eléctrica.

En la Figura 41, se presenta el circuito de control y fuerza perteneciente a los motores. El encargado de comandar o accionar el motor es el contacto auxiliar de relé "R#" que está asociado a una salida del PLC. Para conocer la confirmación, es decir para saber si el motor fue accionado, se lo realiza a través del estado del contacto auxiliar del contactor "KM", que posteriormente ingresa al PLC, cabe recalcar que la salida y la entrada del PLC, se manejan con 24 Vdc.

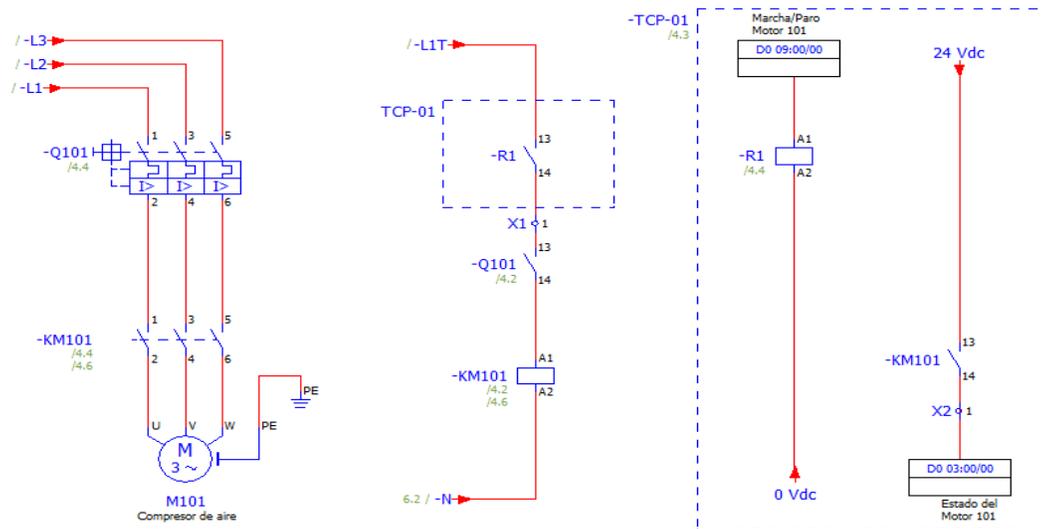


Figura 41. Conexiones Motor

Para la activación de las electroválvulas, se tiene un circuito semejante al descrito en los motores, es decir se tiene una salida del PLC que activa un relé, cuyos contactos auxiliares interactúan directamente con el actuador, en este caso la bobina de la válvula, logrando direccionarla a la posición que se requiera. En la

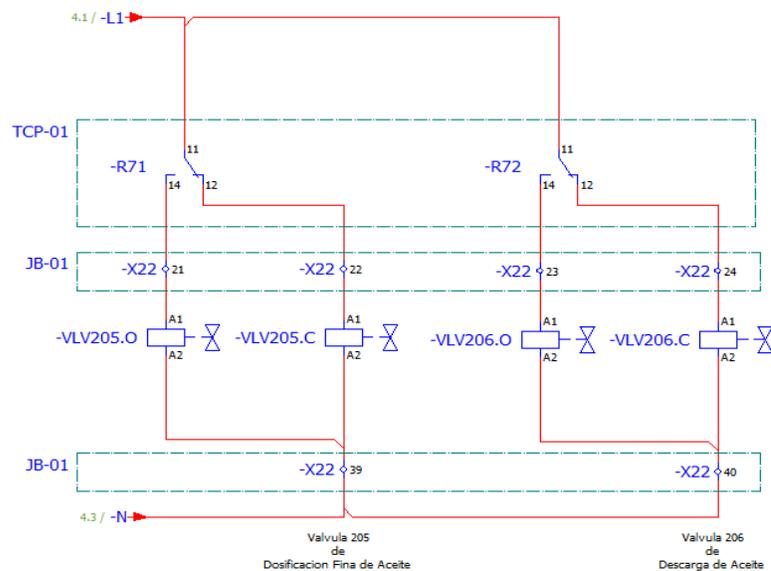


Figura 42. Conexiones Electroválvulas

Una vez que se active la electroválvula es necesario conocer la posición en la que se encuentra, esto se logra a través de las señales de los Limit Switch de las válvulas, cabe recalcar como en puntos anteriores se mencionó, estas señales cuentan con un voltaje de 110 Vac, por lo que se requiere que pase por relés ubicados en el tablero de paso para, lograr la tensión de 24 Vdc y esta pueda ingresar al PLC. En la Figura 43 se observa la estructura del circuito de confirmación.

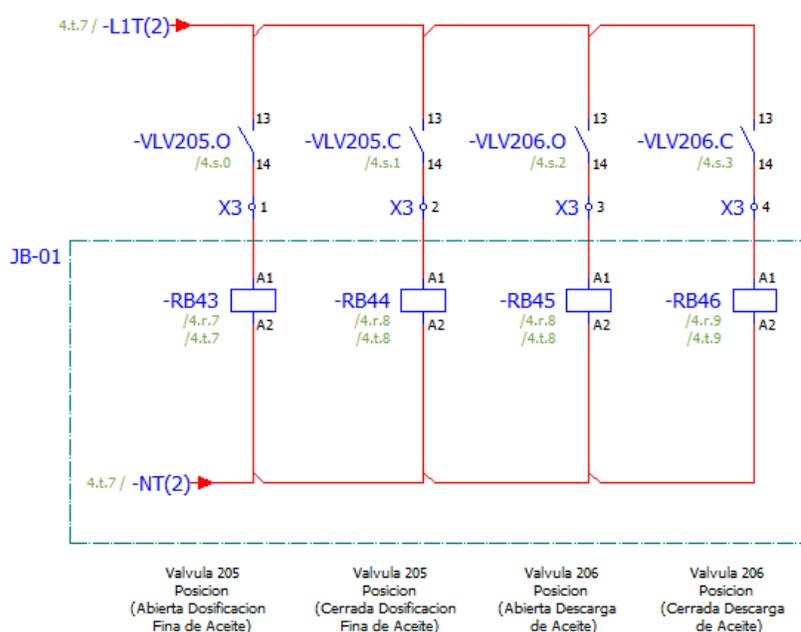


Figura 43. Confirmaciones Electroválvulas

Con lo fundamentado en el análisis de señales, se conoce que el sistema dispone de un gran número de señales, entre activación y confirmaciones, donde los circuitos principales del sistema están presentados en las Figuras 40, 41, 42, 43. Para mayor detalle del conexionado obsérvese en el Anexo C.

3.6 Diseño de la Red

3.6.1 Diseño Físico

La comunicación del sistema está formada, por el PLC S7 1500, variador de frecuencia, estaciones de operador y el servidor, los mismos que deben poseer una comunicación permanente entre sí, para que el sistema se mantenga en óptimas condiciones de funcionamiento.

A través de un medio físico de comunicación tipo switch y un medio de comunicación guiado como el cable UTP de 8 pines se logra establecer el enlace entre ellos.

Una red de área local o también conocida como LAN (Iso, Std, Man, Committee, & Society, 2000), permite abarcar el área de la planta para la interconexión de los equipos.

3.6.2 Diseño Lógico

De acuerdo al tamaño de la fábrica se ajusta a una IP clase C. A continuación en la Tabla 21 se expone el direccionamiento de la red, definiendo las direcciones IP de los dispositivos que intervienen en ella.

Tabla 21
Direccionamiento IP

Dispositivo	Dirección IP	Mascara de Sub Red
PLC	192.168.2.141	255.255.255.0
Gateway Ignition	192.168.2.1	255.255.255.0
Estación de operador 1	192.168.2.10	255.255.255.0
Estación de operador 2	192.168.2.20	255.255.255.0
Estación de operador 3	192.168.2.30	255.255.255.0
Variador	192.168.2.40	255.255.255.0
Servidor	192.168.2.80	255.255.255.0

3.6.2 Topología de la Red

Los diferentes dispositivos que están en la red se comunican directamente sobre el medio físico de comunicación, que es el punto central de la red, los paquetes de información se transmiten a través de él. Esta distribución física de los equipos se hace referencia a una topología tipo estrella, en la Figura 44 se puede observar el esquema topológico de la red.

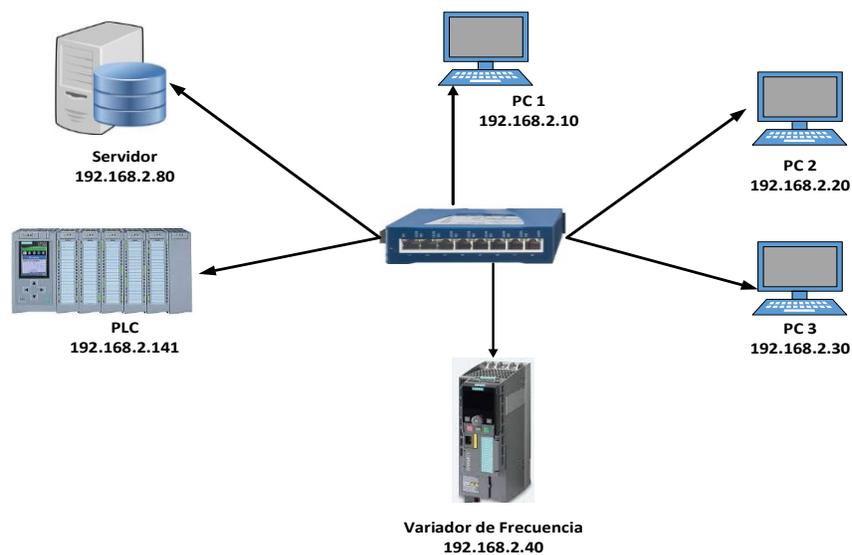


Figura 44. Topología de Red

3.9 Diseño de Software

3.9.1 Diseño de Base de Datos

A continuación se presentan los criterios de análisis para establecer los requerimientos de información del sistema, que es la base para establecer la estructura de la base de datos.

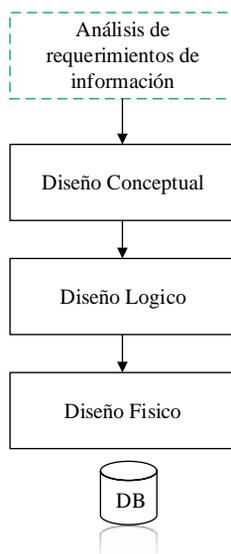


Figura 45. Estructura de Base de Datos

3.9.1.1 Requerimientos de Información

Es necesario tomar en cuenta que el diseño, o la estructura de la DB, debe permitir el almacenar y manipular la información proporcionada por el proceso, además de ofrecer acceso a la información actualizada de manera instantánea.

Para considerar cual es la información primordial para su registro se tiene que poner a conocimiento que para la producción de balanceado se necesita de:

- Elaboración de recetas
- Elaboración de órdenes de producción
- Detalle de ingredientes
- Detalles de la producción

A continuación se nombra la información que se considera fundamental en el proceso:

Ingredientes

- Identificación del ingrediente
- Peso de corte, es el peso especificado por la receta que debe tener el ingrediente.

- Peso de cambio, es el set point para reducir la velocidad en el tornillo dosificador.
- Tolerancia
- Tipo de ingrediente, si es liquido o sólido.

Recetas

- Identificación de la receta.
- Ingredientes por la que está compuesta la receta.
- Datos de creación de la receta.
- Peso de la receta.

Órdenes

- Identificación de la orden.
- Recetas que intervienen en la orden.
- Datos de creación de la orden.
- Estado, si se encuentra en ejecución o no.
- Usuario que realizo la creación de la orden.
- Numero de batch por las que está compuesta la orden

Producción

- Tiempo estimado de la producción
- Registro de número de batch realizados

3.9.1.2 Diseño Conceptual

Partiendo del conocimiento sobre la información primordial que debe tener el sistema, se tiene la creación de los siguientes atributos que almacenarán la información.

- Según se muestra en la Tabla 22 correspondiente a bins, se almacenará un código para identificar cada uno de los bins y el ingrediente, esta información debe ser proporcionada por el HMI.

Tabla 22*Tabla Bines DB*

Bines	
Variable	Descripción
codBin	Código para identificación de los bines
codIng	Código que cada ingrediente debe poseer

- La Tabla 23 se registrará información de los diferentes ingredientes que formarán parte de una receta, para identificar a cada ingrediente se lo realizará a través de un código que será único para cada uno. Uno de los atributos de la base de datos es el peso de corte, que hace referencia al set point proporcionado por la receta, es decir la cantidad que necesita la receta de dicho ingrediente. Mientras que el peso de cambio, sirve para establecer un set point antes de llegar al peso de corte para lograr obtener una mejor precisión al momento de dosificar, esto se logra con ayuda del variador de frecuencia.

Tabla 23*Tabla Ingredientes DB*

Ingredientes	
Variable	Descripción
codIng	Código que cada ingrediente debe poseer
nomIng	Nombre del ingrediente
pesoCambio	Set point de peso, usado para mayor precisión en la dosificación
pesoCorte	Set point de peso, especificado por la receta
tolerancia	Información en cuanto al error admisible de la dosificación
tipo	Tipo de ingrediente, liquido o solido

- La Tabla 24, almacenarán datos correspondientes a la creación de recetas, donde cada receta podrá ser identificada por el id que es única para cada una de ellas.

Tabla 24*Tabla Recetas DB*

Recetas	
Variable	Descripción
id	Identificación única del registro de recetas
codRec	Código que cada receta debe poseer
codIng	Código que cada ingrediente debe poseer
numBin	Numero de Bin donde se encuentra el ingrediente
pesoRec	Peso de la receta

- Las Tablas 25 y 26 registrarán la misma información que la Tabla 24 cuya diferencia radica en la existencia de atributos más detallados, que serán usados para llevar un historial de la información almacenada

Tabla 25*Tabla Recetas Detalles DB*

Recetas Detalles	
Variable	Descripción
codRec	Código que cada receta debe poseer
nomRec	Nombre de la receta
codErp	Código Interno de la planta para identificación
fechaCreacion	Fecha de creación de la receta
fechaMod	Fecha de modificación de la receta
estado	Estado de la receta
usuario	Persona que realizo la creación de la receta

Tabla 26*Tabla Recetas Históricos DB*

Recetas Históricos	
Variable	Descripción
idCodRec	Identificación única del registro del histórico de recetas
codRec	Código que cada receta debe poseer
codIng	Código que cada ingrediente debe poseer
numBin	Numero de Bin donde se encuentra el ingrediente
pesoRec	Peso de la receta

- La Tabla 27 almacenará datos correspondientes a las órdenes de producción. El código de orden y la sub orden permite identificar la orden realizada.

Tabla 27*Tabla Órdenes DB*

Órdenes	
Variable	Descripción
codOrdSubOrd	Código para identificar la orden y suborden
codOrd	Código que cada orden debe poseer
codSubOrd	Código de una suborden de la orden
codErp	Código Interno de la planta para identificación
codRec	Código que cada receta debe poseer
codRecVersion	Código de una receta modificada
batchTot	El número de batch total que tiene la orden
batchEjec	El número de batch en ejecución
fechaCreacion	Fecha de creación de la orden
fechaMod	Fecha de modificación de la orden
fechaProduccion	Fecha que se realizó el despacho de la orden
fechaInicio	Fecha para el despacho de la orden
fechaFin	Fecha de finalización de la orden
estado	Estado de la orden
usuario	Persona responsable de las órdenes

- La Tabla 28 y 29 permite el registro de información producida durante la producción.

Tabla 28*Tabla Consumos DB*

Consumos	
Variable	Descripción
id	Identificación única del registro de consumos
codOrd	Código que cada orden debe poseer
codSubOrd	Código de una suborden de la orden
numBatch	numero de batch realizados
codIng	Código que cada ingrediente debe poseer
numBin	Numero de Bin donde se encuentra el ingrediente
pesoReal	Peso, final luego de la dosificación
fechaIni	Fecha inicio de la orden
fechaFin	Fecha de finalización de la orden

Tabla 29*Tabla Producción DB*

Producción	
Variable	Descripción
id	Identificación única del registro de producción
codOrd	Código que cada orden debe poseer
codSubOrd	Código de una suborden de la orden
numBatch	Numero de batch que se
tStamp	Tiempo en realizar el batch

3.9.1.3 Diseño Lógico

Muchas de las tablas de la base de datos, tienen atributos que se repiten de una a otra tabla, debido a ello se establecen las relaciones por las que están compuestas, orientando así a un diseño relacional, evitando el registro duplicado de información y facilitando posteriormente el mantenimiento del sistema.

Tabla 30*Tablas Relacionadas*

Tabla	Tablas relacionadas	Campo Relacionado
Ingredientes	Recetas	codIng
	Recetas históricos	codIng
	Consumos	codIng
	Bines	codIng
Recetas	Recetas Detalles	codRec
		codRec
	Recetas Históricas	pesoRec
		numBin
Órdenes	Órdenes	codRec
	Recetas Detalles	codErp
	Consumos	codOrd
		codSubOrd
	Recetas Detalles	numBin
Consumos	Producción	codOrd
		codSubOrd
Bines	Producción	numBatch
	Ingredientes	codIng

3.9.1.4 Diseño Físico

Establecidas las tablas con sus respectivos atributos, se debe considerar que los tipos de datos con los que se dispondrá, los cuales son:

- Varchar, cadena de caracteres de longitud variable.
- Int, tipo de datos enteros.
- Date, tipo de dato, formato fecha.
- Time, tipo de dato, formato tiempo.

A continuación en la Figura 46 se expone la estructura de la base de datos, se debe considerar la incorporación de una tabla orientada específicamente a registrar datos de alarmas, por otro lado para la implementación de acuerdo al diseño lógico se establecerán las respectivas relaciones.

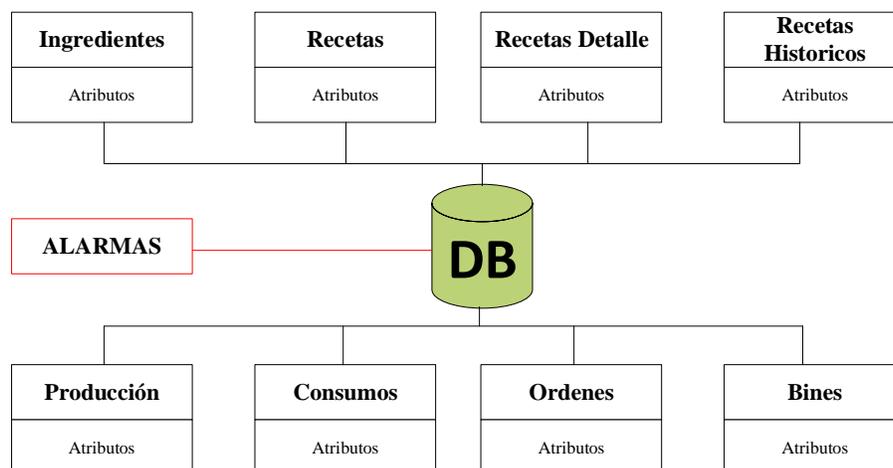


Figura 46. Estructura de la Base de Datos

3.9.2 Diseño de la Interfaz Humano Máquina

En esta sección se realizará la descripción de los criterios tomados en cuenta para el desarrollo de la interfaz humano máquina HMI. partiendo de recomendaciones realizadas por parte de la norma ISA 101, (Hawrylo, 2015).

3.9.2.1 Estación de Operación

El sistema jerárquicamente contará de tres estaciones de operación, en donde cada una dispondrá de la interfaz, con diferentes niveles de acceso. En la Figura 47 se exhibe la composición jerárquica mencionada.

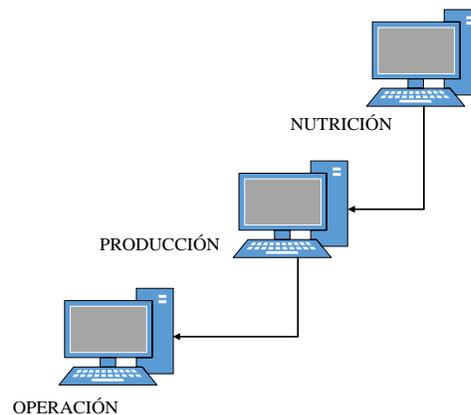


Figura 47. Jerarquía de Estaciones

Cada estación de operación debe disponer de los siguientes elementos clave para que exista una correcta operatividad y un acceso asequible para un posterior mantenimiento:

- CPU Core i5
- 8 GB de memoria Ram.
- 512 GB de disco.
- Pantalla de 20"
- Mouse y teclado.

3.9.2.2 Arquitectura de Pantallas

Para abarcar todo el proceso de dosificado, se establecerán tres niveles de pantallas, para brindar a los operadores un uso y navegación sencilla de la interfaz.

Se elige contar con varias pantallas que se encuentran clasificadas en 4 tipos diferentes, los cuales son enumerados a continuación:

Pantallas de comando y configuración

En esta clase de pantallas se podrá realizar configuraciones del sistema, al igual que la creación de recetas y órdenes de producción, las mismas que estarán disponibles de acuerdo al nivel de acceso, entre ellas se tiene:

- Menú Principal
- Manejo de Recetas
- Órdenes de Producción

Pantallas de Proceso

Se representa el mímico del proceso en donde se podrá interactuar directamente con los actuadores que intervienen en el, entre ellas se tiene:

- Recepción
- Batcheo
- Transporte

Pantallas de Alarmas

Presentan un listado de eventualidades anormales ocurridas en el proceso, entre ellas:

- Alarmas
- Histórico Alarmas

Pantalla de Gestión

Permite una visualización del registro de datos del sistema a través de:

- Reportes

En la Figura 48 se expone la arquitectura del sistema. Se cuenta con 17 pantallas que permiten la configuración y mando del proceso de producción.

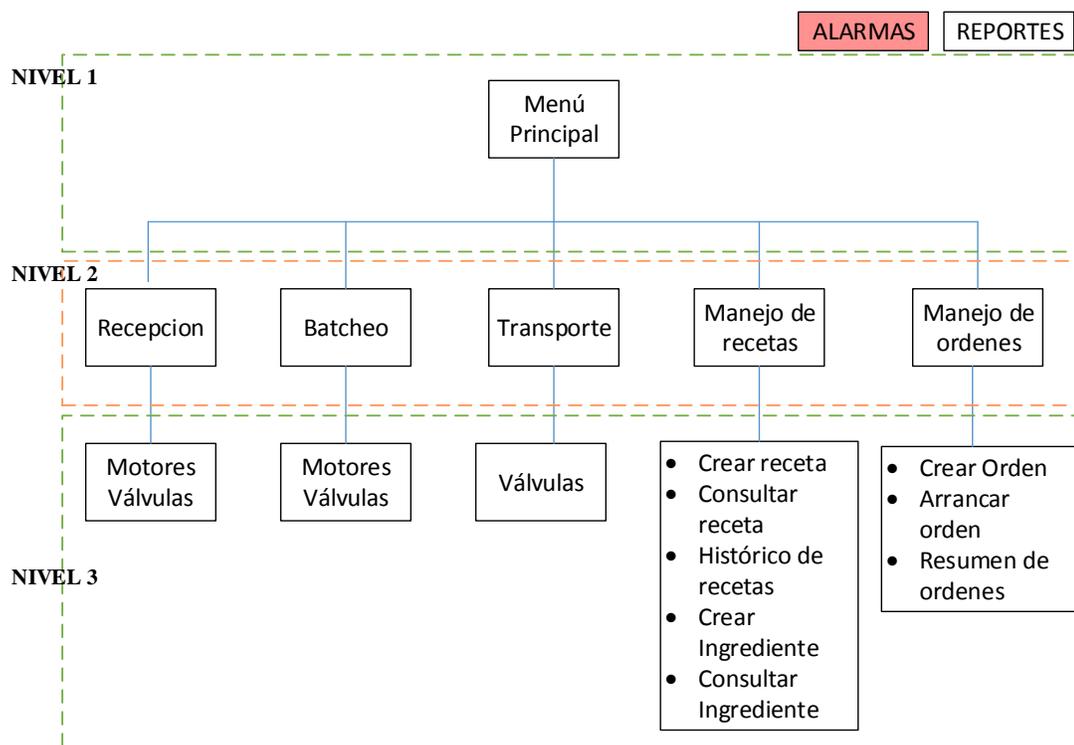


Figura 48. Arquitectura de Pantallas

3.9.2.3 Distribución de Pantallas

El espacio físico con que cada pantalla dispone debe presentar la información necesaria del proceso, o acción a la que se encuentra orientada. A continuación de la Figura 49 a la Figura 55, se muestran las plantillas de cada pantalla, las mismas que en su espacio de trabajo se ha distribuido, de acuerdo a las siguientes directrices:

- Ubicación del título, hora y fecha
- Ubicación del menú del sistema
- Ubicación de alarmas del proceso
- Ubicación del sinóptico del proceso

Menú Principal

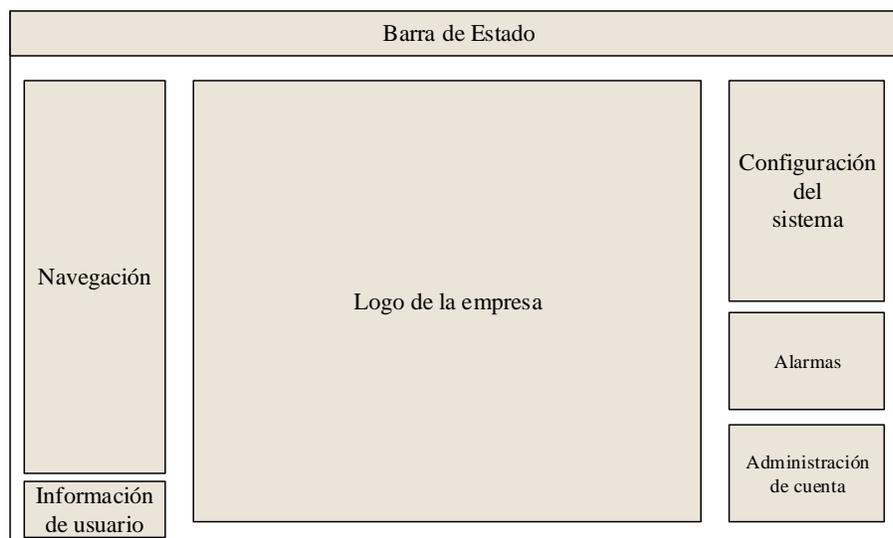


Figura 49. Plantilla Menú Principal

Manejo de Recetas

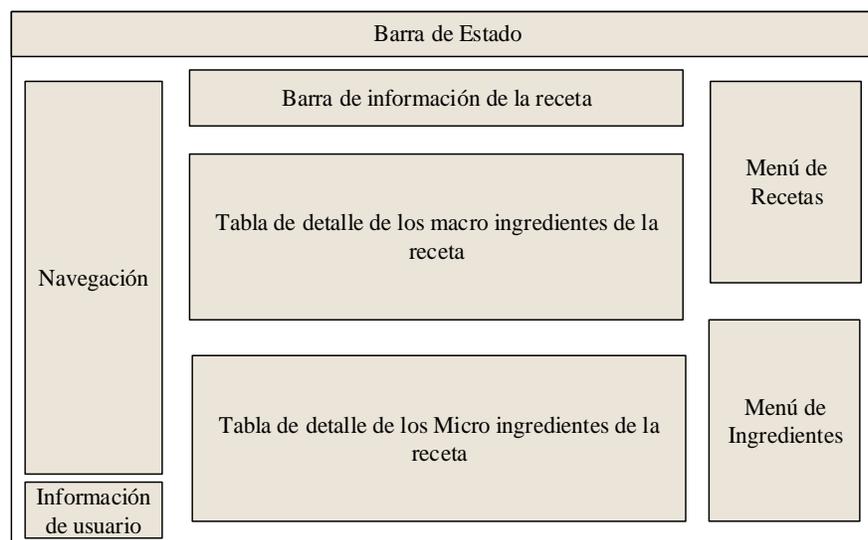


Figura 50. Plantilla Manejo de Recetas

Órdenes de Producción

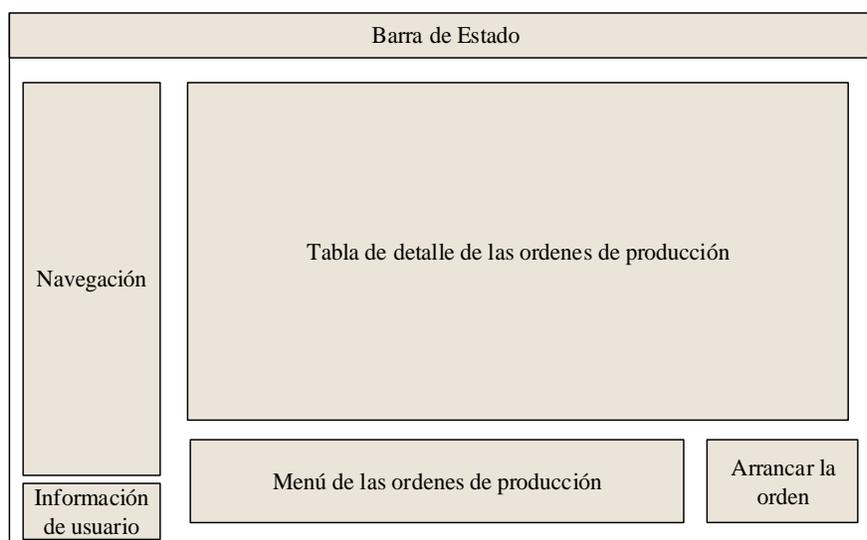


Figura 51. Plantilla Órdenes de Producción

Recepción

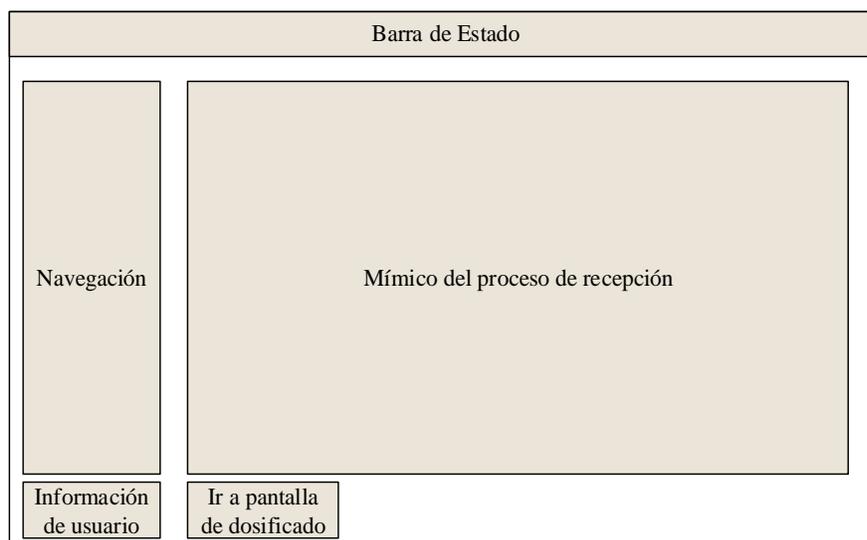


Figura 52. Plantilla Recepción

Batcheo

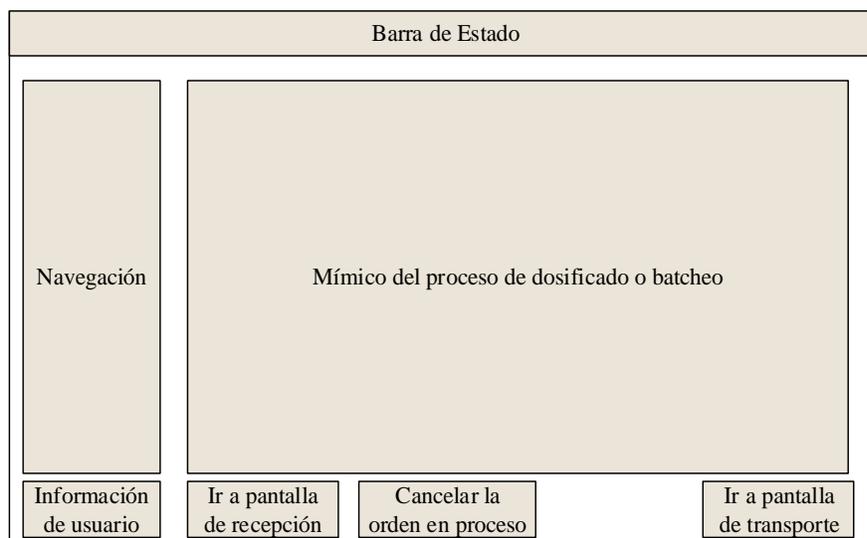


Figura 53. Plantilla Batcheo

Transporte

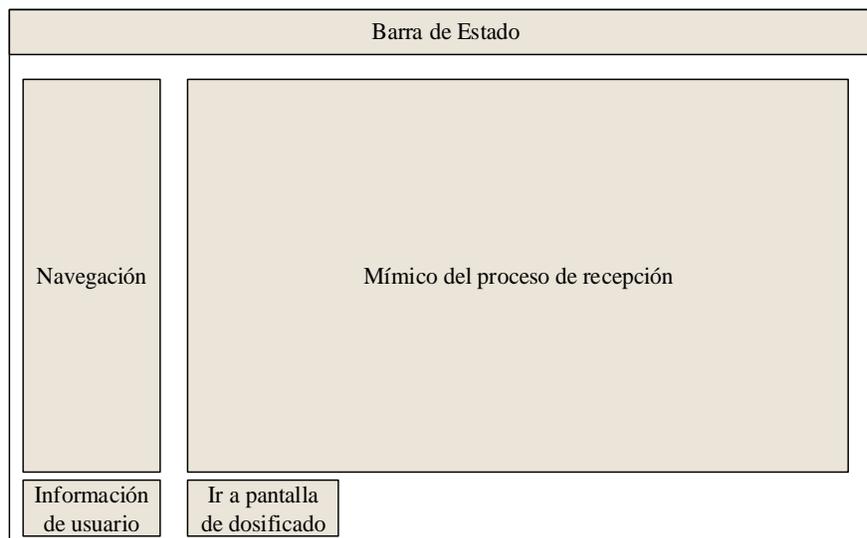


Figura 54. Plantilla Transporte

Alarmas

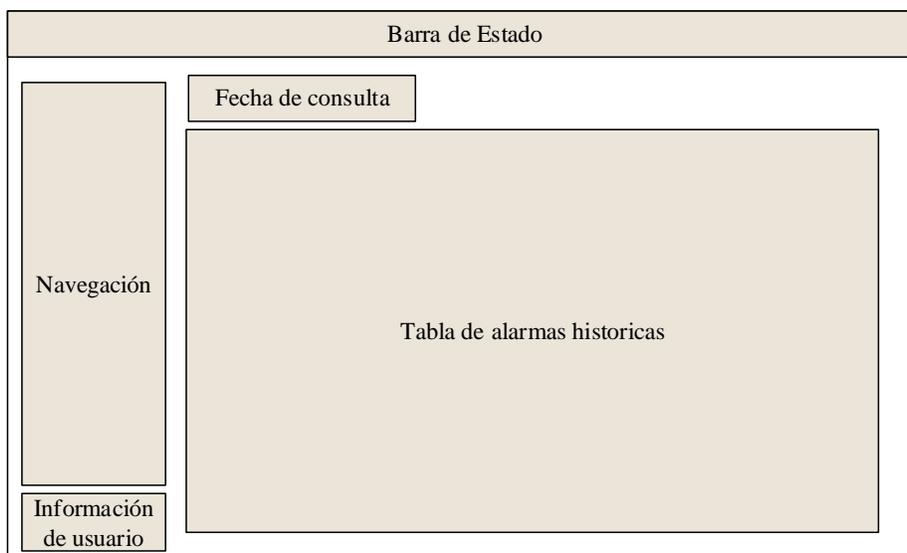


Figura 55. Plantilla Alarmas

Motores

Las siguientes plantillas mostradas en la Figura 56 a la Figura 60 presentan la distribución para comandar todos los motores del proceso. En los motores de macro ingredientes se debe considerar los detalles de peso, tal como: peso de cambio, peso de corte, tolerancia.

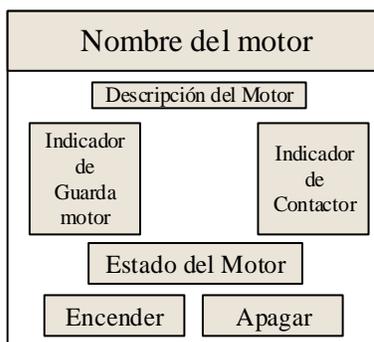


Figura 56. Plantilla Motores

Nombre del motor	
Descripción del Motor	
Indicador de Guarda motor	Indicador de Contactor
Estado del Motor	
Detalles de peso	
Encender	Apagar

Figura 57. Plantilla Motores Macro Ingredientes

Válvulas

La siguiente plantilla muestra el comando de las válvulas del proceso, se la comanda eligiendo a la dirección en la que se desea posicionar.

Nombre de la Valvula	
Descripción del Valvula	
Dirección de la Valvula	
Dirección 1	Dirección 2

Figura 58. Plantilla Válvulas

Gestión de Recetas o Ingredientes

Consulta de Ingredientes o Recetas	
Nombre Codigo	
Tabla de datos	
Seleccionar	

Figura 59. Plantilla Consultas



Figura 60. Plantilla Creación

3.9.2.4 Navegación

Dentro de la arquitectura de pantallas es necesario contar con un acceso a cada una de ellas, de manera directa y fácil, para evitar generar confusiones al operador. La navegación del sistema se establece de acuerdo a los siguientes directrices:

- El acceso a una pantalla se la debe realizar con el menor número de clicks.
- Las pantallas de emergencia o fallo no pueden estar obstaculizadas en la navegación, deben ser de acceso inmediato.
- La zona de navegación, debe encontrarse en una zona definida de la pantalla, además debe poseer la misma estructura en todas las pantallas, para evitar confusiones.
- Opciones de menús organizados de acuerdo al uso o la importancia.

El método de navegación a usar es a través de un menú definido sobre un área específica que se encontrará en cada pantalla. Las pantallas se agruparán en el menú de navegación de acuerdo a la secuencia del proceso.

A continuación en la Figura 61 se muestra la navegación por la arquitectura de las pantallas.

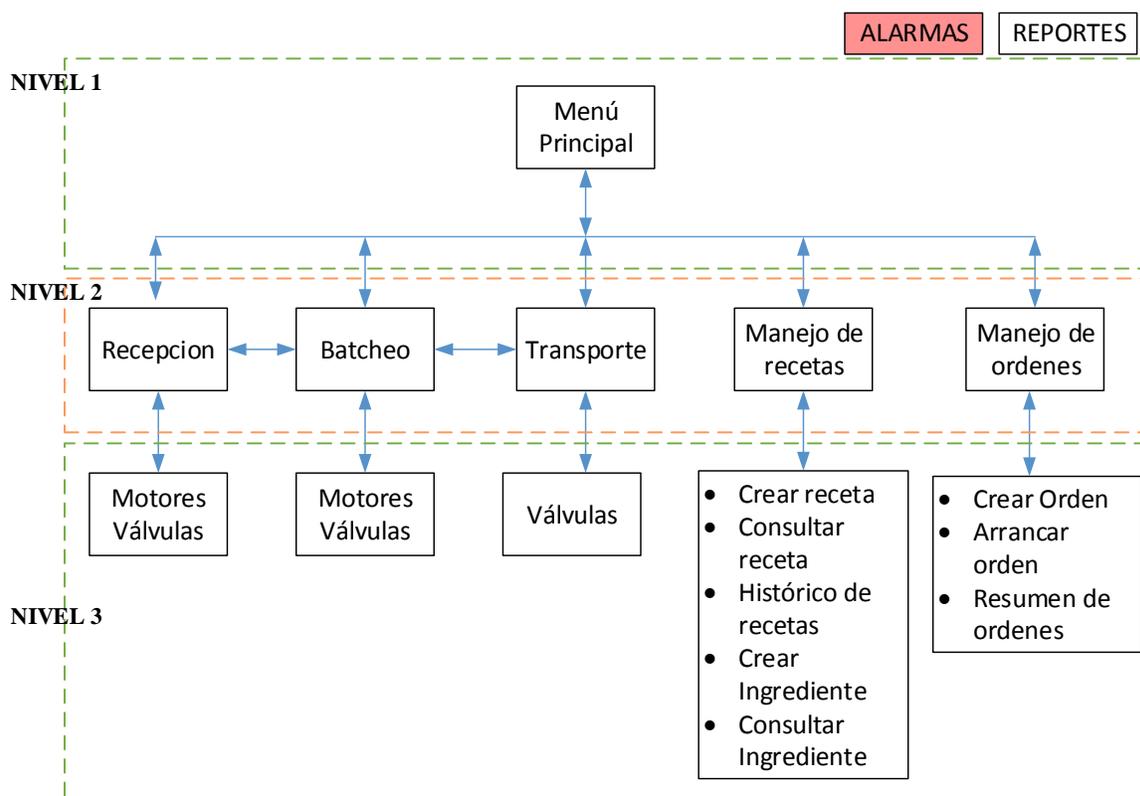


Figura 61. Navegación por la Arquitectura

3.9.2.5 Niveles de Acceso

Dentro de la jerarquía del proceso se proporcionará restricciones y accesos a configuraciones dentro de la interfaz. Todo depende del departamento y usuario que acceda.

- Departamento de nutrición, tiene acceso a todas las pantallas, podrá ejecutar comandos para la gestión de recetas e ingredientes.
- Departamento de Producción, acceso a todas las pantallas, se proporciona acceso a la creación de órdenes de producción.
- Departamento de operación, acceso a todas las pantallas, solo tiene permitido comandar el proceso y ejecutar las órdenes de producción dispuestas previamente, mas no crearlas.

En la Figura 62 se aprecia las pantallas en las que cada departamento tiene acceso para ejecutar los comandos de configuración.

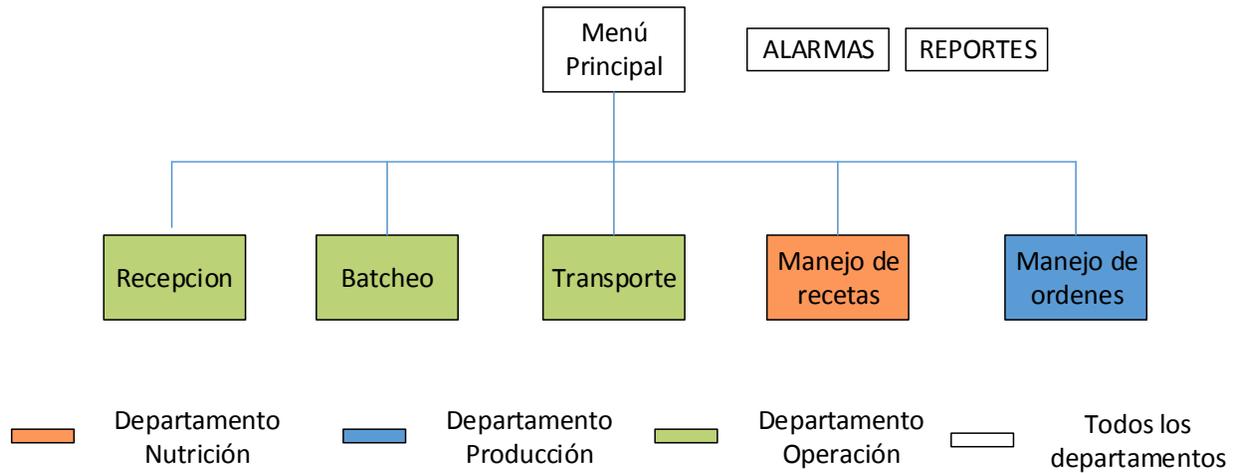


Figura 62. Niveles de Acceso

3.9.2.6 Formato de Texto

El tipo de letra y tamaño en la interfaz es seleccionado de acuerdo al criterio:

- El tipo de letra debe ser visible y entendible.

Por ello se optó trabajar con el tipo de letra Arial, donde su tamaño cambiará en el rango de 10 a 12 Pts. dependiendo al objeto o representación dentro de la pantalla.

3.9.2.7 Uso de Color

La elección de los colores para cada una de las pantallas del sistema, se consideró de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Color del fondo de la pantalla debe contrastar con el resto de elementos.
- Uso de colores neutros, para evitar distracciones al operador
- No usar combinaciones de colores de contraste incompatibles
- Evitar el uso de colores primarios en zonas grandes de la pantalla (Hawrylo, 2015).

Tabla 31
Colores de la Interfaz

Ítem	Color	Descripción	RGB
Estado de elementos	Verde	Encendido	0,255,0
	Gris	Apagado	213,213,213
	Rojo	Fallo	255,0,0
Estado de botones	Plomo	Habilitado	251,250,249
	Blanco	Inhabilitado	254,250,254
Tablas	Blanco	espacio de trabajo	255,255,255
Fondos de pantalla	Plomo	espacio de trabajo	238,236,232
Gráficos del proceso	Plata	Dibujos del proceso	250,250,250
Alarmas	Rojo	Fallo	255,0,0
Líneas del mímico del proceso	Verde	Recorrido del producto	172,172,0
	Rojo	Nivel lleno	255,0,0
Texto	Negro		0,0,0

3.9.3 Alarmas

Existen eventualidades que representan una situación de atención por parte de los operadores, debido a la generación de fallas, lo que se deriva en un funcionamiento anormal del proceso.

A través de la identificación oportuna de las fallas, facilita al operador a mantener la producción dentro de los estándares adecuados, mediante la acción oportuna de correcciones y gestiones pertinentes del proceso. En esta sección se detalla las alarmas del sistema, las mismas que se encuentran distribuidas en los dispositivos que pueden generar situaciones de mal funcionamiento.

Falla de Motores

Esta falla se presenta cuando se tiene algún inconveniente con un motor. Aparecerá el mensaje “FALLA DE CONTACTOR KM”.

Las posibles causas son:

- Seccionador de Guardamotor en modo apagado
- Falla del contactor correspondiente al motor.
- Desconexión de la señal de retorno del contactor

Falla de Válvulas

Esta falla se presenta cuando se tiene algún inconveniente con una válvula. Aparecerá el mensaje de “FALLA”.

Las posibles causas son:

- Falta de aire en la manguera que ingresa a la válvula.
- Falla del retorno de abierto o cerrado correspondiente a la válvula.
- Desconexión de los retornos de válvula.

Falla comunicación entre computador y servidor

Esta falla se presenta cuando no se puede comunicar el Computador con el servidor de Ignition. Se presenta un mensaje indicado que se perdió comunicación con el servidor. Adicional, el indicador de red del computador presenta falla.

Las posibles causas son:

- Pérdida de conectividad entre el PLC y los equipos de enlace.
- Falla en el computador.
- Falla en alguno de los equipos de enlace.
- Corte de energía.
- Falla en cableado del sistema.

Falla comunicación entre servidor y PLC.

Esta falla se presenta cuando no se puede comunicar el servidor de Ignition con el PLC. La pantalla de operación se va a tornar de color rojo en uno o más elementos de esta.

Las posibles causas son:

- Pérdida de conectividad entre el PLC y los equipos de enlace.
- Falla en el computador.
- Falla en alguno de los equipos de enlace.

Nivel Alto de bin

Esta falla se presenta cuando se tiene el nivel de un bin o silo lleno. Aun que realmente no es una falla permite alertar al operador para evitar que el contenedor que está siendo abastecido se llene y ocurra un desbordamiento.

3.9.4 Diseño de la lógica de control

El objetivo de la presente sección es establecer las condiciones y lineamientos a tomar en cuenta para lograr establecer la secuencia que gobernará el sistema, que luego se traducirá en la programación con la que dispondrá el controlador.

3.9.4.1 Variables del Proceso

Las variables disponibles en el proceso están relacionadas claramente con el listado de señales (Sección 3.3), a continuación se presenta en la Tabla 32 las variables disponibles.

Tabla 32

Variables del Proceso

Variable	Descripción	Instrumento
Nivel alto	Indica cuando un bin se encuentra lleno, disponible en 14 bines	Roto bin
Nivel bajo	Indica cuando la mezcladora se encuentra vacía	Sensor Ultrasónico
Peso	proporciona información en KG	Balanza
Posición	Brinda información del posicionamiento del distribuidor y válvulas	Limit Switch
Estado	Indica, si el motor o compresor, está operativo o no	Contactador

3.9.4.2 Flujo de Operación

En la *Figura 63* se ilustra el flujo del proceso general, cabe hacer hincapié que todo el proceso será operado desde el sistema de control, pero exclusivamente el proceso de Batcheo o dosificado tendrá una secuencia automática y manual.

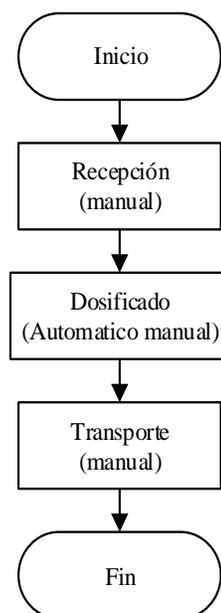


Figura 63. Diagrama del Flujo General del Proceso

3.9.4.2.1 Modo Automático

3.9.4.2.1.1 Flujo de Dosificado

Para establecer la secuencia automática en el proceso de dosificado se debe tener en cuenta la información proporcionada en la Tabla 1, que indica los elementos que dispone este proceso, además de la información que es compartida por el HMI. En la *Figura 64* se expone la secuencia para llevar a cabo la dosificación, donde todo inicia con el modo de funcionamiento del sistema que en este caso si no está en modo automático no cumplirá con lo descrito en el diagrama,

seguidamente, es necesario que el sistema HMI proporcione de información pertinente de la producción, tal como:

- **CodOrd:** Código de la orden o número de orden
- **CodRec:** Código de la receta o número de receta
- **CodIng:** Código del ingrediente o número del ingrediente
- **Pr:** Peso de la Receta
- **Pc:** Peso de Corte de cada ingrediente
- **Pcam:** Peso de Cambio de cada ingrediente
- **Tole:** Tolerancia de cada ingrediente

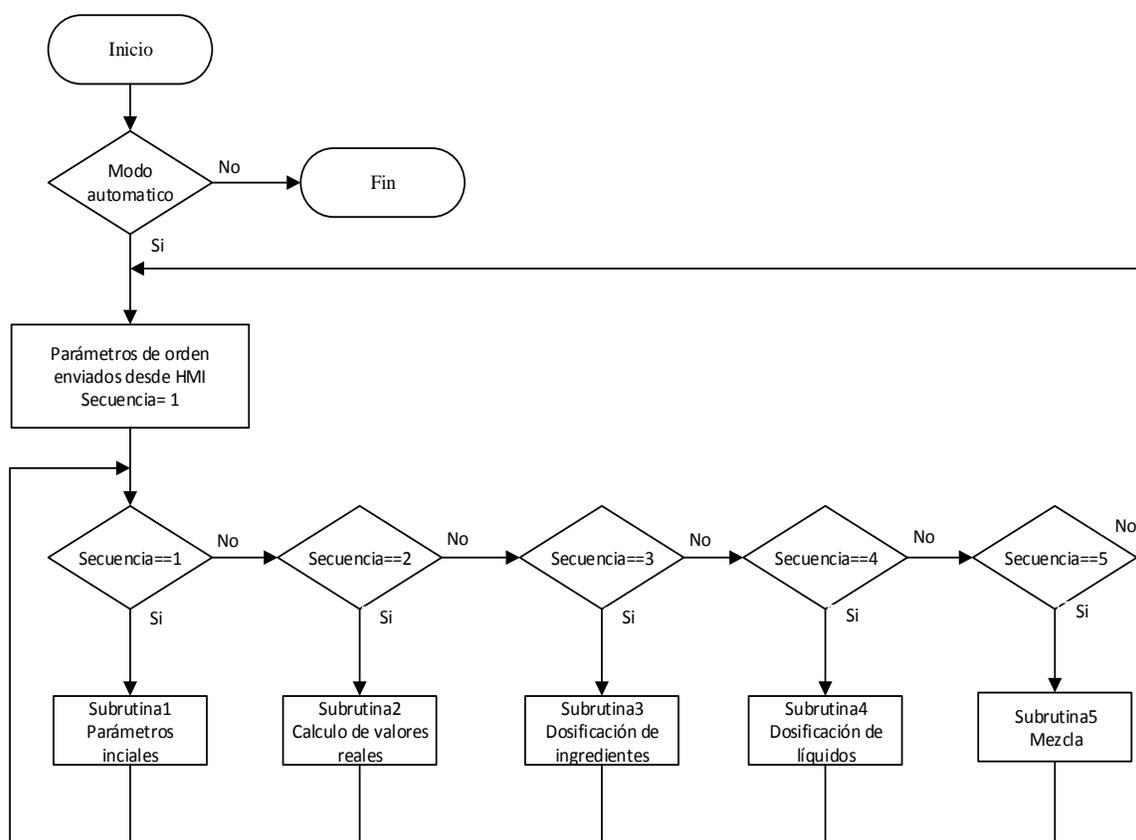


Figura 64. Diagrama de Flujo General del Dosificado

Dicha información es base para los lineamientos de funcionamiento del flujo de dosificación automático. Finalmente el flujo está compuesto por cinco subrutinas o cinco etapas que permite cumplir con el dosificado.

En la Figura 65 se observa el diagrama de flujo de la subrutina 1, en donde se lleva a cabo la asignación de variables a los parámetros enviados desde el HMI.

Se debe tomar en cuenta que N es un arreglo donde están todos los ingredientes que conforman una receta, aumentará dependiendo de las condiciones.

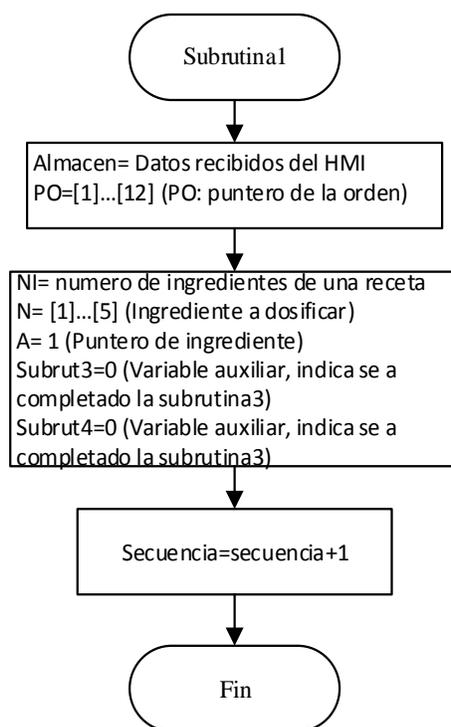


Figura 65. Diagrama de Flujo, Subrutina 1

La Figura 66 perteneciente a la subrutina 2, se realiza el cálculo de los parámetros definitivos con los que se va a trabajar, ya que los parámetros ingresados en el HMI, deben acondicionarse a la realidad de la balanza. Dichos parámetros pertenecen a cada uno de los ingredientes de una receta, por ello se tiene:

- **PD** = Peso deseado
- **PB** = Peso de la balanza
- **PR** = Peso de la receta
- **PC** = Peso de corte
- **PCAM** = Peso de cambio
- **PCo** = Peso de corte inicial (HMI)
- **PCAMo** = Peso de cambio inicial (HMI)
- **A** = Es el puntero del ingrediente, verifica si se han dosificado todos los ingredientes de la receta.

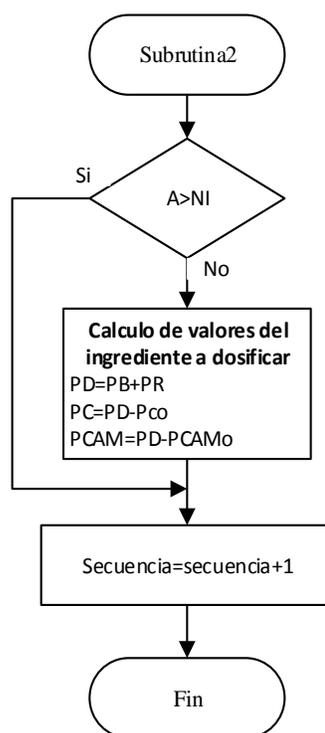


Figura 66. Diagrama de Flujo, Subrutina 2

El diagrama de flujo de la subrutina 3 está orientado en establecer la lógica para trabajar en la identificación de los ingredientes en los bins y la descarga de los mismos, que son gobernados por la balanza. Todo inicia identificando si “A” que tiene un valor inicial de cero es mayor que el

número máximo de ingredientes que tiene la receta, si se cumple dicha condición se pasa a la secuencia 4 y la variable “*Subrut3*” tomara el valor de 1 que indica que la subrutina 3 ha sido completada.

Caso contrario si no se cumple procederemos a identificar si el peso de la balanza es menor al peso de corte, en este caso si se cumple se procederá a reconocer la ubicación del ingrediente en los diferentes bines.

Una vez que se sepa en que bin está el ingrediente a dosificar, se encenderá el motor dosificador a una velocidad normal, seguidamente se ira comprobando que el peso de la balanza sea mayor al peso de cambio para reducir la velocidad de dicho motor, con ayuda del variador.

Finalmente se comprobará que el peso de la balanza es igual al peso de corte y por lo tanto indica que se logró establecer la cantidad adecuada de un ingrediente, seguidamente se abrirá la compuerta de la balanza para que el ingrediente sensado, caiga a la mezcladora.

El arreglo del ingrediente “*N*” aumentará hasta completar con todos los ingredientes de la receta. El diagrama de flujo de la subrutina 3 consta de las siguientes variables:

- **A** = Es el puntero del ingrediente, verificar si se han dosificado todos los ingredientes de la receta.
- **Bin 1.. Bin16**= Es el ingrediente que se encuentra en el bin
- **NI** = Número total de ingredientes de la receta
- **N** = Es el arreglo de ingredientes de una receta
- **Subrut3** = Indicador de que la subrutina 3 ha sido completada
- **PD** = Peso deseado
- **PB** = Peso de la balanza
- **PR** = Peso de la receta
- **PC** = Peso de corte
- **PCAM** = Peso de cambio

En las Figura 67,68 y 69 se observa la secuencia representada en un diagrama de flujo correspondiente a la subrutina 3.

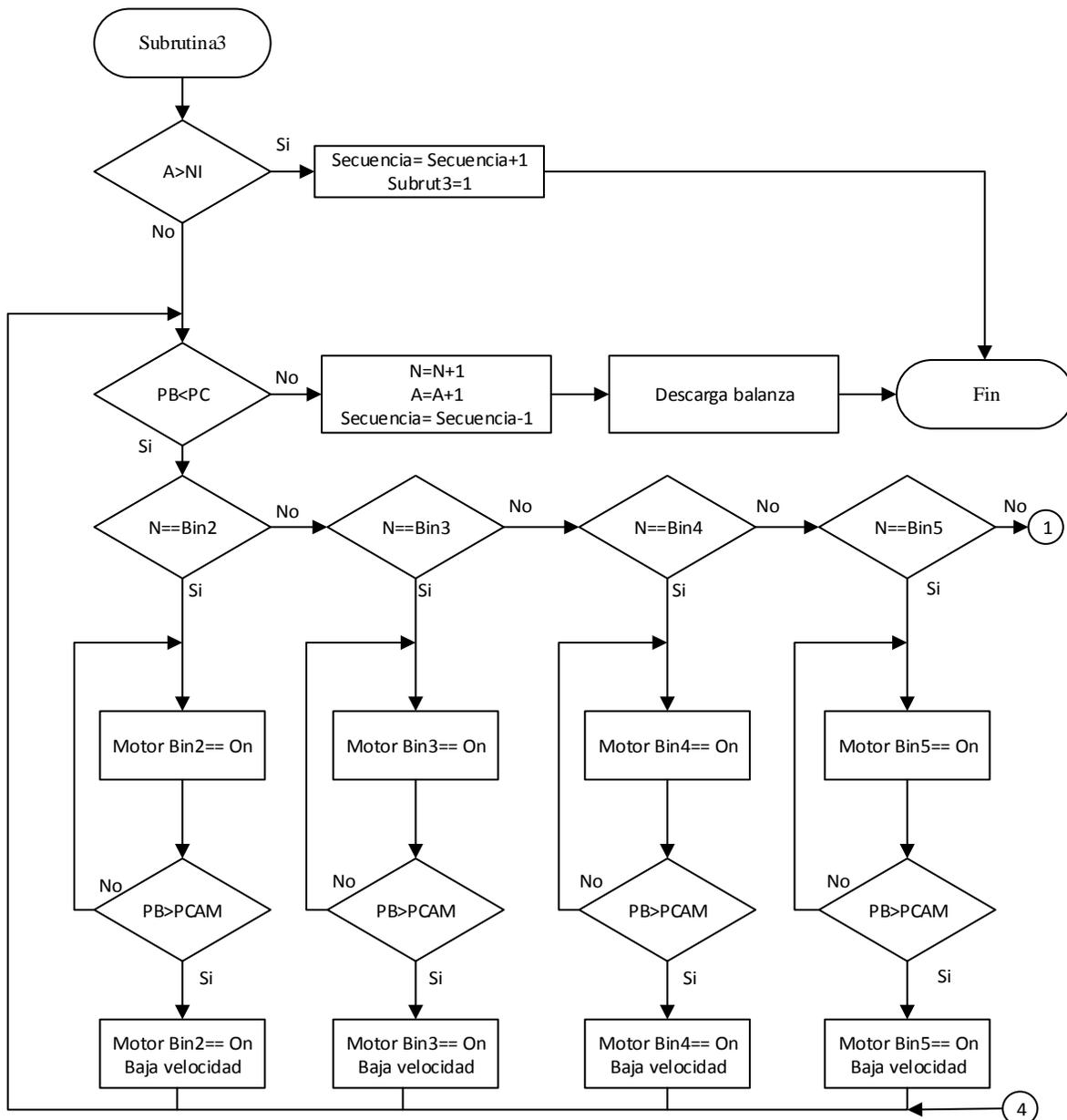


Figura 67. Diagrama de Flujo, Subrutina 3 (A)

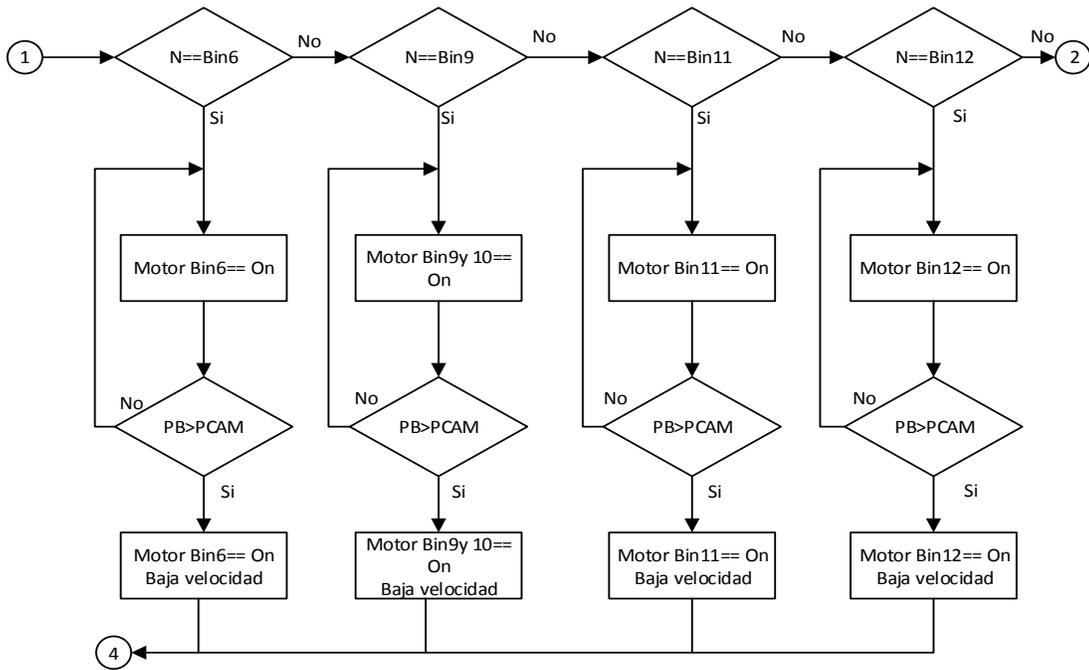


Figura 68. Diagrama de Flujo, Subrutina 3 (B)

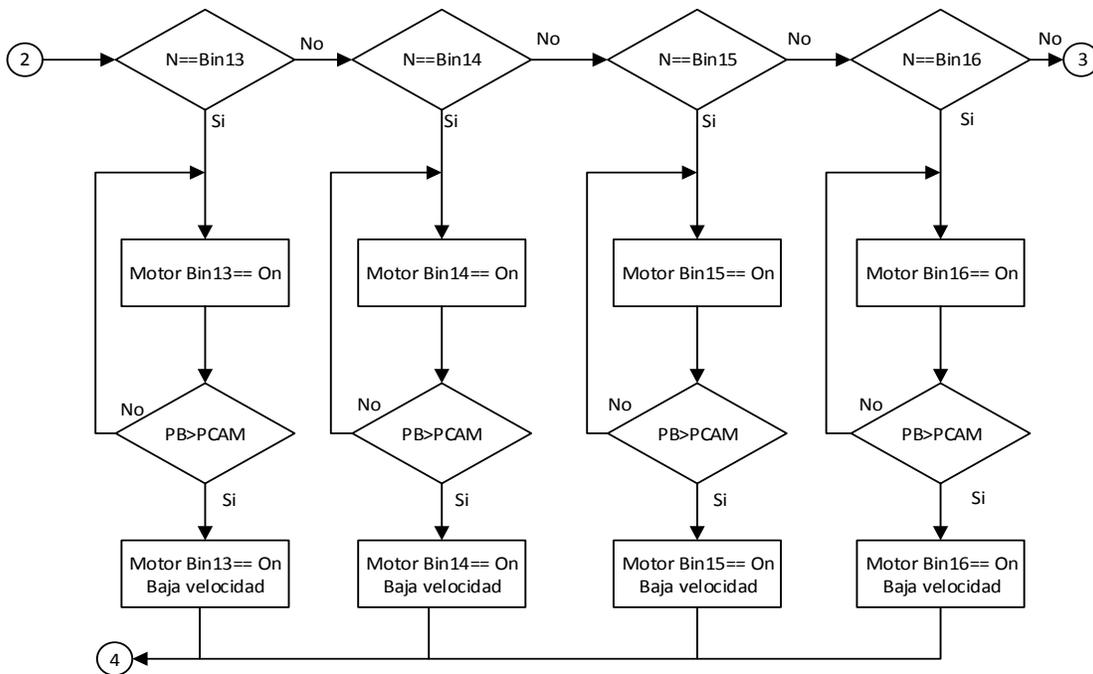


Figura 69. Diagrama de Flujo, Subrutina 3 (C)

Una vez que se complete la secuencia 3 o subrutina 3, se sigue con la dosificación de aceites.

El sistema cuenta con 2 tipos de aceites que de la misma forma se logra con ayuda de la balanza y un sensor de flujo, se realiza el cálculo real de las variables de peso enviadas por el HMI, seguidamente se establecen las condiciones para encender, abrir o cerrar los actuadores de este proceso, donde intervienen, válvulas y bombas.

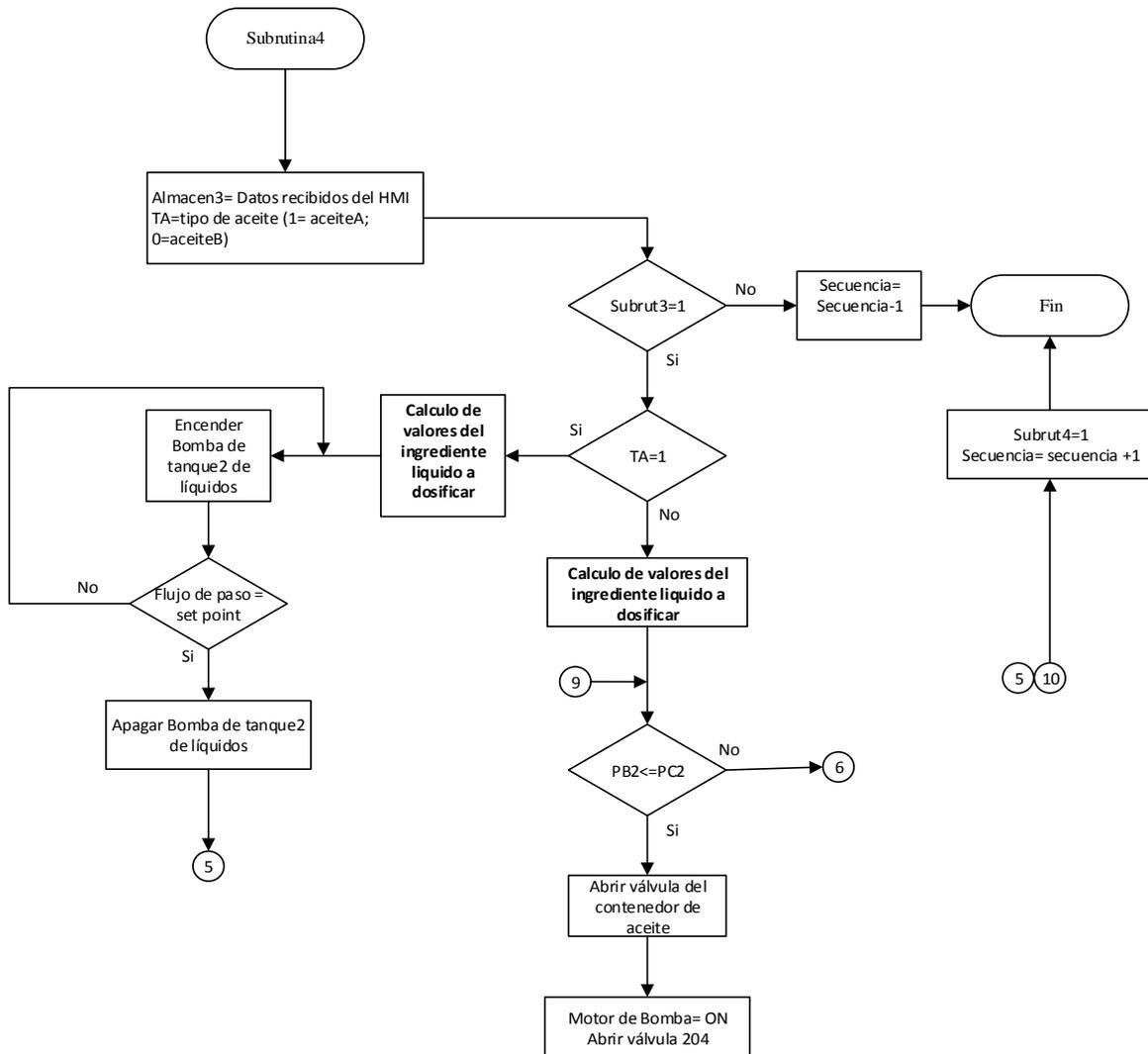


Figura 70. Diagrama de Flujo, Subrutina 4 (A)

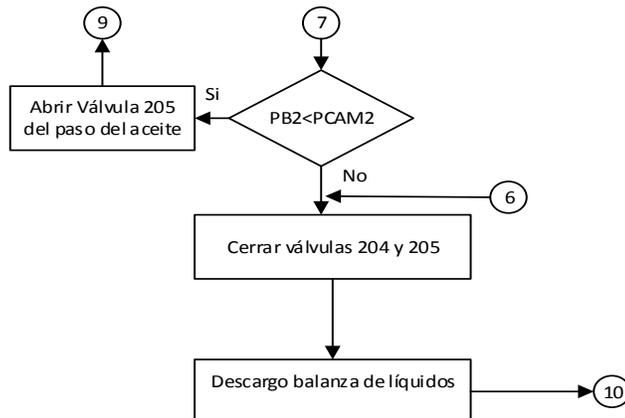


Figura 71. Diagrama de Flujo, Subrutina 4 (B)

Finalmente completadas las secuencias 3 y 4 se procede a realizar la mezcla en la subrutina 5 que está controlada por el tiempo de mezcla.

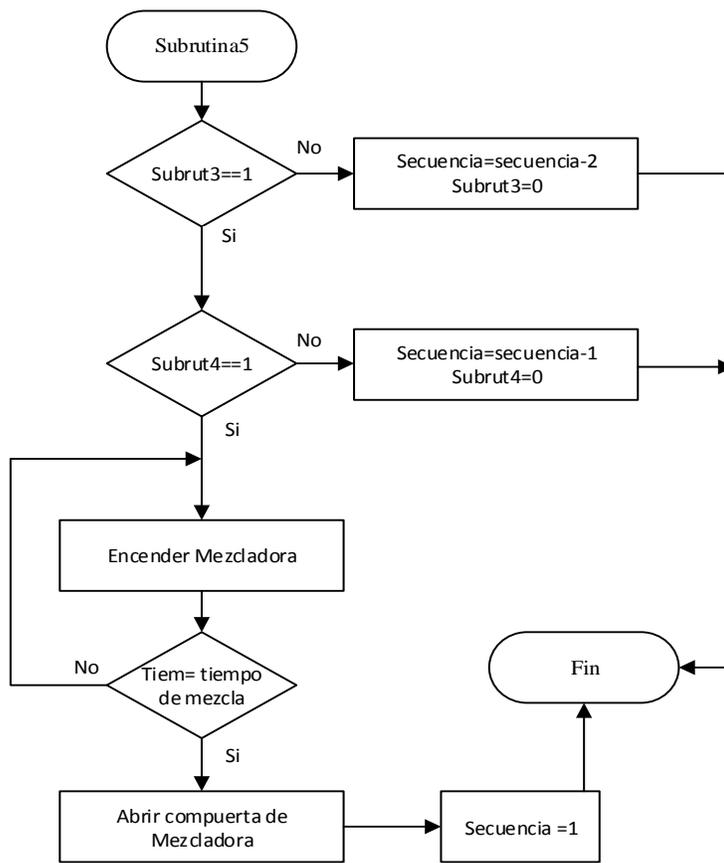


Figura 72. Diagrama de Flujo, Subrutina 5

3.9.4.2.2 Modo Manual

3.9.4.2.2.1 Flujo de Recepción

El sistema en el área de recepción opera de forma manual para comandar los diversos componentes. Se debe tener en cuenta ciertas consideraciones para establecer la lógica de control en cuanto a los elevadores y transportadores. Debido a que existen transportadores que llevan hacia los elevadores, para el movimiento de material. Por tal motivo se considera que para encender el transportador debe estar encendido el elevador ya que si solo se enciende el transportador, la materia prima se acumularía en él, lo que provocaría fallas.

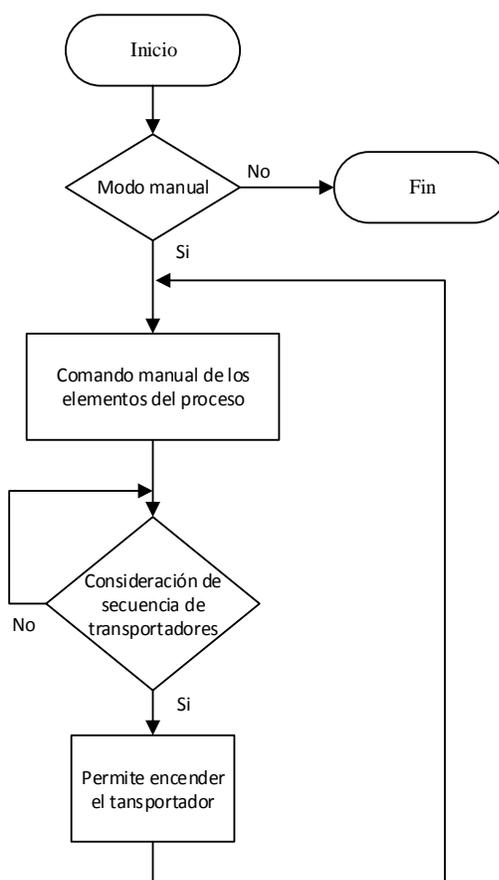


Figura 73. Diagrama de Flujo Manual Recepción

3.9.4.2.2 Flujo de Dosificado

En modo manual se permite comandar de los diferentes componentes, con la consideración de la compuerta de la mezcladora que si no está abierta no permite encender el elevador y el transportador.

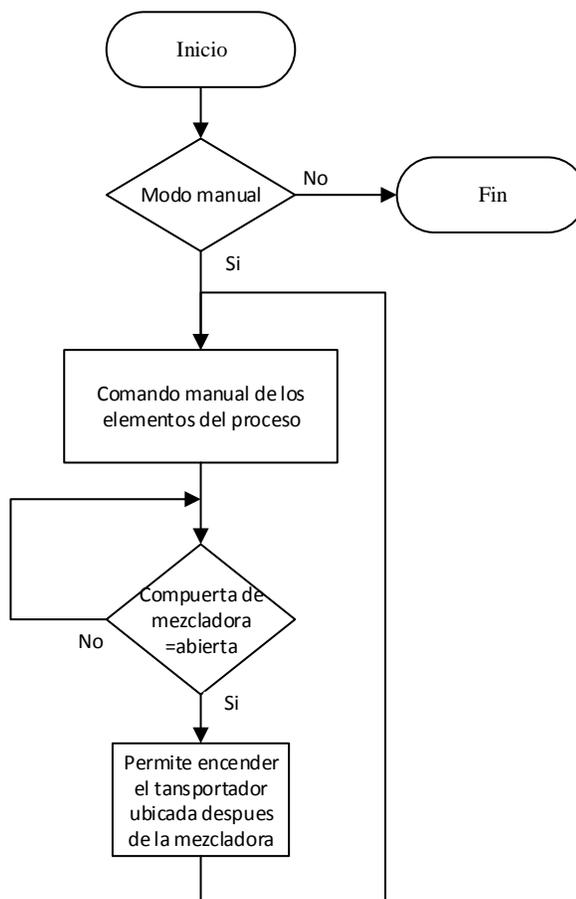


Figura 74. Diagrama de Flujo Manual Dosificado

3.9.4.2.3 Flujo de Transporte

En la Figura 75 se representa el flujo de área de transporte que se maneja directamente las válvulas que intervienen en el.

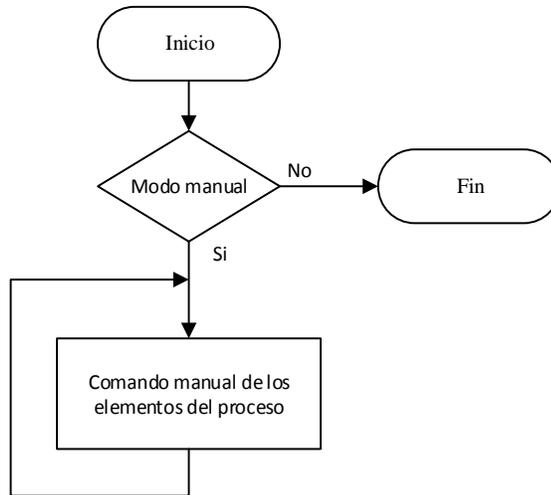


Figura 75. Diagrama de Flujo Manual Transporte

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN

Una vez establecidos los diseños de hardware y software, en el presente capítulo se describe la implementación de los mismos. Se puntualiza el procedimiento para encaminar al sistema a cumplir con su funcionamiento.

4.1 Implementación de Hardware

4.1.1 Tablero de Control

La implementación del tablero de control (TCP-01) se lo realiza en dos tableros tipo NEMA 12, de 2000 x 800 x 400 mm. Las características que posee el gabinete son:

- De uso industrial.
- Protección contra el polvo.
- Protección contra goteo de agua y otros líquidos no corrosivos (NEMA, 2013).

Seguidamente se procede:

- Armar los tableros con sus respectivos, accesorios
- Incluir los soportes del tablero, rieles metálicas para montar los equipos y canaletas plásticas, por donde atraviesa el cableado eléctrico.
- Ubicar los equipos de acuerdo a la distribución presentada en la sección de diseño.

Para ubicar los diferentes módulos del controlador se lo realiza:

- Slot 0: Fuente Propia del controlador
- Slot 1: Procesador del controlador
- Slot 2: Módulo siwarex
- Slot 3-8: Módulos de entradas digitales
- Slot 9-11: Módulos de salidas digitales

Se coloca cada módulo sobre el soporte del PLC, se presiona suavemente y se ubica de acuerdo a lo descrito. En la Figura 76 se aprecia la configuración de los módulos del PLC.



Figura 76. Implementación PLC

En la Figura 77 y 78 luce el producto final del tablero de control físicamente, basándose en los criterios de la distribución física de la Figura 35 y los diagramas de conexiones.



Figura 77. Vista Externa, Implementación

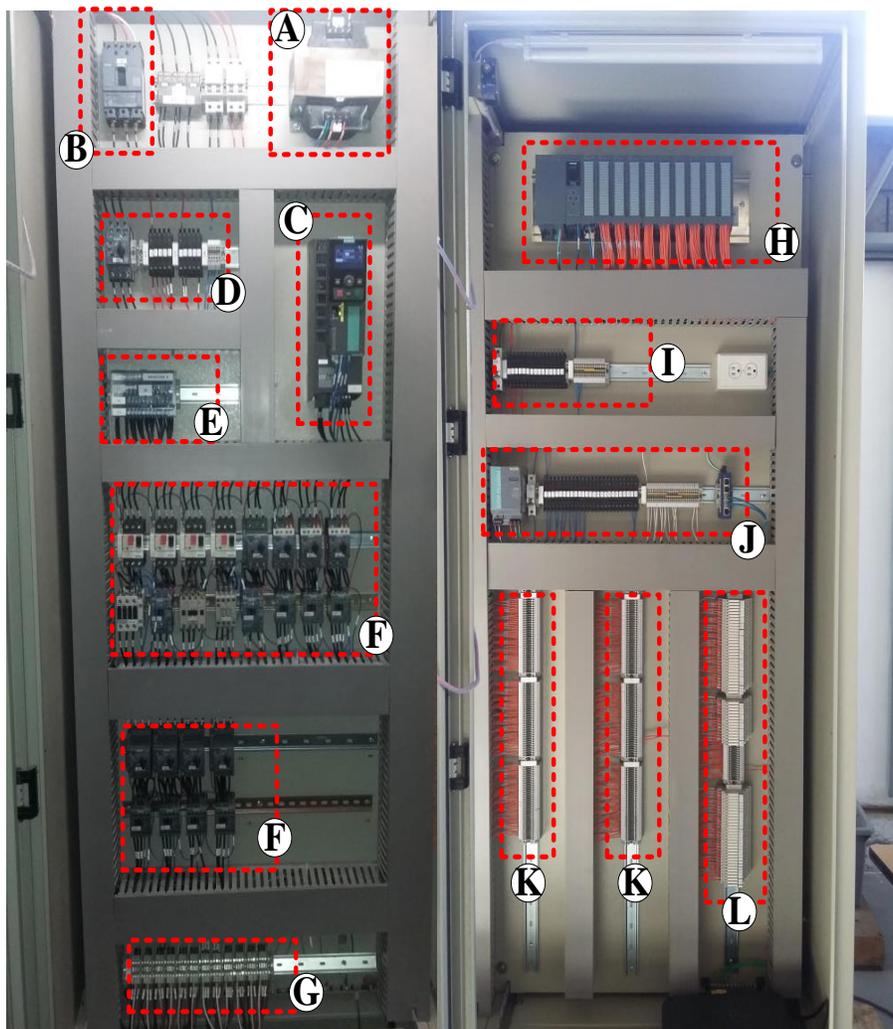


Figura 78. Vista Interna, Implementación

En la Tabla 33 se expone los componentes del tablero de control, de la Figura 79.

Tabla 33

Elementos Tablero de Control TCP-01

Ítem	Descripción
A	Transformador
B	Breaker Principal
C	Variador de Frecuencia
D	Distribución 110 Vac
E	Líneas de alimentación arranques
F	Arranque de motores

CONTINÚA 

G	Borneras de campo (Motores)
H	Controlador lógico programable
I	Alimentación ininterrumpida 110 Vac
J	Distribución 24 Vdc
K	Borneras de paso (Entradas digitales)
L	Grupos de relés (Salidas digitales)

4.1.2 Tablero de Paso

El gabinete de paso también denominado como Junction Box se lo realizó, en un tablero tipo NEMA 12, de dimensiones 800x600x250 mm, y se procede:

- Armar el tablero, con sus accesorios.
- Realizar el conexionado.
- Establecer Identificaciones a los diferentes conectores.

En la Figura 79 se aprecia el resultado final del tablero de paso. El procedimiento se desarrolló, basándose en la sección de diseño, donde se encuentran las especificaciones, para su construcción.

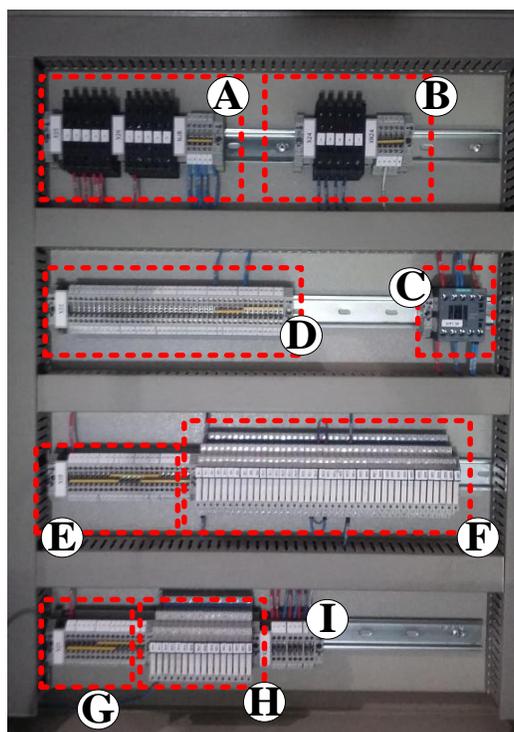


Figura 79. Vista Interna, Tablero de Paso

En la Tabla 34 se presentan los elementos del tablero de paso.

Tabla 34

Elementos Tablero de Paso

Ítem	Descripción
A	Distribución 110 Vac, 220 Vac
B	Distribución 24 Vdc
C	Contactador
D	Borneras de paso
E	Alimentación 110 Vac
F	Relés
G	Alimentación 110 Vac
H	Relés
I	Alimentación 220 Vac

4.2 Implementación de Software

4.2.1 Implementación de la Base de Datos

Para poner en funcionamiento la base de datos, se procede con el diseño realizado previamente.

A partir de ello se sigue la secuencia:

- Instalación del gestor de la base de datos.
- Crear tablas, basándose en el diseño.
- Establecer el modelo relacional
- Conexión de la base de datos con Ignition (HMI)

4.2.1.1 Instalación del SGDB

Para la instalación del software gestor de la base de datos, se procede:

- Dirigirse a la página web: <https://www.mysql.com/>
- Ir a la sección, “*DOWNLOADS COMMUNITY*”
- Descargar MySQL Workbench

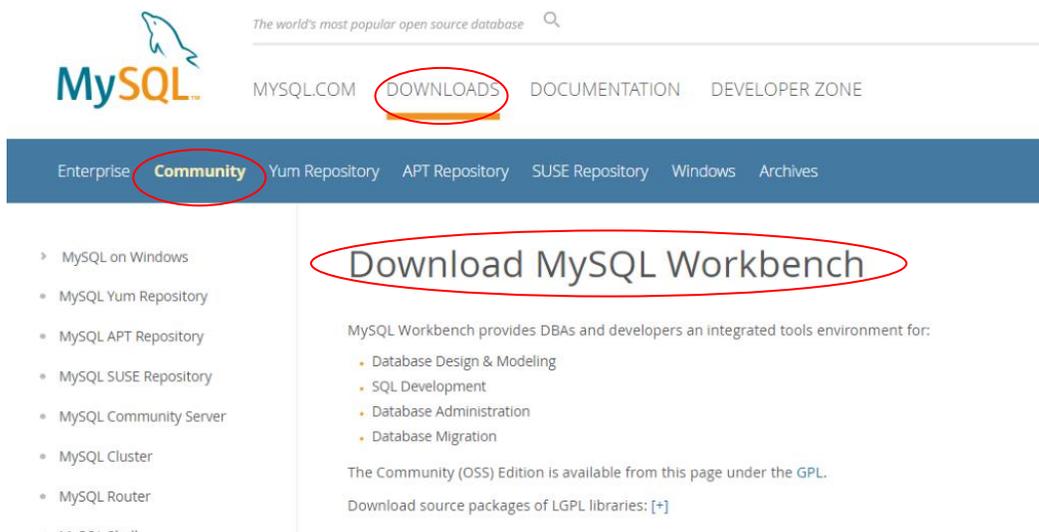


Figura 80. Descarga de MySQL Workbench
Fuente: (MySQL, 2018a)

Se debe tomar en cuenta que para instalación de MySQL Workbench se recomienda tener instalado: Microsoft .NET Framework 4.5 y Visual C++ Redistributable for Visual Studio 2015.

Para que no exista inconvenientes en el proceso. Seguidamente procede:

- Ejecutar el instalador.
- Presionar siguiente.
- Seleccionar el directorio de la instalación.
- Seleccionar el tipo de instalación, completa.
- Presionar instalar.
- Esperar que la instalación se complete.
- Finalizar.

En las Figuras 81 y 82 se puede apreciar la interfaz de instalación del software gestor de la base de datos.

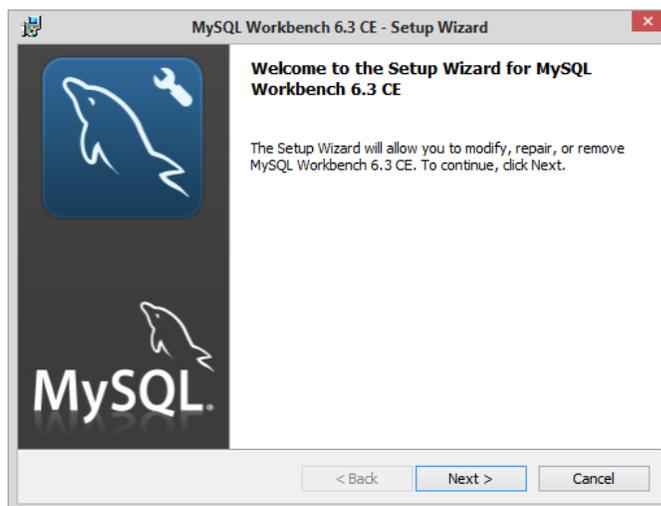


Figura 81. Inicio de la Instalación

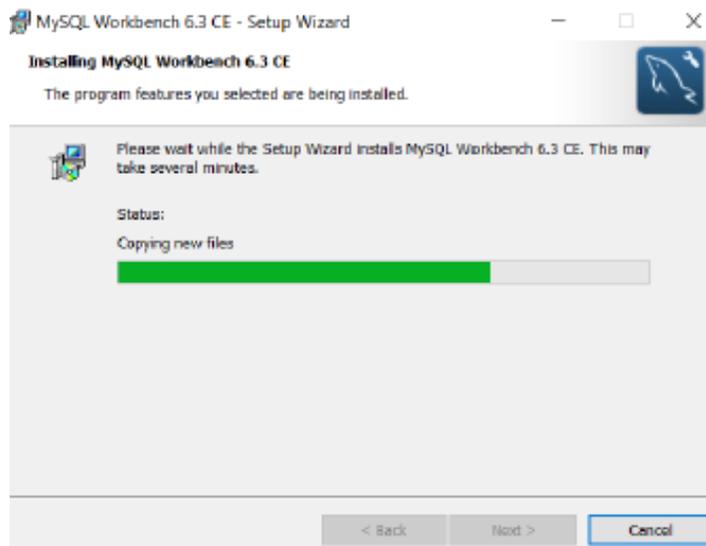


Figura 82. Estado de Instalación

4.2.1.2 Creación de la Base de Datos

Primero iniciamos el programa MySQL Workbench, en donde se aprecia la interfaz que se observa en la Figura 83.

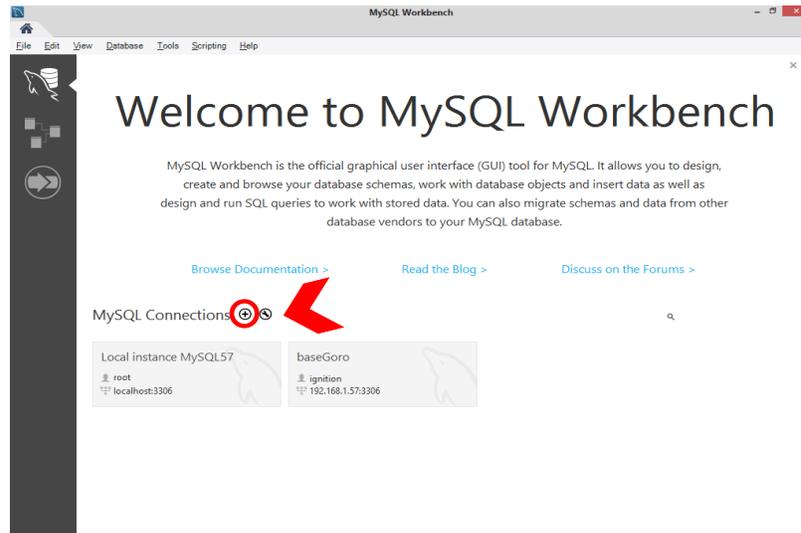


Figura 83. Interfaz Inicial MySQL

Proceder con la creación de una nueva conexión mediante un click en el símbolo “+” de la Figura 83. Los parámetros de configuración son:

- Nombre de la conexión, parámetro para identificar la conexión: *“PlantadeBalanceado”*
- Método de la conexión, o modelo usado para la conexión: *“TCP/IP”*
- Dirección y el puerto del servidor: *“192.168.2.80”*
- Usuario y contraseña, para el acceso a la conexión, Username: *“Integrador”*, Password: *“asecuador”*

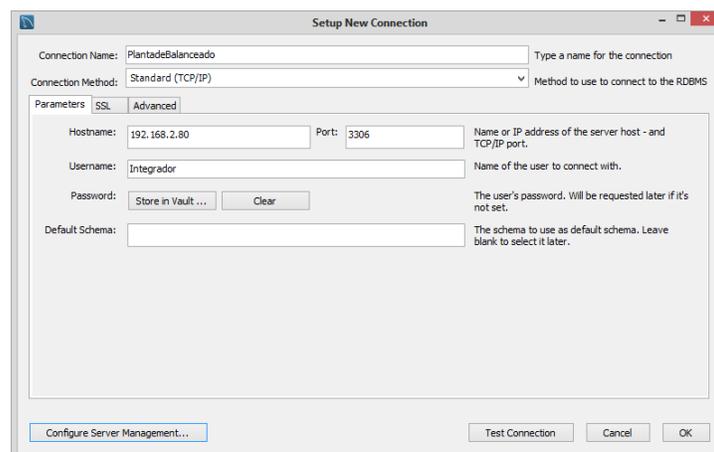


Figura 84. Creación de Conexión

Ya configurados los parámetros de conexión como último paso de este procedimiento, es comprobar que exista comunicación con el servidor o el Host, mediante la prueba de conexión que el SGDB ofrece.

Ya creada la conexión, se visualiza en la interfaz principal, el nombre de la conexión. En la Figura 85 se visualiza dicha acción.

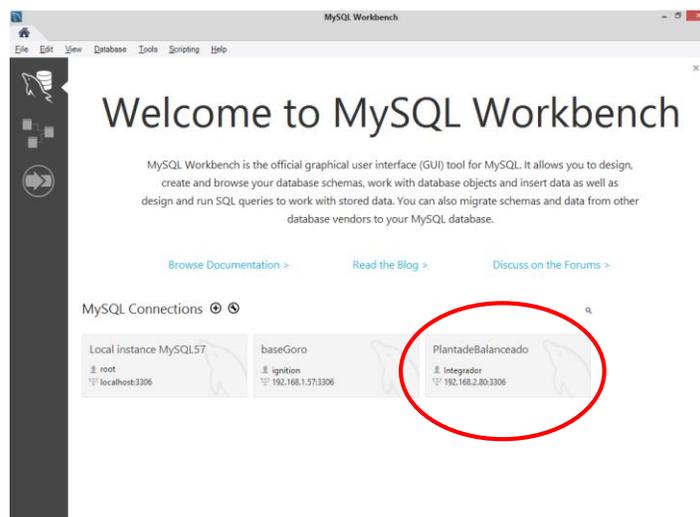


Figura 85. Conexión Creada

Seguidamente, abrir la conexión creada: “*PlantadeBalanceado*” y se sigue con la creación de la diferentes tablas:

- Seleccionar en file, new model.
- Add table
- Nombrar la tabla
- Ingresar los atributos con sus tipos de datos, de cada tabla.
- Seleccionar las características que poseen los atributos de cada tabla. Es decir si un atributo es primary key, not null, unique index, auto incremental.
- Seguir con la creación de las diferentes tablas mencionadas en la sección de diseño.

En la se Figura 86 se ilustra los pasos a seguir para la creación de las distintas tablas que conforman la base de datos del sistema, cabe recalcar que para la creación de una nueva tabla se lo debe realizar desde el paso “add table”. En el cuadro verde de la Figura 86 se puede visualizar las tablas creadas.

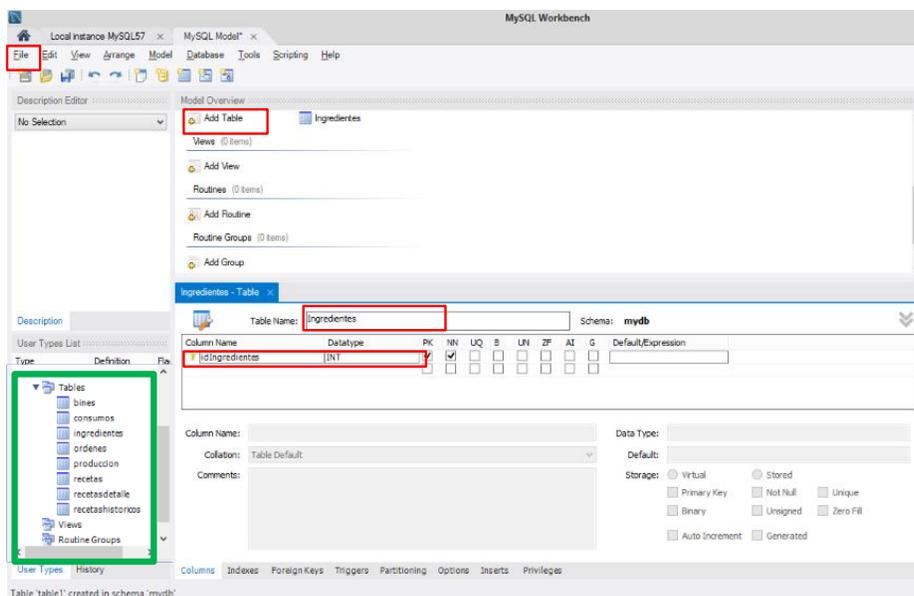


Figura 86. Creación de Tablas

4.2.1.3 Modelo Relacional

Una vez que todas las tablas del diseño se encuentren creadas, a continuación se establece las relaciones que posee un atributo de una tabla con otra. Para ello se debe procede:

- 1.-Acceder a la tabla donde se encuentra el atributo que tiene una relación.
- 2.-Seleccionar “*Foreign keys*”
- 3.-Ingresar la clave o el atributo relacionado entre tablas.
- 4.-Seleccionar la tabla a la que se va a referenciar.
- 5.-Seleccionar el atributo con relación, de la tabla en la que nos encontramos.
- 6.- Seleccionar el atributo de la tabla que se desea relacionar.
- 7.-Seleccionar aplicar.

Para la creación de las distintas relaciones, que se encuentran descritas en la sección de diseño, se debe seguir el mismo procedimiento, en la Figura 87 se aprecia dicho proceso.

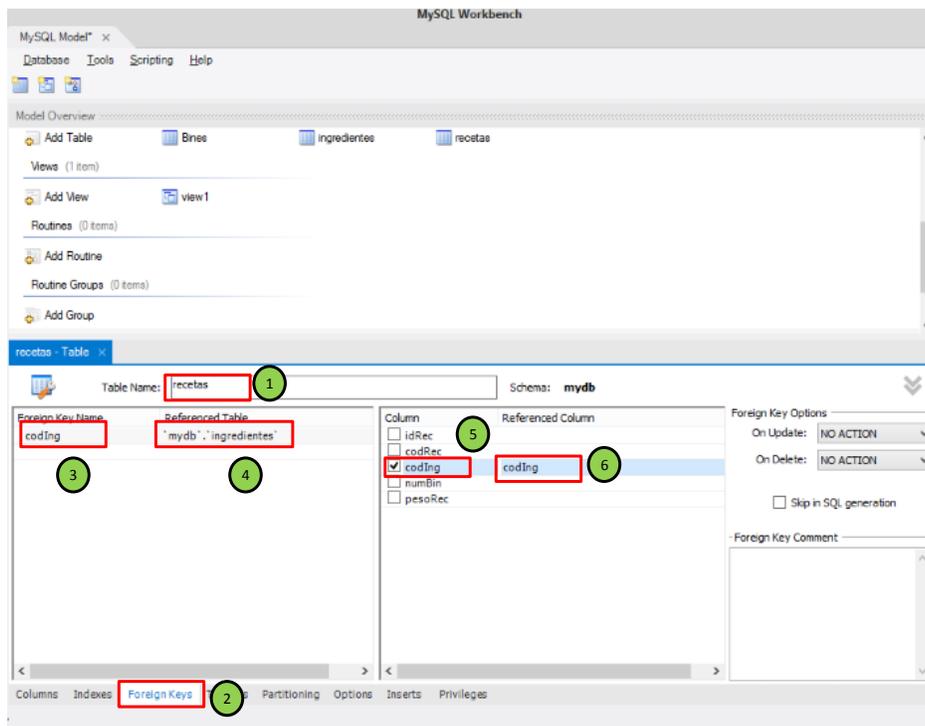


Figura 87. Creación de Relación de Tablas

Finalmente, establecidas todas las relaciones, el gestor proporciona una visualización general del modelo relacional de la base de datos.

En la Figura 88, se aprecia el esquema de relaciones. Dentro del diagrama se identifica cada relación a través de la unión entre tablas a través de un conector, para mayor detalle de las relaciones realizadas se ilustra en la Tabla 30, realizada en la etapa de diseño del capítulo III.

El archivo generado por el gestor luego es usado para enlazar la base de datos con el software de supervisión HMI.

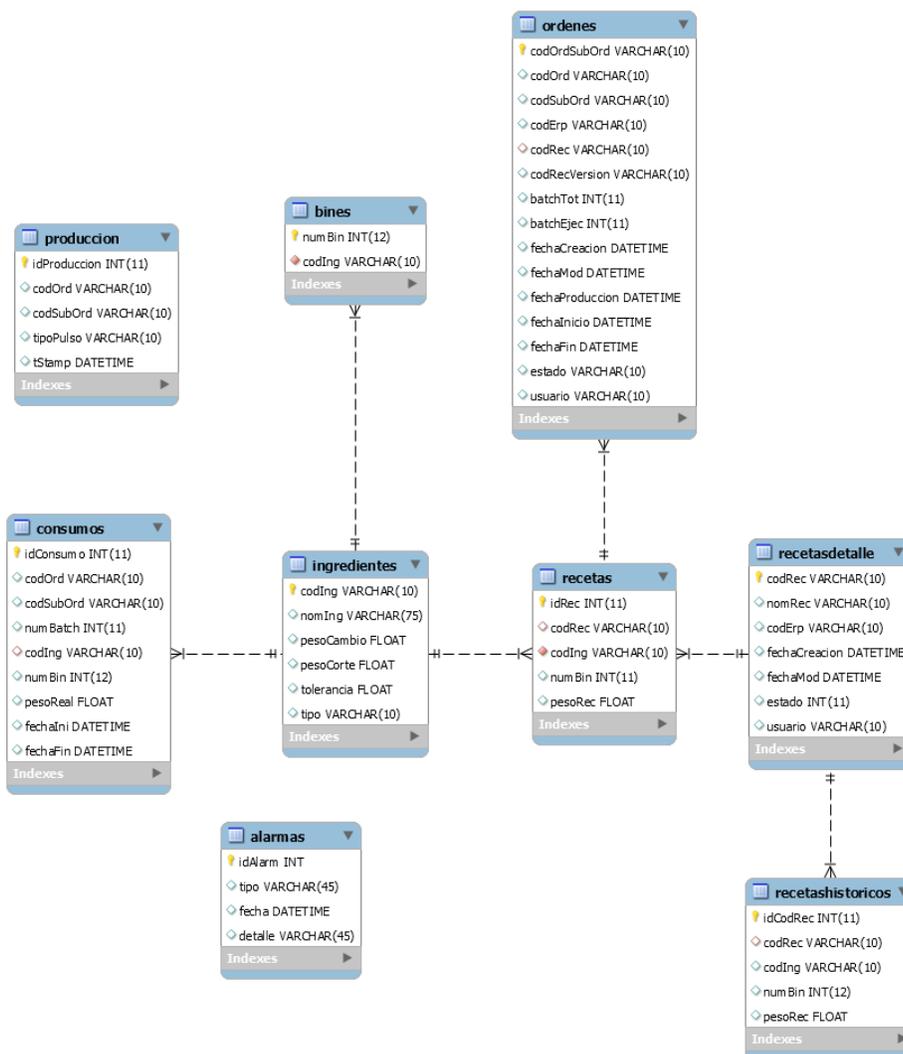


Figura 88. Modelo Relacional

4.2.2 Implementación de la Interfaz Humano Máquina

4.2.2.1 Instalación del Software Ignition

Para iniciar con el proceso se debe proceder:

- Acceder a la página web: <https://inductiveautomation.com/>
- Dirigirse a la sección de descargas.

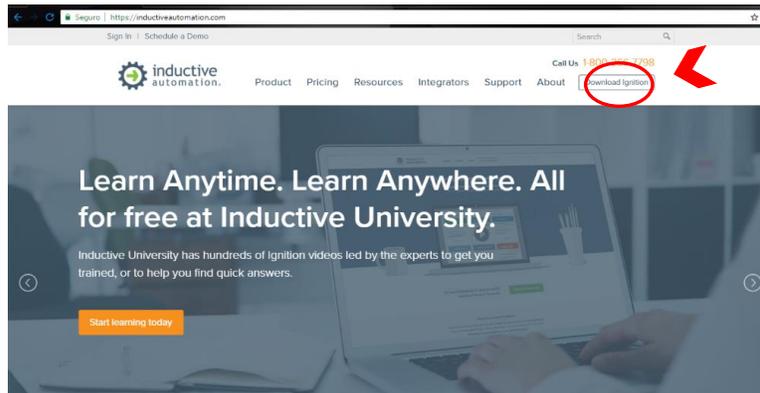


Figura 89. Descarga de Software

Fuente: (Inductive Automation, 2018)

- Seleccionar el instalador, según el sistema operativo que disponga el computador. En este caso, seleccionaremos la opción para la plataforma de Windows x 64

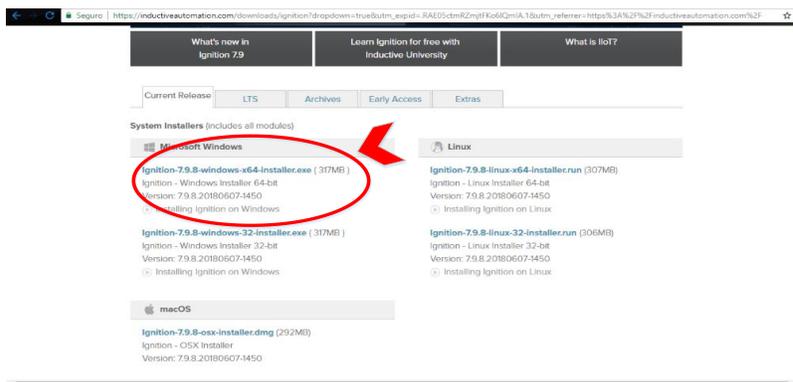


Figura 90. Descarga Software Plataforma Windows

Fuente: (Inductive Automation, 2018)

- Una vez que el instalador se ha descargado el siguiente paso es ejecutarlo.
- Aceptar los términos de la licencia del software.
- Seleccionar el directorio, o ubicación de la instalación.
- Seleccionar el modo de instalación *“Typical”*
- Esperar a que la instalación se complete
- Finalmente como último paso es la finalización del asistente de instalación.

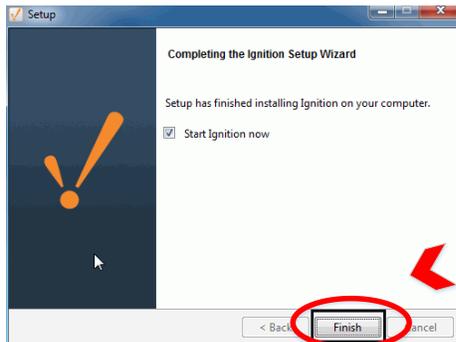


Figura 91. Finalización de la Instalación

Fuente: (Inductive Automation, 2018)

4.2.2.2 Configuración del Gateway Ignition

Como primera instancia para el desarrollo de aplicación se necesita realizar la configuración de la puerta de enlace del software ignition en donde, se establece una comunicación con el controlador y la base de datos.

Para ello se accede al Gateway proporcionando:

- Nombre de usuario: admin
- Contraseña: password

Figura 92. Acceso al Gateway

4.2.2.2.1 Conexión con la Base de Datos

Una vez creada la base de datos, el SGDB proporciona un archivo con extensión .mwb, el mismo que es usado para la comunicación Ignition.

- En el Gateway Acceder a la sección de Configuración > Databases > Connections
- Crear nueva conexión
- Seleccionar “MySQL ConnectorJ”
- Seleccionar siguiente

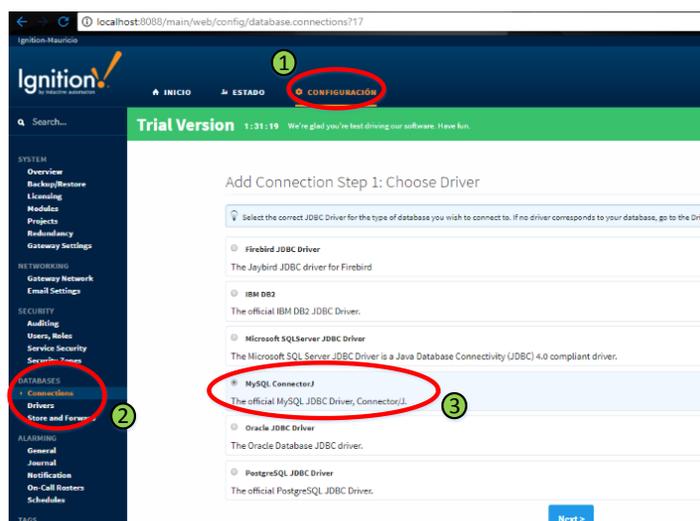


Figura 93. Conexión de Base de Datos

A continuación se ingresan los parámetros requeridos por el Gateway para establecer la conexión. Estos parámetros son:

- Nombre de identificar la conexión: Planta
- Conexión URL: jdbc:mysql://localhost:3306/PlantadeBalanceado
- Username: Integrador
- Password: asecurador
- El resto de parámetros son establecidos por defecto.

Finalmente se establece la conexión, se puede verificar el estado de la misma al momento de la creación.

✓ Successfully created new Database Connection "Planta"					
Name	Description	JDBC Driver	Translator	Status	
Planta	Base de datos de la planta de balanceado	MySQL ConnectorJ	MYSQL	Valid	delete edit

Figura 94. Estado de la Conexión DB

Main Properties	
Name	Planta Choose a name for this database connection.
Description	Base de datos de la planta de balanceado
JDBC Driver	MySQL ConnectorJ The JDBC driver dictates the type of database that this connection can connect to. It cannot be changed once created.
Connect URL	jdbc:mysql://localhost:3306/PlantadeBalanceadoj The Connect URL is JDBC-driver specific. It usually contains the address of the machine that the database is running on. The format of the MySQL connect URL is: jdbc:mysql:// host : port / database With the three parameters (in bold) host : The host name or IP address of the database server. port : The port that the database server is running on. MySQL default port is 3306. database : The name of the logical database that you are connecting to on the MySQL server.
Username	integrador
Password	*****
Password	***** Re-type password for verification.

Figura 95. Parámetros de la Conexión DB

4.2.2.2 Conexión con el Controlador

Para establecer comunicación con el PLC Siemens S7-1500 se debe proceder:

- En el Gateway, acceder a: Configuración > Opc-ua server > Devices
- Crear un nuevo dispositivo
- Seleccionar “Siemens S7-1500”
- Presionar siguiente

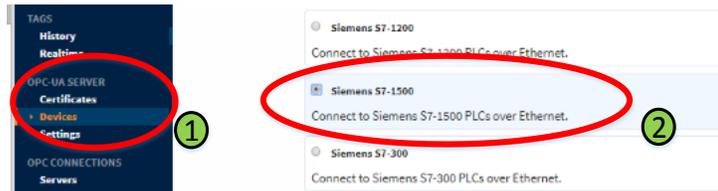


Figura 96. Conexión con PLC

Enseguida se ingresan los parámetros, requeridos para la conexión. Estos son:

- Name: S7-1500 (nombre para identificar la conexión)
- Enable: Verdadero (dispositivo habilitado)
- Host name: 192.168.2.141, (dirección IP del controlador)
- Time out: 2000

New Device

General	
Name	S7-1500
Description	PLC S7 1500
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)

Connectivity	
Hostname	192.168.2.141
Timeout	2000 (default: 2,000)

Show advanced properties

[Create New Device](#)

Figura 97. Parámetros de Conexión del Controlador

Finalmente como último paso se presiona crear y se observa que el estado de conexión sea válida.

Devices

✓ Successfully created new Device "S7-1500"

Name	Type	Description	Enabled	Status	
S7-1500	Siemens S7-1500	PLC S7 1500	true	Connecting	delete edit

Figura 98. Estado de la Conexión del Controlador

4.2.2.3 Creación de la Interfaz HMI

Una vez que se ha establecido comunicación entre la base de datos y el controlador. Se procede al inicio de la creación de la interfaz, con la descarga del diseñador, que se encuentra disponible en el Gateway, en la Figura 99 se ilustra el procedimiento, descrito.

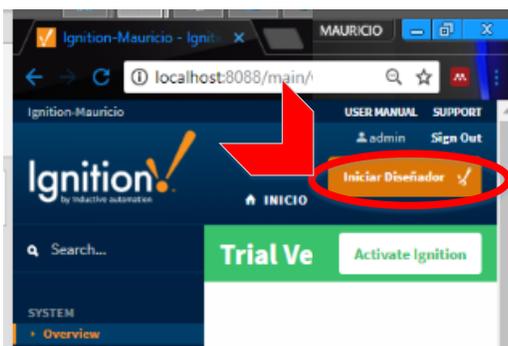


Figura 99. Descarga Diseñador Ignition

A continuación se ejecuta el diseñador, y se agregan los parámetros para la creación de la aplicación, se elige la base de datos con la que se va a trabajar.

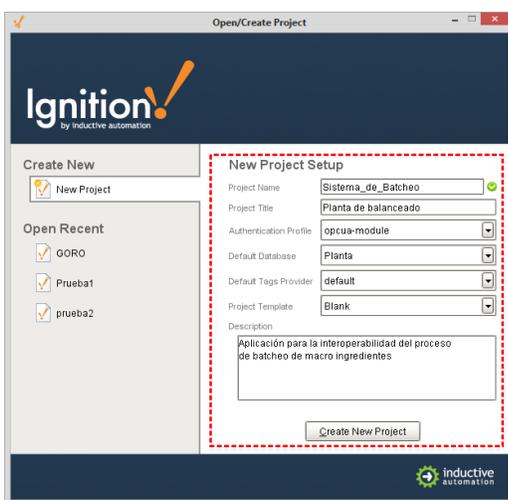


Figura 100. Creación de la Aplicación

4.2.2.3.1 Creación de Tags

Los Tags o etiquetas son direcciones de memoria usados para compartir información, derivándose en la interacción entre el HMI, PLC y DB. Para crear los Tags se procede:

- Dirigirse a la sección de “*Tag Browser*”
- Seleccionar “*OPC*”
- Se despliega un navegador donde se encuentra el dispositivo agregado previamente (controlador S7-1500) con los Tags que se compone. Se arrastra el tag, o la carpeta de Tags que se necesita para el sistema.

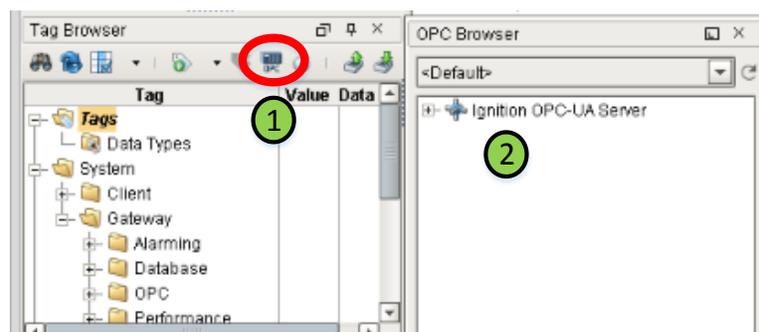
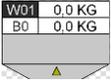
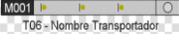


Figura 101. Creación de Tags

4.2.2.3.2 Creación de Templates

Una de las opciones que ofrece el diseñador de Ignition es la creación de Templates o plantillas gráficas, que ayudan a agilizar el trabajo de creación de la interfaz. Esta función es usada debido a la existencia de objetos o imágenes que son iguales en el proceso, como es el caso de la representación de: silos, bins, válvulas, transportadores, elevadores, etc. Para la creación se realiza con ayuda de formas básicas, tales como: rectángulos, círculos, líneas, etc. Se asignan propiedades a cada template que depende de los requerimientos de la aplicación.

Tabla 35
Plantillas de la Aplicación

Grafico	Descripción	Grafico	Descripción
	Contenedor de líquidos		Mezcladora
	Balanza		Molino
	Bomba de succión		Contenedor silo
	Distribuidor		Transportadores y elevadores
	Ventilador		Contenedor bin
	Válvulas, manuales y de 2 vías		Tornillo dosificador

4.2.2.3.3 Creación de Pantallas

La creación de pantallas se lo realiza de la siguiente forma:

- Dar click derecho en “*Windows*” en la sección de Project Browser
- Seleccionar “*Main Window*”, “*Popup Window*” o *Docked Window*”

Los diferentes tipos de pantallas permiten la implementación de la aplicación, su diferencia radica:

- Pantalla Main, dispone de un espacio de trabajo extenso, que es definido por el usuario.
- Pantalla Popup, tiene un espacio limitado en relación a la pantalla main, son usadas como pantallas emergentes.
- Pantalla Docked, son pantallas con la característica de presencia, siempre se encuentran disponibles en todas las pantallas de la aplicación

Dentro de las pantallas que dispone el proceso se usará:

- Pantalla Docked: navegación, barra de estado.
- Pantalla Main: proceso del sistema, Alarmas y configuración.
- Pantalla Popup: comandar los actuadores del proceso.

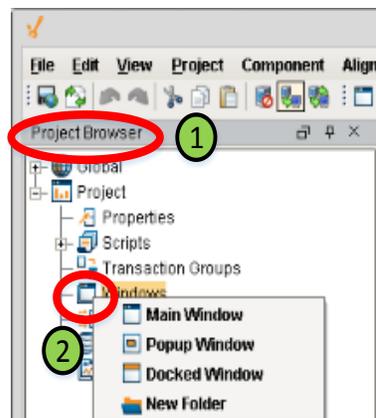


Figura 102. Creación de Pantallas

4.2.2.4 Pantallas de la Aplicación

4.2.2.4.1 Pantalla Menú Principal

A continuación en la Figura 103 se muestra el diseño del menú principal de la aplicación HMI, basado en la distribución de pantallas en la sección de diseño.



Figura 103. Pantalla Menú Principal

La pantalla está compuesta por:

- A: Barra de estado.
- B: Configuración del sistema.
- C: Gestión de Alarmas.
- D: Información de usuario.
- E: Administración de la cuenta.
- F: Navegación.

Barra de Estado: se encuentra presente en todas las pantallas del proceso, es una barra informativa cuyo objetivo es permitir una breve visualización global del sistema. Sus elementos son enumerados a continuación:



Figura 104. Barra de Estado

- A: Indicador, del nombre de la pantalla actual.
- B: Indicador del estado del proceso automático, en donde se detalla información de la receta, orden y el número de batches en ejecución.
- C: Indicador y mando, del modo de trabajo del sistema, automático o manual.
- D: Botón de paro de emergencia del sistema. Este botón no tiene confirmación, es decir al momento que lo aplasten, el paro de emergencia va a ser un hecho.
- E: Fecha y hora, además del usuario que entró al sistema y los roles que tiene el mismo.

Configuración del Sistema: permite la configuración de los parámetros que se observan en la Figura 105. Existe restricción de acceso, solo los usuarios habilitados podrán realizar modificaciones.

- Manejo de usuarios: Permite la creación de nuevos usuarios.
- Parámetros del sistema: permite ingresar los parámetros para configuración del sensor de flujo y los tiempos de mezcla del sistema.
- Configuración siwarex: Permite la calibración del módulo especializado para adquirir la información de la balanza del proceso.



Figura 105. Configuración del Sistema

Gestión de Alarmas: permite acceder a las pantallas de alarmas e históricos de alarmas, en las que se visualiza eventos de fallo generado en el sistema.



Figura 106. Gestión de Alarmas

Información de Usuario: visualización del usuario que ingreso a la aplicación y los privilegios que tiene sobre la misa.

Administración de la cuenta: permite realizar el cambio de usuario o de cierre de sesión de la aplicación.



Figura 107. Manejo de Usuarios

Navegación: permite desplazarse entre todas las pantallas del sistema. Siempre se encuentra presente en la aplicación.

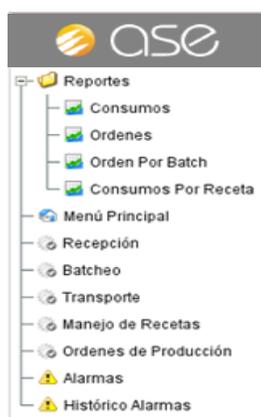


Figura 108. Pantalla de Navegación

A continuación se presenta las pantallas con las que cuenta la aplicación:

- Reportes
- Menú Principal
- Recepción
- Batcheo
- Transporte
- Manejo de Recetas
- Órdenes de Producción
- Alarmas
- Histórico de Alarmas

4.2.2.4.2 Pantallas de Proceso

4.2.2.4.2.1 Recepción

En la pantalla de Recepción, se visualiza el proceso de alimentación de la materia prima desde el transportador de recepción hacia los silos del proceso.

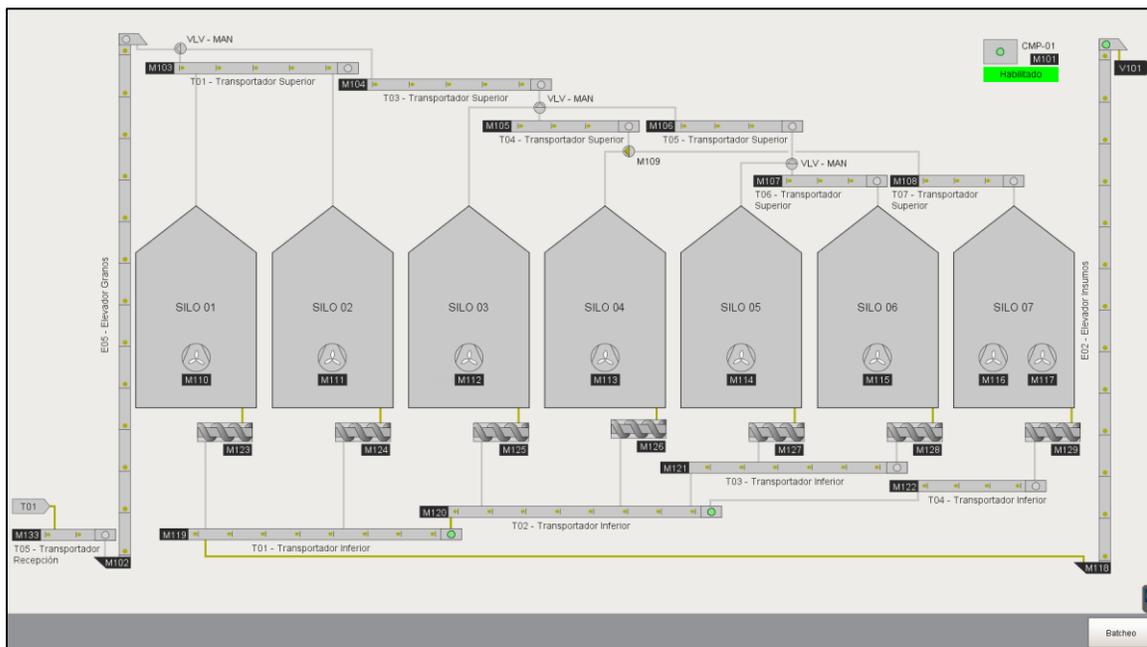


Figura 109. Pantalla Proceso Recepción

Dentro de la ventana se pueden realizar las siguientes acciones:

- Encender y apagar los motores del transportador, ventiladores y elevadores.
- Encender y apagar compresor.
- Seleccionar el silo de destino del producto, comandar las diferentes válvulas.

Esta pantalla funciona de manera manual, donde el operador es el encargado de llevar a cabo las diferentes acciones, a través de un click en el elemento que desea comandar, posteriormente que se de click, se desplegara una ventana correspondiente al motor, válvula, transportador, etc. Y se decidirá la acción que se debe tomar, ya sea encender o apagar, tal como se lo aprecia en la Figura 110.



Figura 110. Pop-up Actuadores

4.2.2.4.2.2 Batcheo

En la Figura 111 se ilustra el proceso de dosificación de macro ingredientes desde los silos hacia los diferentes bins del proceso. Esta pantalla representa la zona del proceso que funciona de manera automática, pero también se lo puede comandar manualmente.

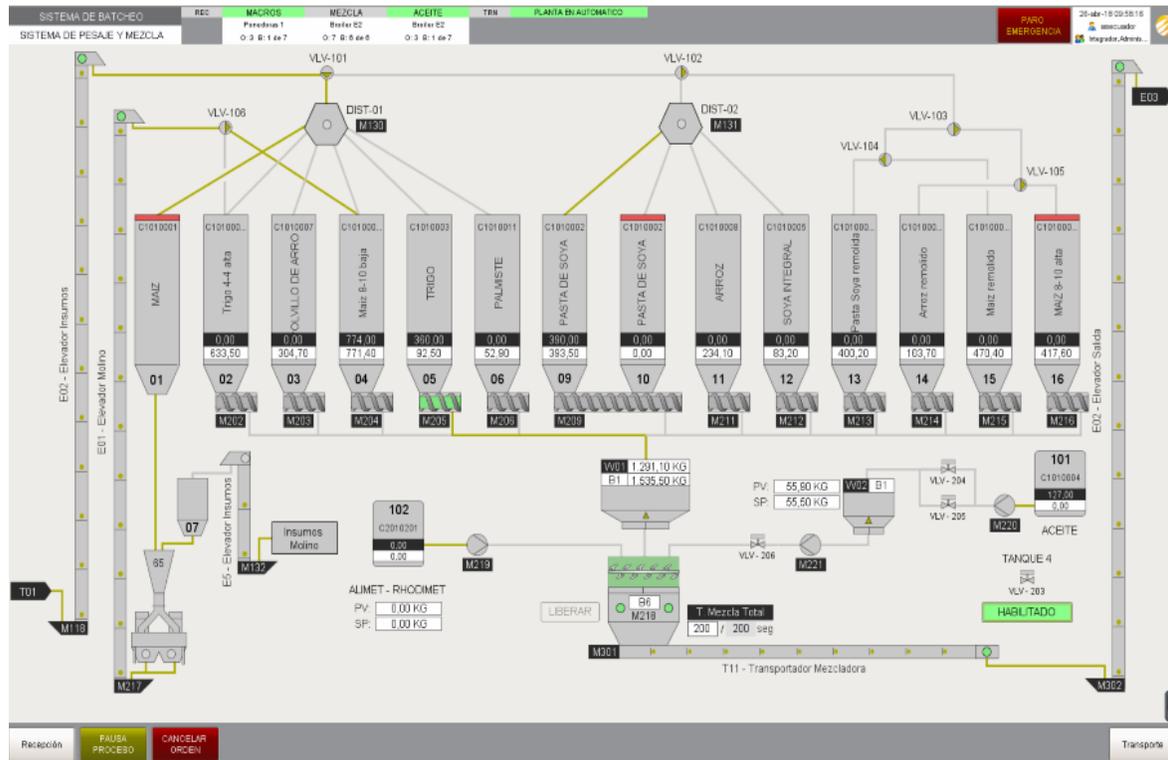


Figura 111. Pantalla Proceso de Batcheo

Modo Manual

Dentro de la ventana se pueden realizar las siguientes acciones mientras el sistema se encuentre en modo manual:

- Encender y apagar los motores de los transportadores, distribuidores, tornillos y elevadores.
- Ubicar el tiempo correspondiente a la mezcladora
- Direcccionar las diferentes válvulas.

Para comandar de forma manual los motores dosificadores o los tornillos de los bins, se desplegará una ventana como se aprecia en la Figura 116 en donde existen diferentes parámetros a ingresar tales como:

- Peso deseado: Es el peso que se requiere para la dosificación

- Peso de cambio: Peso menor al peso de corte. Cuando se esté llegando a ese peso el tornillo dosificador reducirá su velocidad para tener mucha mayor precisión en la dosificación
- Peso de corte: es el peso que debe tener un ingrediente en la receta. Cuando se llegue a ese peso el tornillo dosificador se apagará

Variables que deben ser ingresadas de acuerdo a la necesidad del sistema.

The screenshot shows a control window titled 'M209' for 'Macroingrediente - BIN09'. It features a 'Q' button, an 'ESTADO' label, and a 'KM' button. A grey bar indicates the state is 'APAGADO'. Below this, the 'DETALLES PESO' section contains four input fields: 'PESO DESEADO' (761 Kg), 'PESO CAMBIO' (50 Kg), 'PESO CORTE' (5 Kg), and 'PESO ACTUAL' (9,8 Kg). At the bottom are two buttons: a green 'ENCENDER' button and a red 'APAGAR' button.

Figura 112. Motor Dosificador

Para comandar de forma manual la bomba de aceites, se desplegará una ventana como se aprecia en la Figura 113 en donde se tiene que ingresar el peso deseado.

The screenshot shows a control window titled 'M219' for 'B03 - BOMBA METIONINA'. It features a 'Q' button, an 'ESTADO' label, and a 'KM' button. A grey bar indicates the state is 'APAGADO'. Below this, the 'DETALLES PESO' section contains two input fields: 'PESO DESEADO' (6 Kg) and 'PESO ACTUAL' (0 Kg). At the bottom are two buttons: a green 'ENCENDER' button and a red 'APAGAR' button.

Figura 113. Bomba de Metionina

Para el control de los distribuidores se desplegará una pantalla similar a la de la Figura 114. En donde se debe seleccionar el Bin de destino y se arrancará el motor.



Figura 114. Bomba de Metionina

Modo Automático

Las siguientes acciones se podrán realizar mientras el sistema se encuentre en modo automático:

- Abrir y cerrar compuerta de la mezcladora
- Encender y apagar los motores de los elevadores de insumos y molino.
- Direccionar posición de los distribuidores y válvula 203 o de aceites.
- Manipular tiempo de la mescladora

En este modo, tanto el proceso de dosificación, pesaje de macros, pesaje de aceites funciona de manera automática, una vez que se arranque una orden en la pantalla de órdenes de producción.

4.2.2.4.2.3 Transporte

En la Figura 115 se visualiza la etapa final del proceso, desde la dosificación hacia los diferentes bins de distribución, sacos y granel.

Esta pantalla funciona de manera manual, donde el operador es el encargado de llevar acabo las diferentes acciones, mediante un click en el elemento que desea comandar, posteriormente que se de click, se desplegara una ventana correspondiente a la válvula, transportador, etc.

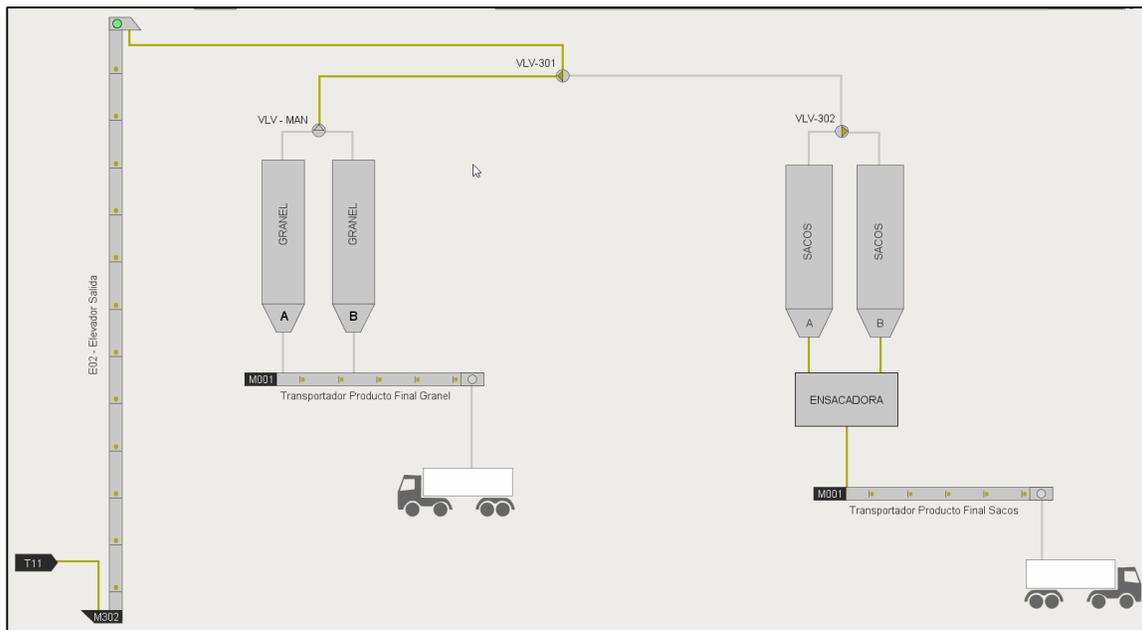


Figura 115. Pantalla Proceso Transporte

4.2.2.4.2.4 Detalles de Visualización

Dentro de las pantallas podemos apreciar la siguiente información ubicada en sus elementos

BINES

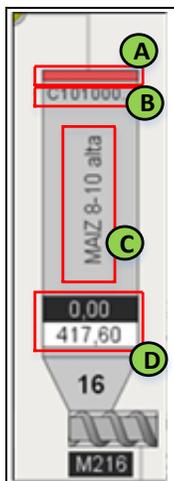


Figura 116. Información en Bines

Cada una representa:

- A: Indicador de nivel alto
- B: Código del ingrediente
- C: Nombre del ingrediente
- D: Peso Especificado para la receta

Mezcladora

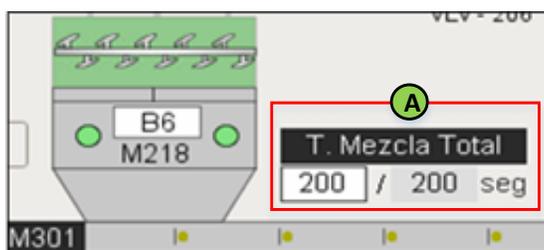


Figura 117. Información en Mezcladora

Representa:

- A: Tiempo de mezcla en segundos

Balanza

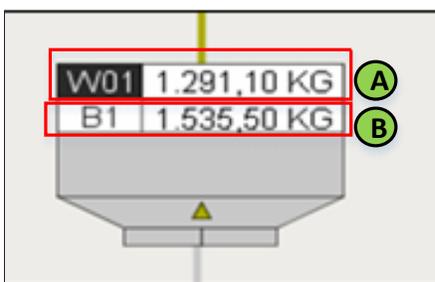


Figura 118. Información en Balanza

Cada una representa:

- A: Peso por Ingrediente
- B: Peso por Receta

Aceite

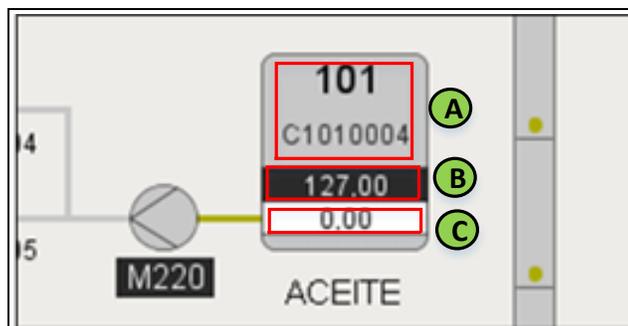


Figura 119. Información en Aceites

Cada una representa:

- A: Código correspondiente al aceite
- B: Cantidad de aceite requerido
- C: Cantidad de aceite que descarga

Distribuidor

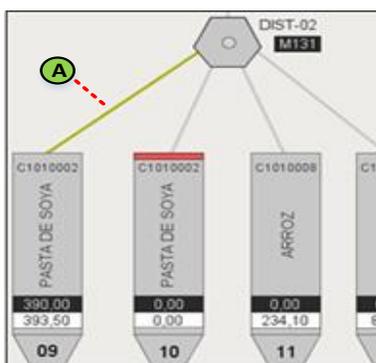


Figura 120. Información en Distribuidor

Representa:

- A: Se encuentra direccionado hacia el bin 9, “las líneas que toman un color verdoso indican el recorrido del producto”

4.2.2.4.3 Pantallas de Comando y Configuración

4.2.2.4.3.1 Manejo de Recetas

Esta pantalla presenta herramientas para realizar una gestión de recetas e ingredientes. En la Figura 121 se expone la interfaz del manejo de recetas, misma que se encuentra compuestas por:

- A: Barra de Información, proporciona datos de la receta al ser consultada, tales como Nombre, Código y Peso
- B: Tabla de Macro Ingredientes, proporciona datos de los ingredientes que conforman la receta, y se encuentran en el sistema.
- C: Tabla de sala de Premezcla o Micro Ingredientes, proporciona datos de los ingredientes que conforman la receta, pero que no se encuentran en el proceso automatizado.
- D: Menú de Recetas, permite una gestión de las recetas en donde se puede: consultar, editar, crear y agregar o quitar un ingrediente a la receta.
- E: Menú de Ingredientes, permite una gestión de Ingredientes en donde se puede: consultar, editar y crear un ingrediente.

The screenshot displays a software interface for recipe management. It is divided into several sections:

- Top Section (A):** Recipe information including 'NOMBRE RECETA: Broiler EO Preinicio', 'CODIGO RECETA: A1010005-002', 'PESO RECETA: 1.800,00 KG', and 'Peso Macros: 1.577,00 KG'.
- Macro Ingredients Table (B):** A table with columns: Nombre, Peso Receta (kg), Peso Cambio (kg), Peso Corte (kg), Tolerancia (%), No. Bin, and PM. It lists ingredients like Maiz 8-10 baja, TRIGO, PASTA DE SOYA, ARROZ, and ACEITE.
- Sala Premezcla Table (C):** A table with columns: Código, Nombre, Peso Receta (kg), Peso Cambio (kg), Peso Corte (kg), Tolerancia (%), No. Bin, and PM. It lists various additives and vitamins like BICLYS, BUTIRATO, CALZA, CLORURO DE COLINA, FOSFATO DICALCICO, GLUTEN 75, HEMIPROCT, METFORMINA POLVVO, MYCOFIT PLUS, RUNENG, SAL, SALMEX, THREONINA, VITAMINA E, and VITAMINA PARRILLERO.
- Right Panel (D):** A menu for 'RECETAS' with buttons: CONSULTAR, CREAR, HISTÓRICO, EDITAR, LEER BINES, AGREGAR INGREDIENTE, QUITAR INGREDIENTE, GUARDAR, CANCELAR, and ELIMINAR.
- Bottom Right Panel (E):** A menu for 'INGREDIENTES' with fields for NOMBRE (Sin Seleccion), CODIGO, PESO CAMBIO [KG] (0,00), PESO CORTE [KG] (0,00), TOLERANCIA [%] (0,00), and buttons: CONSULTAR, CREAR, EDITAR, GUARDAR, and CANCELAR.

Figura 121. Manejo de Recetas

Consulta Recetas: Para proceder a realizar una consulta de las recetas, se lo realiza a través de la pantalla que se expone en la Figura 122. Esta consulta puede realizarse por medio del código que posee la receta o el nombre.

Código	Nombre
A1010005-002	Broiler E0 Preinicio
A1010005-003	Broiler E0 Preinicio PRUEBA
A1010001-001	Broiler E1
A1010002-001	Broiler E2
A1010002-002	Broiler E2 + yucca
A1010003-002	Broiler E3
A1010003-003	Broiler E3 + yucca
A1010004-001	Broiler E4
A1010004-002	Broiler E4 + yucca
A1060007-001	Cerdos Acabado
A1060007-002	Cerdos Acabado medicado
A1060008-001	Cerdos CH1

Figura 122. Consulta de Recetas

Creación de Recetas: Para la creación de recetas se accede a través del menú de recetas, a continuación se ingresan los parámetros de creación, existe una tabla de visualización para seleccionar los ingredientes que se necesita.

Código	Nombre
C1010004	ACEITE
C1010014	ACEITE COMESTIBLE
C2010401	ACEITES ESENCIALES
C2010601	ACIDIFICANTE POLVO
C1010010	AFRECHILLO
C2010201	ALIMET - RHODIMET
C2010101	ALUMINOSILICATO

Código	Nombre	No Bin	Peso	PM
C1010014	ACEITE COMESTIBLE	0	25	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 123. Creación de Recetas

Creación de Ingredientes: Para la creación de ingredientes se establece a través del menú de ingredientes, posteriormente el sistema despegara la pantalla que se aprecia en la Figura 124.

CREACION DE INGREDIENTE	
CODIGO:	<input type="text"/>
NOMBRE:	<input type="text"/>
TIPO:	Sin Seleccion <input type="button" value="v"/>
PESO CORTE [KG]:	0.00
PESO CAMBIO [KG]:	0.00
TOLERANCIA [%]:	0.00
<input type="button" value="AGREGAR"/> <input type="button" value="CANCELAR"/>	

Figura 124. Creación Ingredientes

4.2.2.4.3.2 Órdenes de Producción

La creación de órdenes dentro de la aplicación se establece a través de la interfaz que se expone en la Figura 125, la misma que es basada en la sección de diseño.

Orden Producción	Sub-Orden Producción	Código Receta	Receta	Batches Totales	Batches Ejec.	Granja	Fecha Creación	Fecha Modificación	Fecha Inicio	Estado	Usuario
3	012	A1020003-001	Ponedoras 1	14	7	MERAFEC	2018-04-23		2018-04-26	Produccion	obuenano
5	010	A1020003-001	Ponedoras 2	7	0	MERAFEC	2018-04-23	2018-04-23	2018-04-26	Eliminada	obuenano
7	012	A1010002-001	Broiler E2	13	7	SALINAS	2018-04-23		2018-04-26	Produccion	obuenano
8	010	A1010003-002	Broiler E3	31	0	CVO	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	Eliminada	obuenano
12	010	A1050007-001	Cerdos Acabado	7	0	CABUYAL	2018-04-23	2018-04-25	2018-04-26	Eliminada	obuenano
13	007	A1050007-002	Cerdos Acabado medicado	7	0	CABUYAL	2018-04-23	2018-04-25	2018-04-26	Eliminada	obuenano

ORDENES DE PRODUCCION		DETALLE ORDEN DE PRODUCCION SELECCIONADA			
<input type="button" value="CREAR"/>	<input type="button" value="EDITAR"/>	Orden Producción:	<input type="text"/>	Peso Receta:	0 KG
<input type="button" value="HISTORIAL"/>	<input type="button" value="ELIMINAR"/>	Sub-Orden Producción:	<input type="text"/>	Batches totales:	0
<input type="button" value="RESUMEN ORDENES"/>	<input type="button" value="GUARDAR"/>	Detalle Receta:	<input type="text"/>	Batches ejecutados:	<input type="text"/>
<input type="button" value="IMPRIMIR ORDEN"/>	<input type="button" value="CANCELAR"/>	Granja:	<input type="text"/>	Batches Faltantes:	<input type="text"/>
				Batches a ejecutar:	0

<input type="button" value="ARRANCAR ORDEN DE PRODUCCION"/>

Figura 125. Órdenes de Producción

La pantalla se encuentra compuesta por:

- A: Tabla de Órdenes, proporciona datos de las órdenes que se deben llevar a cabo durante el día.
- B: Menú de Órdenes de Producción, permite una gestión de las órdenes en donde se puede: crear, editar, imprimir, guardar, eliminar.
- C: Detalle de Producción Seleccionada, permite Observar datos relevantes en cuanto a la orden que se va a poner en marcha.
- D: Arrancar Orden, inicia el proceso automático de dosificación.

Crear Orden: Para proceder a crear una orden de Producción, se desplegará la pantalla de la Figura 126, en donde se ingresan los parámetros necesarios para crear la orden.

CREACION DE ORDENES DE PRODUCCION	
ORDEN PRODUCCION:	
SUB - ORDEN PRODUCCION:	
RECETA:	A1010001-001 Broiler E1
PESO:	1800,00 KG BATCHES TOTALES: 0
GRANJAS:	SALINAS
FECHA PRODUCCION:	2018-04-26
CREAR CANCELAR	

Figura 126. Creación Órdenes de Producción

Historial Órdenes: brinda información del contenido de todas las órdenes de producción existentes en el sistema. Para consultar, podremos realizarlo mediante la fecha o estado en el que se encuentre la orden de producción.

Orden Producción	Código Receta	Receta	Batches Totales	Batches Ejes	Granja	Fecha Creación	Fecha Producción	Fecha Inicio	Fecha Fin	Estado	Usuario
1	A1060003-001	Pollinas 3	7	7	CAMPO ALEGRE	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	2018-04-26	Terminada	obuenano
2	A1030004-001	Rep F1	7	7	CONDOR	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	2018-04-26	Terminada	obuenano
3	A1020002-001	Ponedoras 1	14	7	MERAPEC	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	2018-04-26	Produccion	obuenano
4	A1020002-003	Pon 1 PRUEBA	7	0	MERAPEC	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26		Creada	obuenano
5	A1020003-001	Ponedoras 2	7	0	MERAPEC	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26		Creada	obuenano
5	A1020003-001	Ponedoras 2	7	0	MERAPEC	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26		Eliminada	obuenano
6	A1010001-001	Broiler E1	13	13	SALINAS	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	2018-04-26	Terminada	obuenano
7	A1010002-001	Broiler E2	13	7	SALINAS	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	2018-04-26	Produccion	obuenano
8	A1010003-002	Broiler E3	31	0	CVO	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26		Eliminada	obuenano
8	A1010003-002	Broiler E3	24	0	CVO	2018-04-26	2018-04-26			Creada	obuenano
9	A1010004-001	Broiler E4	37	0	CABUYAL	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26		Creada	obuenano
10	A1060006-001	Cerdos Engorde	7	7	CABUYAL	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	2018-04-26	Terminada	obuenano
11	A1060006-002	Cerdos Engorde medicado	7	7	CABUYAL	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26	2018-04-26	Terminada	obuenano
12	A1060007-001	Cerdos Acabado	7	0	CABUYAL	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26		Eliminada	obuenano
12	A1060007-001	Cerdos Acabado	14	0	CABUYAL	2018-04-25	2018-04-26			Creada	obuenano
13	A1060007-002	Cerdos Acabado medicado	7	0	CABUYAL	2018-04-23	2018-04-26	2018-04-26		Eliminada	obuenano

Figura 127. Historial Órdenes de Producción

Arranque órdenes de Producción: Esta ventana aparecerá una vez que se selecciona la orden de producción a procesar. Previo el arranque se indica un resumen general de lo que se va a producir.

ARRANCAR ORDEN DE PRODUCCION			
Orden Producción:	9	Sub-Orden:	9-024
Detalle Receta:	A1060004-002	Cerdos Inicio medicado	
Granja:	CABUYAL	Peso Receta:	1.800 KG
Batches totales:	7	Batches faltantes:	7
Batches ejecutados:	0	Batches a ejecutar:	7
CANCELAR		ARRANCAR	

Figura 128. Arrancar Órdenes

4.2.2.4.4 Pantalla de Alarmas

Su implementación se basa en la configuración de los Tags o etiquetas que residen en el sistema, a través de la opción de alarmas en las etiquetas creadas específicamente para informar de dicha acción. Se procede como se indica en la Figura 129:

- A: Crear el tag, o importar el tag que en el controlador informará de un fallo.
- B: Dar doble click en la etiqueta para editar y dirigirse a “ALARMING”
- C: Crear un nuevo elemento para agregar la alarma.
- D: Configurar las características y parámetros de la alarma asignada a la etiqueta.

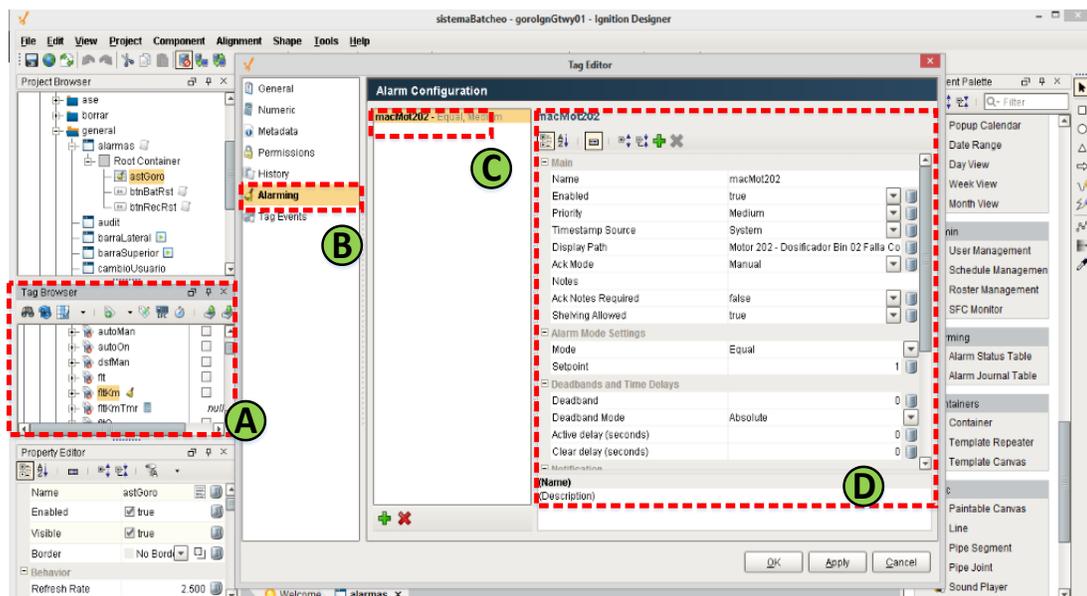


Figura 129. Configuración de Alarmas

Dentro de la aplicación, las alarmas son presentadas a través de las pantallas que se aprecian en las Figuras 130 y 131, que informa de la fecha y la prioridad de la alarma generada, en tiempo real y a manera de historial. Esto se logra a través de la herramienta alarmas propias de Ignition, que proporciona una tabla donde se visualiza las alarmas configuradas previamente en cada tag.

Active Time	Display Path	Current State	Priority
<input type="checkbox"/> 26/04/18 9:20	Recepción - Nivel Alto Bin 16	Active, Unacknowledged	Diagnostic
<input type="checkbox"/> 26/04/18 8:47	Recepción - Nivel Alto Bin 10	Active, Unacknowledged	Diagnostic
<input type="checkbox"/> 20/04/18 14:09	Motor 101 - Compresor Falla Contactor	Active, Unacknowledged	Medium
<input type="checkbox"/> 20/04/18 14:09	Motor 102 - Elevador de Granos E04 Falla Contactor	Active, Acknowledged	Medium

Figura 130. Pantalla de Alarmas

Event Time	Display Path	Event State	Priority	Ack'd By	Event Value	Current State
26/04/18 5:48	Valvula 302 - GranelSacos Falla Apertura	Clear	Medium		0	Cleared, Unacknowledged
26/04/18 5:32	Valvula 302 - GranelSacos Falla Apertura	Active	Medium		1	Active, Unacknowledged
26/04/18 5:32	Valvula 302 - GranelSacos Falla Apertura	Ack	Medium	Live Event Limit		Cleared, Acknowledged
26/04/18 5:32	Valvula 302 - GranelSacos Falla Apertura	Clear	Medium		0	Cleared, Unacknowledged
26/04/18 5:32	Paro Emergencia General	Clear	High		0	Cleared, Unacknowledged
26/04/18 5:32	Paro Emergencia General	Active	High		1	Active, Unacknowledged
26/04/18 5:32	Paro Emergencia General	Ack	High	Live Event Limit		Cleared, Acknowledged

Figura 131. Pantalla Histórico Alarmas

Se establece un reconocimiento de la alarma, mediante un reset de la aplicación.

Los eventos anormales que se generan en el proceso son descritos como alarmas, los mismos que informan al operador del sistema a incurrir su atención, hacia dicha eventualidad, para establecerlo a sus valores o condiciones normales. El detalle de las alarmas se expone en la etapa de diseño.

4.2.2.4.5 Pantalla de Gestión

4.2.2.4.5.1 Reportes

La generación de reportes se basa en exponer la información almacenada previamente en la base de datos. Ignition a través de su módulo de reportes y su enlace con la base de datos, permite disponer de estos. Para ello se procede dirigiéndose la paleta de herramientas y seleccionar las opciones de reporte. En Figura 132 se ilustra el proceso mencionado. Posteriormente se crea un formato de presentación y se gestiona los datos a presentar, a través de consultas.

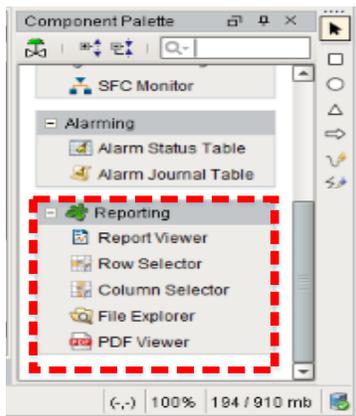


Figura 132. Herramienta Reportes

Reportes de Órdenes

Dispone de la información correspondiente a las órdenes de producción ingresadas al sistema, en donde se puede realizar consultas en un rango de fecha definido. Presenta el número de orden, código de la receta, nombre de la receta, inicio- fin de batch, promedio de tiempo por batch, el número de batch realizados y finalmente la cantidad en Kg de la receta.

La creación del formato se la realiza a través de una tabla donde se ingresan los parámetros mencionados anteriormente.

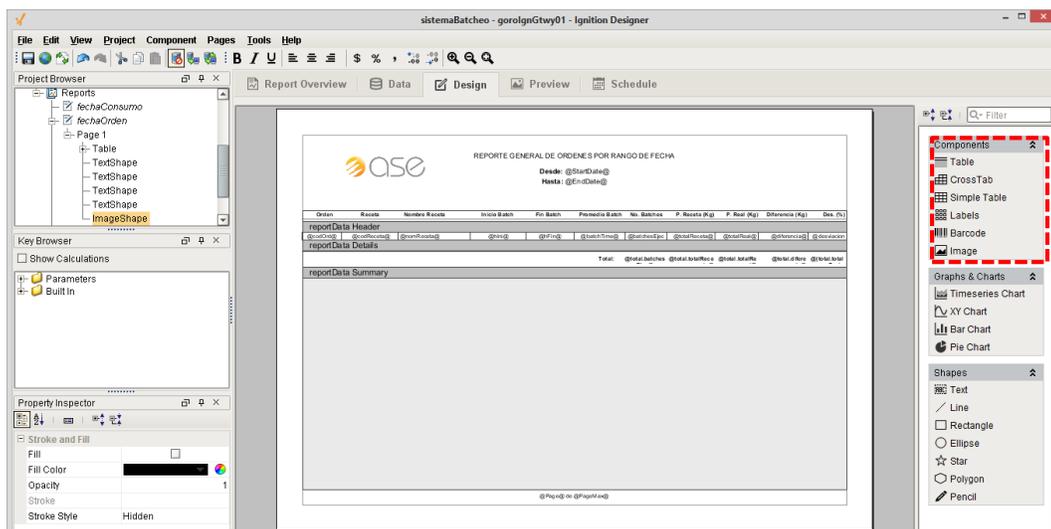


Figura 133. Creación de Reporte Órdenes

Finalmente, el producto final del reporte de órdenes de producción, se ilustra en la Figura 134.

 REPORTE GENERAL DE ORDENES POR RANGO DE FECHA Desde: 2018-04-26 00:00:00 Hasta: 2018-04-26 23:59:59											
Orden	Receta	Nombre Receta	Inicio Batch	Fin Batch	Promedio Batch	No. Batches	P. Receta (Kg)	P. Real (Kg)	Diferencia (Kg)	Des. (%)	
1	A1050003-001	Nombre de Recetas	2018-04-26 06:31	2018-04-26 06:59	00:04:04	7	12600	12961,70	361,7	2,87	
2	A1030004-001		2018-04-26 06:56	2018-04-26 07:24	00:04:01	7	12600	12667,00	67	0,53	
3	A1020002-001		2018-04-26 07:20	2018-04-26 07:48	00:04:02	7	12600	12754,90	154,9	1,23	
3	A1020002-001		2018-04-26 09:55	2018-04-26 10:00	00:02:49	3	8418	8115,90	-302,1	-3,59	
6	A1010001-001		2018-04-26 08:09	2018-04-26 08:59	00:03:50	13	23520	23268,90	-251,1	-1,07	
7	A1010002-001		2018-04-26 07:45	2018-04-26 08:13	00:04:00	7	12600	12644,60	44,6	0,35	
7	A1010002-001		2018-04-26 09:22	2018-04-26 09:49	00:04:33	6	10800	10538,00	-262	-2,43	
10	A1060006-001		2018-04-26 08:56	2018-04-26 09:26	00:04:18	7	12600	12389,20	-210,8	-1,67	
11	A1060006-002		2018-04-26 06:04	2018-04-26 06:34	00:04:17	7	12600	12619,10	19,1	0,15	
Total:						64	118338,00	117959,30	-378,70	-0,32	

Figura 134. Reporte de Órdenes

Reportes de Consumos

Expone información del consumo en Kg por ingrediente en un rango de fecha definido. Esta clase de reporte se lo crea a través de un gráfico que identifica cada ingrediente por medio de un código de colores y la consulta en la base de datos, es presentada en una tabla.

Los parámetros que se presenta en el reporte son:

- Código del ingrediente.
- Nombre del ingrediente.
- Peso de la receta y su peso real.
- Diferencia entre el peso de la receta y peso real.

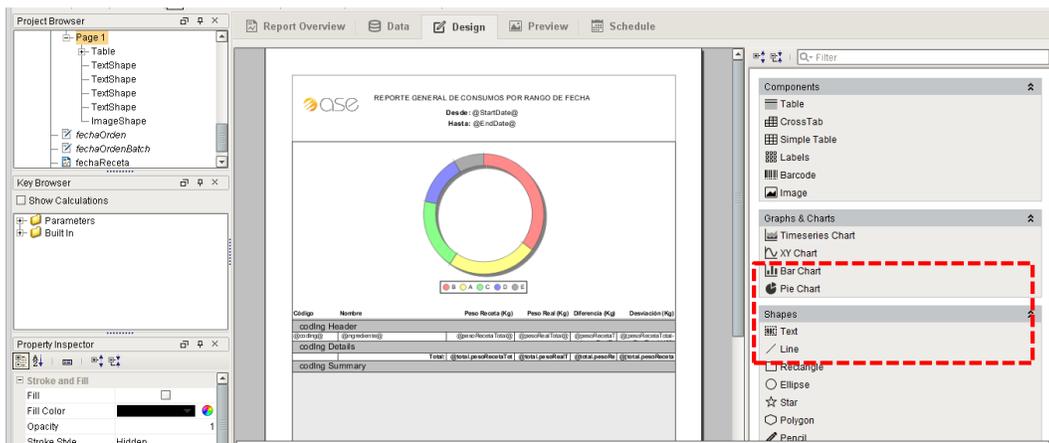


Figura 135. Creación de Reporte Consumos

El producto final que se obtiene del reporte de consumos se ilustra en la Figura 136.

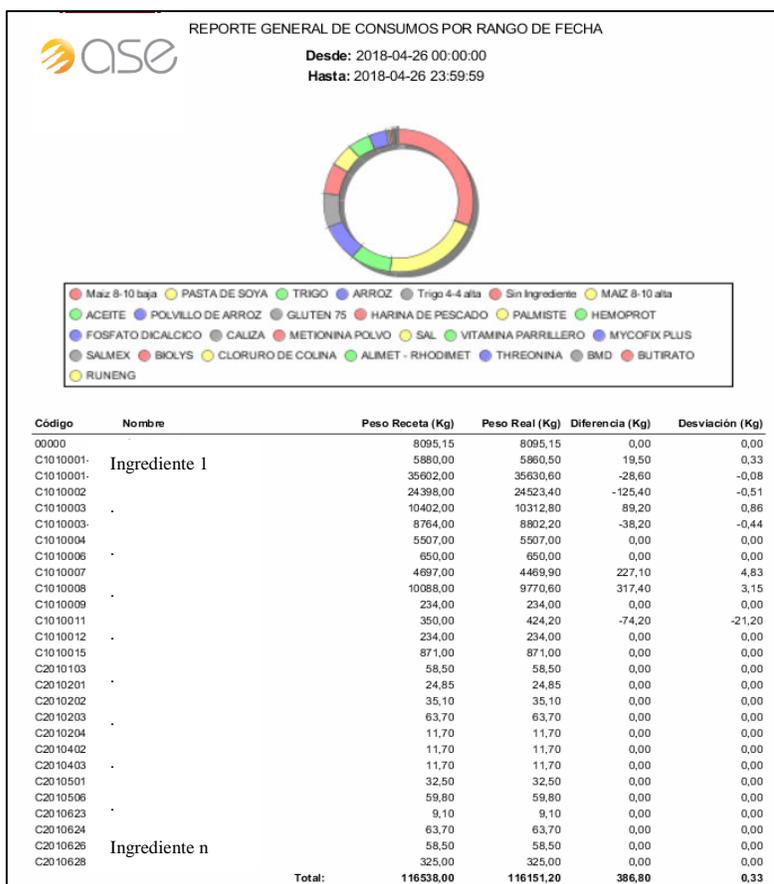


Figura 136. Reporte Consumos

Scriptings

Para obtener los datos a presentar se establece consultas directas a la base de datos a través de ignition a continuación se presenta las estructuras usadas.

- Consulta de atributos ubicadas en una tabla.

```
SELECT "Atributos a consultar" AS "Clausula de identificación" FROM "Tabla a consultar"
```

- Consulta de atributos en orden descendente.

```
SELECT "Atributos a consultar" ORDER BY "parámetros a ordenar" DESC
```

- Consulta de atributos cuando se cumple una condición.

```
SELECT "Atributos a consultar" FROM "Tabla a consultar" WHERE "condición"
```

- Operaciones dentro de las consultas.

```
SELECT SUM("consulta A") - SUM("consulta B")- FROM "Tablas a consultar"
```

- Consulta del número máximo de una tabla

```
SELECT MAX("Atributos a consultar") FROM "Tabla a consultar"
```

4.2.3 Implementación de la Lógica de Control

Esta sección presenta el procedimiento global para concebir el programa de control de acuerdo a la lógica descrita en la sección 3.9.4 del Capítulo III.

El PLC tiene como objetivo controlar el sistema además será el encargado de filtrar la información obtenida del proceso hacia el HMI (Interfaz Humano Máquina). Dentro del procedimiento se establece una comunicación Profinet con el variador de frecuencia y la configuración del módulo destinado al sistema de pesaje o balanza.

4.2.3.1 STEP 7 TIA Portal

Para la programación del sistema se usa el software de Siemens, STEP 7 TIA Portal. El software permite la configuración de la familia de controladores, S7-1500 y Simatic Panels. Se encuentra compuesto por un paquete de cinco instaladores, para ello se debe seguir la siguiente secuencia de instalación:

- SIMATIC STEP7 Professional
- SIMATIC STEP7 PLCSIM
- SIMATIC WinCC comfort_Advanced
- SIMATIC WinCC Professional
- SIMATIC Start Driver

Cada instalador cuenta con un gestor o administrador, que informa del procedimiento de instalación a seguir. Finalizado el proceso, como último paso se procede a la validación de la licencia. En la Figura 137 se ilustra las prestaciones que tiene el software.

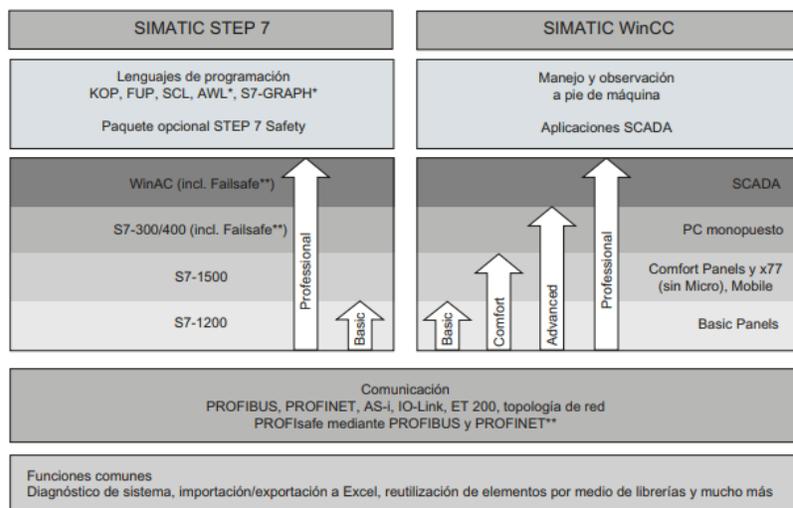


Figura 137. Prestaciones de TIA Portal

Fuente: (Siemens, 2009)

4.2.3.2 Creación del Proyecto

La creación del proyecto inicia con la ejecución el software TIA Portal > crear nuevo proyecto > ingresar los parámetros del proyecto > crear

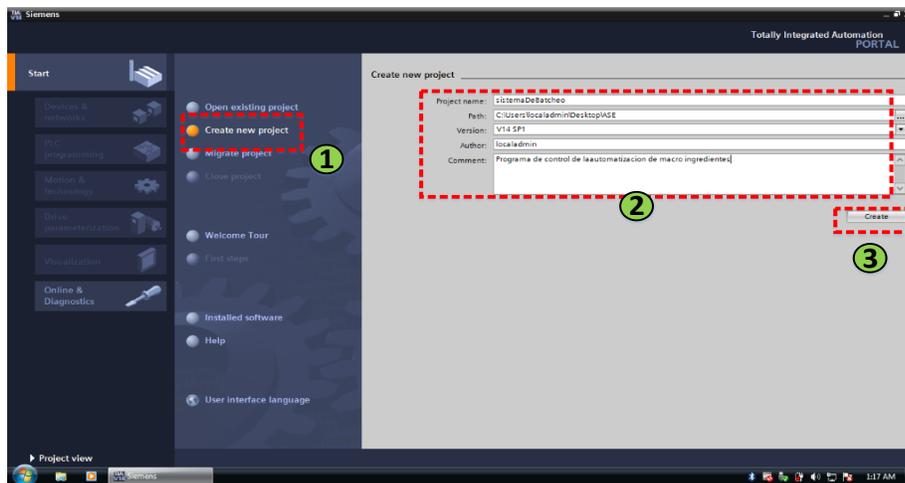


Figura 138. Crear proyecto TIA Portal

Luego se añade el controlador, configuración de dispositivo > añadir nuevo dispositivo > elegir el modelo de Cpu con el que se va a trabajar > añadir. En este caso se escoge el modelo “6ES7513-1AL01-0AB0”

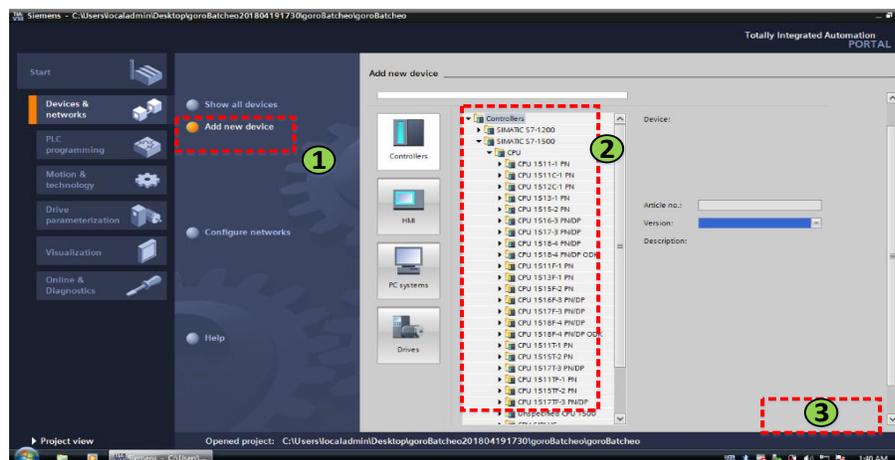


Figura 139. Añadir Controlador TIA Portal

Completado el paso previo, el software presenta una interfaz donde se añaden los módulos con los que se va a trabajar y se ubica de acuerdo a la implementación de hardware descrita en la sección 4.1.1 del presente capítulo. Cada módulo se escoge de acuerdo al número de serie que posee.

- Módulo Siwarex: 7MH4980-2AA01
- Módulo de entradas digitales: 6ES7521-1BL00-0AB0
- Módulo de salidas digitales: 6ES7522-1BL01-OAB0

En la Figura 140 se presenta la ubicación de los módulos en el software que concuerda con la implementación física del PLC presentada en la Figura 76.

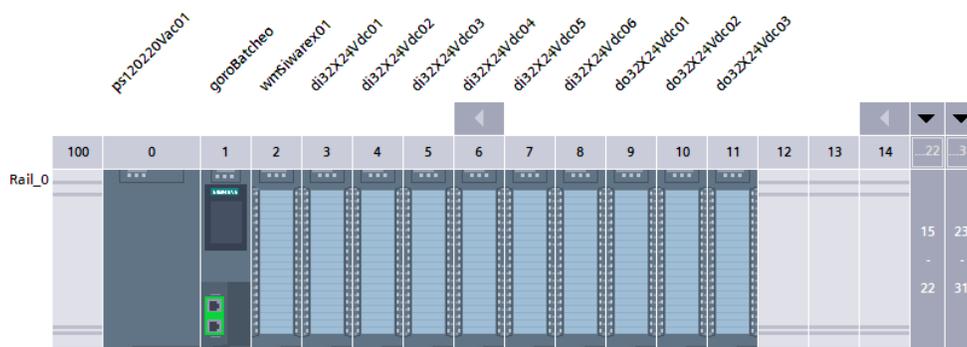


Figura 140. Módulos del PLC en TIA Portal

4.2.3.3 Comunicaciones

4.2.3.3.1 Asignación IP

A continuación se procede a configurar la dirección IP del PLC, para establecer una comunicación con el resto de dispositivos. Se arranca mediante un doble click en la interfaz Ethernet del Cpu > seleccionar dirección Ethernet > introducir la dirección IP asignada al PLC y la submascara de red.

En la Figura 141 se aprecia el procedimiento para la asignación de la dirección IP.

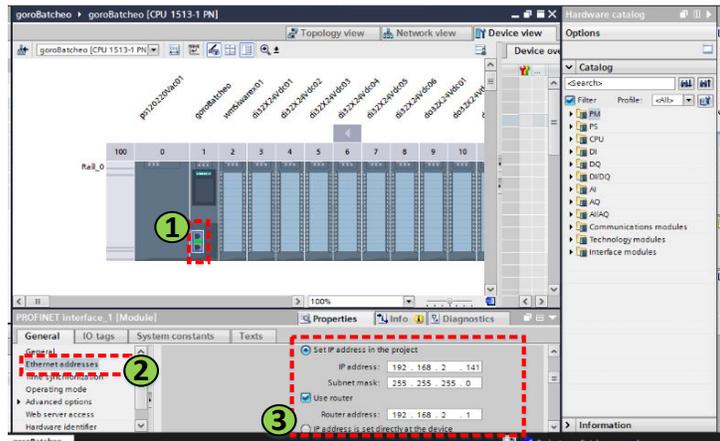


Figura 141. Configuración IP PLC

4.2.3.3.2 OPC UA

La configuración del protocolo de comunicación OPC UA se fija para proporcionar un enlace con la aplicación HMI. Para empezar se da doble click sobre el Cpu > seleccionar en general OPC UA > introducir las consignas de configuración. Entre ellas: Nombre del enlace, Habilitar la comunicación OPC UA, Dirección para el acceso al servidor. En la Figura 142 se ilustra el procedimiento.

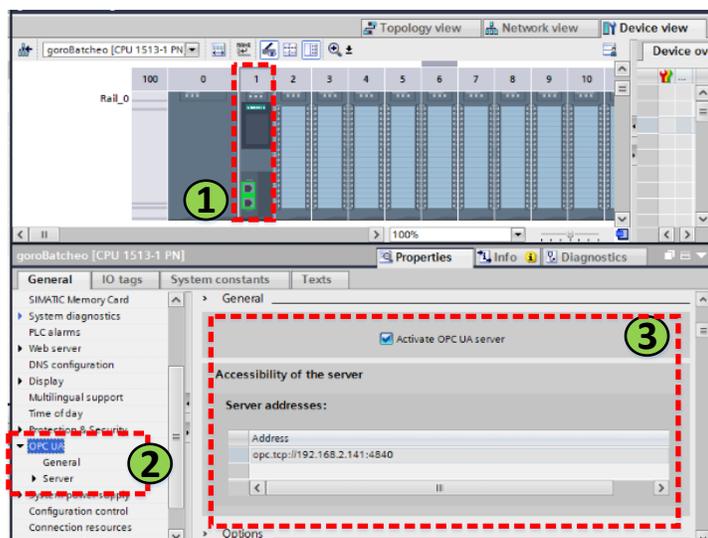


Figura 142. Configuración Enlace OPC UA

4.2.3.3 Variador de Frecuencia

Por otro lado el sistema dispone de un variador de frecuencia que establece un enlace con el PLC mediante el protocolo Profinet, para ello en primer lugar se procede a agregar dicho dispositivo al proyecto:

- De acuerdo al catálogo se busca el dispositivo en el software
- Añadir al espacio de trabajo el dispositivo.

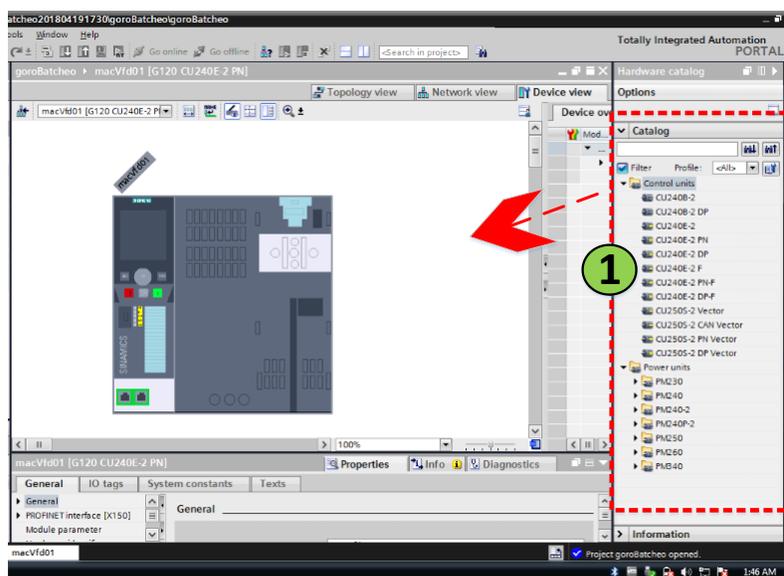


Figura 143. Agregar Variador de Frecuencia

Luego se configura el dispositivo, se le agrega una dirección IP, se procede; dar doble click al dispositivo > en general seleccionar dirección IP > insertar la dirección IP con la que el variador de frecuencia dispone.

En la Figura 144 se ilustra el procedimiento descrito anteriormente.

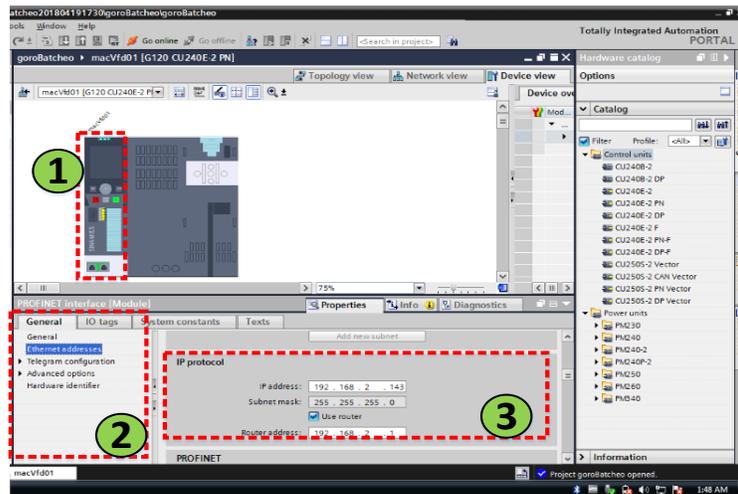


Figura 144. Configuración IP Variador de Frecuencia

Finalmente para establecer la comunicación Profinet; seleccionar Network view > damos click en la interfaz Profinet del PLC y lo arrastramos a la interfaz del variador > en la conexión establecida dar click > en la zona de propiedades seleccionar Profinet subnet > insertamos los campos de la comunicación.

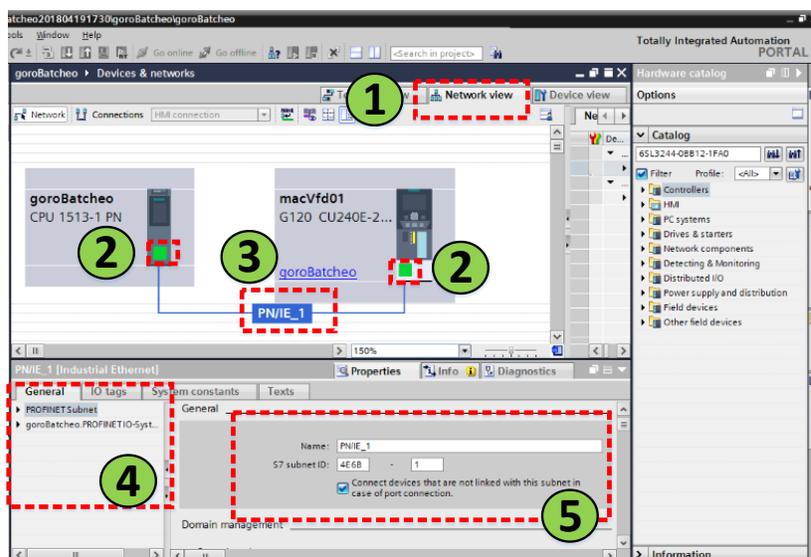


Figura 145. Comunicación Profinet

4.2.3.4 Creación de Tags

Para su creación se procede; dirigirse a la sección PLC tags > add new tag table. En la tabla que se despliega, se ingresa el nombre como se va a identificar al tag, el tipo de dato y finalmente se direcciona el tag. Las direcciones que se dispone son de tipo memoria (%M) y de tipo físico que son los que se encuentran asociados directamente con una salida (%Q) o entrada (%I) de un módulo del PLC. La asignación de cada entrada y salida del proceso, se encuentra en el listado de señales del Anexo B.

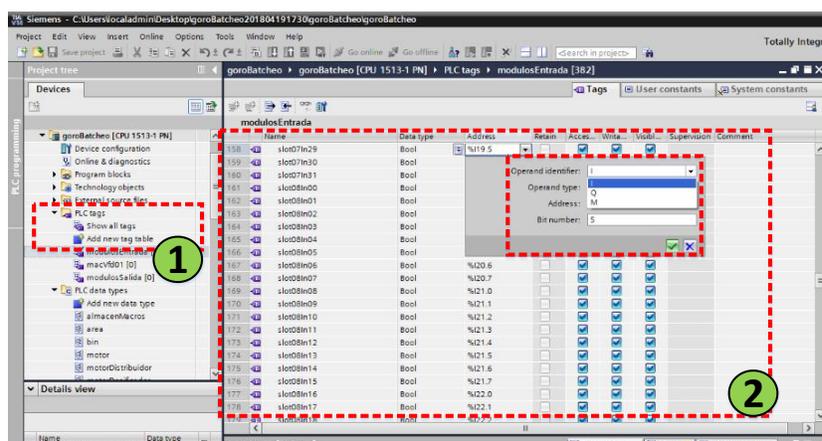


Figura 146. Creación de Tags

4.2.3.5 Creación de Data Types

Opción que permite establecer en el programa la creación de un tipo de dato, para ser asignado en la creación de tags. Es usado para caracterizar propiedades específicas de una etiqueta. Por ejemplo: la creación de un tag destinado a un motor, existe la necesidad de conocer cuando ha ocurrido un fallo en el guarda motor, fallo en el contactor, estado del motor, etc. Debido a la presencia de una gran cantidad de etiquetas repetitivas se establece el uso de esta herramienta.

Para la creación se inicia; dirigirse a la sección PLC data types > add new data type. En la tabla que se despliega, se ingresan las propiedades que se necesiten.

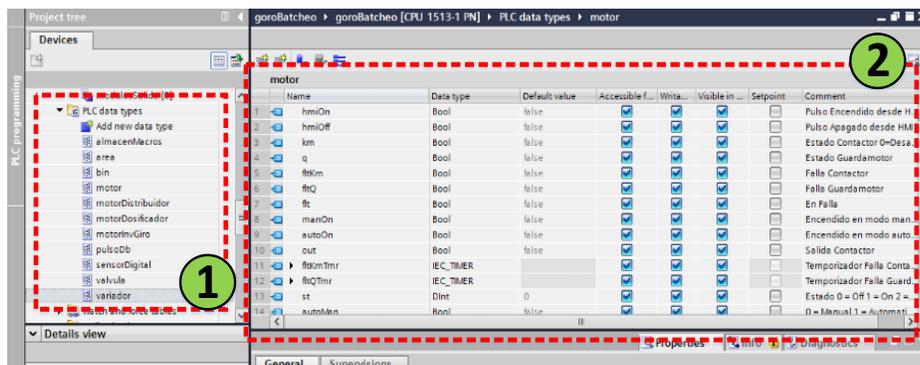


Figura 147. Creación de Data Types

A continuación en la siguiente Tabla 36 se describen los tipos de datos creados.

Tabla 36
Data Types

Tipo de Dato: bin		
Nombre	Tipo de dato	Descripción
codIng	string	código ingrediente
pesoReceta	real	peso de la receta
pesoCorte	string	peso de corte del ingrediente
tolerancia	real	Tolerancia
pesoReal	string	Peso real
Tipo de Dato: area		
autoMan	bool	modo de trabajo
hmiMan	bool	pulso a modo manual
hmiAuto	bool	pulso a modo automático
hmiReset	bool	pulso reset desde el HMI
reset	bool	pulso reset
enfalla	bool	falla presente
Tipo de Dato: almacenMacros		
codOrd	string	orden de producción
codSubOrd	string	lote suborden de producción
codRec	string	código de receta
batchTotal	int	total batches orden
bin01 ... bin n	bin	bin de macros
hmion	bool	pulso de encendido del HMI
hmioff	bool	pulso apagado del HMI
km	bool	estado del contactor
q	bool	estado del guardamotor
fltKm	bool	falla del contactor

CONTINÚA 

fltQ	bool	falla del guardamotor
flt	bool	en falla
manOn	bool	encendido en modo manual
autoOn	bool	encendido en modo automático
out	bool	salida del contactor
fltKmTmr	Iec_timer	temporizador falla de contactor
fltQTmr	Iec_timer	temporizador falla de guardamotor
st	bool	estado en falla o normal
Tipo de Dato: valvula		
hmiopen	bool	pulso apertura desde el HMI
hmiClose	bool	pulso de cierre desde el HMI
manOpen	bool	pulso control manual abierto
manClose	bool	pulso de control manual cerrado
zso	bool	sensor de posición abierta
zsc	bool	sensor de posición cerrada
fltOpen	bool	falla de apertura
fltClose	bool	falla de cierre
flt	bool	en falla
outOpen	bool	salida apertura
outClose	bool	salida cierre
fltOpenTmr	Iec_timer	temporizador de falla de abierto
fltCloseTmr	Iec_timer	temporizador de falla de cierre
out	bool	salida física de la válvula
Tipo de Dato: variador		
vfdStatus	bool	estado del variador
vfdFault	bool	falla del variador
flt	bool	en falla
out	bool	activar el variador
outLoSpeed	bool	activar la variación de velocidad
fltVfdTmr	Iec_timer	temporizador falla de variador
fltQ	bool	falla del guardamotor de VFD
q	bool	estado del guardamotor del VFD

4.2.3.6 Creación de subrutinas

TIA Portal ofrece 2 tipos de bloques que permiten crear subrutinas, con el objetivo de desarrollar secuencias específicas de la lógica de control que son usadas de manera repetitiva en toda la programación.

FC (Function)

Es conocido como el bloque de subrutina que permite la creación de instrucciones de una secuencia que son usadas a lo largo del proceso, y puede ser llamado de otro bloque FC o FB, se caracteriza por no poseer almacenamiento cíclico de información.

FB (Function Block)

Permite la creación de una subrutina, que puede ser llamado desde un bloque principal o un FC o FB, la diferencia entre FC es que FB se encuentra asociado a un bloque de datos por defecto, por consecuencia la información que se maneja dentro del bloque se almacena.

Para crearlos se procede; dirigirse a la sección program blocks > add new block > seleccionar el bloque que se requiera > nombrar el bloque > seleccionar el tipo de programación > ok.

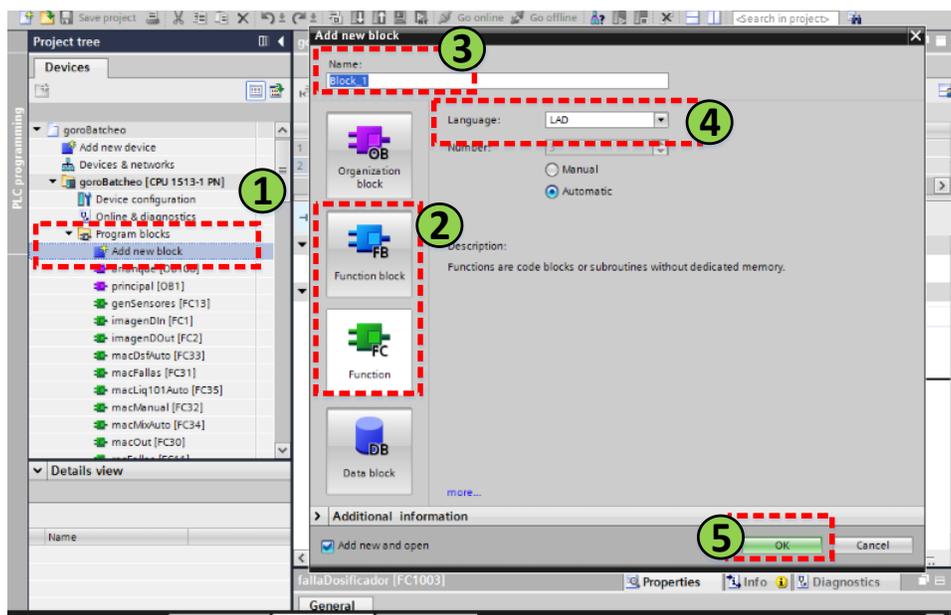


Figura 148. Creación de Subrutinas

4.2.3.7 Programa Principal

El programa correspondiente al sistema de control se basa en las consignas establecidas en la etapa de diseño, en la sección 3.9.4 del Capítulo III.

En primer lugar el programa consta de un bloque principal donde se realiza la ejecución de las diferentes subrutinas creadas. Entre ellas se tiene, entradas, salidas, modo manual, modo

automático dosificado macro ingredientes, modo automático mezclado, modo automático dosificación líquidos y fallas.

4.2.3.7.1 Subrutina Entradas y Salidas

Permite asociar una entrada o salida física a una variable, misma con la que se trabaja a lo largo del programa.

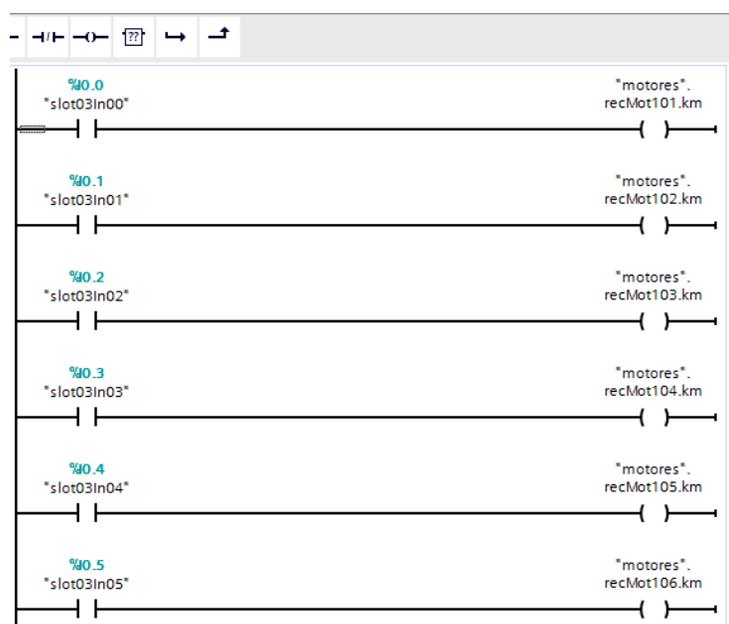


Figura 149. Asignación de entradas y salidas PLC

4.2.3.7.2 Subrutina Dosificación Automática

La subrutina realiza la lógica correspondiente al dosificado de ingredientes sólidos que se basa en el diagrama de flujo de la Figura 68. El procedimiento establecido para la programación es ilustrado de forma global en la Figura 150.

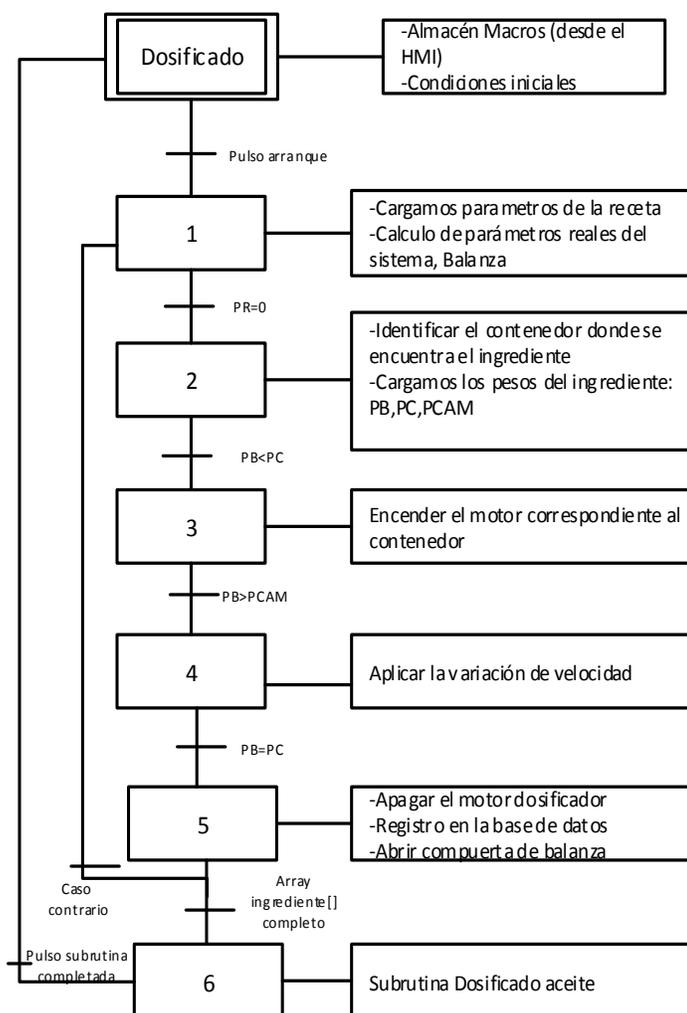


Figura 150. Graficet Dosificado Macros

4.2.3.7.3 Subrutina Dosificación Automática Líquidos

Lleva a cabo la ejecución de la lógica para el dosificado de líquidos o aceites que se presentan al dar ejecución a una receta, su secuencia se basa en la Figura 70 de la etapa de diseño del capítulo III. El procedimiento establecido para la programación es ilustrado de forma global en la Figura 151.

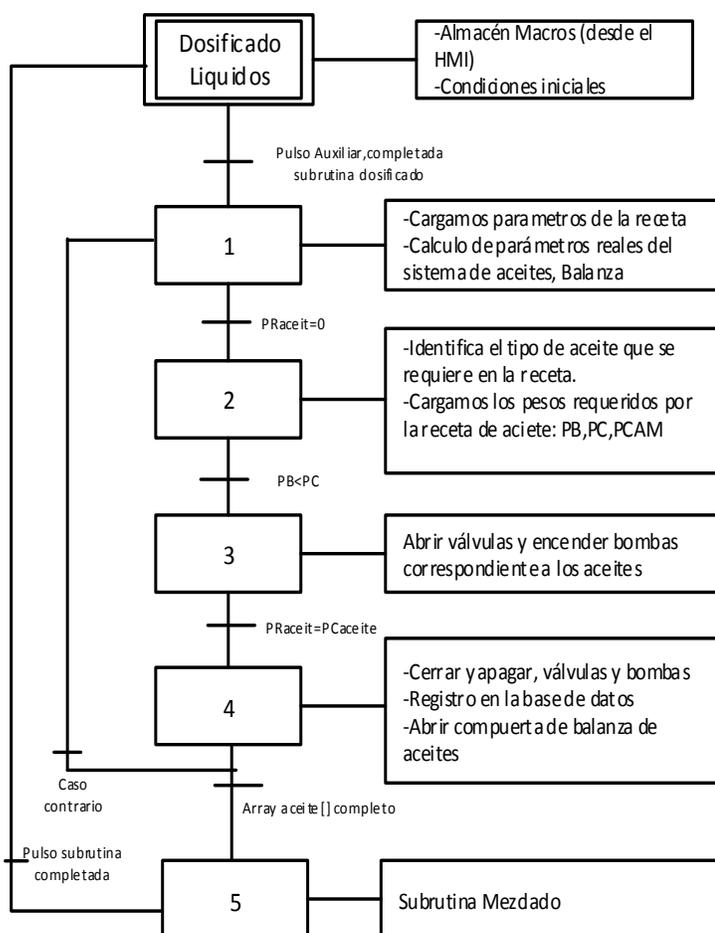


Figura 151. Grafset Dosificado Líquidos

4.2.3.7.4 Subrutina Mezclado

La subrutina realiza el proceso de mezclado, a través de una temporización de tiempo una vez que todos los ingredientes de la receta cumplen con los pesos adecuados establecidos.

El procedimiento establecido para la programación es ilustrado de forma global en la Figura 152.

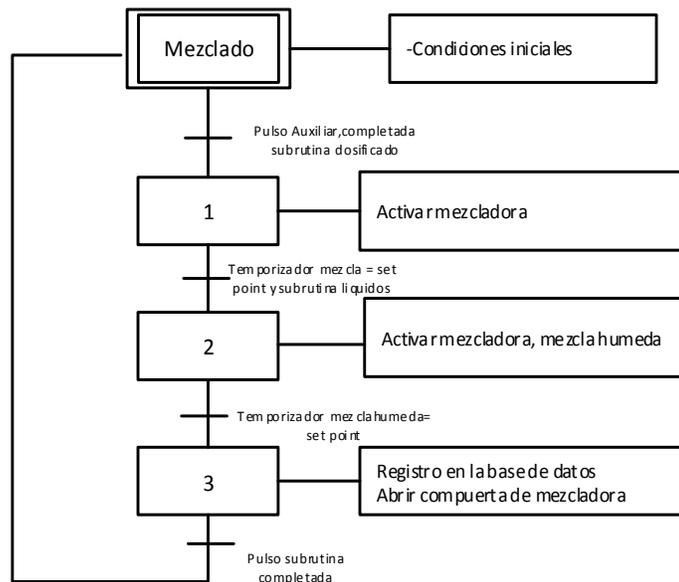


Figura 152. Grafcet Mezclado

4.2.3.7.5 Subrutina Modo Manual

Cumple las funciones de llevar a cabo las activaciones de los diferentes actuadores del proceso, la subrutina entra en ejecución una vez que el sistema tenga la consigna de manejo manual.

Cabe recordar que el área del proceso que lleva a cabo un funcionamiento automático y manual es la de dosificado o Batcheo, mientras que la recepción y transporte solo tienen un funcionamiento manual, que se establece a través de la presente subrutina.

4.2.3.7.6 Subrutina Fallas

Las fallas que se generan en el proceso son retroalimentadas al sistema de control por medio de una señal de confirmación. En los motores se lo realiza conociendo el estado de los guardamotores y contactores que forman parte del arranque del mismo, una vez que se genera la falla la subrutina evalúa la falla y alerta al sistema.

4.3 Puesta en Marcha

Como último paso para encaminar al sistema a cumplir con su funcionamiento adecuado, se procede a ajustar los dispositivos a la situación vigente en la planta, para ello se incursiona en la calibración de la balanza y el comisionado del variador de frecuencia, una vez que el sistema se encuentra integrado. Lo más importante para esta etapa final de implementación es llevarla a cabo en caliente, es decir una vez que el sistema ya se encuentre en operación.

4.3.1 Módulo Siwarex

El módulo especializado en sistemas de pesaje, recibe las señales de la balanza o bascula del proceso. Actúa como sensor que proporciona información de la masa que se encuentra sobre ella en Kg. Para el procedimiento de calibración del módulo, se sigue:

- 1.- Poner el módulo con modo Configuración en línea
 - a. En el DB del módulo poner parámetro 1 (modo CON) en
s_CMD2: i_CMD_CODE =1
 - b. s_CMD2: bo_CMD_TRIGGER =1
- 2.- Poner los valores de calibración
 - a. Leer los valores actuales de DR3;
s_CMD2: i_CMD_CODE = 2003
 - b. s_CMD2: bo_CMD_TRIGGER = 1 con ello leemos los valores del módulo
 - c. En DR3: CALIB_WEIGHT_0 poner 0
 - d. En DR3: CALIB_WEIGHT_1 poner el valor en libras del peso patrón Ej. 55 (para 25 kg)
 - e. En s_CMD2: i_CMD_CODE = 4003
 - f. s_CMD2: bo_CMD_TRIGGER =1
 - g. Vaciar la balanza en s_CMD2: i_CMD_CODE poner el parámetro 60
 - h. Poner “TRUE” o 1 en s_CMD2: bo_CMD_TRIGGER con ello se calibra el cero peso 0

- i. Poner el peso patrón en la balanza en s_CMD2: i_CMD_CODE poner el parámetro 61
- j. Poner “TRUE” o 1 en s_CMD2: bo_CMD_TRIGGER con ello se calibra el peso 1
- k. Para volver a modo Run en s_CMD2: i_CMD_CODE poner el parámetro 2
- l. Poner “TRUE” o 1 en s_CMD2: bo_CMD_TRIGGER

4.3.2 Variador de Frecuencia

El comisionado, es la incursión para establecer los parámetros técnicos correspondientes del actuador al que va a interceder con el variador. Para ello se procede en la configuración del variador a través de su gestor. Se ingresa los parámetros del motor con mayor potencia.

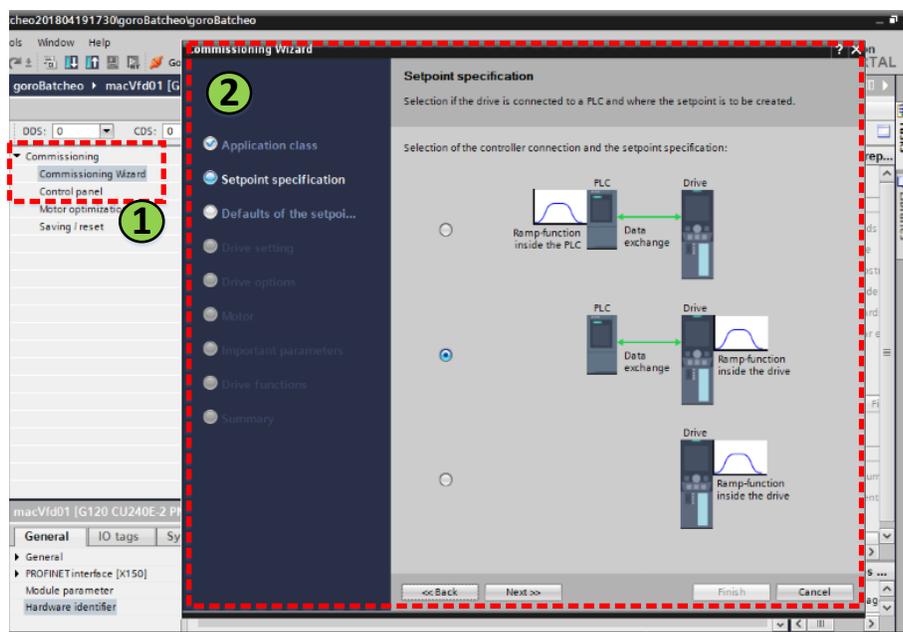


Figura 153. Gestor Comisionado Variador

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

Esta sección presenta las pruebas correspondientes del sistema de control, evaluando tanto hardware como software con el objetivo de conocer y verificar las condiciones del sistema a fin de garantizar su correcto funcionamiento.

5.1 Pruebas FAT

A continuación se procede con pruebas de aceptación en fábrica (FAT), mismas que son realizadas en la ciudad de Quito en las instalaciones de Automation Solutions Ecuador.

5.1.1 Hardware

Para el procedimiento de pruebas de hardware se toma como base la norma de construcción de tableros de distribución y comando de baja tensión conforme la IEC 60439-1. Los puntos a evaluar son:

- Inspección visual
- Conexionado
- Conformidad de diseño
- Alimentación eléctrica del tablero
- Conexiones a tierra

5.1.1.1 Herramientas de Soporte

Para proceder con las pruebas se dispone de:

- Multímetro
- Herramientas generales: destornillador, cables, etc.
- Computador

5.1.1.2 Procedimiento

5.1.1.2.1 Inspección visual

Tabla 37

Pruebas, inspección visual

Descripción	SI	NO	NA
1.01 Acabado de acuerdo a las especificaciones	X		
1.02 Placas de identificación	X		
1.03 Señalización de componentes	X		
1.04 Ajuste de pernos y bisagras	X		
1.05 Montaje de rieles y canaletas	X		
1.06 Montaje de rejilla de ventilación	X		
1.07 Montaje de porta planos	X		
1.08 Montaje de borneras y accesorios	X		
1.09 Perforaciones para ingreso de cable		X	
1.10 Verificar la integridad física de los componentes	X		

Como resultado de la inspección visual realizada al tablero de control y tablero de paso se aprecia que se encuentran adecuadamente montados con sus equipos y accesorios, por otro lado cada componente se encuentra marcado para la identificación en sus respectivos documentos. Además no presentan defectos en cuanto a golpes o ralladuras y las perforaciones para el ingreso de cables provenientes de campo se realizan al momento del montaje

5.1.1.2.2 Conexionado

Tabla 38

Pruebas, conexiones

Descripción	SI	NO	NA
2.01 Conexiones de acuerdo a diseños, aprobados	X		
2.02 Rotulado de cables, de acuerdo a los diseños aprobados	X		
2.03 Verificar que borneras fusileras se encuentren con su fusible	X		
2.04 Ensayos de continuidad en los diferentes puntos de conexión	X		
2.05 Rango de protección de acorde al diseño	X		
2.06 Calibre de cables adecuado	X		

Las conexiones del sistema se encuentran de acuerdo a los planos establecidos en la etapa de diseño, cumpliendo con los circuitos de control para comandar el proceso de la planta, por otro lado la identificación de cada conexión está adecuada al estilo de marcación origen-destino.

5.1.1.2.3 Conformidad de Diseño

Tabla 39

Pruebas, conformidad de diseños

Descripción	SI	NO	NA
3.01 Cantidad de equipos de acuerdo a las especificaciones (ver lista de equipos)	X		
3.02 Distribución de componentes de acuerdo al layout	X		
3.03 Colocación de terminales en conductores	X		
3.04 Peinado de cables	X		
3.05 Canaleta de dimensiones adecuadas	X		

5.1.1.2.4 Alimentación del Tablero

Tabla 40

Pruebas, alimentación tablero

Descripción	SI	NO	Medición
4.01 Alimentación general del gabinete	X		440 Vac
4.02 Verificar voltaje de entrada del UPS	X		109,3 Vac
4.03 Verificar voltaje de salida del UPS	X		110,5 Vac
4.04 Alimentación de variador de velocidad	X		440 Vac
4.05 Alimentación de fuente 24 Vdc	X		109,4 Vac
4.06 Verificar alimentación en la distribución 110 Vac	X		110 Vac
4.07 Verificar alimentación en la distribución 220 Vac	X		220 Vac
4.08 Verificar alimentación en la distribución 24 Vdc	X		23,2 Vdc
4.09 Verificar alimentación en los terminales "11" de los relés	X		110 Vac → caso 1 220 Vac → caso2

El voltaje de alimentación de los equipos se encuentra acorde a los requerimientos presentados por cada dispositivo, mediante la activación de cada interruptor en su distribución se verifica que de los equipos se encienden correctamente.

5.1.1.2.5 Conexiones a Tierra

Tabla 41

Pruebas, conexiones a tierra

Descripción	SI	NO	NA
5.01 Conexión a tierra del transformador	X		
5.02 Conexión a tierra del doble fondo	X		

CONTINÚA 

5.03 Conexión a tierra de fuente de 24 Vdc	X		
5.04 Conexión a tierra variador de velocidad	X		

5.1.1.2.6 Señales de Entrada y Salida

Tabla 42

Pruebas, señales i/o

Descripción	SI	NO	NA
6.01 Pruebas de entradas digitales	X		
6.02 Pruebas de salidas digitales	X		
6.03 Voltaje de salidas	X		24Vdc

Todas las señales de entrada y salida, responden adecuadamente ante una excitación realizada en el programa, se visualiza el encendido de cada entrada y salida en los módulos del controlador. Finalmente se corrobora de la existencia de continuidad en los puntos o bloques de borneras que comparten el mismo valor de voltaje.

5.1.2 Software

Para el procedimiento de pruebas de software se establece evaluar:

- Comunicación entre dispositivos
- Direccionamiento IP
- Directrices HMI
- Secuencia de la lógica de control
- Base de datos

5.1.2.1 Herramientas de Soporte

Para proceder con las pruebas se dispone de:

- Computador
- Servidor

5.1.2.2 Procedimiento

5.1.2.2.1 Direccionamiento

Tabla 43

Pruebas, direccionamiento IP

Descripción	SI	NO	NA
1.01 Verificar IP PLC	X		
1.02 Verificar IP variador	X		
1.03 Verificar IP servidor	X		
1.04 Verificar IP Gateway Ignition	X		

Las direcciones IP asignadas a los diferentes equipos se encuentran dentro del mismo dominio, por lo que permite identificar o comunicar los equipos que intervienen en ella.

5.1.2.2.2 Comunicación

Tabla 44

Pruebas, comunicación

Descripción	SI	NO	NA
2.01 Verificar conexión entre el servidor DB y HMI	X		
2.02 Verificar conexión entre PLC y HMI	X		
2.03 Verificar conexión entre PLC y variador	X		

CONTINÚA 

2.04 Verificar conexión entre DB y HMI	X		
2.05 Verificar comunicación de datos balanza con el PLC	X		

5.1.2.2.3 Secuencia de la Lógica de Control

Tabla 45

Pruebas, secuencia de control

Descripción	SI	NO	NA
3.01 Verificar en rutina principal el llamado a diferentes subrutinas.	X		
3.02 Verificar el funcionamiento de subrutina de entradas y salidas	X		
3.03 Verificar la existencia de subrutina de fallos, motores, válvulas	X		
3.04 Verificar subrutina automática, dosificado macro ingredientes	X		
3.05 Verificar el funcionamiento de la secuencia de mezclado	X		
3.06 Verificar el funcionamiento de la subrutina de mando manual	X		
3.07 Verificar que exista los tags correspondientes a los existentes en el HMI	X		

La secuencia de control establecida en el PLC ejecuta acciones de acuerdo a los lineamientos del proceso de la planta, logrando cumplir con las secuencias necesarias para llevar a cabo el proceso de dosificado de manera automática y manual.

5.1.2.2.4 Base de Datos

Tabla 46

Pruebas, base de datos

Descripción	SI	NO	NA
4.01 Verificar la existencia de las tablas, establecidas en el sistema	X		
4.02 Verificar las llaves primarias de cada tabla	X		

CONTINÚA 

4.03 Verificar las relaciones establecidas entre tablas	X		
4.04 Verificar el registro de datos en las tablas	X		
4.05 Verificar el registro de datos mediante el PLC	X		
4.06 Verificar los tipos de datos de cada atributo	X		
4.07 Verificar la estructura de la base de datos	X		

La base de datos está conformada por las tablas necesarias para el registro de información en el proceso de producción y cuentan con una arquitectura relacional de tal manera que la información obtenida no sea registrada inadecuadamente.

El modelo relacional evita que existan registros duplicados, garantizando la integridad referencial y facilitando el mantenimiento de la DB. Su comunicación se establece a través del Gateway de Ignition estableciendo comunicación con el controlador lógico programable y el HMI.

5.1.2.2.5 HMI

Tabla 47

Pruebas, verificación del HMI

Descripción	SI	NO	NA
4.01 Verificar arquitectura de pantallas de la aplicación	X		
4.02 Verificar distribución de pantallas	X		
4.03 Verificar navegación	X		
4.04 Verificar el uso de color	X		
4.05 Verificar el estado de los equipos	X		
4.06 Verificar valores del proceso	X		
4.07 Verificar comando e ingreso de datos	X		
4.08 Verificar visibilidad de alarmas	X		

CONTINÚA 

4.09 Verificar visibilidad y ubicación de gráficos



A continuación se realiza la evaluación del HMI mediante los indicadores propuestos en la Guía Gedis. Con el objetivo de analizar el nivel de aceptación de la aplicación. El rango para proceder con la evaluación es de 1 a 5 donde el peso que se le asigna a cada sub indicador es establecido por el nivel de importancia, que es fijado por el cliente.

Tabla 48*Pruebas, Evaluación del HMI*

Arquitectura	Tipo	Medida	Valor	Peso
Correspondencia con la planta	Cuantitativa	[SI, NO] [5,0]	5	0,3
Número de capas	Cuantitativa	[le<4, le>4] [5,0]	5	0,4
Existencia de Mapa	Cualitativa	[a, m, na] [5, 3, 0]	3	0,3
Distribución	Tipo	Medida	Valor	Peso
Consistencia	Cualitativa	[SI, NO] [5,0]	5	0,2
Densidad	Cuantitativa	[a, m, na] [5,3,0]	3	0,3
Simetría y balance	Cuantitativa	[a, m, na] [5,3,0]	5	0,3
Flujo de proceso	Cuantitativa	[claro, medio, no claro] [5,3,0]	4	0,2
Navegación	Tipo	Medida	Valor	Peso
Correspondencia con la arquitectura	Cuantitativa	[a, m, na] [5,3,0]	5	0,3
Accesibilidad	Cuantitativa	[a, m, na] [5,3,0]	5	0,4
Consistencia	Cualitativa	[SI, NO] [5,0]	5	0,3
Color	Tipo	Medida	Valor	Peso
Visibilidad	Cualitativa	[SI, NO] [5,0]	5	0,2
Contraste con el fondo	Cuantitativa	[a, m, na] [5,3,0]	5	0,2
Número de colores	Cualitativa	[4<c<7, c>7][5,0]	5	0,2
Diferencia entre colores	Cuantitativa	[a, m, na] [5,3,0]	5	0,1
Uso de colores primarios	Cualitativa	[SI, NO] [5,0]	5	0,2
Consistencia	Cualitativa	[SI, NO] [5,0]	5	0,1
Información Textual	Tipo	Medida	Valor	Peso
Número de tamaños	Cuantitativa	[Si, No][5, 0]	5	0,25
Número de fuentes	Cuantitativa	[f<4, f>4][5, 0]	5	0,25
Visibilidad del texto	Cualitativa	[Si, No][5, 0]	5	0,05
Espaciamiento	Cualitativa	[Si, No][5, 0]	5	0,05

CONTINÚA



Alineación	Cualitativa	[Si, No][5, 0]	5	0,05
Uso del énfasis	Cualitativa	[Si, No][5, 0]	5	0,05
Uso de acrónimos	Cualitativa	[Si, No][5, 0]	5	0,05
Coloración del texto	Cuantitativa	[a, m, na] [5,3,0]	3	0,2
Consistencia	Cualitativa	[Si, No][5, 0]	5	0,05
Estado de los equipos	Tipo	Medida	Valor	Peso
Facilidad de reconocimiento	Cualitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,4
Visibilidad del estado del equipo	Cualitativa	[Si, No][5,0]	5	0,4
Consistencia	Cualitativa	[Si, No][5,0]	5	0,2
Valores del proceso	Tipo	Medida	Valor	Peso
Visibilidad	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Ubicación	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,2
Distribución	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,2
Agrupación de datos	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,2
Consistencia	Cualitativa	[Si, No][5,0]	5	0,1
Gráficos y tablas	Tipo	Medida	Valor	Peso
Formato	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Ubicación	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Visibilidad	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Flexibilidad de configuración de tendencias	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	0	0,1
Comandos e ingreso de datos	Tipo	Medida	Valor	Peso
Visibilidad	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Maniobrabilidad	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Retroalimentación	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	4	0,2
Consistencia	Cualitativa	[Si, No][5,0]	5	0,2
Alarmas	Tipo	Medida	Valor	Peso
Visibilidad de la ventana de alarmas	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Accesibilidad	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,3
Ubicación	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,2
Información de los textos de alarma al operario	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	5	0,1
Visibilidad de alarmas en sinópticos	Cuantitativa	[a, m, na][5, 3, 0]	3	0,05
Facilidad de reconocimiento de la situación	Cualitativa	[Si, No] [5, 0]	4	0,05

En base a los datos de la Tabla 48 se continúa con la ecuación (EC. 5.1), que permite conocer el valor total de cada indicador evaluado.

$$Indicador = \frac{\sum_{j=1}^J W_j Subind_j}{\sum_{j=1}^J W_j} \quad (\text{EC. 5.1})$$

Donde:

- J = número de sub indicadores
- W_j = peso del sub indicador
- Subind = valor del sub índice

Tabla 49

Resultados de Guia Gedis

Indicador	Medida	Peso
Arquitectura	4,4	0,1
Distribución	4,2	0,1
Navegación	5	0,2
Color	5	0,2
Información Textual	4,6	0,1
Estado de los equipos	5	0,05
Valores del proceso	4,8	0,1
Comandos e ingreso de datos	4,6	0,1
Alarmas	4,85	0,05
Total		4,754

En la Tabla 49 se expone los resultados de la evaluación de la Guía Gedis, con un valor final de 4,75. Lo que menciona que la interfaz se encuentra en un nivel de aceptación alto y cumple con los requerimientos solicitados por la planta.

5.2 Análisis de producción

Para proceder con el análisis de la producción como punto de partida se intervino en el registro de información en la planta, antes de proceder con la automatización, que presento los siguientes datos tomados en una jornada de 6h: 00m a 18h: 00m

- Numero de batches = 160
- Cantidad de total de materia prima dosificada \approx 290000 Kg
- Tiempo por batch \approx de 3 a 4 min

En base a la generación de reportes derivados del registro de información proveniente del sistema automatizado se tiene:

- Numero de batches = 193
- Cantidad de total de materia prima dosificada \approx 348000 Kg
- Tiempo por batch \approx 3 min

En la Figura 154 se aprecia la comparación del consumo de materia prima entre el sistema manual y el automático arrojando una diferencia de 1812 Kg, uno de otro, lo que evidencia la reducción del consumo de materia prima en la dosificación de 193 Batch producidos.

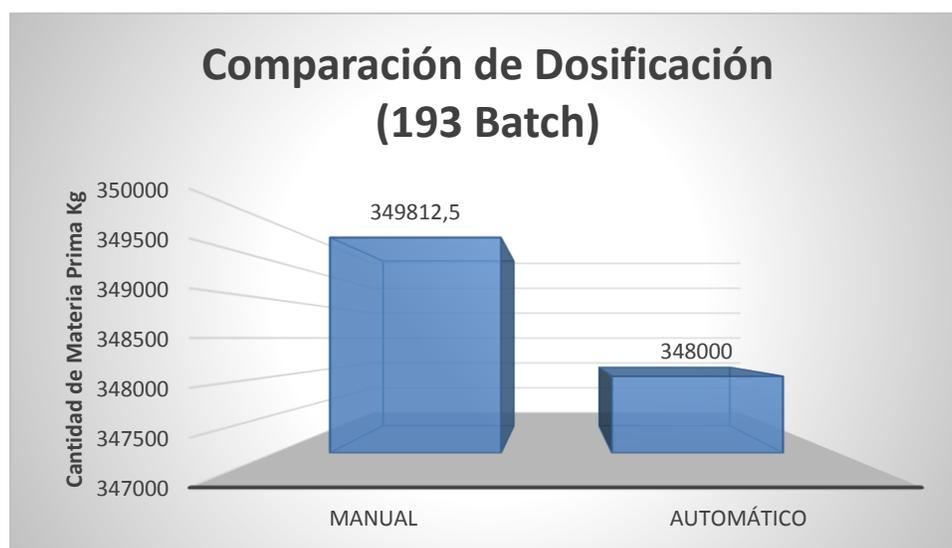


Figura 154. Comparación de Dosificación

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se diseñó e implementó un sistema de control distribuido para una planta de balanceado, dando lugar a mejoras en los estándares de productividad a través de la reducción de tiempos y desperdicios en la producción.

El gasto exagerado de materia prima en la dosificación está marcado por la precisión del motor dosificador al momento de establecer la cantidad de un ingrediente en la balanza, mismo que se logra controlar a través del uso de un variador de velocidad, estableciendo set points según la necesidad de la receta, originando una reducción de desperdicios en un rango del 90% al 95%.

La producción generada por el sistema de control mejoró, generando 193 batch de 160 producidos en el sistema inicial, con un promedio de tiempo por batch de 3 min, que representa una reducción del 25%. Los resultados obtenidos son a causa de la eliminación de situaciones manuales en el comando de la producción.

Los retrasos en la producción son ocasionados por la generación de eventualidades inusuales en el proceso que se manifiestan como situaciones que demandan la atención inmediata del personal encargado. Por medio del sistema de control se informa de manera instantánea, en donde y a que se debe dicha eventualidad mediante alarmas, que son mostradas en la aplicación HMI a través de indicadores visuales y una pantalla dedicada para dicha tarea, alertando oportunamente al operador.

A través del uso de Ignition se logró establecer un enlace entre el HMI, PLC y la base de datos, consiguiendo una adecuada interoperabilidad que permitió la supervisión y comando del sistema.

La interfaz HMI ha sido realizada de tal manera que permite al usuario una manipulación sencilla del proceso sin causar confusiones al operador, tomando como base las sugerencias de la norma ISA 101 y la Guía Gedis, que mediante su evaluación arrojó el resultado de 4,75 sobre 5. Este resultado determina que la interfaz se encuentra en un nivel de aceptación alto y cumple con los requerimientos solicitados por la planta.

La generación de los reportes de producción se logró a través de la recopilación de información registrada en la base de datos, en donde se presentan los consumos de materias primas, y tiempos de producción.

El modelo de la lógica de control desarrollado en la etapa de diseño a lo largo del presente proyecto fue planteado para ser usado como prototipo en los procesos de dosificación de las plantas que se dedican a la producción de balanceado. Dicho modelo representan aquellos aspectos comunes de la dosificación, pero para ser tomado como paradigma se tiene que definir desde un inicio las pautas que necesita el proceso al que se va a incursionar ya que no todas las plantas son iguales y existen señales complementarias a las expuestas en el presente proyecto, esto permite a los desarrolladores que van a incursionar en procesos similares, interpretar de una mejor manera el procedimiento para establecer una automatización.

A través del procedimiento de pruebas FAT se estableció el estado final del hardware y software del sistema, con el objetivo de consolidar el cumplimiento de los requisitos del proyecto y eliminar los posibles errores generados en la implementación, a fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

6.2 Recomendaciones

Para conocer la situación del proceso a ser intervenido se debe realizar un levantamiento de información adecuado, mediante visitas a la planta y la interacción con los operadores a fin de recopilar la mayor cantidad de datos para el posterior diseño.

Disponer de reservas en el controlador lógico programable, por eventualidades fortuitas en la puesta en marcha y para dar opción al crecimiento a la planta.

Se recomienda brindar una capacitación al personal de la planta para que se familiaricen con el funcionamiento del sistema y así evitar malas operaciones.

Se debe tomar en cuenta realizar un mantenimiento al sistema, específicamente al hardware ya que posee elementos de acción mecánica y es innegable el desgaste.

Un mantenimiento tanto preventivo como correctivo del sistema ayudará a evitar la generación de paradas de producción.

6.3 Trabajos Futuros

A continuación se presentan trabajos futuros que pueden desarrollarse como adición al sistema planteado:

- Desarrollo y adaptación de un sistema de ejecución de manufactura MES.
- Adición del proceso de dosificación de micro ingredientes.
- Supervisión y monitoreo en dispositivos móviles.
- Aviso de alarmas mediante mensajes de texto o e-mail.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFABA. (2014). *Entorno del Balanceado a nivel nacional*. Retrieved from <http://www.afaba.org/portal/>
- Alcaraz, E. (2018). *Sistema de control manual* by esteban alcaraz on Prezi. Retrieved May 5, 2018, from <https://prezi.com/zi65rr6ob5bn/sistema-de-control-manual/>
- Ali, S. (2018). *Studies in Computational Intelligence 768 Cyber Security for Cyber Physical Systems*.
- Allen Bradley. (n.d.-a). *Controladores ControlLogix*. Retrieved May 18, 2018, from <https://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/ControlLogix/5570-Controllers>
- Arica, A. H. (2016). *Propuesta de mejora en el área de producción mediante la automatización del área de llenado y pesado de la línea de alimentos balanceados para reducir los costos operacionales de la empresa molino el cortijo s.a.c*. Universidad Privada del Norte- Perú.
- Ariño Latorre, Carlos Vicente; Romero Perez, Julio Ariel; Sanchis Llopis, R. (2010). *Automatización industrial. Automatizacion Industrial*.
- Automation, H., & Gmbh, C. (2014). *Product information SPIDER 5TX, 1–2*.
- Automations Solutions Ecuador. (2004). *Misión y Vision*. Retrieved May 8, 2018, from <http://www.asecuador.com/>
- Beumer Group. (2018). *Elevadores de cangilones*. Retrieved May 6, 2018, from <https://www.beumergroup.com/es/productos/tecnica-de-transporte/elevadores-de-cangilones>

Carrillo, C. J., & Calero, G. R. (2016). *Automatización del proceso de dosificación, ensacado y control de peso en lazo cerrado para la máquina mezcladora de balanceado de la estación experimental tunshi epoch*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Cesar da Costa, Cleiton Mendes, R. O. (2017). *Industry 4.0 in automated production*, (November), 5. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30849.15204>

Daneri, P. A. (2008). *PLC Automatizacion y Control Industrial*.

Delta. (2018). *Touch Panel HMI - Human Machine Interfaces*. Retrieved from <http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=ALL&hl=en-US>

Elvem ElectricMotors. (2018). *Motores eléctricos asíncronos estándar con carcasa de fundición*. Retrieved May 20, 2018, from <http://www.elvem.it/es/motores-electricos-asincronos-estandar-con-carcasa-de-fundicion/>

Flores, M. F., & Guerra, O. H. (2008). *Montaje de la planta de producción de balanceado e implementación de un sistema hmi para su control y monitoreo en el laboratorio de procesos industriales. Estudio de Factibilidad para la creación de una operadora de ecoturismo en la ciudad de Otavalo*. Escuela politécnica nacional. Retrieved from <file:///C:/Users/HOGAR/Downloads/CD-2042.pdf>

Garcia, E. (2001). *Automatizacion de Procesos Industriales*.

Hawrylo, M. E. (2015). *ISA101, Human Machine Interfaces*.

Hurtado, A. *y gestión de materias primas de alimentos balanceados*. Universidad Autonoma de occidente- Cali.

- IBM. (n.d.). *IBM Knowledge Center - Características de DB2*. Retrieved May 20, 2018, from https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3JRN_7.2.1/com.ibm.itcama.doc_7.2.1/db2/featuresdb2.html
- Inductive Automation. (2018). *Industrial Automation Software Solutions*. Retrieved May 9, 2018, from <https://inductiveautomation.com/>
- IndustryWeek. (n.d.). *Why Do Silos Form and How Can We Knock Them Down* Retrieved May 6, 2018, from <http://www.industryweek.com/change-management/why-do-silos-form-and-how-can-we-knock-them-down>
- Iso, I. S., Std, I., Man, L. A. N., Committee, S., & Society, I. C. (2000). *Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 1* (Vol. 2000).
- Kwon, D., Hodkiewicz, M. R., Fan, J., Shibutani, T., & Pecht, M. G. (2016). *IoT-Based Prognostics and Systems Health Management for Industrial Applications*. *IEEE Access*, 4, 3659–3670. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2587754>
- Maya Henao, S. (2016). *Procesos de Producción de Alimentos balanceados, Planta de Concentrados COLANTA Itagüí*. Corporación Universitaria Lasallista Caldas, Antioquia.
- Metha, B., & Readdy, Y. (2015). *Industrial Process Automation Systems*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800939-0/00006-1>
- Moncayo, I. R., & Rueda, J. (2009). *Diseño y construcción de un molino de martillos*. Universidad san Francisco de Quito.

- Montané Sangrá Paulino. (1993). *Protecciones en las instalaciones eléctricas: evolución y perspectivas*. Marcombo.
- MySQL. (2018). MySQL :: *Download MySQL Workbench*. Retrieved June 17, 2018, from <https://dev.mysql.com/downloads/workbench/>
- NEMA. (2013). *Norma NEMA 250- Norma NEMA 250-2013*. Retrieved from <https://www.nema.org/Standards/Pages/Normas-en-Espanol.aspx>
- Oppel, A. (2010). *Fundamentos de Bases de Datos*. campusMVP.es. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pazmiño, J. (2016). *Competitividad del sector producción avícola. caso empresas pioneras en generación de ovoproductos*. Universidad Andina Simon Bolivar.
- Pulvex. (2010). *Mezcladora Horizontal · Ideal para Polvos*. Retrieved May 9, 2018, from <http://maquinariapulvex.com/mezcladora-horizontal.html>
- Siemens. (2009). *Industry Support Siemens*. Retrieved May 20, 2018, from <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=en-WW>
- Siemens. (2014). *Psu, Sitop Power, Stabilized Input, Supply Output, A C Power, Product Supply, Input Supply, A C Input, Note Input, A C Wide-range, A C, 10–13*.
- Silberschatz, A. (Bell L., Korth, H. F. (Bell L., & Sudarshan, S. (Instituto Indio de Tecnología, B. (2002). *Fundamentos de bases de datos*. Victoria. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Smart Factory. (2017). *Roto Bin*. Retrieved May 20, 2018, from <https://www.smartfactorysac.com.pe/transmisores-de-nivel/switch-de-nivel-discreto.php>

- Soler, D. (2010). *Importancia de los sistemas avícolas campesinos (pollo de engorde y gallina ponedora) dentro de la unidad productiva y su aporte a la seguridad alimentaria..*
- Villacres, F. (2008). *La industria de alimentos balanceados en el ecuador. Iniap*, 12, 10. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Wonderware. (2018). *Wonderware InTouch HMI Software - Características - WonderWare*. Retrieved May 20, 2018, from <http://www.wonderware.es/HMI-SCADA/InTouch/Caracteristicas/>
- Yumbla, M. (2011). *Encadenamiento agroalimentario: solución sustentable de desarrollo rural o consolidación del poder agroindustrial Eutopía-2 Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 2, 115–134. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zambrano, M. J. (2017). *Diseño e Implementacion de un Sistema de Dosificacion para la Planta de Balanceado en EXPALSA GISIS KM 4 1/2*. Escuela Politécnica Nacional. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8859/3/CD-5935.pdf>