

Tecnológico de Costa Rica

Área Académica de Ingeniería Mecatrónica



Diseño de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos del proceso de producción de la mezcla del producto *Lavaplatos Crema*, del Grupo Irex

Proyecto de graduación para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

José Daniel Ulloa Sanabria

2014159938

Cartago, octubre de 2018

Declaratoria de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 15 de noviembre de 2018



Firma del autor

José Daniel Ulloa Sanabria

Céd: 304850472

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Greivin Barahona Guzmán

Profesor lector



Ing. Carlos Piedra Santamaría

Profesor lector



Ing. Ana Lucía Morera Barquero

Profesora asesora

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Cartago, 15 de noviembre de 2018

Resumen

El proceso de formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema* del grupo *Irex* ha presentado problemas de homogeneidad en términos de apariencia, concentración de ingrediente activo y humedad. En la actualidad, el proceso es llevado a cabo en su totalidad de forma manual, a través de formuladores responsables de dosificar la materia prima, controlar la frecuencia de giro de los motores y velar por el cumplimiento de los tiempos de agitación de la mezcla. La falta de información relativa a las variables de interés del proceso, como temperatura, velocidad de los motores y control de los tiempos, ha ocasionado que se desconozca la etapa del proceso que ha sido alterada y que, en consecuencia, ha afectado la calidad del producto final.

Se propone la automatización de un 60% del total del proceso, donde se incluye la dosificación de la materia prima líquida, el control de la frecuencia de giro de los motores y de los tiempos de agitación, la apertura y cierre de las válvulas del sistema. Por su parte, la adición de los polvos se conserva en su estado manual, sin embargo, se incorpora un registro de tiempos, con el propósito de estandarizar paulatinamente estas etapas. El monitoreo y control del proceso se efectúa a través de un sistema SCADA, capaz de generar de forma automática y dinámica, reportes del proceso de formulación, que son entregados diariamente al departamento de Producción de la empresa, para su posterior análisis y ajustes de parámetros del proceso.

Dentro de las modificaciones mecánicas realizadas para el acople de la solución propuesta con el sistema actual, se decidió emplear tanques de almacenamiento fabricados de acero inoxidable, debido a la naturaleza corrosiva y abrasiva del proceso en cuestión. A su vez, se plantea un plan de mantenimiento preventivo para los actuadores del sistema, y un manual de operaciones para la correcta ejecución del programa diseñado.

Palabras clave: crema lavaplatos, SCADA, bases de datos, automatización, *Ignition*.

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto de graduación a mis padres, Leyla y Abdenago, por el apoyo incondicional que recibí de su parte durante el transcurso de mi carrera universitaria y por la cantidad de sacrificios que realizaron para poder concluir con éxito esta etapa. Les agradezco haberme inculcado los valores de la disciplina, excelencia, responsabilidad, respeto y honestidad, que me han acompañado a lo largo de mi vida, llevándome a cosechar éxitos y sobrellevar situaciones difíciles. Este logro académico es gracias a ustedes y me enorgullezco de contar con su guía y consejos para mi crecimiento personal y profesional.

A mis sobrinos Thiago, Sofía y José Pablo, por alegrar mis días y aliviar las presiones propias de la vida universitaria, después de largas jornadas de estudio y trabajo, y lograr sacar en mí una sonrisa y cargarme con fuerzas para seguir adelante.

A mis amigos de la universidad, Theo, Fernando y Álex, por convertirse en un soporte esencial durante el desarrollo de mi etapa universitaria.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios, por haberme provisto de las fuerzas necesarias en los momentos más difíciles de la carrera. A la intercesión de la Virgen de los Ángeles y de San Antonio de Padua.

A las ingenieras Alejandra Cubero y Yamary Ondoy, del departamento de Producción de Irex, por abrirme las puertas de la empresa, y acompañarme a lo largo del desarrollo de este proyecto.

A los profesores Ana Lucía Morera, Greivin Barahona y Carlos Piedra del Tecnológico de Costa Rica, por servir de Tribunal Evaluador y guiarme durante la ejecución de este proyecto.

Contenido

Resumen.....	4
Dedicatoria.....	5
Agradecimientos	6
Contenido.....	7
Índice de Figuras	12
Índice de Tablas	15
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	18
1.1. Entorno del proyecto	18
1.2. Definición del problema	20
1.2.1. Generalidades.....	20
1.2.2. Síntesis del problema	22
1.3. Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa).....	23
1.4. Enfoque de la solución	24
1.4.1. Criterios para el diseño de la solución	26
1.5. Objetivos	27
1.5.1. Objetivo General.....	27
1.5.2. Objetivos Específicos.....	27
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	31
2.1. Operaciones previas al arranque.....	31
2.2. Proceso de granel	31
2.3. Proceso de llenado.....	32
2.4. Proceso de formulación de la mezcla <i>Lavaplatos Crema</i>	33
2.4.1. Materia prima.....	34
2.4.2. Equipo.....	34
2.4.2.1. Tanque mezclador.....	34
2.4.2.2. Tanques de dosificación	35
2.4.3. Procedimiento.....	37
2.5. Definición de variables críticas del proceso de producción de la mezcla <i>Lavaplatos Crema</i>	40

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO	45
3.1. Mezclador horizontal	45
3.2. Tolva de almacenamiento	46
3.3. Transporte de materia prima por gravedad.....	46
3.4. Sistema SCADA.....	46
3.4.1. Objetivos.....	47
3.4.2. Ventajas.....	47
3.4.3. Sistemas de comunicación.....	48
3.4.3.1. Topologías	48
3.4.4. <i>Driver</i> o controlador	49
3.4.5. Programa de desarrollo.....	49
3.4.6. Programa de <i>run-time</i>	50
3.4.7. Comunicación entre aplicaciones.....	50
3.4.7.1. OPC	50
3.4.7.2. ODBC	51
3.4.7.3. SQL.....	51
3.4.8. Estructura	51
3.4.8.1. Unidad central o MTU	52
3.4.8.2. Unidad remota o RTU	52
3.4.8.3. Interfaz HMI	52
3.4.8.4. Sistemas de comunicación.....	53
3.4.8.5. Transductores.....	54
3.4.9. Diccionario de tags	54
3.4.9.1. Tipos	55
3.5. Termocupla tipo J.....	55
3.6. Termistor Pt100	56
3.7. Celda de carga.....	57
3.8. Sensor de presión	58
3.9. Electroválvula.....	58
3.10. Controlador Lógico Programable (PLC)	58
3.11.1. Unidad Central de Procesamiento (CPU).....	58
3.11.2. Módulo de entradas y salidas (I/O).....	59

3.11.3.	Dispositivo de programación.....	60
3.11.4.	Memoria.....	61
3.11.4.1.	Tipos.....	61
CAPÍTULO 4: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....		63
4.1.2.	Wonderware InTouch.....	70
4.1.3.	Factory Talk.....	71
4.1.4.	Selección final.....	71
4.2.	Selección de componentes y equipo.....	72
4.2.1.	Variable crítica 1: Temperatura de la mezcla.....	73
4.2.2.	Variable crítica 2: Temperatura del agua de enfriamiento.....	81
4.2.3.	Variable crítica: Presión de retorno en la tubería de enfriamiento.....	82
4.2.4.	Celdas de carga.....	85
4.2.5.	Electroválvulas.....	87
4.2.6.	Controlador lógico programable (PLC).....	88
CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN.....		92
5.1.	Instalación del <i>software SCADA Ignition</i>	92
5.2.	Configuración del <i>software SCADA Ignition</i>	92
5.3.	Diseñador de <i>Ignition</i>	97
5.3.1	Creación de variables (<i>tags</i>).....	99
5.3.2.	Creación de grupos de transacción de datos.....	109
5.3.3.	Creación de ventanas.....	116
5.3.3.1.	Ventana principal.....	116
5.3.3.2.	Ventana de Inicio.....	118
5.3.3.3.	Consulta de receta.....	119
5.3.3.4.	Configuración del proceso.....	120
5.3.3.5.	Tendencias de la temperatura del tanque y de la presión de la tubería de enfriamiento.....	122
5.3.3.6.	Reportes de producción.....	123
5.3.4.	Propiedades de componentes.....	127
5.3.4.1.	Editor de propiedad (<i>Property Editor</i>).....	128
5.3.4.2.	Componentes.....	131
5.3.5.	Códigos de programación (<i>Scripting</i>).....	137

5.4.	Desarrollo de la lógica de control.....	139
5.4.1.	Modo de operación	139
5.4.2.	Dosificación de agua inicial	141
5.4.3.	Registro de tiempos.....	143
5.4.4.	Dosificación de soda cáustica.....	145
5.4.5.	Dosificación de ácido sulfónico.....	147
5.4.6.	Dosificación de silicato de sodio.....	149
5.4.7.	Control de tiempos de agitación de la mezcla.....	151
5.4.8.	Dosificación del lote final de agua.....	154
5.5.	Modificaciones mecánicas al equipo y estructura de la planta de formulación de la mezcla.....	156
5.5.1.	Rediseño de los tanques de almacenamiento de los líquidos.....	156
5.5.2.	Selección de tuberías.....	164
5.5.3.	Instalación de sensores y actuadores.....	171
5.5.3.1.	Instalación de electroválvulas.....	174
5.5.3.2.	Instalación de celdas de carga.....	175
5.5.3.3.	Instalación de termocuplas y sensor de presión.....	177
	CAPÍTULO 6: ANÁLISIS FINANCIERO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	178
6.1.	Inversión Inicial	178
6.2.	Análisis de rentabilidad.....	180
6.3.	Rentabilidad del proyecto.....	187
6.3.1.	Valor Actual Neto (VAN)	187
6.3.2.	Tasa interna de rendimiento (TIR).....	187
6.3.3.	Retorno de la inversión (ROI)	187
6.3.4.	Cálculo de indicadores financieros.....	188
	CAPÍTULO 7: RESULTADOS	191
7.1.	Vista general de la interfaz HMI	191
7.2.	Registro de formuladores.....	192
7.3.	Configuración de parámetros del proceso.....	194
7.4.	Modo de operación.....	197
7.5.	Proceso semi automático de formulación de la mezcla <i>Lavaplatos Crema</i>	201
7.5.1.	Etapas 1, 2 y 3.....	201

7.5.2. Etapa 4.....	202
7.5.3. Etapa 5.....	204
7.5.4. Etapa 6.....	204
7.5.5. Etapa 7.....	205
7.5.6. Etapa 8.....	207
7.5.7. Etapa 9.....	209
7.5.8. Etapa 10	210
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	211
8.1. Conclusiones.....	211
8.2. Recomendaciones.....	213
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	214
ANEXOS Y APÉNDICES	216
Anexos	216
A.1. Manual de usuario	216
A.2. Programa de mantenimiento preventivo	229
A.3. Diagrama de instrumentación P&ID	230
A.4. Diagrama escalera del programa	231
Apéndices	235
A.1. Hoja de datos del CPU 1214c AC/DC/Rly	235
A.2. Interfaz HMI	240
A.3. Hoja de datos para celda de carga	244
A.4. Hoja de datos para actuador neumático	246
A.5. Hoja de datos para sensor de presión.....	248

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1. 1. Estructura organizacional del Departamento de Producción de Grupo Irex....	19
Figura 1. 2. Volumen de producción de los principales productos de la división de limpieza del Grupo Irex hasta junio de 2018.	20
Figura 1. 3. Diagrama Causa - Efecto.....	23
Figura 1. 4. Diagrama de bloques general del sistema de control y adquisición de datos.	26

Capítulo 2

Figura 2. 1. Ubicación de los tanques de dosificación y el tanque mezclador.	37
---	----

Capítulo 3

Figura 3. 1. Mezclador horizontal.....	45
Figura 3. 2. Tolva de almacenamiento.....	46
Figura 3. 3. Topologías de un sistema SCADA.....	49
Figura 3. 4. Interfaz HMI.....	53
Figura 3. 5. Estructura general de un sistema SCADA.....	54
Figura 3. 6. Termocupla tipo J.....	56
Figura 3. 7. Puente de Wheatstone.....	57
Figura 3. 8. CPU de un PLC.....	59
Figura 3. 9. Módulo de entradas de un PLC.....	60
Figura 3. 10. Programación en escalera de un PLC.....	61

Capítulo 4

Figura 4. 1. Diagrama de entradas y salidas del proceso.....	65
Figura 4. 2. Diagrama GRAFCET del proceso de semiautomatización del proceso de formulación de la mezcla.....	68
Figura 4. 3. Elementos de montaje y conexión de una termocupla.	76
Figura 4. 4. Dimensiones del tanque mezclador observadas desde la vista frontal.....	77
Figura 4. 5. Dimensiones generales del tanque, observadas desde la vista lateral.....	78
Figura 4. 6. Montajes alternativos para diámetros de tubería insuficientes.....	82
Figura 4. 7. Celda de carga seleccionada.....	86
Figura 4. 8. Actuador neumático serie 92.....	88
Figura 4. 9. CPU del controlador PLC S7-1200.....	91

Capítulo 5

Figura 5. 1. Acceso a la página de descargas de <i>Inductive Automation</i>	92
Figura 5. 2. Ventana de <i>Inicio</i> del servidor <i>web</i>	93
Figura 5. 3. Sección de conexión a bases de datos.....	94
Figura 5. 4. Selección del <i>driver</i> para la conexión a la base de datos.....	95
Figura 5. 5. Estado de la conexión a la base de datos.	96
Figura 5. 6. Descarga de <i>Ignition Designer</i>	97

Figura 5. 7. Ingreso a la interfaz del diseñador de <i>Ignition</i>	98
Figura 5. 8. Creación de proyectos en la interfaz de diseñador.	98
Figura 5. 9. Ventana principal de <i>Ignition Designer</i>	99
Figura 5. 10. Buscador de proveedores de <i>tags</i>	101
Figura 5. 11. Ubicación de los grupos de transacción en la interfaz del diseñador.....	109
Figura 5. 12. Recetas de formulación cargadas a la base de datos.	110
Figura 5. 13. Configuración del grupo de transacción <i>Recetas</i> (Parte 1).	112
Figura 5. 14. Configuración del grupo de transacción <i>Recetas</i> (Parte 2).	113
Figura 5. 15. Configuración del grupo de transacción <i>Recetas</i> (Parte 3).	114
Figura 5. 16. Configuración del grupo de transacción <i>Recetas</i> (Parte 4).	115
Figura 5. 17. Configuración del grupo de transacción <i>Tolerancias</i>	115
Figura 5. 18. Configuración del grupo de transacción <i>Tolerancias</i>	116
Figura 5. 19. Pantalla principal del sistema SCADA.....	118
Figura 5. 20. Ventana de inicio del proceso.	119
Figura 5. 21. Ventana de consulta de receta.	120
Figura 5. 22. Ventana de parámetros de configuración del proceso.	121
Figura 5. 23. Ventana de tendencias históricas de temperatura de la mezcla y presión de la tubería de enfriamiento.	122
Figura 5. 24. Ventana de reporte de producción (Parte I).	124
Figura 5. 25. Ventana de reporte de producción (Parte II).	125
Figura 5. 26. Ventana de reporte de producción. (Parte III).	126
Figura 5. 27. Ventana de reporte de producción. (Parte IV).....	127
Figura 5. 28. Editor de propiedades para el botón de tipo <i>toggle Automático</i>	129
Figura 5. 29. Editor de propiedades para el indicador de capacidad <i>Agua_Indicator</i>	130
Figura 5. 30. Ventana de <i>Property Binding</i> para el componente <i>Agua_Indicator</i>	131
Figura 5. 31. Diagrama de flujo del modo de operación del sistema.	140
Figura 5. 32. Diagrama de flujo de la dosificación inicial de agua.....	142
Figura 5. 33. Diagrama de flujo de registros de tiempos.	144
Figura 5. 34. Diagrama de flujo de la dosificación de soda cáustica.	146
Figura 5. 35. Diagrama de flujo de dosificación de ácido sulfónico.	148
Figura 5. 36. Diagrama de flujo del proceso de dosificación del silicato de sodio.....	150
Figura 5. 37. Diagrama de flujo del control de los tiempos de agitación del a mezcla.....	153
Figura 5. 38. Diagrama de flujo para el proceso de dosificación del lote final de agua. ...	155
Figura 5. 39. Estado actual del tanque de almacenamiento del ácido sulfónico lineal.	156
Figura 5. 40. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento del ácido sulfónico lineal.	159
Figura 5. 41. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento de la soda cáustica.	160
Figura 5. 42. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento del agua.....	162
Figura 5. 43. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento del silicato de sodio.	163
Figura 5. 44. Vista preliminar de los tanques de almacenamiento.....	164

Figura 5. 45. Dimensiones longitudinales de la tubería de conducción de agua.	168
Figura 5. 46. Vista preliminar de ubicación de tuberías de circulación de fluidos.	170
Figura 5. 47. Vista frontal de la línea de formulación de la mezcla Lavaplatos Crema. ...	171
Figura 5. 48. Vista posterior de la línea de formulación de la mezcla Lavaplatos Crema.	172
Figura 5. 49. Detalle del panel de control del sistema.....	173
Figura 5. 50. Vista preliminar de la instalación de electroválvulas de descarga en las tuberías.	174
Figura 5. 51. Vista preliminar de la instalación de celdas de carga en los tanques de almacenamiento (Parte I).	175
Figura 5. 52. Vista preliminar de la instalación de celdas de carga en los tanques de almacenamiento (Parte II).	176
Figura 5. 53. Vista preliminar de la instalación de la termocupla y el sensor de presión en la tubería de enfriamiento.	177

Capítulo 6

Figura 6. 1. Diagrama de Pareto de las no conformidades durante el período 17-18.	181
Figura 6. 2. Diagrama de Pareto de las causas de origen de las no conformidades del producto.	183

Capítulo 7

Figura 7. 1. Vista general de la interfaz HMI del sistema.	191
Figura 7. 2. Ventana de registro de formuladores.....	192
Figura 7. 3. Adición de formulador a base de datos.	193
Figura 7. 4. Eliminación de formulador de base de datos.....	194
Figura 7. 5. Ventana de configuración de parámetros del proceso.....	195
Figura 7. 6. Selección de lotes de parámetros del proceso (Parte I).	196
Figura 7. 7. Selección de lotes de parámetros del proceso.	197
Figura 7. 8. Ventana de registro de información de inicio del proceso (Parte I).	198
Figura 7. 9. Ventana de registro de información de inicio del proceso (Parte II).	199
Figura 7. 10. Mensaje de advertencia del sistema (Parte I).	200
Figura 7. 11. Mensaje de advertencia del sistema (Parte II).	201
Figura 7. 12. Etapas 1, 2 y 3 del proceso de formulación de la mezcla.	202
Figura 7. 13. Etapa 4 del proceso de la formulación de la mezcla (Parte I).	203
Figura 7. 14. Etapa 4 del proceso de formulación de la mezcla (Parte II).	203
Figura 7. 15. Etapa 5 del proceso de formulación de la mezcla.	204
Figura 7. 16. Etapa 6 del proceso de formulación de la mezcla.	205
Figura 7. 17. Etapa 7 del proceso de formulación de la mezcla (Parte I).	206
Figura 7. 18. Etapa 7 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 2).	207
Figura 7. 19. Etapa 8 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 1).	208
Figura 7. 20. Etapa 8 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 2).	208
Figura 7. 21. Etapa 9 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 1).	209
Figura 7. 22. Etapa 9 del proceso de formulación de la mezcla.	210

Anexos y Apéndices

Figura A. 1. Vista general del sistema SCADA.....	216
Figura A. 2. Ventana de formuladores.....	217
Figura A. 3. Mensaje en pantalla al agregar nuevo formulador.....	217
Figura A. 4. Pantalla de configuración del inicio del proceso.....	218
Figura A. 5. Mensaje en pantalla al configurar los parámetros de inicio del proceso.....	219
Figura A. 6. Pantalla de configuración de los parámetros del proceso.....	220
Figura A. 7. Selección de lotes de parámetros de operación del proceso.....	221
Figura A. 8. Error en pantalla al seleccionar los dos modos de operación del sistema....	222
Figura A. 9. Advertencia en pantalla al no seleccionar algún modo de operación.....	222
Figura A. 10. Pantalla de cambio de frecuencia de giro de motores mezcladores.....	223
Figura A. 11. Etiqueta de <i>Estado actual del proceso</i>	224
Figura A. 12. Estado de agitación de la mezcla.....	225
Figura A. 13. Control manual de electroválvulas.....	226
Figura A. 14. Tendencias históricas de las temperaturas del tanque mezclador y la tubería de enfriamiento.....	226
Figura A. 15. Generación de reporte de producción.....	227

Índice de Tablas

Capítulo 1

Tabla 1. 1. Estado de tandas de producción de la mezcla <i>Lavaplatos Crema</i> para el período Oct-17-Jun-18.....	22
--	----

Capítulo 2

Tabla 2. 1. Datos de placa de motores eléctricos.....	35
Tabla 2. 2. Datos de placa de reductores mecánicos.....	35
Tabla 2. 3. Datos de placa de electroválvulas de salida.....	35
Tabla 2. 4. Especificaciones técnicas de los tanques de dosificación de la materia prima líquida.....	36
Tabla 2. 5. Procedimiento para la formulación de la mezcla <i>Lavaplatos Crema</i>	38
Tabla 2. 6. Tiempos de formulación para dos distintos formuladores.....	39
Tabla 2. 7. Variables por controlar en el proceso de producción del producto <i>Lavaplatos Crema</i>	41
Tabla 2. 8. Variables de control del proceso de producción de la mezcla <i>Lavaplatos Crema</i>	43

Capítulo 4

Tabla 4. 1. Etapas automatizadas del proceso de formulación de la mezcla.....	63
Tabla 4. 2. Principales ventajas y desventajas del <i>software Ignition</i>	69
Tabla 4. 3. Principales ventajas y desventajas del <i>software Wonderware InTouch</i>	70
Tabla 4. 4. Principales ventajas y desventajas del <i>software Factory Talk</i>	71
Tabla 4. 5. Selección final del sistema SCADA.....	72
Tabla 4. 6. Comparación de propiedades de sensores de temperatura propuestos.....	73
Tabla 4. 7. Selección final del sensor de temperatura para el tanque de mezcla.....	74
Tabla 4. 8. Especificaciones técnicas del termopozo seleccionado.....	80
Tabla 4. 9. Especificaciones técnicas del termopozo para termocupla de tubería de agua de enfriamiento.....	82
Tabla 4. 10. Comparación de propiedades de sensores de presión propuestos.....	83
Tabla 4. 11. Selección final del sensor de temperatura.....	84
Tabla 4. 12. Comparación de propiedades de celdas de carga propuestas.....	85
Tabla 4. 13. Selección final de la celda de carga.....	86
Tabla 4. 14. Principales características del actuador neumático <i>Bray Controls</i> serie 92... ..	87
Tabla 4. 15. Cantidad de entradas y salidas del controlador SIMATIC S7-1200.....	89
Tabla 4. 16. Capacidades de memoria del controlador SIMATIC S7-1200.....	89
Tabla 4. 17. Expansión del CPU del controlador.....	89
Tabla 4. 18. Entradas y salidas del controlador.....	90

Capítulo 5

Tabla 5. 1. Bases de datos soportadas por <i>Ignition</i>	93
Tabla 5. 2. Configuración de los parámetros de la conexión de la base de datos.....	95
Tabla 5. 3. Tipos de <i>tags</i> soportados por <i>Ignition</i>	100
Tabla 5. 4. Variables de lectura simuladas.....	101
Tabla 5. 5. Variables de dosificación.....	102
Tabla 5. 6. Variables de activación de etapas del proceso de formulación.....	103
Tabla 5. 7. Variables de modo de operación del sistema.....	105
Tabla 5. 8. Variables para el registro de tiempos.....	105
Tabla 5. 9. Variables para la identificación de tolerancias de corte y velocidades.....	106
Tabla 5. 10. Variables para la simulación virtual del proceso de llenado y descarga de tanques.....	107
Tabla 5. 11. Variables para la activación de las válvulas de descarga de líquidos.....	108
Tabla 5. 12. Principales comandos <i>MySQL</i> utilizados para el tratamiento y la manipulación de los datos.....	111
Tabla 5. 13. Propiedades de los componentes utilizados en el diseñador de <i>Ignition</i>	132
Tabla 5. 14. Funciones del módulo <i>Scripting</i> más utilizadas.....	138
Tabla 5. 15. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.....	157
Tabla 5. 16. Flujos máxicos de descarga de la materia prima.....	165
Tabla 5. 17. Volumen ocupado de los fluidos en sus tanques de almacenamiento.....	165
Tabla 5. 18. Caudal de salida de los fluidos almacenados en los tanques.....	166

Tabla 5. 19. Diámetros requeridos para las tuberías de conducción de los fluidos.	166
Tabla 5. 20. Accesorios de tuberías y sus constantes.	167
Tabla 5. 21. Pérdidas de carga totales para las tuberías de conducción de los fluidos. ..	170

Capítulo 6

Tabla 6. 1. Cotización del equipo requerido para la semi automatización del proceso de formulación.	178
Tabla 6. 2. Cotización de sensores y actuadores requeridos para la semi automatización del proceso de formulación.	178
Tabla 6. 3. Cotización de accesorios y elementos de interconexión requeridos para la semi automatización del proceso de formulación.	179
Tabla 6. 4. Costos de mano de obra.	179
Tabla 6. 5. Costos totales del proyecto.	180
Tabla 6. 6. Frecuencia de las causas de origen asociadas a la aparición de no conformidades en la mezcla.	182
Tabla 6. 7. Estado de automatización de las etapas de la formulación de la mezcla.	183
Tabla 6. 8. Frecuencia de las causas de origen asociadas a la aparición de no conformidades en la mezcla después de la implementación del sistema.	185
Tabla 6. 9. Cantidad de PNC durante el período 17-18 debido al factor de mano de obra.	186
Tabla 6. 10. Costos anuales de PNC asociados al factor mano de obra.	186
Tabla 6. 11. Flujo de operaciones del proyecto.	189
Tabla 6. 12. Flujo neto de operaciones del proyecto.	189
Tabla 6. 13. Evaluación del proyecto.	190

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Entorno del proyecto

La empresa Irex de Costa Rica S.A. fue fundada en el año 1955 por Ricardo Amador Céspedes, dedicándose en sus inicios a la fabricación de jabón en barra a partir de grasas naturales. En la década de los 70, el cambio en la cultura de consumo del mercado nacional hizo que los productos comercializados fueran sustituidos por productos de limpieza sintéticos, por lo que se desarrolló la primera formulación de detergente nacional en forma de grano. Durante los años 90, la empresa puso en marcha la construcción de una nueva planta en la localidad de Concepción de Tres Ríos, Cartago, que se destinó a la elaboración de detergentes, ceras, cloros, entre otros artículos. Actualmente, el Grupo Irex ha diversificado su presencia en el mercado al incursionar en la producción de alimentos enlatados y de comidas para bebé, sin dejar de lado la tradicional línea de productos de limpieza y detergentes (Grupo Irex, 2018).

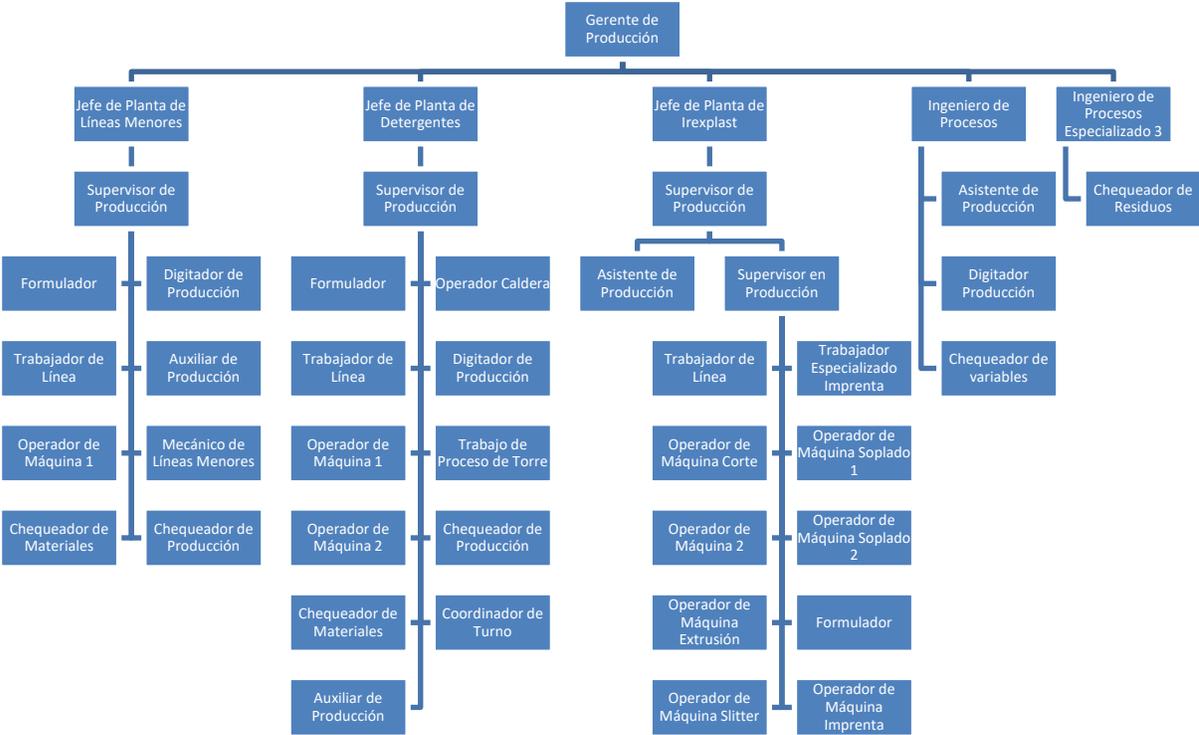
El Grupo Irex desarrolla sus actividades amparado en los pilares de competitividad y responsabilidad social, generando un valor agregado que permite diferenciarse en el entorno local e internacional. La misión de la empresa consiste en fabricar y comercializar detergentes, artículos de limpieza y alimentos procesados con estándares de calidad y rentabilidad que, junto con un proceso de innovación constante, permita satisfacer las expectativas de los consumidores. Su objetivo organizacional estratégico, por su parte, reside en un sostenido crecimiento en la presencia de mercados de Latinoamérica y el Caribe (Grupo Irex, 2018).

La planta ubicada en Concepción de Tres Ríos, en la provincia de Cartago, cuenta con dos divisiones de productos: artículos de limpieza y detergentes. Dentro de la primera categoría sobresale la producción de desinfectantes, cloro, pastillas desodorizantes, limpiadores y lavaplatos. La segunda división, a su vez, se encarga de la fabricación de detergentes en grano y líquidos, así como de suavizantes. La compañía posee departamentos en las áreas de administración, mercadeo y ventas, servicio al cliente, mantenimiento y producción. Este último es el encargado de la

fabricación de la línea de productos de la empresa. La estructura organizacional del Departamento de Producción se visualiza en la Figura 1. 1.

El Grupo Irex se alinea a los principios estratégicos de la marca “Esencial, Costa Rica”, promovida por la Coalición de Iniciativas para el Desarrollo (CINDE) para la atracción de inversión extranjera directa (IED) al país, articulados en los atributos de excelencia, innovación, progreso social y sostenibilidad. De este modo, al ser una empresa fundada por 100 % talento nacional, marca la línea hacia el liderazgo del país en sostenibilidad ambiental, adopción de tecnologías emergentes, y responsabilidad social empresarial (Grupo Irex, 2018).

Actualmente, el Departamento de Producción de la empresa ha encontrado la necesidad de mejorar la calidad de la mezcla del producto *Lavaplatos Crema* en una de sus líneas de producción, la cual, debido a alteraciones en el proceso de fabricación, no ha resultado homogénea en un rango de aceptación determinado por los laboratorios de análisis químico de la compañía. Por este motivo, el departamento ha decidido considerar el uso de herramientas tecnológicas en aras de mejorar factores asociados al inconveniente presentado.



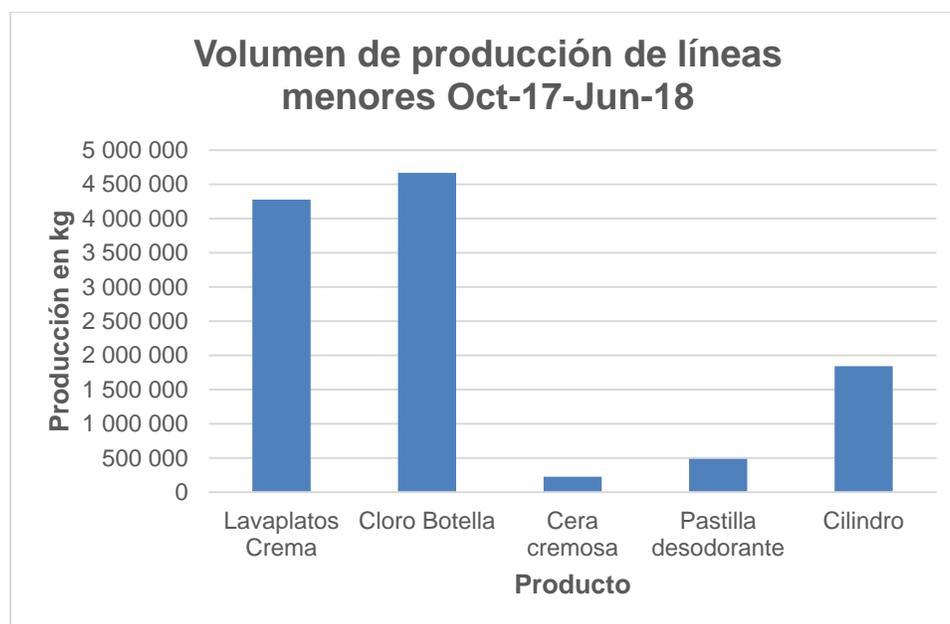
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

Figura 1. 1. Estructura organizacional del Departamento de Producción de Grupo Irex.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Generalidades

La producción del Grupo Irex se basa principalmente en dos líneas de productos: artículos de limpieza y detergentes. Dentro de la primera categoría sobresale la fabricación de cloro, limpiadores y lavaplatos, siendo el cloro el que presenta el mayor volumen de producción actual, tal y como se observa en la Figura 1. 2. En los últimos años, la fabricación del producto *Lavaplatos Crema* ha venido incrementándose y se ha proyectado un aumento sostenido durante el tiempo, que se ha visto reflejado en la adquisición de una nueva línea de producción, cuya presencia vino a complementar la única línea que tuvo la empresa hasta mayo de 2018.



DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

Figura 1. 2. Volumen de producción de los principales productos de la división de limpieza del Grupo Irex hasta junio de 2018.

La fabricación de la mezcla del producto *Lavaplatos Crema*, del Grupo Irex, enmarcada en la división de artículos de limpieza, ha presentado composiciones químicas y físicas no homogéneas en términos de densidad, concentración de

ingredientes activos y apariencia, por lo que la empresa decidió contratar a un experto del área de la ingeniería química que auditara el proceso con el fin de revelar sus posibles fallas. El profesional encontró alteraciones en la adición de los materiales y falta de control de variables como peso, temperatura, tiempo de mezcla, presión en las tuberías y humedad en su proceso de elaboración. Actualmente, la producción de la mezcla es llevada a cabo de forma manual a través de operarios que se encargan de añadir la materia prima en el tanque de mezcla.

La dosificación de la materia prima de acuerdo con la fórmula del producto se realiza exclusivamente con el uso de básculas y la apertura manual de válvulas. El proceso de producción requiere de un estricto monitoreo del tiempo para la adición de los ingredientes y de una velocidad de mezcla óptima, sin embargo, estos aspectos operativos son evaluados a través de inspección visual y conocimiento empírico, conduciendo a la aparición de sesgos involuntarios por parte de los operadores. Además, durante la fabricación de la mezcla no existe información relativa a variables de interés, tanto internas como externas, que afectan su composición final, pues estos datos son monitoreados únicamente al obtener la mezcla resultante.

Una vez que se ha efectuado la mezcla del lavaplatos, se toman muestras y se envían a laboratorios de Aseguramiento de la Calidad dentro de la empresa, los cuales han determinado la falta de homogeneidad en su composición a lo largo de varios lotes de producción, situación que ha comprometido la calidad sostenida del producto. El porcentaje de las tandas de la mezcla que se encuentra fuera de las especificaciones requeridas, en términos de densidad, humedad y concentración de ingrediente activo es de alrededor 13,34 %, para el período comprendido entre octubre de 2017 y junio de 2018, motivo por el cual se ha tenido que justificar su aprobación (ver Tabla 1. 1).

Tabla 1. 1. Estado de tandas de producción de la mezcla *Lavaplatos Crema* para el período Oct-17-Jun-18.

Estado	Cantidad de tandas	Porcentaje
Aprobado	5312	86.11
Justificado	823	13.34
Pendiente	21	0.34
Rechazado	12	0.19
Seguimiento	1	0.02
Total general	6169	100

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

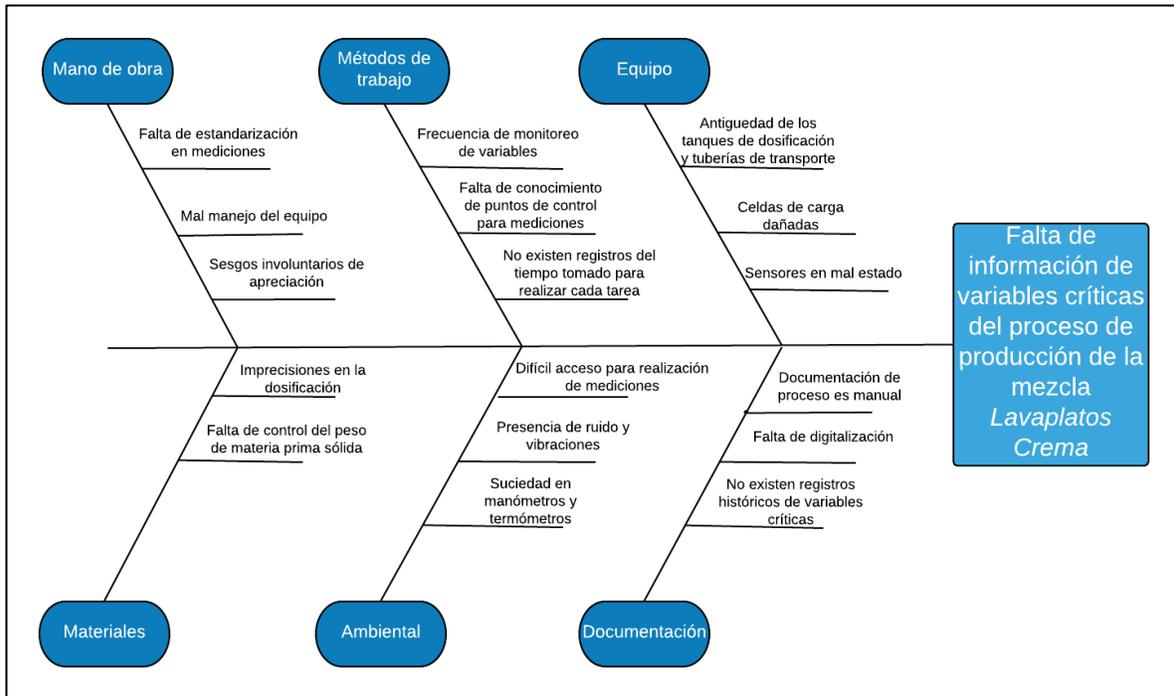
Dentro de los múltiples factores encontrados por el profesional del área química contratado por la empresa y que contribuye al desconocimiento de las causas del problema de homogeneidad de la mezcla del producto está la falta de información existente sobre las variables involucradas en el proceso de fabricación del lavaplatos, pues se ignora el punto del proceso que ha sido alterado y que, en consecuencia, ha afectado la mezcla final.

1.2.2. Síntesis del problema

Existe la necesidad de monitorear la información proveniente de las variables críticas involucradas en el proceso de fabricación de la mezcla de *Lavaplatos Crema*, del Grupo Irex, para el establecimiento de criterios y toma de decisiones en el ajuste de sus parámetros.

1.3. Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa)

La Figura 1. 3 muestra un diagrama de causa-efecto que permite visualizar las múltiples causas asociadas a la problemática que se busca solucionar con la presente propuesta de proyecto de graduación.



LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 1. 3. Diagrama Causa - Efecto

1.4. Enfoque de la solución

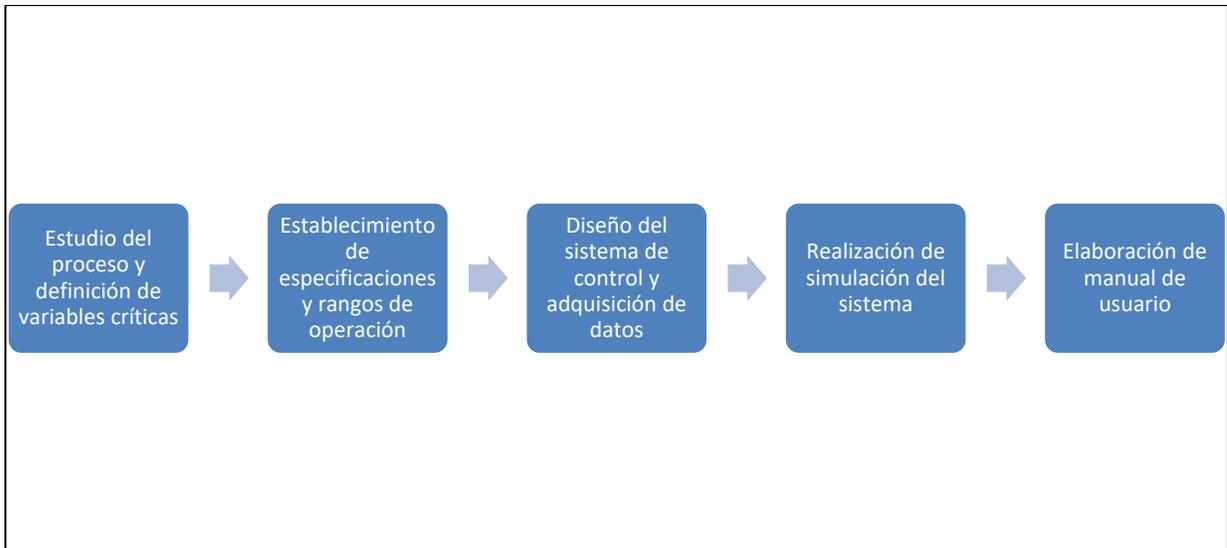
En la actualidad, el proceso de fabricación de la mezcla de *Lavaplatos Crema* es realizado manualmente, desde la adición y dosificación de los materiales, hasta su mezcla, sin existir indicadores de realimentación. La falta de control y de monitoreo sobre las variables de interés del proceso, como tiempo de mezcla, velocidad de agitación, temperatura, entre otros aspectos, hace que se desconozca el punto o etapa del proceso que fue modificado y que, por ende, ocasiona que el resultado final de la mezcla no sea homogéneo de acuerdo con los estándares de analistas químicos de la empresa. Por lo tanto, el Grupo Irex desea monitorear el proceso de producción en una de sus líneas, a través de un sistema que sea capaz de almacenar registros históricos de cada una de las etapas de fabricación, y que actúe sobre secciones de la planta, de modo que optimice la intervención del factor humano con el fin de permitir la toma de decisiones durante el proceso.

Para el desarrollo del proyecto, se ha decidido dividir la naturaleza del problema en seis áreas:

- Estudio del proceso de elaboración del producto: La primera fase consistirá en un detallado estudio de las etapas necesarias para la fabricación del artículo en cuestión. A partir de allí, se deberán definir cuáles son las variables de interés involucradas en cada punto del proceso, así como sus características y grado de criticidad en el producto final. De igual modo, se determinarán cuáles tareas pueden realizarse de forma automática y cuáles deberán realizarse de forma manual, al efectuar un análisis costo-beneficio, con el propósito de eliminar posibles riesgos y así elevar la confiabilidad y eficiencia de la producción.
- Establecimiento de las especificaciones de diseño: En esta etapa, se deberá establecer el rango óptimo de operación de las variables de interés del proceso, según criterios técnicos del área ingenieril y química, y las acciones que deben ejecutarse, de forma automática o manual, en cada una de las fases de producción a partir de su lectura e interpretación.

- Evaluación de distintas propuestas de solución: Se considerarán al menos tres opciones de solución distintas que ataquen el problema, y a través de un proceso de evaluación de acuerdo con criterios de diseño técnicos, ingenieriles y económicos se discriminará el candidato final que cumpla con las expectativas del usuario.
- Diseño del sistema de control y adquisición de datos: Una vez definidas las variables críticas del proceso, se procederá al diseño del sistema de adquisición de información proveniente de la fabricación de la mezcla, donde se detallará la selección de los sensores requeridos, actuadores y las modificaciones mecánicas que deberán realizarse a secciones de la planta actual.
- Realización de una simulación del sistema: Con el fin de validar el diseño elaborado en la etapa anterior, se realizará una demostración del funcionamiento del sistema propuesto a partir del desarrollo de una simulación, con una interfaz gráfica que despliegue en pantalla el estado actual de las variables críticas, y las acciones que deberán ejecutar los operadores según su lectura.
- Elaboración de un manual para el usuario: Finalmente, se deberá documentar la forma de utilización del sistema diseñado, con el propósito de facilitar su uso por parte del operador. De igual forma, se formulará un plan de mantenimiento que asegure la correcta operación del equipo.

La Figura 1. 4 muestra un diagrama de bloques general del sistema de control y adquisición de datos.



MICROSOFT WORD (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 1. 4. Diagrama de bloques general del sistema de control y adquisición de datos.

1.4.1. Criterios para el diseño de la solución

Para la selección de una propuesta que se adecúe a la solución del problema, se han listado los siguientes criterios técnicos, ingenieriles y económicos:

- Robustez y recursos de procesamiento del controlador.
- Resolución, facilidad de instalación y acondicionamiento de sensores.
- Operación del equipo en ambientes abrasivos, corrosivos y sujetos a vibraciones.
- Facilidad de programación del lenguaje de desarrollo del algoritmo.
- Análisis económico del equipo.
- Presencia de proveedores en el país.
- Tiempo de llegada del equipo y suministros.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema mecatrónico de supervisión, control y adquisición de datos que permita el establecimiento de criterios de toma de decisiones para el ajuste de parámetros del proceso de producción de la mezcla *Lavaplatos Crema*, del Grupo Irex, en una de sus líneas de producción.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar las variables críticas de control del proceso de producción de la mezcla *Lavaplatos Crema* de acuerdo con el criterio técnico de los Departamentos de Calidad e Investigación y Desarrollo.

Entregable: Obtención de tabla de variables críticas del proceso y sus puntos de control.

- Determinar los sensores requeridos que permitan la obtención de información de las variables críticas según los parámetros establecidos por el Departamento de Investigación y Desarrollo.

Entregable: Listado de sensores seleccionados y sus especificaciones.

- Diseñar las modificaciones mecánicas requeridas para la integración del sistema con el equipo dosificador de forma que se asegure su operación dentro de los criterios establecidos.

Entregable: Diagrama de instrumentación del proceso.

- Demostrar el funcionamiento del sistema a través de una simulación con interfaz gráfica que contenga el estado de las variables críticas de control en tiempo real y registre sus variaciones históricas.

Indicador: Simulación del sistema a partir de la lectura simulada de variables.

- Realizar un análisis financiero de la solución propuesta a través de los indicadores TIR, VAN y ROI.

Indicador: Cálculo de indicadores TIR, VAN y ROI.

- Establecer un manual de operaciones, así como un plan de mantenimiento que asegure el correcto funcionamiento del sistema.

Entregable: Manual de operaciones y plan de mantenimiento del sistema.

1.6. Procedimientos para la ejecución del proyecto

Para el efectivo cumplimiento de los objetivos planteados para este proyecto, se propone la adopción de una metodología de diseño en ingeniería concurrente, donde cada segmento sea capaz de solucionar problemas puntuales de la respectiva fase. El primer bloque deberá estar destinado a la recopilación y definición de los requerimientos dados para la solución del problema, pues a partir de su delimitación se podrá avanzar hacia la siguiente etapa, donde ocurre la generación de los candidatos de diseño. De forma paralela, se deberá realizar un estudio detallado del proceso y de los actuadores involucrados, por lo que se acudirá a manuales, documentación técnica y hojas de datos que permitan determinar las variables críticas por controlar. Además, es pertinente efectuar un proceso de observación de las intervenciones realizadas por los operadores del equipo, con el fin de evaluar su desempeño y plantear modificaciones desde el punto de vista de la ingeniería mecatrónica.

Una vez identificadas las variables de interés del proceso, se consultará con expertos del área ingenieril y química, sus rangos de operación óptimos y el procedimiento que deberá seguirse en caso de no cumplirlos.

A través de la técnica de lluvia de ideas, se pretende generar al menos tres candidatos óptimos, para luego realizar un proceso de discriminación basado en los criterios técnicos, ingenieriles y económicos, descritos en la sección de enfoque de la solución, así como en la realización de pruebas de concepto, las cuales servirán para garantizar el desempeño de los principios básicos que gobiernan el funcionamiento de cada candidato. Una vez seleccionado el candidato óptimo, se procederá al levantamiento de un listado de especificaciones, que se utilizarán para determinar el equipo y componentes requeridos para su implementación. Al determinarse estos últimos, deberán plantearse las modificaciones mecánicas necesarias para la integración del sistema con el equipo dosificador y de mezcla.

La siguiente etapa consistirá en el diseño del sistema de control y adquisición de datos, para lo cual, en primer término, se requerirá de la realización de una lógica algorítmica que optimice la intervención de los operadores en el proceso. Seguidamente, deberán efectuarse rutinas de lectura de las variables de interés, y su acondicionamiento dentro del controlador. Una vez recolectados los datos, deberá enviarse la información hacia una interfaz humano-máquina (HMI) así como a un computador de monitoreo, por lo que deberá evaluarse la utilización de un protocolo de comunicación efectivo que permita la visualización en tiempo real de las lecturas.

Dentro de la fase de diseño, se deberá programar un entorno de visualización gráfica de las variables medidas y del proceso, así como de control remoto de las tareas que fueron calificadas para tales fines. El sistema será capaz de almacenar los registros históricos de la información desplegada en pantalla, que podrá conectarse a bases de datos internas dentro de la empresa.

Finalmente, se realizará la documentación técnica y manual de usuario que facilite la utilización del sistema por parte del operador del sistema. Además, se formulará un plan de mantenimiento que garantice su correcta operación.

Es necesario destacar que, a lo largo del desarrollo del presente proyecto, se contará con la supervisión ingenieril del Departamento de Producción y Mantenimiento de Grupo Irex, específicamente bajo la figura del Jefe de Planta de Producción de Líneas Menores.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso de dosificación y mezcla del producto *Lavaplatos Crema* presenta varios subprocesos que deben cumplirse para su efectiva realización. Las etapas requeridas comprenden desde las operaciones necesarias previas al arranque hasta el almacenamiento del producto final en bodegas de distribución. A continuación, se listan las etapas que comprenden el proceso.

2.1. Operaciones previas al arranque

En primera instancia, El Jefe de Producción entrega el Programa al Supervisor de Producción. Posteriormente, el Supervisor de Producción debe coordinar con el personal de la Bodega de Materia Prima la entrega de los materiales. Al recibir el material, el trabajador de línea realiza inspección visual, con el fin de verificar su integridad. Una vez efectuada la revisión, el formulador y el trabajador de línea reciben del supervisor las cantidades a producir de acuerdo con la presentación. Seguidamente, el trabajador de línea anota los lotes de materiales de empaque en el *Reporte de Alisto*. Antes del arranque, el trabajador verifica el funcionamiento de la balanza en uso y de la codificadora.

2.2. Proceso de granel

En esta etapa, el formulador debe llevar un control de las siguientes variables de producción: peso de las materias primas, número de lote de identificación de cada materia prima utilizada, número de tanda y su respectivo lote. Estos datos deben ser anotados en el documento de *Control de consumo de materia prima*.

Una vez registrados los datos anteriores, las materias primas se colocan en el tanque de mezcla mediante la apertura manual de válvulas para la dosificación de líquidos y la adición manual en el caso de la materia prima sólida. En este tanque se debe llevar un control por cada tanda de las siguientes variables: tiempo de

mezcla, presión de retorno a la tubería de enfriamiento, temperatura de la mezcla, apariencia (textura pastosa), composición y presencia de color homogéneo. También se debe llevar control sobre el color de la tanda que se verifica contra una muestra patrón. Estos datos son anotados en el documento *Control de consumo de materia prima*.

Por cada tanda preparada, en caso de una marca privada, o por cada dos tandas (marca Irex), el formulador debe tomar una muestra de la mezcla almacenada en el tanque para entregarla al Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad, el cual realiza un análisis de acidez (pH), ingrediente activo, densidad y porcentaje de humedad. Los resultados son ingresados en el *Sistema de Control de Muestras de Análisis*.

Finalmente, se procede a trasegar el granel a los tanques de almacenamiento, donde se controla la temperatura del producto. El control de este tanque queda registrado por tanda.

Nota: En el caso de la variable presión a retorno de la tubería las especificaciones definen mínimo 20 psi y máximo 35 psi, no obstante, cuando se llega a cero el consumo de la chaqueta se pueden presentar picos de hasta 50 psi.

2.3. Proceso de llenado

Previo al arranque, el trabajador debe abrir la llave de vapor a la tubería de trasiego hasta asegurarse que quede limpia, para ello debe colocar un recipiente al final de la tubería y observar que la salida del agua (vapor condensado) sea transparente. Según la presentación del producto, el trabajador monta el molde correspondiente de tapa y cremera. Seguidamente, debe verificar que la máquina puesta en marcha tenga activada la bomba de vacío y el nivel de llenado, para iniciar con el proceso y tapado de producto.

Una vez iniciado el llenado de las primeras cremeras, el producto se verifica contra la muestra patrón en cuanto al color y perfume. Ambas variables deben ser registradas cada 30 minutos aproximadamente en el documento *Control de*

Producto Terminado. Por cada tanda, el trabajador de línea debe verificar y anotar la temperatura de mezcla en el registro anterior.

Previo al llenado del producto, se debe verificar la integridad del envase y de la tapa, las cuales deben estar sin rupturas, ser rígidas, tener textos legibles y buen ajuste entre la tapa y cremera. Además, el trabajador de línea verifica el color e impresión de la cremera contra muestra patrón.

Posteriormente, debe pesar las cremeras ya tapadas y para ello debe asegurarse que la balanza esté en buen estado. En este punto, el trabajador de línea verifica constantemente el peso de las unidades, y cada 30 minutos toma el peso de 5 unidades. Luego, se realiza la codificación, de acuerdo con la presentación, verificando número de lote, producción y registrando cada media hora sus resultados.

El trabajador de línea del área de entarimado debe verificar el producto y estado de embalaje y de la tarima. Al entarimar el producto, el trabajador debe colocar en un costado el *sticker* de recepción de mercadería. El trabajador de línea traslada la tarima al área de almacenamiento temporal, donde se debe cumplir el tiempo de estabilización del producto. El supervisor evalúa que la apariencia del producto sea de contextura sólida, así como la ausencia de cristales en la superficie. Luego, 36 horas después de haberse producido, se da la liberación del producto en el Sistema de Calidad.

2.4. Proceso de formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema*

En secciones anteriores se abordó la producción del producto *Lavaplatos Crema* en todas sus etapas, desde la entrega del Programa de Producción al Supervisor de Línea hasta el almacenamiento del artículo final en las bodegas de almacenamiento. Este apartado se enfocará en la explicación del proceso de formulación de la mezcla, en una presentación genérica, incluyendo cada etapa requerida. Las cantidades dosificadas no se muestran en este documento como

parte de un acuerdo de confidencialidad de la empresa para la protección de la fórmula.

2.4.1. Materia prima

El proceso de fabricación de la mezcla incluye materia prima líquida y sólida. Dentro de la primera categoría, se encuentran agua, ácido sulfónico lineal, soda cáustica, silicato al 42%, sorbitol al 70% y glicerina. Por su parte, los materiales sólidos corresponden a carbonato de sodio, carbonato de calcio, sulfato de sodio y colorante.

2.4.2. Equipo

2.4.2.1. Tanque mezclador

Consiste en un tanque fabricado con lámina metálica, compuesto por dos ejes con 4 paletas, en forma de cuchilla. Tiene dos motores trifásicos con reductor mecánico iguales. Cada motor es de 13,2 kW / 60 Hz / 1765 RPM y cada reductor es de 22,0742 / 4218 Nm / 63 rpm. El accionamiento de ambos motores se da por medio de variadores de frecuencia YASKAWA V-1000.

Este tanque posee dos salidas con válvulas bridadas de mariposa actuadas eléctricamente. A su vez, cuenta con una chaqueta de agua de enfriamiento utilizada para regular la temperatura de la mezcla durante el proceso. Las Tabla 2. 1, Tabla 2. 2 y Tabla 2. 3 muestran los datos de placa del equipo perteneciente al mezclador.

Tabla 2. 1. Datos de placa de motores eléctricos.

Datos de placa de motores eléctricos	
Marca	PUJOL MUNTALÀ
Tipo	X-160M-4-CH/IE2
Clase de aislamiento	F
Protección	IP55
Para 60 Hz	440-480 V Delta
	20,8A
	13,2 kW / 1765 RPM

Elaboración propia

Tabla 2. 2. Datos de placa de reductores mecánicos.

Datos de placa de reductores mecánicos	
Marca	PUJOL MUNTALÀ
Modelo	KXC 703/22,07/350-42
Relación de reducción	22,0742
Torque	4218 Nm
Velocidad de salida	63 rpm

Elaboración propia

Tabla 2. 3. Datos de placa de electroválvulas de salida.

Datos de placa de electroválvulas de salida	
Marca	PRISMA
Modelo	PA05
Presión máxima	8 bar
Temperatura	-32 °C a 90 °C
Función	Normalmente cerrada
Torque	49,7 Nm a 6 BAR

Elaboración propia

2.4.2.2. Tanques de dosificación

Existen 4 tanques de dosificación de la materia prima líquida para los siguientes ingredientes de la fórmula: agua, ácido sulfónico, silicato de sodio y soda cáustica. La liberación de estos materiales se da a través de la apertura manual de

válvulas por parte del formulador. Actualmente, cada uno de estos tanques posee una única celda de carga, las cuales se hallan conectadas a un transmisor de peso que transmite la información a un controlador donde se observa el peso actual. La Tabla 2. 4 contiene las dimensiones geométricas de cada tanque, así como su material de fabricación.

Tabla 2. 4. Especificaciones técnicas de los tanques de dosificación de la materia prima líquida.

Tanque de almacenamiento materia prima	Material	Dimensiones			
		Diámetro del cuerpo cilíndrico (mm)	Longitud del cuerpo cilíndrico (mm)	Longitud de la salida cónica (mm)	Altura total (mm)
Agua	Acero grado HN 1/8" de espesor	790	870	555	1425
Ácido sulfónico	Acero grado HN 1/8" de espesor	535	710	375	1085
Silicato de sodio	Acero grado HN 1/8" de espesor	395	465	325	790
Soda cáustica	Acero grado HN 1/8" de espesor	300	310	220	530

Elaboración propia

La Figura 2. 1 muestra la localización de los tanques de dosificación y el tanque mezclador. Obsérvese que los primeros se ubican en un plano superior al mezclador, de forma que el proceso dosificación se lleva a cabo mediante la acción de la gravedad. Los fluidos provienen de depósitos de la empresa y circulan a través de tuberías, para lo cual son bombeados mediante bombas de engranajes.



ELABORACIÓN PROPIA

Figura 2. 1. Ubicación de los tanques de dosificación y el tanque mezclador.

2.4.3. Procedimiento

La formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema* se encuentra formada por 10 etapas en total. Cada una de ellas cuenta con un tiempo de agitación y velocidad óptimas que deben respetarse para la obtención de una mezcla alineada a los estándares de los Departamentos de Calidad e Investigación y Desarrollo. En este apartado, se omiten las cantidades de dosificación, como parte de un acuerdo de confidencialidad entre el suscrito y la empresa.

La totalidad del proceso es llevada a cabo de forma manual, desde el transporte de la materia prima sólida de las bodegas de almacenamiento hasta su liberación en el tanque mezclador. Nótese de la Tabla 2. 5 que las etapas 6, 7 y 8 requieren de un estricto monitoreo del tiempo de agitación, el cual es controlado a través de un cronómetro operado por el formulador y que, de acuerdo con estudios realizados por la empresa, no es monitoreado adecuadamente. Además, cada etapa

debe consumarse con una velocidad de agitación determinada, sobre la cual no existe registro alguno de su cumplimiento.

Tabla 2. 5. Procedimiento para la formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema*.

Etapa	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento
1	Colorante Agua	2		Preparar colorante con velocidad 2 en motor de agitación de colorante. Dejar agitando durante el proceso.
2	Agua	7		Abrir sistema de enfriamiento para controlar que la temperatura no suba en el mezclador, manteniéndolo abierto hasta el final del proceso. Agregar agua al mezclador (tanque 17-A8). Mantener velocidad.
3	Carbonato de sodio Sulfato de sodio	7		Agregar el carbonato de sodio y el sulfato de sodio al mezclador. Mantener velocidad.
4	Éter lauril sulfato Soda cáustica 50%	7 7		Seguidamente, agregar el éter lauril. Luego, agregar soda cáustica 50% al mezclador. Mantener velocidad.
5	Ácido sulfónico lineal Silicón antiespumante	7 2 7		Agregar el ácido sulfónico al mezclador mientras se agita. Al terminar de dosificar el sulfónico, bajar la velocidad del mezclador y añadir el silicón.
6	Silicato de sodio al 42%	7	5	Agregar el silicato de sodio al mezclador y agitar por el tiempo indicado. Mantener velocidad.

Etapa	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento
7	Carbonato de calcio	4 y 9	5	Añadir primera ración de carbonato de calcio al mezclador con baja velocidad (4). Luego, agregar ración restante a alta velocidad y agitar por el tiempo indicado.
8	Sorbitol al 70% Glicerina	9	5	Agregar el sorbitol y glicerina y mantener alta velocidad. Agitar por tiempo indicado.
9				Parar y medir temperatura. Tomar muestra para laboratorio (Tiempo tomado en laboratorio de aproximadamente 10 min)
10				De estar bien el análisis, medir temperatura de descarga que permita empacar entre 37°C-47°C

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Según el criterio de analistas químicos de la empresa, la duración total del proceso de formulación debe ser de alrededor 45 minutos. No obstante, un profesional del área de la ingeniería química se dedicó a realizar mediciones del tiempo que le tomaba a cada formulador completar la respectiva etapa y encontró diferencias notables. La Tabla 2. 6 contiene los resultados obtenidos.

Tabla 2. 6. Tiempos de formulación para dos distintos formuladores.

Etapa	Tiempo Formulador 1 (min)	Tiempo Formulador 2 (min)
1	NA	NA
2	4	4
3	7	5
4	3	3

Etapa	Tiempo Formulador 1 (min)	Tiempo Formulador 2 (min)
5	4	7
6	7	7
7	13	10
8	6	6
9	4	3
10	5	5
Duración total	53	50

Elaboración propia

Obsérvese de la Tabla 2. 6 que existen diferencias entre cada formulador para el cumplimiento de las etapas del proceso, siendo las más notorias las ocurridas en los puntos 5 y 7. A partir de este estudio, se puede concluir que no existe estandarización en la duración total del procedimiento, pues depende directamente del formulador, por lo cual resulta de interés el conocimiento del tiempo tardado en completar cada tarea, constituyéndose en una variable crítica.

2.5. Definición de variables críticas del proceso de producción de la mezcla *Lavaplatos Crema*

Para la definición de las variables críticas del proceso de producción de la mezcla, resulta pertinente aclarar y delimitar los conceptos de *variable a controlar*, *variable de control (entrada)*, *variables de verificación (salida)* y *variable crítica a controlar*. A continuación, se definen los términos enunciados:

1. **Variable por controlar:** Característica cuantitativa de un proceso o producto, que puede tomar diversos valores en un ámbito específico, tanto en variables de entrada como de salida, es decir, que puede fluctuar.
2. **Variable de control (entrada):** Es aquella variable por controlar que puede ser modificada para obtener un resultado en las variables de verificación.
3. **Variable de verificación (salida):** Es la variable de respuesta a controlar y normalmente son análisis o comparaciones.
4. **Variable crítica por controlar:** Es aquella variable de control o de verificación que después de haber sido analizada a través de criterios de

evaluación y de la escala de calificación para los criterios de evaluación, alcanza un puntaje total igual o mayor que 40 dentro de la matriz de definición.

La Tabla 2. 7 muestra las variables de control y verificación de cada una de las operaciones del proceso de producción del producto *Lavaplatos Crema*. Se tienen 5 rubros de criticidad denotados por las letras A, B, C, D y E, dependiendo de su grado, a los cuales se les asigna una calificación numérica en un rango de 1-5, siendo este último el puntaje máximo.

Tabla 2. 7. Variables por controlar en el proceso de producción del producto *Lavaplatos Crema*.

Proceso	Operación	Variable por Controlar					Total		
		Variable de Control	Variable de verificación	A	B	C		D	E
Lavaplatos	Alistar materias primas y trasiego	Peso de materias primas		3	4	1	2	1	71
		#Lote (producto)		1	4	1	1	4	55
		Número de la tanda		1	2	1	1	4	38
		#Lote materias primas		1	1	1	1	4	29
	Tanque de mezcla (17-A8)	Tiempo de mezcla		1	3	1	1	1	43
		Presión de retorno a la tubería de enfriamiento		1	1	1	1	1	25
			Humedad	1	4	1	2	1	54
			Ingrediente activo	1	4	1	2	1	54
			Densidad	1	3	1	2	1	45
			Acidez (pH)	1	3	1	1	1	43
			Color	1	3	1	2	1	45
			Temperatura de mezcla	1	2	3	2	1	44
			Apariencia de la mezcla (textura, homogeneidad)	1	3	1	1	1	43

Proceso	Operación	Variable por Controlar		A	B	C	D	E	Total
		Variable de Control	Variable de verificación						
	Tanque almacenamiento (17V2)		Temperatura del producto	1	3	1	1	1	43
	Llenado del producto en la cremera		Estado y limpieza de la máquina	1	4	1	2	1	54
			Perfume (aroma)	1	3	1	1	1	43
			Color	1	3	1	1	1	43
			Impresión	1	3	1	1	1	43
			Integridad del envase y tapa	1	3	1	3	1	48
			# lote y codificación	1	4	1	1	4	55
			Carrera de pistón	1	4	1	3	1	56
			Peso (contenido)	1	4	1	3	1	56
			Presión de operación del aire comprimido	1	1	2	2	1	31
			Sistema de alimentación de producto	1	2	2	2	1	40
			Sistema de vacío	1	1	2	2	1	31

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Según la tabla de criticidad elaborada anteriormente, las variables críticas por controlar y que son de interés para los Departamentos de Calidad e Investigación y Desarrollo, durante el proceso de granel son las contenidas en la Tabla 2. 8.

Tabla 2. 8. Variables de control del proceso de producción de la mezcla *Lavaplatos Crema*.

Operación	Variables de control	Punto de medición	Especificación	Frecuencia de muestreo	Registro	Responsable	Equipo de medición
Producción mezcla <i>Lavaplatos Crema</i>	Tiempo de mezcla	En el tanque de mezcla 17-A8		Por tanda	Control de consumo de materia prima	Formulador	Cronómetro
	Presión de retorno a la tubería de enfriamiento	En la tubería de salida de enfriamiento	No debe ser mayor a 60 psi	Por tanda	NA	Formulador	Manómetro PI-61
	Humedad	En el laboratorio de Aseguramiento de Calidad	Especificaciones según Sistema Control Calidad	Marcas privadas: tanda por medio	Sistema de Control de Muestras para Análisis	Analista de calidad	Balanza de humedad
	Ingrediente activo						Cristalería
	Densidad						Picnómetro
	Acidez (pH)						pH metro
	Color						Según muestra patrón
	Temperatura de mezcla	En el tanque de mezcla 17-A8	39°-41°	Por tanda	Control de consumo de materia prima	Formulador	Termómetro digital
Apariencia de la mezcla (textura, homogeneidad)	En el tanque de mezcla 17-A8	Textura pastosa y viscosa, de composición y color homogéneo	Por tanda	Control de consumo de materia prima	Formulador	NA	

Elaboración propia

Obsérvese que las variables de control *Humedad*, *Ingrediente Activo*, *Densidad* y *Acidez (pH)* son monitoreadas al tomar una muestra de la mezcla

almacenada en el tanque, una vez que el proceso culminó, para después ser remitidas al Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad, por lo que su verificación no se realiza en campo. El resto de las variables son verificadas en el lugar donde ocurre el proceso, y el responsable de efectuar su revisión es el formulador. Por este motivo, el potencial de automatización en la lectura de las variables de control se limita exclusivamente a estas últimas, pues los estándares de calidad de la empresa impiden que se obvie su verificación por equipos y personal especializados de laboratorio.

Dado lo anterior, se desprende que las variables cuya verificación puede automatizarse son *tiempo de mezcla, presión de retorno a la tubería de enfriamiento, y temperatura de la mezcla.*

En resumen, las variables críticas sobre las cuales se desea obtener información son las siguientes:

1. Temperatura de la mezcla.
2. Temperatura del agua de enfriamiento.
3. Tiempos de mezcla.
4. Tiempos tomados por el formulador al ejecutar tareas manuales.
5. Frecuencia de giro de los motores.
6. Presión de retorno a la tubería de enfriamiento.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1. Mezclador horizontal

Los mezcladores horizontales se encargan de mezclar las materias primas en un plano horizontal giratorio. Esta clase de mezcladores pueden generar mezclas homogéneas en un período de 4-5 minutos (Rodríguez, 2008). Aproximadamente, el 100% de partículas de la mezcla se encuentra en movimiento. Pueden tener paletas rotatorias o tornillos sinfín que mezclan los ingredientes de un extremo a otro. Por lo general, son más costosos que los mezcladores verticales y sus componentes más resistentes. La Figura 3. 1 muestra el detalle de un mezclador horizontal, observado desde la vista superior.



MICRON MAQUINARIA (Fuente: <http://micron.com.mx/mezcladoras-horizontales/>)

Figura 3. 1. Mezclador horizontal.

3.2. Tolva de almacenamiento

Una tolva consiste en un dispositivo de almacenamiento que permite la carga, almacenamiento y descarga de la materia prima, generalmente de una sección transversal de mayor área y altura, a una de menor área.



INTEREMPRESAS

(Fuente:

<http://www.grupotatoma.com/agroganadera.php/es/Contenedores-de-Alimentacion/263>)

Figura 3. 2. Tolva de almacenamiento.

3.3. Transporte de materia prima por gravedad

Este tipo de transporte no requiere de ningún tipo de fuente de energía externa, pues la acción es llevada a cabo por el principio de gravedad. Es empleado para transportar materiales de desde niveles superiores hacia inferiores. Por lo general, el transporte se da por medio de tuberías y accesorios (Córdova, 2017).

3.4. Sistema SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory, Control And Data Acquisition, por sus siglas en inglés) constituye un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, que funge como una interfaz humano-máquina (HMI) en el nicho de la

automatización industrial para el monitoreo y supervisión de procesos (Rodríguez Penín, 2011).

Un software SCADA efectúa la tarea de interfase entre los niveles de control, representados por el PLC y los niveles de gestión, ubicados en un peldaño superior. La topología del sistema dependerá de las características de cada aplicación.

3.4.1. Objetivos

Los objetivos de un sistema SCADA, según Rodríguez Penín (2011), se enfocan en los siguientes aspectos:

1. Economía: resulta más sencillo ver lo que está ocurriendo en las instalaciones desde un lugar remoto, que enviar a un operador a efectuar la tarea.
2. Accesibilidad: permite la fácil configuración de los parámetros de operación del proceso desde lugares remotos.
3. Gestión: la información recolectada del proceso puede ser evaluada mediante herramientas estadísticas que permitan la obtención de indicadores y elevar el rendimiento del proceso.
4. Conectividad: se busca contar con un sistema abierto, capaz de interconectarse con dispositivos de múltiples proveedores.
5. Mantenimiento: las labores de mantenimiento son facilitadas al contar con información relativa al equipo y sus parámetros de operación.

3.4.2. Ventajas

Rodríguez Penín (2011) enumera las principales ventajas de un sistema SCADA, y las agrupa en las mostradas a continuación:

1. Los sistemas de diagnóstico informan periódicamente de las anomalías sucedidas en el equipo a los responsables de este.
2. La información del proceso se genera y distribuye de forma automática.

3. Los protocolos de seguridad hacen que el acceso a la información se realice bajo una gestión segura y eficiente.
4. Resulta posible acceder al sistema de control desde cualquier lugar.
5. Las herramientas de diagnóstico permiten una rápida localización de los errores.

3.4.3. Sistemas de comunicación

El intercambio de información entre los clientes y servidores está basado en una relación de productor-consumidor. Los servidores son los responsables de interrogar periódicamente a los elementos de campo, mediante la técnica de sondeo (*polling*), recolectando la información generada por autómatas, registradores de campo, etc. (Rodríguez Penín, 2011).

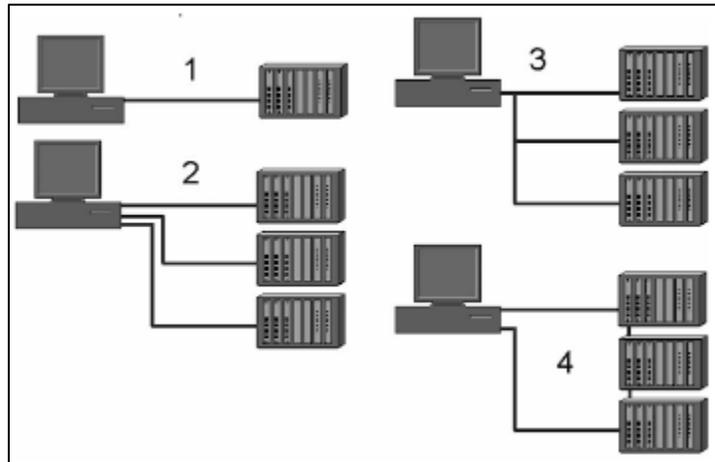
Los servidores de datos son capaces de gestionar varios protocolos de comunicación simultáneamente, limitados por su capacidad para soportar tarjetas de comunicación, las cuales permiten el intercambio de información de forma bidireccional entre la Unidad Central (UC) y las estaciones remotas (RTU) a través de un protocolo de comunicación determinado.

3.4.3.1. Topologías

Según Rodríguez Penín (2011), las topologías presentes en un sistema SCADA se enuncian a continuación:

1. Punto a punto: la relación es del tipo maestro-esclavo. En esta topología una única unidad remota (RTU) se encuentra conectada al sistema de control (MTU) a través de una línea de comunicación (Ver dibujo 1 de la Figura 3. 3).
2. Multipunto dedicado: El sistema de control se halla conectado a varias unidades remotas mediante líneas de comunicación directas (Ver dibujo 2 de la Figura 3. 3).

3. Multipunto compartido estrella: Utiliza un solo puerto de comunicaciones, efectuando el intercambio de información por turnos, lo que resulta posible debido a que las unidades remotas cuentan con identificadores únicos (Ver dibujo 3 de la Figura 3. 3).
4. Multipunto compartido en anillo: Esta configuración proporciona dos caminos para la información, por lo que en caso de que falle uno nodo, el tráfico de datos no se ve interrumpido (Ver dibujo 4 de la Figura 3. 3).



SISTEMAS SCADA (Fuente: Rodríguez Penín (2011))

Figura 3. 3. Topologías de un sistema SCADA.

3.4.4. Driver o controlador

Rodríguez Penín (2011) define a un controlador (*driver*) como el dispositivo encargado de realizar la función de traducción entre el lenguaje de programación del sistema SCADA y el del controlador lógico programable (PLC), o entre el SCADA y la red de gestión de la empresa.

3.4.5. Programa de desarrollo

Permite la manipulación de las utilidades relacionadas con la creación y la edición de las distintas ventanas de la aplicación, al igual que sus características,

tales como dibujos, animación, texto, color, y propiedades de los objetos (Rodríguez Penín, 2011).

3.4.6. Programa de *run-time*

Es el responsable de ejecutar la aplicación creada en el programa de desarrollo, generalmente para los clientes del sistema.

3.4.7. Comunicación entre aplicaciones

El intercambio de la información se realiza mediante distintos métodos, tales como:

3.4.7.1. OPC

Constituye el estándar de intercambio de datos más utilizado en el mercado. Es un estándar abierto que permite de una forma confiable acceder a los datos desde las estaciones de campo. Está basado en la tecnología COM (*Computer Object Model*), que permite definir los elementos de campo a través de sus propiedades, convirtiéndolo en una interfase (Rodríguez Penín, 2011).

Los componentes OPC se clasifican en:

- Clientes OPC: Sólo utilizan datos, y pueden comunicarse con cualquier servidor OPC, sin importar la clase de elemento que recopila esos datos.
- Servidores OPC: Realiza la recolección de datos de los distintos elementos de campo de un sistema que se encuentra automatizado y permite el libre acceso a estos elementos desde otros que lo soliciten, como lo son los clientes OPC.

3.4.7.2. ODBC

A través de ODBC (*Open Data Base Connectivity*), se permite el acceso de las aplicaciones a los datos almacenados en los Sistema de Gestión de Bases de Datos, empleando SQL como método estándar de acceso (Rodríguez Penín, 2011). La interfase ODBC define los siguientes aspectos:

- La sintaxis SQL requerida.
- Método de conexión a un Sistema de Gestión de Bases de Datos.
- Listado estándar de errores.
- El formato de visualización de los datos.

3.4.7.3. SQL

Constituye una interfase común para el acceso a la información por parte de cualquier programa que se alinee al estándar SQL.

Según Rodríguez Penín (2011), esta tecnología incluye las siguientes posibilidades:

- Procedimientos: bibliotecas de comandos almacenadas en bases de datos. Simplifican los protocolos de acceso a los usuarios.
- Eventos: son comandos que se activan automáticamente al cumplirse ciertas condiciones.
- Replicación: permite la sincronización y duplicación de bases de datos.
- Accesibilidad: admite el intercambio de información, basándose en eventos.

3.4.8. Estructura

La estructura general de un sistema SCADA se encuentra sustentada en la arquitectura maestro-esclavo. El maestro se convierte en la unidad central (MTU)

que solicita información a las estaciones remotas (RTU), las cuales cumplen la función de esclavos del sistema (Rodríguez Penín, 2011).

Los elementos que integran un sistema SCADA son:

3.4.8.1. Unidad central o MTU

Su función consiste en ejecutar las acciones de mando que han sido programadas, de acuerdo con los valores actuales de las variables medidas, reportadas por los esclavos del sistema.

La MTU emplea protocolos abiertos para comunicarse con los elementos del sistema. Su objetivo principal reside en el intercambio de información en tiempo real del proceso de producción con el sistema de control (Córdova, 2017).

3.4.8.2. Unidad remota o RTU

Es el conjunto de elementos que se encargan de enviar información a la unidad central del sistema. Se encuentran localizados en planta, a grandes distancias del sistema de control. Para su comunicación con la MTU, deben emplear protocolos de comunicación que les permitan el intercambio de información. Los principales dispositivos RTU son:

- PLC.
- IED (*Intelligent Electronic Device*)

3.4.8.3. Interfaz HMI

Es la interfaz gráfica que funciona como medio de interacción entre el operador y el proceso (Rodríguez Penín, 2011). Su diseño debe considerar aspectos de ergonomía, de modo que resulte apto para el operador al momento de desempeñar sus funciones.

Una interfaz HMI contiene ventanas gráficas que pueden estar montadas sobre un panel o computadora. El sistema debe ser lo más sencillo y amigable posible de forma que el operador logre comprender el estado del proceso y, a partir de allí, tomar decisiones. Además, debe permitir realizar acciones de una forma simple, sin tomar mucho tiempo en su ejecución. La Figura 3. 4 muestra un ejemplo de interfaz HMI.



WONDERWARE (Fuente: <http://www.wonderware.es/hmi-scada/intouch/>)

Figura 3. 4. Interfaz HMI.

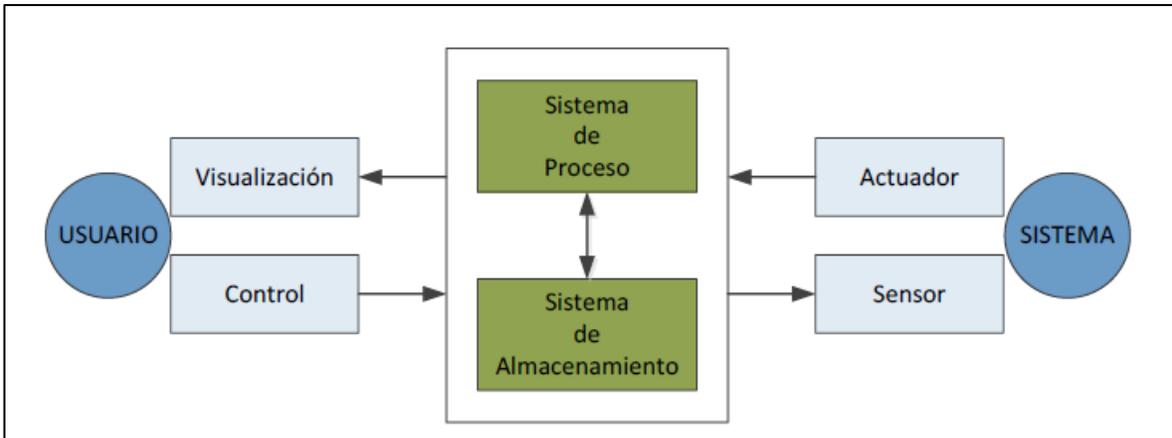
3.4.8.4. Sistemas de comunicación

Su función consiste en transmitir la información desde el punto donde se llevan a cabo las operaciones, hasta el punto donde se monitorea y controla el proceso. Se encuentra conformado por transmisores, receptores y medios de comunicación, como fibra óptica, cable coaxial y línea telefónica (Rodríguez Penín, 2011).

3.4.8.5. Transductores

Son dispositivos que permiten la conversión de una señal física en una eléctrica y viceversa.

La Figura 3. 5 muestra la vista de la estructura general de un sistema SCADA.



SISTEMAS SCADA (Fuente: Córdova (2017))

Figura 3. 5. Estructura general de un sistema SCADA.

3.4.9. Diccionario de tags

Los *tags* o variables corresponden a locaciones de memoria cuyos valores pueden ser dinámicos o estáticos y que proceden de un servidor OPC, una expresión programable o una búsqueda en bases de datos (Inductive Automation, 2018).

3.4.9.1. Tipos

Existen cuatro tipos de tags:

- Discretos: puede tomar un valor de 0 (falso, apagado, desactivado) ó 1 (verdadero, encendido, activado).
- Enteros: valor entero.
- Flotante: valor de punto flotante. Los cálculos son desarrollados con una resolución de 64 bits, pero son almacenados en 32 bits.
- Mensaje: texto cuya longitud máxima es de 131 caracteres.

3.5. Termocupla tipo J

El principio de funcionamiento de una termocupla se basa en la diferencia de potencial producida cuando dos metales distintos entran en contacto y el punto de unión forma un circuito abierto, cuya tensión varía en función de la temperatura (Potter, 1996). La tensión que se produce no es lineal, sin embargo, para pequeños cambios en la temperatura, sí lo es. De acuerdo con el *American National Standards Institute* (ANSI) (Potter, 1996), existen diferentes tipos de termocuplas que son denotadas por letras mayúsculas dependiendo de los materiales que conforman la unión. Dentro de las más empleadas en la industria destacan los tipos J, K y S.

La termocupla tipo J posee un cable conductor de hierro y otro de constantan, una aleación de cobre y níquel, cuya unión es capaz de detectar temperaturas en el rango de 0°C a 750°C. Para ambientes abrasivos y corrosivos, existen termopares que cuentan con sondas, donde el alambre del termopar está contenido en un tubo metálico llamado termopozo. Los materiales para la fabricación de estas fundas son el Inconel y el acero inoxidable, siendo este último el más óptimo para entornos sometidos a abrasión debido a su alta compatibilidad química. La Figura 3. 6 contiene la vista de una termocupla tipo J y sus accesorios.



SIEMENS (Fuente: https://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap02.pdf)

Figura 3. 6. Termocupla tipo J.

3.6. Termistor Pt100

Consiste en un sensor de temperatura fabricado con alambre de platino, el cual a 0°C posee una resistencia de 100Ω y al incrementar la temperatura, aumenta su resistencia eléctrica (Areny, 1994). Dicho incremento no es lineal, pero sí es creciente, de modo que mediante tablas resulta posible asociar el comportamiento resistivo con la temperatura que corresponde. La presentación física de la sonda de medición tiene un encapsulado que protege el elemento sensor, cuyo material de fabricación comúnmente es acero inoxidable (Areny, 1994).

La parte sensible del termistor Pt100 es encapsulada en un cuerpo cerámico y las terminales del elemento de medición se encuentran unidas a la parte resistiva, con el fin de evitar vibraciones. Su acondicionamiento y utilización están regidos por la norma alemana DIN 43760, que establece los lineamientos requeridos para la correcta lectura de la temperatura de acuerdo con la variación de la resistencia (Benedict, 1984). La Ecuación 3.1. muestra la relación existente entre la temperatura del platino y su resistencia eléctrica, para un rango de temperaturas entre los 0°C y 850°C.

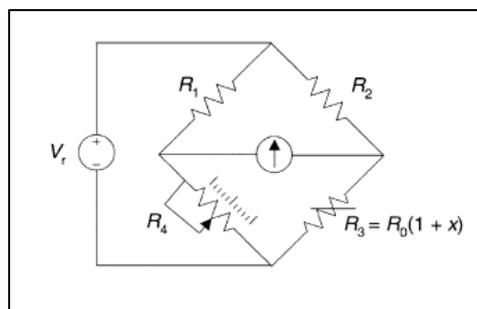
$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad \text{Ecuación 3. 1}$$

Donde A y B son los coeficientes de temperatura del material y sus valores son $3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ y $-5,80195 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$, respectivamente.

El tipo de encapsulado, según la norma DIN43763, se clasifica en dos categorías: Clase A y Clase B. La primera es empleada en aplicaciones donde existen canales de barrido y hornos, cuya presión es baja, por su parte, la segunda se utiliza en entornos donde los gases, vapores y fluidos se encuentran bajo presión (Benedict, 1984).

3.7. Celda de carga

Las celdas de carga constituyen sensores que transforman una fuerza o torque aplicados sobre estos en una señal de tensión analógica proporcional. Su principio de funcionamiento se basa en la presencia de un metal que experimenta una deformación según la magnitud de la fuerza aplicada. Las galgas extensiométricas que se encuentran en el interior de las celdas de carga consisten en metales cuya resistencia tiende a variar al ser flexionados. Estas galgas están configuradas en un arreglo de puente llamado Wheatstone, mostrado en la Figura 3.7, de forma que al estar alimentadas conceden una señal de tensión proporcional a la fuerza aplicada. Esta señal sigue una relación lineal y su valor máximo de salida está limitado por la tensión de alimentación y la salida nominal impuesta por el fabricante (Areny, 1994).



SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL (Fuente: Areny (1994))

Figura 3.7. Puente de Wheatstone.

3.8. Sensor de presión

Un sensor de presión es un dispositivo que se encarga de transformar una fuerza por unidad de superficie en una señal eléctrica proporcional.

3.9. Electroválvula

Una electroválvula es un elemento que, al ser accionado eléctricamente, permite controlar el paso de un fluido.

3.10. Controlador Lógico Programable (PLC)

Constituye una computadora industrial que puede ser programada con el fin de realizar diversas acciones de control. Un PLC está diseñado para múltiples arreglos de entradas y salidas, diversos rangos de temperatura, así como inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración e impacto. En sus inicios, fueron fabricados con el propósito de sustituir la lógica de control de relés, que acaparaba una gran cantidad espacio, debido al alambrado efectuado (Petruzella, 2011).

Un PLC está constituido por las siguientes partes:

3.11.1. Unidad Central de Procesamiento (CPU)

Petruzella (2011) define al CPU como la unidad inteligente del PLC. Un CPU típico consta de un microprocesador capaz de implementar la lógica de control y la comunicación entre los distintos módulos. Requiere de una memoria para almacenar los resultados de las operaciones lógicas y aritméticas.

El CPU controla toda la actividad del PLC y está diseñado de modo que el usuario pueda programarlo utilizando lógica de relés. El ciclo de programa de un PLC es ejecutado, en primera instancia, leyendo el valor de las entradas a través del CPU. Luego, la lógica de control es ejecutada. Una vez que la ejecución del

programa se haya completado, el CPU efectúa diagnósticos internos y tareas de comunicación, para posteriormente actualizar el valor de las salidas. Este proceso es repetido de forma cíclica. La Figura 3. 8 muestra un procesador típico de un PLC.



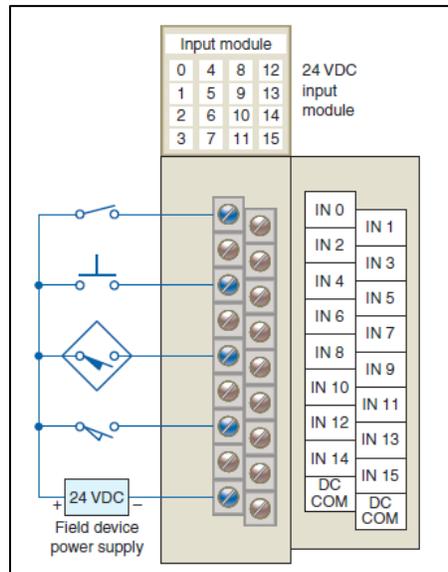
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS (Fuente: Rodríguez Penín (2011))

Figura 3. 8. CPU de un PLC.

3.11.2. Módulo de entradas y salidas (I/O)

Constituye la interfaz mediante la cual los dispositivos de campo son conectados al controlador. El objetivo de este módulo es acondicionar las señales recibidas o enviadas. Para aislar eléctricamente los componentes internos del PLC de los dispositivos I/O, los controladores usualmente traen incorporados optoacopladores.

Las entradas y salidas de un PLC pueden ser discretas o analógicas. Las primeras son comúnmente utilizadas en dispositivos cuya acción es de la naturaleza ON/OFF, mientras que las segundas se utilizan para leer señales o controlar dispositivos en un rango de 0-20 mA ó 0-10 V.



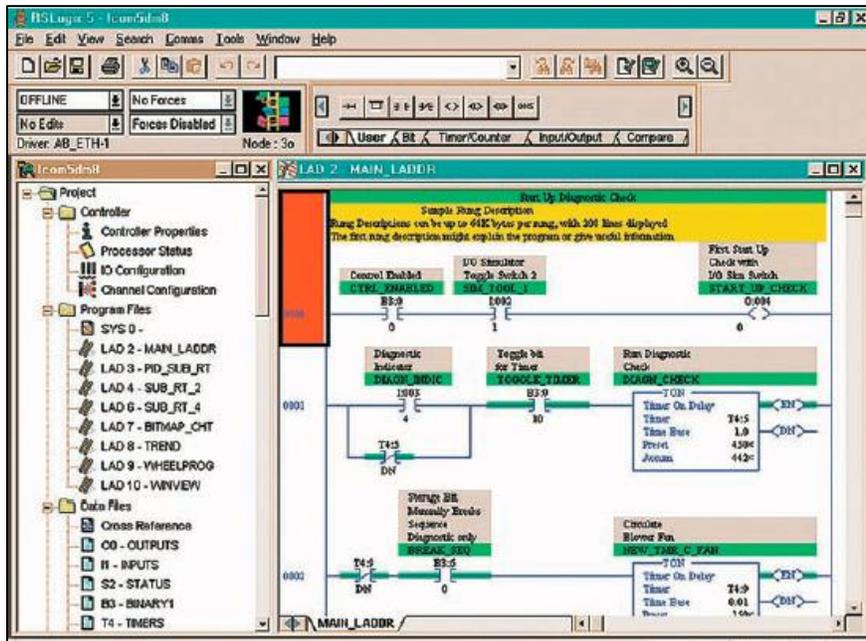
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS (Fuente: Rodríguez Penín (2011))

Figura 3. 9. Módulo de entradas de un PLC.

3.11.3. Dispositivo de programación

Es utilizado para escribir el programa deseado en la memoria interna del controlador. Este puede ser escrito en lenguaje escalera, basado en la lógica de control de relés, que constituye a su vez un lenguaje gráfico, facilitando la escritura y programación de comandos.

El dispositivo de programación más común es la computadora, la cual, a través de un *software* previamente instalado, permite la programación del controlador.



PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS (Fuente: Rodríguez Penín (2011))

Figura 3. 10. Programación en escalera de un PLC.

3.11.4. Memoria

La memoria es el elemento que almacena la información y el programa de control en el PLC. Los elementos individuales más pequeños de memoria se denominan bits. Al escribir un programa, este es almacenado en forma de 1's y 0's, que son ensamblados usualmente en palabras de 16 bits (Petruzella, 2011).

3.11.4.1. Tipos

- Memoria de solo lectura (ROM): almacena programas. La información no puede ser cambiada después de que la tarjeta de memoria ha sido manufacturada.

- Memoria de acceso aleatorio (RAM): constituye una memoria de lectura/escritura. Es volátil, por lo que, si la fuente de poder es apagada, no es posible recuperar la información.
- EPROM: proporciona cierto nivel de seguridad contra cambios no autorizados en un programa. Este tipo de memoria es diseñada para que la información almacenada pueda ser leída, pero no fácilmente alterable sin equipo especial. Por ejemplo, algunas de ellas sólo pueden ser reprogramadas con luz ultravioleta.
- EEPROM: memoria de solo lectura, que puede ser alterada a través de medios eléctricos.

CAPÍTULO 4: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La automatización del proceso de formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema* se limitará únicamente a la dosificación de la materia prima líquida, incluyendo el agua, la soda cáustica, el ácido sulfónico y el silicato de sodio, pues para el caso de los polvos, no existe espacio suficiente para implementar un mecanismo de transporte efectivo, como lo es un tornillo de Arquímedes. Por tal motivo, la adición manual de estos ingredientes se mantendrá en su estado actual, sin embargo, se incorporará un registro del tiempo tomado por el formulador en completar dicha tarea, en aras de estandarizar paulatinamente las etapas manuales del proceso.

El control de la frecuencia de giro de los motores mezcladores se efectuará, a su vez, de forma automática, además de incorporar el control sobre el cierre y apertura de la válvula de la tubería de enfriamiento. Asimismo, se ha decidido emplear señales luminosas, como una torre de semáforo, con el propósito de indicar algunos estados relevantes de la formulación. La Tabla 4. 1 muestra las etapas que serán automatizadas con la propuesta de diseño.

Tabla 4. 1. Etapas automatizadas del proceso de formulación de la mezcla.

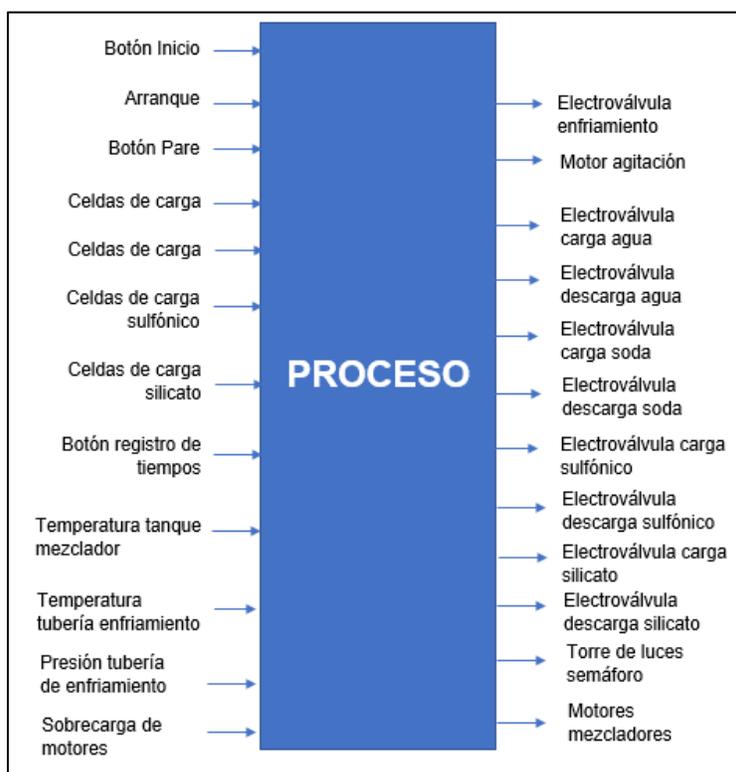
Etapas	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento	¿Etapas automatizadas?
1	Colorante Agua	2		Preparar colorante con velocidad 2 en motor de agitación de colorante. Dejar agitando durante el proceso.	Sí
2	Agua	7		Abrir sistema de enfriamiento para controlar que la temperatura no suba en el mezclador, manteniéndolo abierto hasta el final del proceso.	Sí

Etapa	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento	¿Etapa automatizada?
				Agregar agua al mezclador (tanque 17-A8). Mantener velocidad.	
3	Carbonato de sodio Sulfato de sodio	7		Agregar el carbonato de sodio y el sulfato de sodio al mezclador. Mantener velocidad.	No
4	Éter lauril sulfato Soda cáustica 50%	7 7		Seguidamente, agregar el éter lauril. Luego, agregar soda cáustica 50% al mezclador. Mantener velocidad.	Sí
5	Ácido sulfónico lineal Silicón antiespumante	7 2 7		Agregar el ácido sulfónico al mezclador mientras se agita. Al terminar de dosificar el sulfónico, bajar la velocidad del mezclador y añadir el silicón.	Sí
6	Silicato de sodio al 42%	7	5	Agregar el silicato de sodio al mezclador y agitar por el tiempo indicado. Mantener velocidad.	Sí
7	Carbonato de calcio	4 y 9	5	Añadir primera ración de carbonato de calcio al mezclador con baja velocidad (4). Luego, agregar ración restante a alta velocidad y agitar por el tiempo indicado.	No
8	Sorbitol al 70% Glicerina	9	5	Agregar el sorbitol y glicerina y mantener alta velocidad. Agitar por tiempo indicado.	No
9				Parar y medir temperatura. Tomar muestra para laboratorio (Tiempo	Sí

Etapa	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento	¿Etapa automatizada?
				tomado en laboratorio de aproximadamente 10 min)	
10				De estar bien el análisis, medir temperatura de descarga que permita empacar entre 37°C-47°C	No

Elaboración propia

A partir de la información anterior, se ha planteado el diagrama de entradas y salidas del proceso, mostrado en la Figura 4. 1.



VISIO (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 4. 1. Diagrama de entradas y salidas del proceso.

La Figura 4. 2 muestra el diagrama GRAFCET del proceso semiautomatizado. El botón de inicio marca su comienzo. Al pulsar el botón de arranque, se activan la electroválvula de la tubería de enfriamiento y el motor de agitación. A su vez, se inicia un temporizador por un tiempo determinado. Cumplido dicho tiempo, se activa la electroválvula de descarga del agua, y una vez que la lectura de las celdas de carga instaladas en su tanque de almacenamiento, se encuentren dentro de un rango definido por límites superior e inferior (*limsup* y *limif*), es desactivada.

La etapa 3 (ver Tabla 4. 1) de la formulación consiste en la adición del carbonato de sodio al mezclador, acción que no será automatizada. Por ello, una vez que el formulador terminó de añadir el material al tanque mezclador, debe efectuar el registro del tiempo tomado, al presionar un botón, que sirve como transición hacia la siguiente etapa. Seguidamente, se activa un temporizador, el cual, una vez completado su tiempo programado, realiza la activación de la electroválvula de descarga de la soda, que, al igual que en el caso anterior, es desactivada al comprobarse que la cantidad dosificada corresponde a la consigna establecida.

Seguidamente, se activa un temporizador utilizado como transición para la activación de la electroválvula de descarga del ácido sulfónico. Una vez terminada la dosificación requerida, es desactivada y se fija la frecuencia de giro de los motores mezcladores en el valor definido como bajo, según el departamento de Investigación y Desarrollo. Luego, otro temporizador es activado como antesala para la apertura de la electroválvula de descarga del silicato. Para ese entonces, la frecuencia de giro de los motores volvió a ser reestablecida a su valor definido como alto.

Terminada la dosificación del ácido sulfónico, inicia el primer período de agitación (ver etapa 6 de la Tabla 4. 1), por lo cual se corre un nuevo temporizador y la torre de semáforo se encuentra parpadeando. En este punto, se debe añadir el carbonato de calcio al tanque mezclador por lo que, una vez culminada la tarea, debe pulsarse el botón respectivo para el registro del tiempo. Después, inicia el segundo período de agitación, y al igual que sucedió con el primero, la torre de

semáforo está en un estado intermitente. Luego, se debe agregar el sorbitol y la glicerina al tanque, razón por la cual, el formulador debe presionar el botón para el registro del tiempo.

Finalmente, se dosifica el lote final del agua para, en seguida, agregar el resto de los ingredientes al mezclador, de modo que inicie el último período de agitación. El proceso finaliza al pulsar el botón de pare.



VISIO (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 4. 2. Diagrama GRAFCET del proceso de semiautomatización del proceso de formulación de la mezcla

4.1. Selección del sistema SCADA

Para el diseño del sistema SCADA, se ha decidido evaluar la conveniencia de las siguientes tres opciones:

4.1.1. Ignition

Es una plataforma para la implementación de sistemas SCADA desarrollada en el lenguaje de programación *Java*. Cuenta con un servidor web llamado *gateway* que permite modificar sus operaciones en línea, por lo que no precisa de una instalación tradicional (Inductive Automation, 2018).

A diferencia de otros paquetes de *software* SCADA no cuenta con un tope de variables (*tags*), conexiones y usuarios. La Tabla 4. 2 contiene las principales ventajas y desventajas de este *software*.

Tabla 4. 2. Principales ventajas y desventajas del *software Ignition*.

Ventajas	Desventajas
Cuenta con OPC-UA <i>drivers</i> , lo que le permite conectarse a cualquier PLC del mercado.	
Permite la programación de funciones en <i>Python</i> , así como la utilización de comandos de <i>Java</i> .	
Posee tecnología de seguridad industrial. (Tecnología SSL).	
La instalación requiere menos de 500 MB.	
Tiene distintos módulos integrados tales como <i>Reporting</i> , <i>Voice</i> , <i>Alarm Notification</i> , y <i>Tag Historian</i> , entre otros.	
Permite la generación de reportes dinámicos y automatizados.	
La información es procesada en tiempo real y desplegada de forma práctica para la toma de decisiones.	
Conectividad con bases de datos SQL.	

Cuenta con amplia documentación técnica y soporte técnico robusto.	
Al adquirir su licencia, se incluye un ilimitado número de conexiones, clientes y <i>tags</i> .	

Elaboración propia

4.1.2. Wonderware InTouch

Constituye un *software* HMI desarrollado en la plataforma *Windows*. Sus principales ventajas y desventajas se muestran en la Tabla 4. 3

Tabla 4. 3. Principales ventajas y desventajas del *software Wonderware InTouch*.

Ventajas	Desventajas
Excelente integración con distribuidores de otras marcas.	La instalación es compleja, pues requiere de más espacio en memoria.
Cuenta con una biblioteca de símbolos estándar acordes a las aplicaciones ingenieriles.	El precio de la licencia depende del número de variables, conexiones y clientes de la red.
Ofrece la posibilidad de usar gráficos vectoriales, gráficos bitmap y controles .NET.	No está desarrollado sobre OPC-UA.
El proveedor proporciona actualizaciones anuales.	
Se puede acoplar a módulos SQL para el tratamiento de la información.	
La programación se realiza con base en comandos de código desarrollados en <i>Visual Basic</i> .	
La información es procesada en tiempo real y desplegada de forma práctica para la toma de decisiones.	

Elaboración propia

4.1.3. Factory Talk

Es un paquete de *software* SCADA desarrollado por *Rockwell Automation*, para la familia de controladores *Logix*. Sus principales ventajas y desventajas se enuncian en la Tabla 4. 4.

Tabla 4. 4. Principales ventajas y desventajas del *software Factory Talk*.

Ventajas	Desventajas
Permite escalar de una simple a estación a un sistema con múltiples clientes y estaciones.	Dificultad para conectarse a dispositivos ajenos a la familia de productos de <i>Rockwell Automation</i> .
Estrictos estándares de seguridad como los requeridos por la FDA.	El precio de la licencia depende el número de variables, clientes y conexiones.
Capaz de expandir las capacidades del sistema al compartir información con productos de la misma marca.	Los costos de entrenamiento son elevados.
La instalación es simplificada (un único DVD).	
Permite la recuperación de datos del terminal en tiempo de ejecución.	
Mayor capacidad de registro de datos: tamaño del modelo de datos es de un millón de registros.	
Compatibilidad con múltiples versiones de <i>Rockwell Automation Software</i> .	

Elaboración propia

4.1.4. Selección final

Para la selección final del sistema SCADA se ha decidido evaluar los siguientes criterios, en una escala del 1-10: compatibilidad con otras marcas, número ilimitado de conexiones, clientes y *tags*, seguridad, conectividad con bases de datos y precio. La Tabla 4. 5 contiene las puntuaciones resultantes para cada opción.

Tabla 4. 5. Selección final del sistema SCADA.

Software	Propiedades					
	Compatibilidad con otras marcas	Número ilimitado de conexiones, clientes y tags	Escalabilidad	Seguridad	Conectividad con bases de datos SQL	Precio
	Ponderación					
	10	10	10	10	10	10
<i>Ignition</i>	10	10	10	10	10	10
<i>Wonderware InTouch</i>	8	1	8	8	7	5
<i>Factory Talk</i>	5	1	8	10	5	5
Software	Puntuación Final					
<i>Ignition</i>	600/600->100%					
<i>Wonderware InTouch</i>	370/600->62%					
<i>Factory Talk</i>	340/600->57%					

Elaboración propia

Nótese que el *software Ignition* obtuvo una puntuación perfecta en todos los criterios evaluados. Cabe destacar que la compañía cuenta con la licencia del *software*, de forma que al rubro de *Precio* le fue otorgado el puntaje máximo, a diferencia de las otras opciones, calificadas con la mitad de la puntuación. Por lo tanto, debido a la robustez de este paquete SCADA, y a la disponibilidad de su licencia por parte de la empresa, se ha decidido utilizar este *software* para el desarrollo de la aplicación en cuestión.

4.2. Selección de componentes y equipo

A continuación, se detalla la selección de los sensores requeridos para la puesta en marcha del sistema.

4.2.1. Variable crítica 1: Temperatura de la mezcla

Las reacciones químicas involucradas durante la formulación de la mezcla alcanzan una temperatura máxima de 100°C, para al final estabilizarse dentro de un rango de 37°C a 47°C. Dado que el proceso es abrasivo y está sujeto a vibraciones propias del movimiento dinámico del fluido al mezclarse, el instrumento seleccionado para registrar la temperatura debe ser capaz de resistir a dicho ambiente.

Se ha decidido considerar dentro de la cartera de instrumentos para la medición de temperatura las siguientes opciones: termocupla tipo J y termistor Pt100. Para efectos de comparación entre las opciones propuestas, se han seleccionado cuatro propiedades de los instrumentos de medición de temperatura con el fin de discriminar la opción que se adecúa más al ambiente de operación. La Tabla 4. 6 contiene el análisis comparativo efectuado.

Tabla 4. 6. Comparación de propiedades de sensores de temperatura propuestos.

Tipo de sensor	Propiedades			
	Estabilidad	Sensibilidad	Precisión	Resistencia a vibraciones
Termocupla tipo J	Presentan una estabilidad menor a lo largo del tiempo que los sensores termo resistivos.	Su sensibilidad se reduce únicamente a la punta donde se encuentra la unión.	Las termocuplas no son capaces de precisar variaciones en el orden de las décimas de °C, pues la compensación cero de la junta introduce errores de alrededor $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.	Dada su rigidez mecánica, son altamente resistentes a entornos sometidos a vibraciones.
Termistor Pt100	Al ser un instrumento de medición resistivo presenta una alta estabilidad a lo	Los termistores Pt100 presentan una superficie de medición mayor que las	Por encima de los 300°C, según (Benedict, 1984) se ha reportado una tolerancia de $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$.	Poseen una menor adaptación a las vibraciones debido a que no son mecánicamente rígidas, por lo que existe

	largo del tiempo. De acuerdo con (Benedict, 1984), diferentes pruebas realizadas en hornos a altas temperaturas cercanas a los 800°C, por más de 10 000 horas durante 1 año, mostraron una variación de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ del valor medido.	termocuplas y, por ende, una mayor sensibilidad que sus contrapartes, pues estas últimas son sensibles únicamente en la punta de unión.	Para temperaturas inferiores, la tolerancia ronda $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, razón por la cual su uso se extiende en aplicaciones donde se requiere una precisión ajustada.	riesgo de fractura en ambientes sometidos a estos fenómenos.
--	---	---	--	--

Elaboración propia

Para la selección final del instrumento de medición apropiado para la aplicación en cuestión, se ha decidido otorgar una calificación numérica en una escala de 0-5, siendo el 5 la puntuación máxima, a cada una de las propiedades enunciadas previamente. A su vez, se asignó a cada variable de adecuación un peso ponderado dentro del rango de 0-10, dependiendo de su criticidad. La Tabla 4. 7 muestra la asignación del puntaje a cada variable.

Tabla 4. 7. Selección final del sensor de temperatura para el tanque de mezcla.

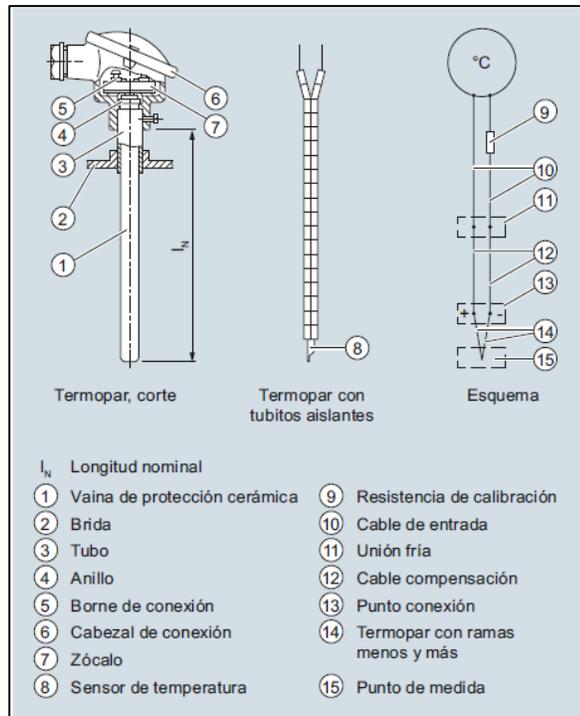
Tipo de sensor	Propiedades					
	Estabilidad	Sensibilidad	Precisión	Resistencia a vibraciones	Costo	Rango de temperatura abarcado
	Ponderación de acuerdo con criticidad					
	7	7	5	10	10	10
Termocupla tipo J	Media (3)	Poca (2)	Media (3)	Excelente (5)	Poco costosa (5)	Excelente (5)
Termistor Pt100	Excelente (5)	Excelente (5)	Excelente (5)	Poca (2)	Muy costoso (1)	Excelente (5)

Tipo de sensor	Puntuación total
Termocupla tipo J	200/245->82%
Termistor Pt100	175/245->71%

Elaboración propia

De la Tabla 4. 7, se desprende que se les otorgó un mayor peso a las variables de resistencia a vibraciones, costo y rango de temperatura abarcado, pues debido a la naturaleza y entorno de la aplicación, no es requerida una precisión de décimas de °C ni una estabilidad duradera a lo largo del tiempo. Dadas estas condiciones, el sensor seleccionado corresponde a la termocupla tipo J, la cual obtuvo el porcentaje de adecuación mayor (82) en una escala de 0-100.

Una vez seleccionado el tipo de sensor de temperatura por utilizar, se deben tener en cuenta los elementos de montaje y conexión necesarios para su instalación en campo, pues la selección anterior se limitó exclusivamente a la sonda de medición. Por ello, resulta pertinente seleccionar una vaina de protección o termopozo adecuado que proteja el termopar del ambiente abrasivo al que se encuentra expuesto. La Figura 4. 3 muestra un esquema básico de los componentes asociados a un termopar.

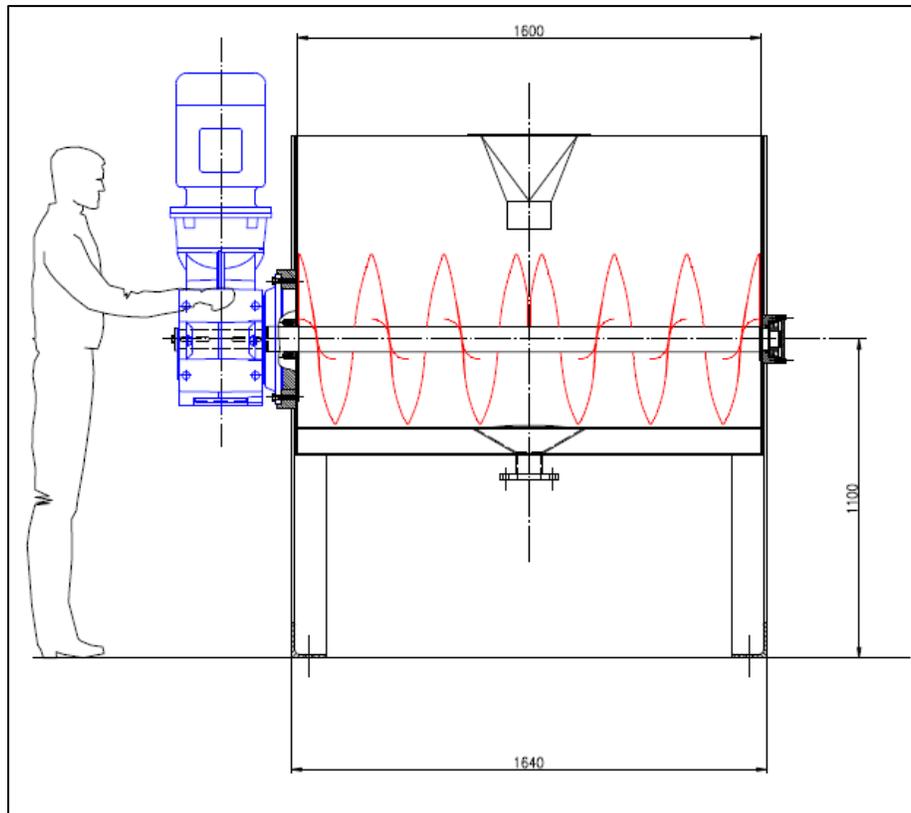


SIEMENS (Fuente: https://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap02.pdf)

Figura 4. 3. Elementos de montaje y conexión de una termocupla.

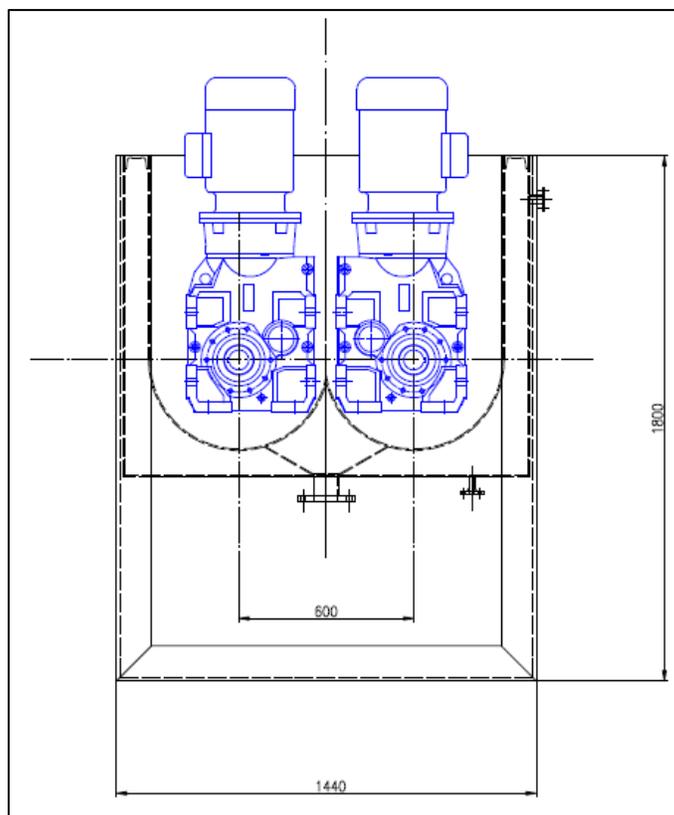
Nótese de la Figura 4. 3 que el punto de medición del instrumento se encuentra en un extremo, por lo que se debe definir la longitud de inserción óptima en el tanque que permita que la lectura obtenida sea representativa de la mezcla.

La selección del termopozo adecuado para la aplicación en cuestión debe basarse en los agentes que se hallan presentes en el medio, tales como presión, corrosión, y vibraciones, que puedan afectar la lectura de la termocupla. Además, es necesario determinar el tipo de conexión del instrumento con el tanque, al igual que su orientación, dado que existen cuchillas que se encuentran girando durante todo el proceso, por lo que existe riesgo de interferencia ante una mala ubicación. Las Figura 4. 4 y Figura 4. 5 muestran las dimensiones generales del tanque mezclador, observadas desde la vista frontal y lateral, respectivamente.



AUTOCAD (DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO)

Figura 4. 4. Dimensiones del tanque mezclador observadas desde la vista frontal.



AUTOCAD (DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO)

Figura 4. 5. Dimensiones generales del tanque, observadas desde la vista lateral.

A partir de las Figura 4. 4 y Figura 4. 5 se puede determinar que la distancia existente entre la parte superior del tanque y la línea de centro de los ejes es de 700 mm, y la distancia entre la parte superior y la boca de descarga de la tolva es de 250 mm. La lectura de la temperatura debe ser representativa de la totalidad de la mezcla, lo cual se logra situando la sonda de medición en el centro del tanque mezclador. Nótese que el termopozo debe ubicarse verticalmente, pues si es situado horizontalmente, existe choque e interferencia con las aspas de los ejes, además de interferir con la chaqueta de enfriamiento que atraviesa las paredes del tanque.

Una vez definida la orientación del termopozo, se debe determinar la longitud de inserción en el tanque. A través de mediciones efectuadas dentro del mismo, se

determinó que la distancia que permite que no exista riesgo de choque con las cuchillas de los ejes, medida desde la parte superior, es de 550 mm. No obstante, a dicha distancia debe restársele la existente entre la parte superior y la boca de descarga de la tolva, ya que su ubicación coincide con el centroide del plano superior del tanque. Dado que ese punto en la actualidad no posee ningún elemento sólido que permita fijar el termopozo, se requiere colocar una lámina metálica sólida de dimensiones 300x300 mm, soldada en sus bordes. Por lo tanto, la longitud de inserción del termopozo debe ser de 300 mm. Esta longitud debe ser convertida a pulgadas, ya que estas medidas se encuentran estandarizadas en el sistema inglés, por lo que su resultante es de 11.8", que comercialmente correspondería a 13 $\frac{1}{2}$ ".

Posteriormente, se debe definir el tipo de conexión entre el termopozo y el proceso, el cual generalmente se clasifica en tres categorías: uniones roscadas, bridadas y soldadas. Las uniones bridadas se utilizan en aplicaciones donde existen presiones por encima de los 1000 psi, mientras que las soldadas se emplean en ambientes sometidos a presiones y temperaturas extremas. Las uniones roscadas son las menos costosas y más fáciles de instalar, comúnmente usadas en entornos con presiones por debajo de los 1000 psi. Debido a que la presión del ambiente en el que ocurre el proceso de mezcla no es crítica, se ha optado por seleccionar una unión roscada.

El siguiente aspecto por determinar corresponde al perfil del vástago del termopozo, de acuerdo con las características del fluido y el tiempo de respuesta deseado. Existen tres configuraciones en particular: perfiles rectos, cónicos y escalonados. Los primeros son fuertes, pero presentan un tiempo de respuesta bajo e inducen fuerzas de arrastre mayores. Los cónicos poseen un tiempo de respuesta mayor, pero al igual que los rectos generan fuerzas de arrastre altas, sin embargo, su rigidez es alta. Por su parte, los perfiles escalonados poseen el mejor tiempo de respuesta, pero no son tan rígidos como sus contrapartes (Ashcroft, 2018). Dado que se requiere una gran rigidez, debido a la continua dinamicidad del fluido, y el tiempo de respuesta no constituye una variable crítica, se ha decidido emplear un

perfil cónico, al ser más resistente a las vibraciones y poseer una resistencia superior que sus homólogos.

El material de fabricación del termopozo debe ser lo suficientemente resistente a los efectos de la corrosión y abrasión presentes en el tanque mezclador. Debido a su alta compatibilidad química y su extendido uso en este tipo de aplicaciones, se ha elegido acero inoxidable.

El diámetro interno del termopozo se debe seleccionar tomando en cuenta las dimensiones de la termocupla, de modo que permita una fácil instalación del instrumento, pero con un ajuste adecuado que reduzca el retraso térmico. Según (EmcoControls), el diámetro estándar es de 0.260" ó 0.385", por lo que se elige el primero, de acuerdo con los requerimientos de la aplicación.

En resumen, la Tabla 4. 8 contiene las especificaciones técnicas y el proveedor seleccionado para la adquisición del termopozo.

Tabla 4. 8. Especificaciones técnicas del termopozo seleccionado.

Longitud total (in)	Longitud de inserción (in)	Tipo de unión	Configuración del vástago	Material	Diámetro interno del termopozo (in)	Proveedor
15	13.5	Roscada	Cónica	Acero inoxidable TW-CS15-23S	0.260	Feva y Asociados S.A.

Elaboración propia

El siguiente componente por seleccionar corresponde al transmisor de temperatura que se encargará de enviar la señal reportada por la termocupla al controlador. Para su escogencia, se requiere que la señal de salida sea del tipo 4-20 mA, con el fin de facilitar su acondicionamiento posterior.

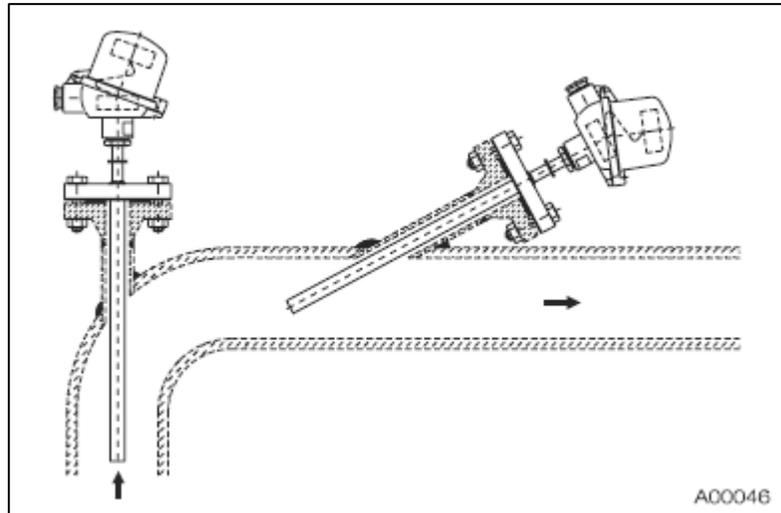
4.2.2. Variable crítica 2: Temperatura del agua de enfriamiento

El tanque de mezcla cuenta con una chaqueta de enfriamiento que es utilizada para estabilizar la temperatura del proceso. De acuerdo con los criterios del Departamento de Investigación y Desarrollo, el agua que circula por dicha tubería debe encontrarse en un rango de temperatura de 10°C a 12°C. En este caso, no existe riesgo de corrosión ni abrasión, pues el líquido en cuestión es agua.

Aprovechando la selección efectuada en el punto anterior para la medición de la temperatura de la mezcla en el tanque, se ha optado por utilizar el mismo sensor (termocupla tipo J), el cual se adapta a las características del entorno de medición y que, en este contexto, resulta menos crítico que el anterior, al no verse sometido a vibraciones ni fenómenos abrasivos.

La tubería en la cual se insertará el termopar posee un diámetro de 2", siendo insuficiente para un montaje convencional, motivo por el cual se propone uno de los montajes que se muestran en la Figura 4. 6. En ambos casos, el termopozo debe posicionarse en dirección opuesta a la del fluido. En este contexto, se ha calculado que la longitud de inserción óptima es de 2.5", para la cual corresponde una longitud total del termopozo de 4".

A diferencia del termopozo seleccionado en el apartado anterior, se ha decidido optar por una configuración recta, pues no se requiere una alta rigidez en el entorno de colocación, ni un tiempo de respuesta acelerado. Asimismo, se ha resuelto mantener el tipo de unión (roscada), el material (acero inoxidable) y el diámetro interno del termopozo.



FEVA Y ASOCIADOS S.A.

Figura 4. 6. Montajes alternativos para diámetros de tubería insuficientes.

La Tabla 4. 9 contiene las especificaciones técnicas requeridas para el termopozo en cuestión.

Tabla 4. 9. Especificaciones técnicas del termopozo para termocupla de tubería de agua de enfriamiento.

Longitud total (in)	Longitud de inserción (in)	Tipo de unión	Configuración del vástago	Material	Diámetro interno del termopozo (in)	Proveedor
4	2.5	Roscada	Recta	Acero inoxidable TW-CS15-23S	0.260	Feva y Asociados S.A.

Elaboración propia

4.2.3. Variable crítica: Presión de retorno en la tubería de enfriamiento

En condiciones normales de operación, la presión reportada en la tubería de enfriamiento puede llegar a alcanzar picos de hasta 50 psi, cuando el consumo de la chaqueta llega a cero. Sin embargo, exceptuando la situación anterior, la lectura mínima de presión es de 20 psi y la máxima de 35 psi.

Con el conocimiento del contexto anterior, se procederá el análisis de cuatro propiedades críticas que pesan en la selección del sensor adecuado. Estas son: precisión, efecto de la temperatura, nivel de protección de la entrada, rango de operación y tipo de salida. La Tabla 4. 10 resume las características enunciadas.

Tabla 4. 10. Comparación de propiedades de sensores de presión propuestos.

Sensor	Propiedades				
	Precisión	Efecto de la temperatura	Nivel de protección de la entrada	Rango de operación	Tipo de salida
Ashcroft XMITR	Posee una precisión del 1% según el método de la recta de mejor ajuste, incluyendo no linealidad, histéresis y no repetibilidad. (BFSL, por sus siglas en inglés).	Presenta un error por el efecto de temperatura de 3%/100°C.	IP54.	El rango de lectura está comprendido desde 0 psi hasta 200 psi.	Posee salida de 4-20 mA.
TE Connectivity US5200 Pressure Transducer	Precisión de hasta 0.1%, calculada mediante el método BFSL, para un rango de operación de entre 5 y 500 psi.	Rango de temperatura de operación entre -40 °C y 125 °C.	IP67.	Tiene un rango de lectura que abarca desde 0 psi hasta 750 psi.	Salida de 4-20 mA.

Elaboración propia

De forma análoga al proceso de selección del sensor de temperatura, se ha optado por otorgar una calificación numérica en la escala de 0-5 a cada una de las propiedades

Tabla 4. 11. Selección final del sensor de temperatura.

Tipo de sensor	Propiedades					
	Precisión	Efecto de la temperatura	Nivel de protección a la entrada	Tipo de salida	Costo	Rango de presión abarcado
	Ponderación de acuerdo con criticidad					
	8	5	10	10	10	10
Ashcroft XMITR	Media (3)	Buena (4)	Baja (1)	Excelente (5)	Poco costosa (5)	Excelente (5)
TE Connectivit y US5200 Pressure Transducer	Excelente (5)	Excelente (5)	Excelente (5)	Excelente (5)	Poco costoso (5)	Excelente (5)
Tipo de sensor	Puntuación total					
Ashcroft XMITR	204/265->77%					
TE Connectivit y US5200 Pressure Transducer	265/265->100%					

Elaboración propia

En este contexto, las propiedades *Nivel de protección a la entrada*, *Tipo de salida* y *Rango de presión abarcado* se calificaron como críticas, pues el proceso se desarrolla en un ambiente donde existe riesgo de entrada de polvo debido a la acumulación de partículas de materia prima sólida en la atmósfera, razón por la cual es necesario un grado de protección IP alto. Además, se desea que el tipo de salida del sensor sea analógica, de forma que permita el registro de la lectura en tiempo real de la presión de la tubería.

La puntuación final favoreció a la opción de la compañía TE Connectivity, la cual obtuvo un puntaje de 265/265.

4.2.4. Celdas de carga

Con el propósito de monitorear el peso de cada tanque de almacenamiento de la materia prima, se ha decidido utilizar tres celdas de carga, separadas por una distancia angular de 120°. Para ello, se han analizado las propiedades contenidas en la Tabla 4. 12 para dos tipos de celdas de carga, pertenecientes a la misma marca. Estas propiedades fueron escogidas considerando el ambiente corrosivo al que se encontrarán expuestos estos dispositivos, así como su capacidad de carga y material de fabricación.

Tabla 4. 12. Comparación de propiedades de celdas de carga propuestas.

Celda de carga	Propiedades			
	Material	Ambiente de operación	Capacidad	Error de salida
RiceLake RLHBB	Acero inoxidable.	Operación en ambientes duros, corrosivos, y sometidos a vibraciones.	200 kg.	0.02% de la salida.
RiceLake RL30002	Acero al carbono.	Utilizado en aplicaciones que no se encuentren expuestas a ambientes abrasivos.	400 kg.	0.03% de la salida.

Elaboración propia

La selección final de la celda de carga se observa en la Tabla 4. 13. Las propiedades más críticas a las que se les asignó una mayor puntuación fueron el material de fabricación, ambiente de operación y costo.

Tabla 4. 13. Selección final de la celda de carga.

Celda de carga	Propiedades				
	Material	Ambiente de operación	Capacidad	Error de salida	Costo
	Ponderación de acuerdo con nivel de criticidad				
	10	10	8	7	10
RiceLake RLHBB	Excelente (5)	Excelente (5)	Excelente (5)	Excelente (5)	Medio (3)
RiceLake RL30002	Medio (3)	Malo (1)	Excelente (5)	Bueno (4)	Medio (3)
Celda de carga	Puntuación total				
RiceLake RLHBB	205/225->91%				
RiceLake RL30002	138/225->61%				

Elaboración propia

Nótese que la celda de carga RiceLake RLHBB obtuvo una puntuación del 91% de un total de 100%, de modo que es seleccionada para su instalación en los tanques de almacenamiento.



RICELAKE (Fuente: <https://www.ricelake.com/es-mx/productos/detalles-del-productos/ricelake-rlhbb-stainless-steel-single-ended-beam-load-cell#/information#information>)

Figura 4. 7. Celda de carga seleccionada.

4.2.5. Electroválvulas

La electroválvula estará conformada por un actuador neumático y su respectiva válvula. Para este caso particular, la empresa ha utilizado la marca *Bray Controls* en aplicaciones de estrangulamiento, cierre y apertura, debido a su diseño con estilo, resistente y compacto, así como su precio competente en el mercado, motivo por el cual, se ha optado mantener la selección de este dispositivo para el diseño en cuestión. La Tabla 4. 14 contiene las principales características del actuador neumático *Bray Controls* de la serie 92.

Tabla 4. 14. Principales características del actuador neumático *Bray Controls* serie 92.

Tipo de actuador	Presión de trabajo	Rango de temperatura	Material	Accesorios	Costo
Pistones opuestos de piñón y cremallera.	Pueden soportar una presión máxima de 140 psi.	De -29 °C a 95 °C.	El cuerpo está fabricado de aleación de aluminio extruido, mientras que los pistones están manufacturados de aleación de aluminio fundido.	Incluye cojinetes y guías lubricadas.	Medio

Elaboración propia



BRAY CONTROLS (Fuente: <https://www.bray.com/actuators/pneumatic-actuators/series-92-93>)

Figura 4. 8. Actuador neumático serie 92.

4.2.6. Controlador lógico programable (PLC)

Para efectos de la semi automatización del proceso de formulación de la receta de *Lavaplatos Crema* se ha decidido utilizar un controlador lógico programable (PLC) SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/Rly, usado comúnmente en aplicaciones de baja automatización discreta y compatible con el *software* SCADA elegido previamente. La principal ventaja de este PLC frente a otros en el mercado consiste en su diseño compacto, y una configuración flexible, que le permiten incursionar en una gama variada de aplicaciones. Cuenta con salidas digitales tipo relé integradas, en un rango de tensión de 5 a 30 VDC ó 5 a 250 VAC, además de dos entradas analógicas, como se observa en la Tabla 4. 15.

Tabla 4. 15. Cantidad de entradas y salidas del controlador SIMATIC S7-1200.

Entradas y salidas integradas	Cantidad
I/O Digitales	14 entradas/10 salidas
I/O Analógicas	2 entradas
Máximo número de I/O Digitales	284
Máximo número de I/O Analógicas	67

SIEMENS

Por su parte, las capacidades de memoria del controlador SIMATIC-S1200 se muestran en la Tabla 4. 16, y corresponden a los siguientes tipos:

- Memoria de trabajo: ofrece un almacenamiento volátil y almacena las partes del programa de usuario de relevancia para su ejecución.
- Memoria remanente: almacena un número de datos limitado de forma no volátil.
- Memoria de carga: permite almacenar de manera no volátil los datos, el programa de usuario y la configuración del proyecto.

Tabla 4. 16. Capacidades de memoria del controlador SIMATIC S7-1200.

Memoria de usuario integrada	Capacidad
Memoria de trabajo	50 KB
Memoria de carga	2 MB
Memoria remanente	2 KB
Bit Memory	8 KB

SIEMENS

La Tabla 4. 17 muestra la cantidad de módulos que se le pueden añadir en forma de expansión al CPU del controlador.

Tabla 4. 17. Expansión del CPU del controlador.

Expansión de CPU	Cantidad de módulos expandibles
Módulo de señales (SM)	8
Módulo de comunicaciones (CM)	3
Signal Board (SB)	1

SIEMENS

El número total de entradas y salidas requeridas del PLC, se muestran en la Tabla 4. 18. Nótese que únicamente se necesitan 4 entradas y 10 salidas digitales, por lo que no se requiere de la adquisición de un módulo I/O digitales adicional. No obstante, sí resulta necesario adquirir un módulo de entradas analógicas, pues el controlador solamente posee 2 entradas integradas, mientras que se requieren al menos 3. Por ello, se deberá expandir el CPU con el módulo SM 1231 AI 4 0-20 mA, el cual posee 4 entradas analógicas.

Tabla 4. 18. Entradas y salidas del controlador.

Entradas		Salidas	
Botón inicio	I0.0	Electroválvula de carga del agua.	Q0.0
Botón arranque	I0.1	Electroválvula de descarga del agua.	Q0.1
Botón registro de tiempos	I0.2	Electroválvula de carga de la soda.	Q0.2
Botón pare	I0.3	Electroválvula de descarga de la soda.	Q0.3
Termocupla de tanque mezclador	-	Electroválvula de carga del ácido sulfónico.	Q0.4
Termocupla de tubería de enfriamiento	-	Electroválvula de descarga del ácido sulfónico.	Q0.5
Sensor de presión de tubería de enfriamiento	-	Electroválvula de carga del silicato de sodio.	Q0.6
		Electroválvula de descarga del silicato de sodio.	Q0.7
		Electroválvula de tubería de enfriamiento.	Q1.0
		Motor de agitación.	Q1.1.
		Torre de semáforo.	-

Elaboración propia

Las lecturas de las celdas de carga se enviarán a través del protocolo Ethernet, ya que el indicador de peso, al que se conectarán directamente estos dispositivos, cuenta con un módulo de comunicación que permite enviar información a través de dicho protocolo. Del mismo modo, el valor de la frecuencia de giro de los motores mezcladores se enviará por medio de este protocolo al variador de frecuencia YASKAWA V-1000 ya instalado en campo.

La interfaz HMI seleccionada corresponde al modelo Siemens 6AV21232GB030AX0 pantalla táctil de 7", compatible con el sistema SCADA seleccionado. La Figura 4. 9 muestra el CPU del controlador escogido.



SIEMENS

(Fuente:

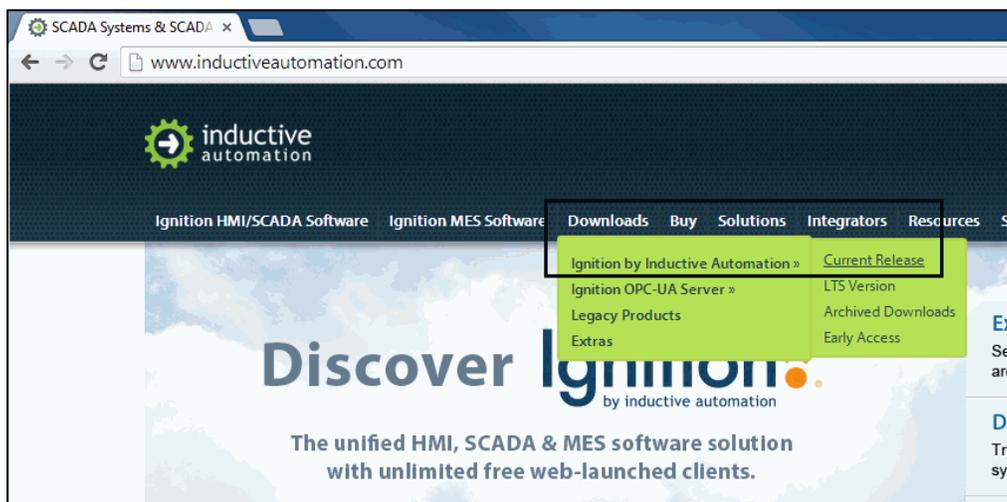
https://www.siemens.com/spanish/web/es/industry/automatizacion/aut_simatic/Documents/s7-1200_Paso_a_Paso_v1.0.pdf)

Figura 4. 9. CPU del controlador PLC S7-1200.

CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN

5.1. Instalación del software SCADA Ignition

La plataforma *Ignition* puede ser instalada en distintos sistemas operativos tales como Windows y Linux, para lo cual es indispensable poseer la versión más reciente de *Java* (Inductive Automation, 2018). Los archivos requeridos se logran acceder en la página web de *Inductive Automation*. La Figura 5. 1 muestra la pantalla principal donde se encuentran los descargables requeridos.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

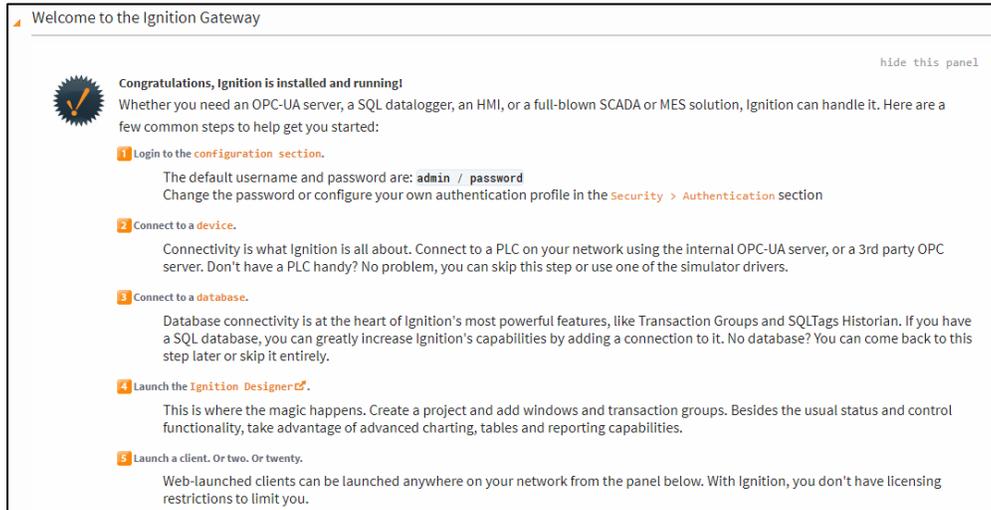
Figura 5. 1. Acceso a la página de descargas de *Inductive Automation*.

5.2. Configuración del software SCADA Ignition

Una vez instalado el *software*, se procede a su configuración. *Ignition* cuenta con un servidor *web* llamado *Gateway Webpage*, donde se pueden activar la licencia, configurar parámetros y realizar conexiones con servidores OPC y bases de datos.

El primer paso consiste en iniciar sesión en el servidor, para lo cual el sistema dota de una contraseña y un nombre de usuario por defecto, como se visualiza en la Figura 5. 2. Para cambiar estos parámetros, se debe ingresar a la sección de

Security y en la pestaña de *Authentication* realizar la modificación correspondiente. Seguidamente, debe efectuarse la conexión al controlador lógico programable (PLC), en caso de contar con uno, o simular la conectividad a través de un simulador predeterminado, para efectos de este proyecto.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 2. Ventana de *Inicio* del servidor *web*.

Ignition dispone de un vasto número de conexiones con bases de datos industriales, entre ellas las mostradas en la Tabla 5. 1. Durante el desarrollo de este proyecto se optó por utilizar una base de datos *MySQL 5.6.*, debido a su fácil instalación y escalabilidad, además de ser empleada en la empresa.

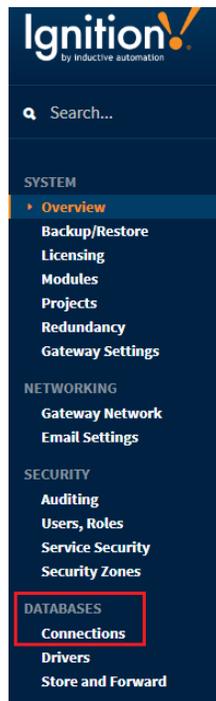
Tabla 5. 1. Bases de datos soportadas por *Ignition*

Bases de datos	Versiones
MySQL	A partir de la versión 5.0
Microsoft SQL Server	2012,2014,2016
Oracle	10g,11g,12c
Microsoft Access	-

Elaboración propia

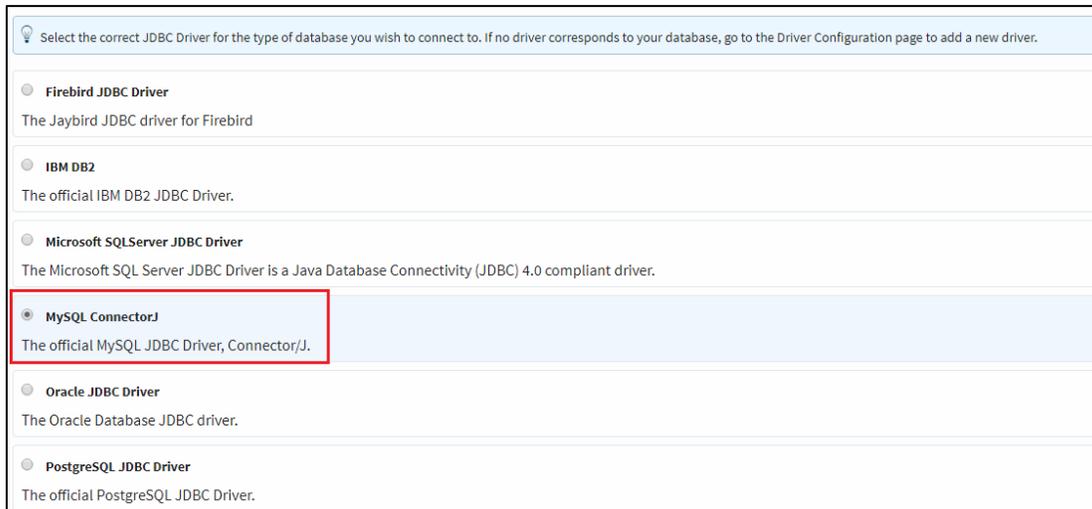
Para efectuar una nueva conexión a una base de datos, se debe acceder a la sección *Databases* y seleccionar *Connections*, ubicada en la esquina inferior izquierda, como se aprecia en la Figura 5. 3. Posteriormente, se abre una nueva

pantalla donde se realiza la configuración del *driver* requerido, según la base de datos instalada en el ordenador. En este caso, dado que se dispone del paquete *MySQL*, se debe seleccionar la opción *MySQL Connector J*, como se observa en la Figura 5. 4.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 3. Sección de conexión a bases de datos.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 4. Selección del *driver* para la conexión a la base de datos.

Luego, se debe completar la configuración de parámetros como se detalla en la Tabla 5. 2.

Tabla 5. 2. Configuración de los parámetros de la conexión de la base de datos.

Parámetro	Descripción	Configuración
<i>Name</i>	Nombre de la conexión a la base de datos. Debe ser único.	<i>MySQL</i>
<i>Description</i>	Descripción de la conexión realizada.	-
<i>JDBC Driver</i>	El tipo de <i>driver</i> requerido de acuerdo con la base de datos instalada.	<i>MySQL Connector J</i>
<i>Connect URL</i>	Dirección donde está ejecutándose la base de datos, bajo el siguiente formato: jdbc:mysql://host:port/database Parámetros <ul style="list-style-type: none"> Host: se refiere a la dirección IP del servidor de la base datos. 	<i>jdbc:</i> <i>mysql://localhost:3306/test</i>

	<ul style="list-style-type: none"> • Port: puerto donde corre la base de datos. • Database: nombre de la base de datos almacenada en MySQL. 	
<i>Username</i>	Nombre de usuario utilizado para la conexión con la base de datos.	<i>root</i>
<i>Password</i>	Contraseña empleada para conectarse a la base de datos.	<i>CONFIDENCIAL</i>
<i>Enabled</i>	Habilitación o inhabilitación de la conexión a la base de datos.	<i>Enabled</i>
<i>Validation Timeout</i>	Tiempo tomado para realizar la validación de la conexión. Está dado en milisegundos.	<i>10 000</i>
<i>Failer Datasource</i>	Nombre de la base de datos que reemplazaría a la principal, en caso de ocurrir alguna anomalía.	<i>none</i>

Elaboración propia

Una vez terminada la configuración, aparece el estado de la conexión y en caso de resultar exitosa, se muestra la leyenda *Valid* en el indicador *Status*.

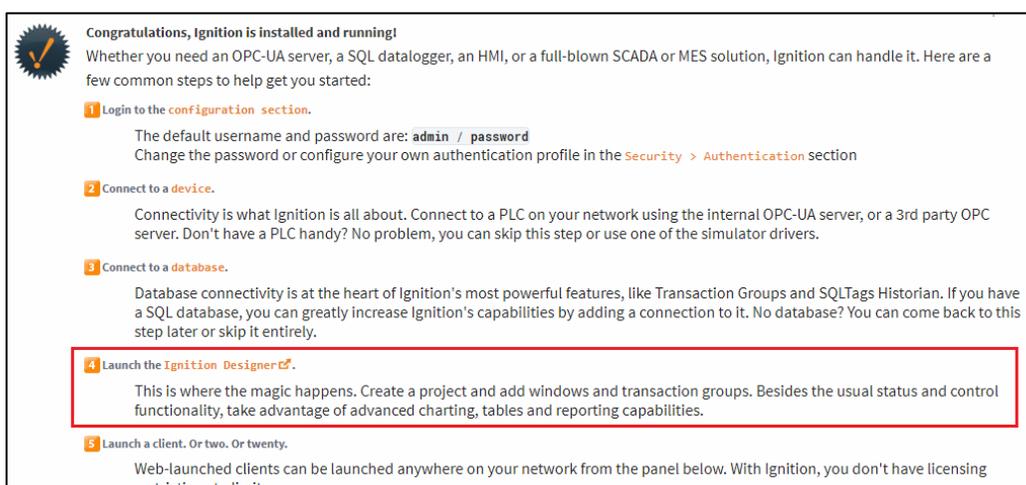
Database Connections				
Name	Description	JDBC Driver	Translator	Status
MySQL		MySQL ConnectorJ	MYSQL	Valid

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 5. Estado de la conexión a la base de datos.

5.3. Diseñador de *Ignition*

Ignition dispone del *Launch Designer* (diseñador), una interfaz que permite la creación de proyectos, asociada al *Gateway* configurado anteriormente. Para ello, debe descargarse el archivo *designer.jnlp* después de completar la etapa 4, mostrada en la Figura 5. 6. El acceso al diseñador puede realizarse desde el ordenador local o un computador remoto. El archivo descargado corre en la plataforma *Java*, razón por la cual es necesario contar con su actualización más reciente.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 6. Descarga de *Ignition Designer*.

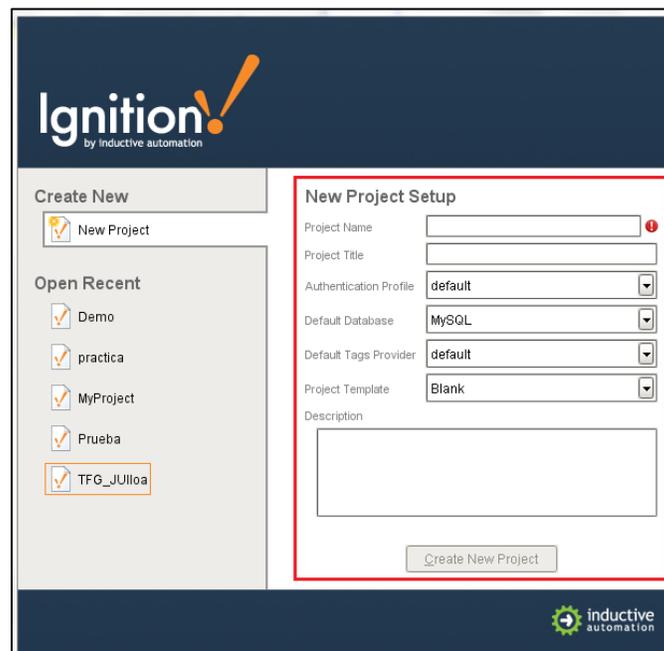
Al correr el archivo, se despliega la pantalla de ingreso a la interfaz del diseñador, como se observa en la Figura 5. 7. Si el nombre de usuario y contraseña no fueron modificados en el servidor web, las credenciales de acceso por defecto son *admin* y *password*, respectivamente.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 7. Ingreso a la interfaz del diseñador de *Ignition*.

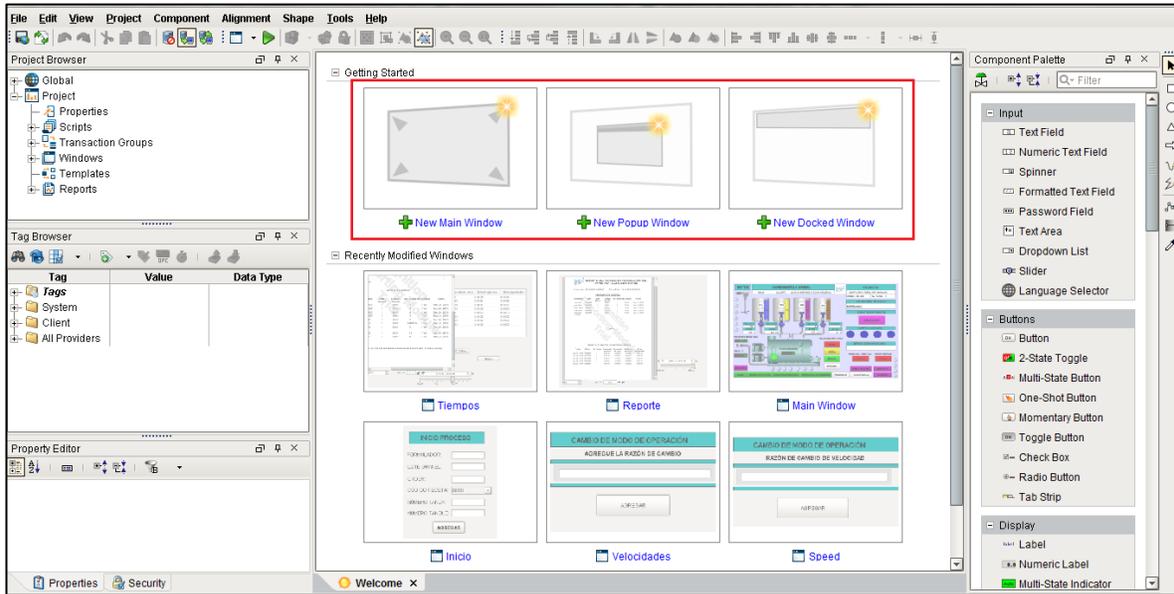
Una vez iniciada la sesión, se procede a la creación de proyectos. La Figura 5. 8 muestra la pantalla de configuración de parámetros que debe realizarse, entre ellos el nombre del proyecto, su título, la base de datos a la que se conectará y el proveedor de variables (*tags*), es decir, el servidor OPC. Llenados esos espacios, se selecciona el botón *Create New Project* y el proyecto es creado.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 8. Creación de proyectos en la interfaz de diseñador.

La Figura 5. 9 muestra la interfaz principal del diseñador de *Ignition*, donde se visualizan los distintos tipos de ventanas que se pueden emplear en el diseño propio. El *software* provee tres tipos: *Main Window* o pantalla principal, *Popup Window* o ventana emergente y *Docked Window*, utilizada en posiciones específicas de la ventana principal para navegación.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 9. Ventana principal de *Ignition Designer*.

5.3.1 Creación de variables (*tags*)

Ignition las clasifica en dos categorías: internas, provenientes de una base de datos interna almacenada en el *Gateway*, o externas, originarios de bases de datos externas.

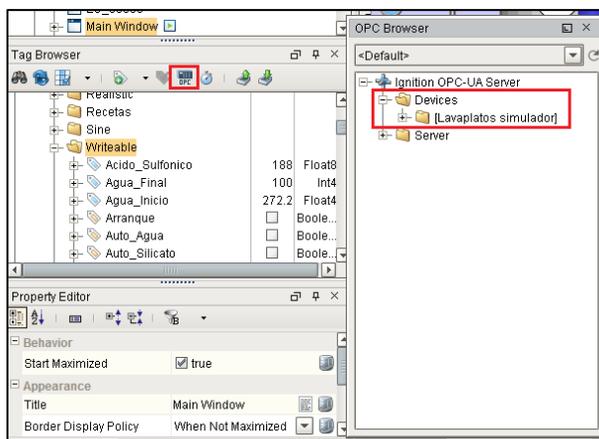
El software cuenta con los tipos de *tags* contenidos en la Tabla 5. 3, cuya diferenciación radica principalmente en el tipo de proveedor.

Tabla 5. 3. Tipos de *tags* soportados por *Ignition*.

Tipo	Descripción
<i>OPC Tag</i>	Variable proveniente de un servidor OPC.
<i>Memory Tag</i>	Variable almacenada en la memoria interna del <i>software</i> , no del PLC.
<i>Query Tag</i>	Ejecuta una búsqueda específica en una base de datos y almacena el resultado en el valor de la variable.
<i>Expression Tag</i>	Variable utilizada para realizar expresiones lógicas o cálculos matemáticos a partir de los valores de otros <i>tags</i> .
<i>Derived Tag</i>	Variable abstracta que hace referencia a otro <i>tag</i> , con la capacidad de sobrescribir su valor original.
<i>System Tag</i>	Refleja el valor del estado de las conexiones efectuadas con los distintos clientes.

INDUCTIVE AUTOMATION

Para realizar una búsqueda en los proveedores disponibles de *tags*, se debe seleccionar el ícono *OPC* mostrado en la Figura 5. 10, e inmediatamente, se despliega una ventana titulada *OPC Browser*, donde se exhiben los dispositivos (PLC) que se encuentran conectados a la plataforma. En el caso particular de este proyecto, el proveedor de variables se muestra con el nombre *Lavaplatos Simulador*, procedente del simulador configurado previamente. Para seleccionar este paquete de variables, se debe arrastrar la carpeta hacia la sección *Tag Browser* ubicada en la sección izquierda de la interfaz principal del programa.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 10. Buscador de proveedores de *tags*.

La carpeta *Lavaplatos Simulador* contiene las variables simuladas correspondientes a la temperatura del tanque de mezcla, la temperatura de la tubería de enfriamiento y su presión.

Tabla 5. 4. Variables de lectura simuladas.

Nombre de la variable	Descripción	Tipo de datos
<i>Temperatura_Tanque</i>	Lectura simulada de la temperatura del tanque de mezcla en un rango de 0-100 °C.	Flotante de 8 bits (<i>Float8</i>)
<i>Temp_Enfriamiento</i>	Simulación de la lectura de la temperatura de la tubería de enfriamiento en un intervalo de 0-100 °C.	Flotante de 8 bits (<i>Float8</i>)
<i>Presión</i>	Lectura simulada de la presión de la tubería de enfriamiento en un rango de 0-100 psi.	Flotante de 8 bits (<i>Float8</i>)

Elaboración propia

Adicionalmente, para la realización de la lógica de programación, fue necesaria la creación de variables de memoria o marcas que permitieran el almacenamiento de información y la representación de etapas del proceso. El primer lote de *tags* de memoria se creó con el objetivo de almacenar las cantidades de

dosificación de la materia prima líquida, cuyos valores son actualizados según el código de receta ingresado por el usuario en una ventana de tipo *popup*, y a partir de dicha identificación se realiza una búsqueda en una base de datos donde se encuentran las formulaciones de las recetas y las dosis respectivas de cada material. En secciones posteriores se profundizará en el proceso de creación de esas bases de datos y el ingreso de información. La Tabla 5. 5 muestra el nombre, la descripción y el tipo de dato de dichas variables.

Tabla 5. 5. Variables de dosificación.

Nombre	Descripción	Tipo de dato
<i>Agua_Inicio</i>	Cantidad de agua requerida para la etapa inicial del proceso de formulación.	Escritura. Flotante de 8 bits (<i>Float8</i>)
<i>Soda</i>	Cantidad de soda cáustica solicitada según la receta programada.	Escritura. Flotante de 8 bits (<i>Float8</i>)
<i>Acido_Sulfonico</i>	Cantidad de ácido sulfónico requerido de acuerdo con la formulación programada.	Escritura. Flotante de 8 bits (<i>Float8</i>)
<i>Agua_Final</i>	Cantidad de agua requerida para la etapa final del proceso de formulación.	Escritura. Flotante de 8 bits (<i>Float8</i>)

Elaboración propia

El segundo lote de variables de memoria fue creado para el almacenamiento de las etapas de activación del proceso, por lo que el tipo de dato utilizado en su declaración fue *booleano*. Estas marcas son puestas en alto una vez que la etapa respectiva se encuentra activa, en los casos de la adición manual de los siguientes materiales: carbonato de sodio, éter lauril, silicón antiespumante, carbonato de calcio, sorbitol y glicerina y otros ingredientes, o bien, cuando ya haya culminado, siendo el caso de la dosificación automática de la materia prima contenida en la Tabla 5. 5.

La Tabla 5. 6 contiene el nombre de las variables de estado del proceso, su señal de activación y el tipo de dato.

Tabla 5. 6. Variables de activación de etapas del proceso de formulación.

Nombre	Estado	Activación	Tipo de dato
<i>Marca_Agual</i>	Activa después de culminada la dosificación. Desactivada al finalizar el proceso.	Dosificación inicial de agua completada.	<i>Booleano.</i>
<i>Carbonato_Sodio</i>	Activa durante la adición del carbonato de sodio al tanque mezclador. Es desactivada al pulsar el botón <i>Registro</i> .	Se activa una vez que fue dosificada la cantidad inicial de agua.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_Soda</i>	Activa después de culminada la dosificación. Desactivada al finalizar el proceso.	Dosificación de soda completada.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_Eter</i>	Activa durante la adición de éter lauril por un tiempo especificado por el usuario.	Dosificación de soda completada.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_Sulfonico</i>	Activa después de culminada la dosificación. Desactivada al finalizar el proceso.	Dosificación de ácido sulfónico completada.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_Silicon</i>	Activa durante la adición de silicón antiespumante por un tiempo especificado por el usuario.	Se activa una vez que fue dosificada la cantidad de ácido sulfónico requerida.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_Silicato</i>	Activa después de culminada la dosificación.	Dosificación de silicato completada.	<i>Booleano.</i>

Nombre	Estado	Activación	Tipo de dato
	Desactivada al finalizar el proceso.		
<i>Carbonato_Calcio</i>	Activa durante la adición del carbonato de calcio al tanque mezclador. Es desactivada al pulsar el botón <i>Registro</i> .	Se activa una vez que fue dosificada la cantidad de soda requerida.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_Sorbitol</i>	Activa durante la adición del sorbitol y glicerina al tanque mezclador. Es desactivada al pulsar el botón <i>Registro</i> .	Se activa después de completar el segundo tiempo de mezcla.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_AguaF</i>	Activa después de culminada la dosificación. Desactivada al finalizar el proceso.	Dosificación de agua final completada.	<i>Booleano.</i>
<i>Marca_Otros</i>	Activa durante la adición de otros ingredientes. Es desactivada al pulsar el botón <i>Registro</i> .	Se activa una vez que fue dosificada la cantidad de agua final requerida.	<i>Booleano.</i>

Elaboración propia

El modo de operación del sistema fue monitoreado a través de la creación del tercer lote de *tags* de memoria que, al igual que el anterior, fue declarado de tipo *booleano*. Estas marcas fueron denotadas con los nombres *Manual*, *Automático* y *Arranque*, cuyas propiedades se visualizan en la Tabla 5. 7.

Tabla 5. 7. Variables de modo de operación del sistema.

Nombre	Estado	Señal de activación	Tipo de dato
<i>Automático</i>	Durante todo el proceso, en caso de seleccionar este modo.	Activa al presionar el botón ON/OFF titulado <i>Automático</i> .	<i>Booleano</i> .
<i>Manual</i>	Durante todo el proceso, en caso de seleccionar este modo.	Activa al presionar el botón ON/OFF titulado <i>Manual</i> .	<i>Booleano</i> .
<i>Arranque</i>	Durante todo el proceso. Es desactivada al finalizar el proceso.	Activa al pulsar el botón <i>Arranque</i> .	<i>Booleano</i> .

Elaboración propia

Para el registro del tiempo de duración de la adición manual de la materia prima, así como para el total del proceso, se decidió establecer el cuarto lote de variables de memoria, donde se incluyen los *tags* denotados por *Tiempo_Inicio*, *Tiempo_Final*, *Inicio_Proceso* y *Final_Proceso*, declarados como un dato del tipo *datetime*. Sus propiedades se logran apreciar en la Tabla 5. 8.

Tabla 5. 8. Variables para el registro de tiempos.

Nombre	Registro de escritura	Tipo de dato
<i>Inicio_Proceso</i>	Al presionar el botón <i>Inicio</i> .	<i>Datetime</i>
<i>Tiempo_Inicio</i>	Su valor se actualiza en las siguientes instancias: <ol style="list-style-type: none"> 1. Al completarse la dosificación inicial de agua. 2. Al terminar el primer tiempo de agitación de la mezcla. 3. Al finalizar el tercer tiempo de agitación de la mezcla. 	<i>Datetime</i>

Nombre	Registro de escritura	Tipo de dato
	4. Al completarse la dosificación final de agua.	
<i>Tiempo_Final</i>	Al presionar el botón <i>Registro</i> , una vez culminada la adición manual de la materia prima.	<i>Datetime</i> .
<i>Final_Proceso</i>	Al pulsar el botón <i>Final Proceso</i> .	<i>Datetime</i> .

Elaboración propia

El quinto grupo de *tags* de memoria fue declarado para el almacenamiento de los parámetros de operación del proceso, tales como los escalones de velocidad y las tolerancias de corte para la dosificación automática de la materia prima. El valor de estas variables proviene de la información ingresada por el usuario en la ventana *popup Configuración del proceso*, el cual es almacenado en una base de datos y cargado a los *tags* según el código de identificación *ID* ingresado.

Tabla 5. 9. Variables para la identificación de tolerancias de corte y velocidades.

Nombre	Descripción	Tipo de dato
<i>Valor_VAlta</i>	Valor de la velocidad definida por el usuario como <i>Alta</i> .	Entero. (<i>Int4</i>)
<i>Valor_VMedia</i>	Valor de la velocidad definida por el usuario como <i>Media</i> .	Entero. (<i>Int4</i>)
<i>Valor_VMínima</i>	Valor de la velocidad definida por el usuario como <i>Mínima</i> .	Entero. (<i>Int4</i>)
<i>Valor_Velocidad</i>	Valor actual de velocidad.	Entero. (<i>Int4</i>)
<i>ID_Velocidad</i>	Código de identificación del bloque de velocidades cargado en la base de datos.	Entero. (<i>Int4</i>)
<i>Corte_Agua</i>	Tolerancia de corte para la dosificación de agua.	Flotante. (<i>Float8</i>)
<i>Corte_Soda</i>	Tolerancia de corte para la dosificación de soda cáustica.	Flotante. (<i>Float8</i>)
<i>Corte_Sulfónico</i>	Tolerancia de corte para la dosificación ácido sulfónico.	Flotante. (<i>Float8</i>)

Nombre	Descripción	Tipo de dato
<i>Corte_Silicato</i>	Tolerancia de corte para la dosificación de silicato.	Flotante. (<i>Float8</i>)
<i>ID_Tolerancia</i>	Código de identificación del bloque de tolerancias cargado en la base de datos.	Entero. (<i>Int4</i>)

Elaboración propia

Para efectos de simulación, se creó un sexto lote de variables de memoria de tipo *booleano* empleado para el llenado y descarga virtual de los tanques de almacenamiento, que se muestra en la Tabla 5. 10.

Tabla 5. 10. Variables para la simulación virtual del proceso de llenado y descarga de tanques.

Nombre	Estado	Señal de activación	Tipo de dato
<i>Auto_Agua</i>	Activa durante dosificación y desactivada al finalizarla.	Modo <i>Automático</i> <i>activo</i> y <i>Arranque</i> <i>activo</i> .	<i>Booleano</i> .
<i>Auto_Soda</i>	Activa durante dosificación y desactivada al finalizarla.	Modo <i>Automático</i> <i>activo</i> y tiempo de temporizador <i>Timer_Eter</i> alcanzado.	<i>Booleano</i> .
<i>Auto_Sulfónico</i>	Activa durante dosificación y desactivada al finalizarla.	Modo <i>Automático</i> <i>activo</i> y tiempo de temporizador <i>Temp1</i> alcanzado.	<i>Booleano</i> .
<i>Auto_Silicato</i>	Activa durante dosificación y desactivada al finalizarla.	Modo <i>Automático</i> <i>activo</i> y tiempo de temporizador <i>Timer_Silicon</i> alcanzado.	<i>Booleano</i> .

Elaboración propia

El control remoto de los actuadores del sistema, como lo son las electroválvulas de carga y descarga, los motores de agitación y de mezcla, se

realizó mediante la activación de *OPC tags* en modo escritura, expuesto en la Tabla 5. 11.

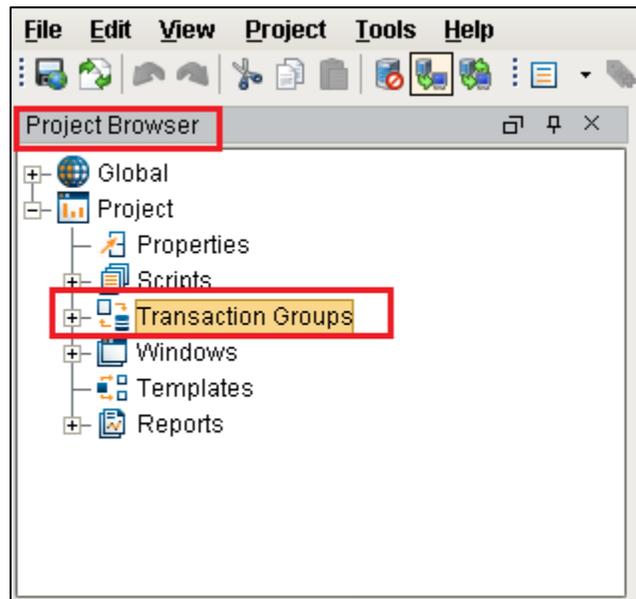
Tabla 5. 11. Variables para la activación de las válvulas de descarga de líquidos.

Nombre	Descripción	Señal de activación
<i>Válvula_Agua</i>	Válvula de descarga de agua.	Botón <i>Activar</i> del <i>popup Válvula Agua</i> , en caso de encontrarse seleccionado el modo manual, de lo contrario, modo <i>Automático</i> y <i>Arranque</i> activos.
<i>Válvula_Soda</i>	Válvula de descarga de soda.	Botón <i>Activar</i> del <i>popup Válvula Soda</i> , en caso de encontrarse seleccionado el modo manual, de lo contrario, modo <i>Automático</i> activo y tiempo de temporizador <i>Timer_Eter</i> alcanzado.
<i>Válvula_Sulfónico</i>	Válvula de descarga de ácido sulfónico.	Botón <i>Activar</i> del <i>popup Válvula Ácido Sulfónico</i> , en caso de encontrarse seleccionado el modo manual, de lo contrario, modo <i>Automático</i> activo y tiempo de temporizador <i>Temp1</i> alcanzado.
<i>Válvula_Silicato</i>	Válvula de descarga de silicato.	Botón <i>Activar</i> del <i>popup Válvula Silicato</i> , en caso de encontrarse seleccionado el modo manual, de lo contrario, modo <i>Automático</i> activo y tiempo de temporizador <i>Timer_Silicon</i> alcanzado.

Elaboración propia

5.3.2. Creación de grupos de transacción de datos

Los grupos de transacción corresponden a unidades de ejecución utilizadas para el almacenamiento de registros históricos, transferencia de información de bases de datos a servidores OPC y viceversa, así como para la carga de recetas (Inductive Automation, 2018). En la interfaz del diseñador, es posible acceder a su creación y configuración en la esquina superior izquierda en la sección titulada *Project Browser*, como se observa en la Figura 5. 11.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 11. Ubicación de los grupos de transacción en la interfaz del diseñador.

Al crear un grupo de transacción, éste se asocia a una tabla localizada en la base de datos a la que *Ignition* se encuentra conectada y su ejecución está supeditada a intervalos de tiempo definidos o al accionamiento (*trigger*) de alguna condición en particular. Existen dos clases principales: *Standard*, usados por excelencia para la escritura de valores al PLC, provenientes de recetas almacenadas en bases de datos; y *Historical*, utilizados para leer información del OPC y registrarla en bases de datos.

Actualmente, el Departamento de Investigación y Desarrollo maneja 14 recetas para la formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema*, por lo que en primera instancia fue necesario ingresar cada una de ellas de forma manual a una tabla denominada *recetas*, almacenada en la base de datos *MySQL*, y configurada en etapas anteriores. La Figura 5. 12 muestra la vista de la totalidad de las formulaciones en la tabla. La adición de cada ingrediente se realizó a través de comandos *MySQL*, ingresados en la línea ubicada en la parte superior de la pantalla *Database Query Browser* y ejecutados al pulsar el botón *Execute*. La tabla creada presenta las siguientes columnas: *ID*, *Nombre*, *Agua_Inicio*, *Soda*, *Ácido_Sulfónico*, *Silicato* y *Agua_Final*, donde la primera columna corresponde al código de identificación de cada receta, mientras que las restantes almacenan el valor de la cantidad de dosificación de la respectiva materia prima.

The screenshot shows the Database Query Browser interface. At the top, a query is entered: `SELECT * FROM recetas`. Below the query, there is a checkbox for "Limit SELECT to: 1000 rows". The main area displays a table with 14 rows of data. The columns are: ID, Nombre, Agua_Inicio, Soda, Acido_Sulfonico, Silicato, and Agua_Final. The 'recetas' table is highlighted in the Schema view on the right side of the interface.

ID	Nombre	Agua_Inicio	Soda	Acido_Sulfonico	Silicato	Agua_Final
50251	LAVAPLATOS CREMA IREX PLUS ...	255	18	225	96.9	100
50630	LAVAPLATOS MEMBER'S SELE N...	252.6	18	225	96.9	100
50131	LAVAPLATOS CREMA PRICESMA...	309.6	0	165	97	100
50061	LAVAPLATOS CREMA IREX LIMÓN	275.87	12	188	95	100
50060	LAVAPLATOS CREMA IREX-ORIX ...	275.87	12	188	95	100
50607	LAVAPLATOS CREMA IREX NARA...	275.87	12	188	95	100
50093	LAVAPLATOS CREMA ORIX NARA...	272.2	12	188	95	100
50383	LAVAPLATOS CREMA ORIX LIMÓN	274.7	12	188	95	100
50248	LAVAPLATOS CREMA EXPORTAC...	275.87	12	188	95	100
50247	LAVAPLATOS CREMA EXPORTAC...	275.87	12	188	95	100
50260	LAVAPLATOS CREMA IREX PLUS ...	255.7	18	225	96.9	100
50612	LAVAPLATOS CREMA IREX MANZ...	274.87	12	188	95	100
50259	LAVAPLATOS CREMA IREX PLUS ...	255.7	18	225	96.9	100
50129	LAVAPLATOS CREMA MENTA ALOE	275.87	12	188	95	100

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 12. Recetas de formulación cargadas a la base de datos.

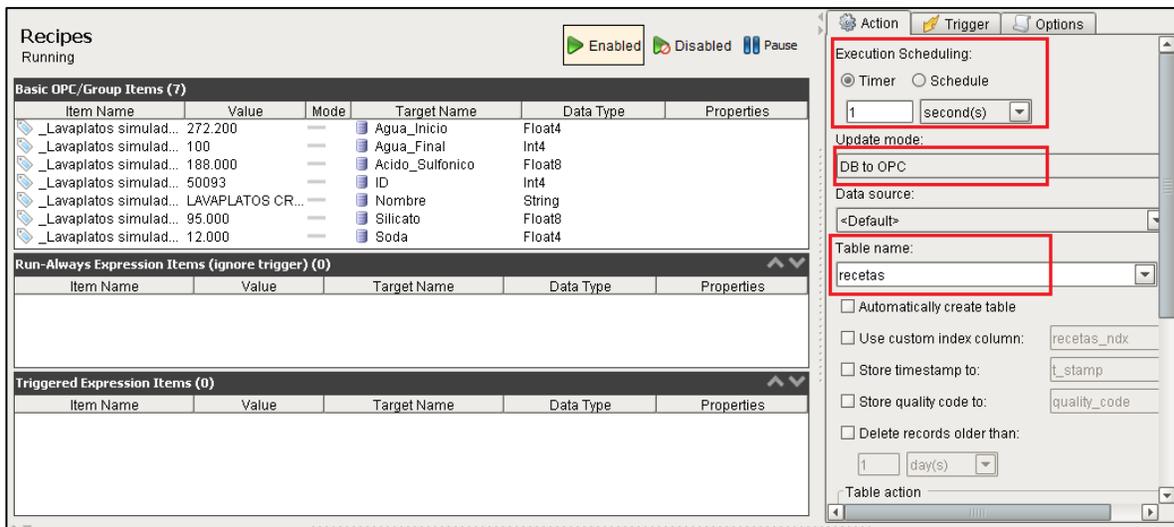
Los principales comandos *MySQL* utilizados para la manipulación de los datos se encuentran en Tabla 5. 12.

Tabla 5. 12. Principales comandos *MySQL* utilizados para el tratamiento y la manipulación de los datos.

Comando	Descripción
<i>CREATE TABLE nombre_tabla (columna1 tipodedato1, columna2 tipodedato2, etc.)</i>	Crea una tabla con sus respectivas columnas y tipo de datos.
<i>INSERT INTO nombre_tabla (columna1, columna2, etc.) VALUES (value1, value2, etc.)</i>	Agrega datos a las columnas especificadas de la tabla.
<i>SELECT columna1, columna2, etc. FROM nombre_tabla WHERE condición</i>	Selecciona los valores almacenados en las columnas de la tabla donde se cumple la condición impuesta.
<i>ALTER TABLE nombre_tabla ADD nueva_columna tipodedato</i>	Añade una columna al final de la tabla con el nombre y tipo de datos especificado.
<i>ALTER TABLE nombre_tabla CHANGE columna_antigua columna_nueva tipodedato_nuevo</i>	Modifica el nombre una columna y lo reemplaza por uno nuevo.
<i>ALTER TABLE nombre_tabla MODIFY columna tipodedato_nuevo</i>	Cambia el tipo de dato de una columna por el especificado.

Elaboración propia

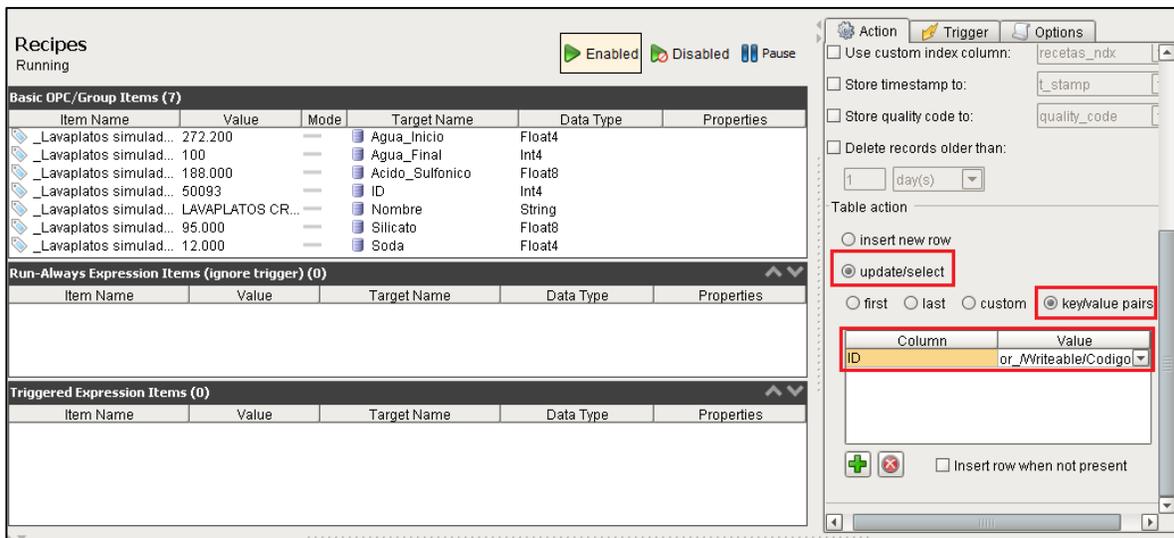
Una vez registradas y almacenadas las formulaciones en la tabla *recetas*, se procedió a crear un nuevo grupo de transacción del mismo nombre y del tipo *Standard*, para la transferencia de los datos hacia el servidor OPC. La Figura 5. 13 muestra la primera parte de la configuración, donde en la pestaña de *Execution Scheduling* se selecciona la opción de ejecución dada por un temporizador a intervalos de 1 segundo. Luego, en la sección *Update Mode* se fija la dirección de la transferencia de la información de forma que fluya en un único sentido, desde la base de datos (DB) hacia el OPC. En la pestaña *Table Name* se elige el nombre de la tabla asociada a la transacción y que, en este caso, corresponde a *recetas*.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 13. Configuración del grupo de transacción *Recetas* (Parte 1).

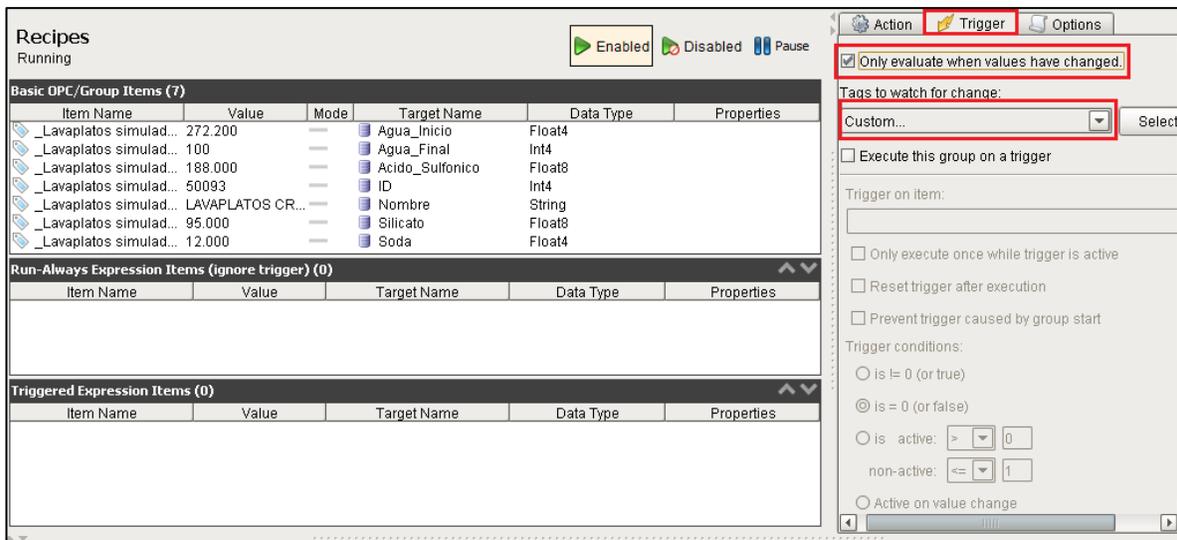
Continuando con la configuración del grupo de transacción, se procedió a seleccionar las opciones *update/select* y *keyvalue pairs*, permitiendo así que la columna *ID* de la tabla *recetas* pueda ser comparada con el *tag* llamado *Código*, ingresado por el usuario en la ventana *Inicio*, de modo que cuando exista coincidencia en sus respectivos valores se actualicen las entradas de las restantes columnas de la tabla, según el código de identificación. La Figura 5. 14 indica las secciones a las que se hace referencia en esta etapa de la configuración.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 14. Configuración del grupo de transacción *Recetas* (Parte 2).

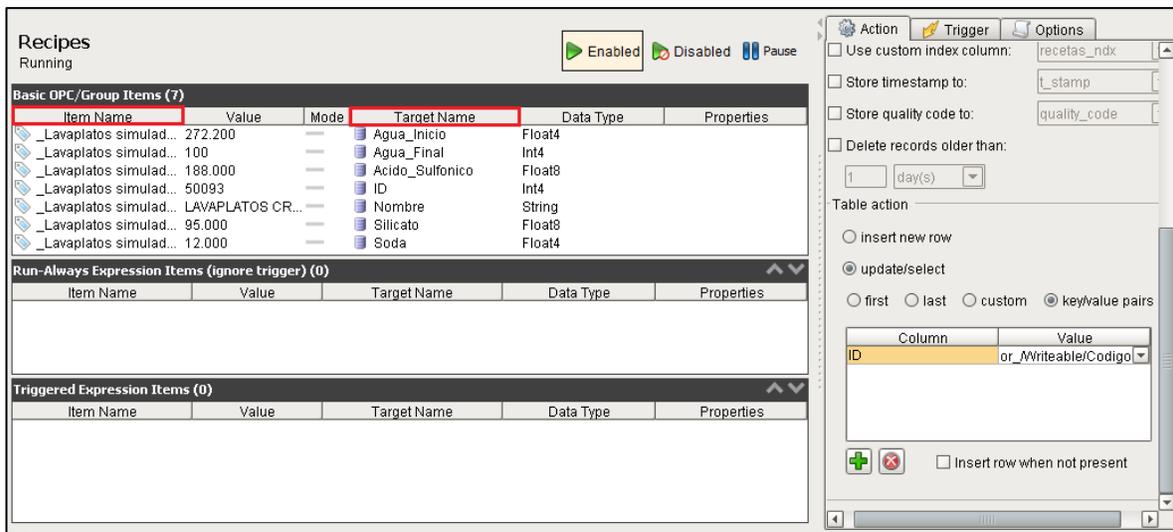
Seguidamente, en la sección de configuración llamada *Trigger*, se optó por seleccionar la opción de evaluar únicamente el grupo de transacción cuando el valor del *tag* asociado cambia. En este caso, al detectarse un cambio en el valor de la variable *Código*, se dispara la ejecución. La asociación del *tag* al accionamiento del grupo se aprecia en la Figura 5. 15, efectuada al presionar el botón *Select*.



INDCUTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 15. Configuración del grupo de transacción *Recetas* (Parte 3).

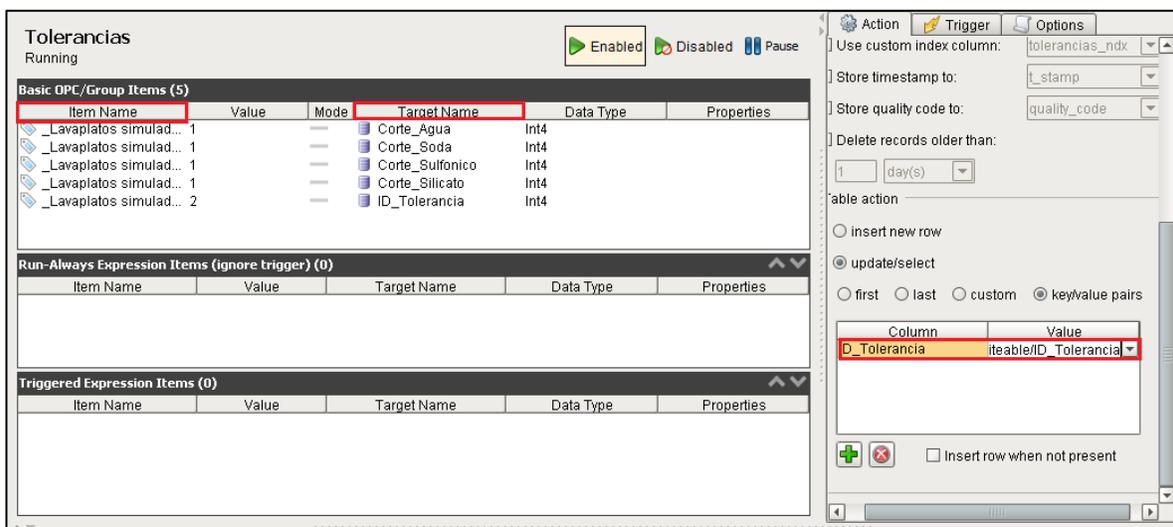
La etapa final de la configuración se muestra en la Figura 5. 16. La columna titulada *Item Name* contiene las variables creadas en el primer lote de *tags* de memoria, correspondiente a las cantidades de materia prima dosificadas de forma automática, por su parte, la entrada *Target Name* presenta las columnas de la tabla *recetas*. Al dispararse la ejecución del grupo de transacción al darse un cambio en la variable *Código*, se realiza una búsqueda en *recetas* según dicho número de identificación y se cargan los valores de dosificación al lote de *tags* de memoria.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

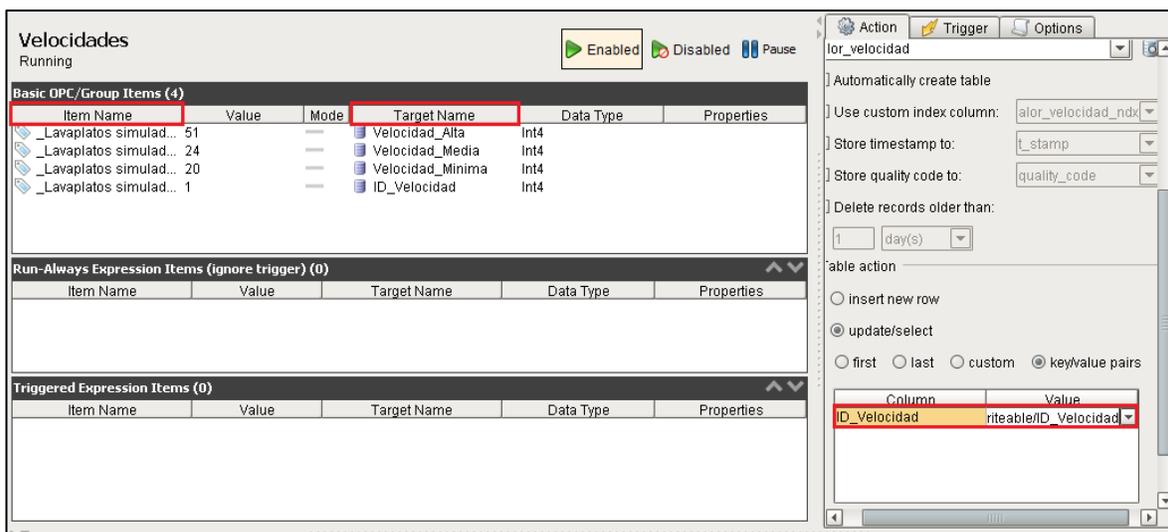
Figura 5. 16. Configuración del grupo de transacción *Recetas* (Parte 4).

De forma análoga, se crearon los grupos de transacción llamados *Tolerancias* y *Velocidades*. El proceso de creación fue similar al seguido para el grupo anterior, exceptuando el hecho de que los códigos de identificación utilizados para la búsqueda fueron los *tags ID_Velocidad* e *ID_Tolerancia* del quinto lote de variables de memoria. Las Figura 5. 17 y Figura 5. 18 exhiben las pantallas de configuración principales de cada grupo de transacción.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 17. Configuración del grupo de transacción *Tolerancias*.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 18. Configuración del grupo de transacción *Tolerancias*.

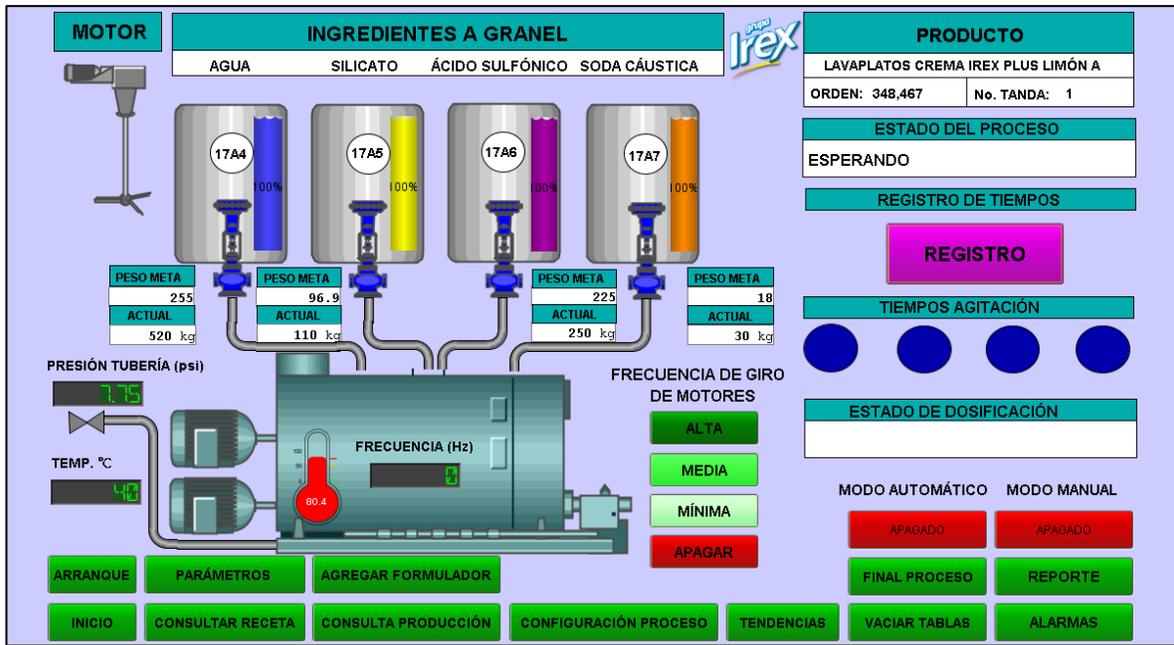
5.3.3. Creación de ventanas

5.3.3.1. Ventana principal

La ventana principal de la interfaz del sistema SCADA se visualiza en la Figura 5. 19. En la esquina superior derecha se encuentran los parámetros de formulación relevantes para el proceso, como lo son el número de orden de producción, el número de tanda y el nombre del producto. En la sección derecha de la pantalla aparecen el indicador del *Estado del proceso*, que se actualiza cada vez que alguna etapa de la formulación requiera de la adición manual de materia prima, la sección *Registro de tiempos*, empleada para documentar la duración total al añadir manualmente los materiales solicitados por la receta, el indicador *Tiempos de agitación*, el cual posee cuatro señales luminosas que parpadean cada vez que la mezcla se encuentre agitando por un tiempo definido y la sección *Estado de dosificación*, que muestra si el peso meta de la dosificación de los materiales almacenados en los tanques ya fue alcanzado.

En la parte inferior de la pantalla principal, se encuentran los botones de control y de información del proceso. Al costado izquierdo, aparecen los botones de *Inicio*, que al ser presionado abre una ventana *popup* para el registro de los datos referentes a la tanda de producción y el formulador, y *Arranque*, utilizado para enviar la señal de arranque al sistema. En la esquina inferior derecha, están ubicados los botones *Modo Automático* y *Modo Manual*, que presentan dos estados: *Encendido* y *Apagado*. A su vez, se localizan *Final Proceso*, el cual al presionarse registra toda la información concerniente a la formulación de la tanda y finaliza su ejecución, *Reporte*, que abre una ventana *popup* donde se almacenan los reportes de producción y *Alarmas*, el cual permite al usuario observar el estado de las alarmas configuradas.

En la sección central de la pantalla, se sitúan los tanques de almacenamiento de los siguientes líquidos: agua, silicato, ácido sulfónico y soda cáustica. Cada uno de ellos posee un código de identificación y un indicador del porcentaje de llenado. Además, en su parte inferior, se encuentran dos indicadores de peso: *Peso meta* y *Peso actual*. El primero se refiere a la cantidad requerida de dosificación del líquido de acuerdo con el código de identificación de la receta ingresada, en tanto el segundo monitorea el peso actual de cada tanque. Los líquidos son transportados a través de tuberías y su paso se halla determinado por la apertura de electroválvulas, para al final converger en el tanque de mezcla. Este último posee dos motores, y su frecuencia de giro se puede apreciar en un indicador colocado en el centro del tanque. Por su parte, la temperatura de la mezcla se visualiza a su lado izquierdo. Finalmente, la tubería de enfriamiento se encuentra conectada a la parte inferior del tanque de mezcla y sus dos indicadores de presión y temperatura se muestran en visualizadores de tipo *LED display*.

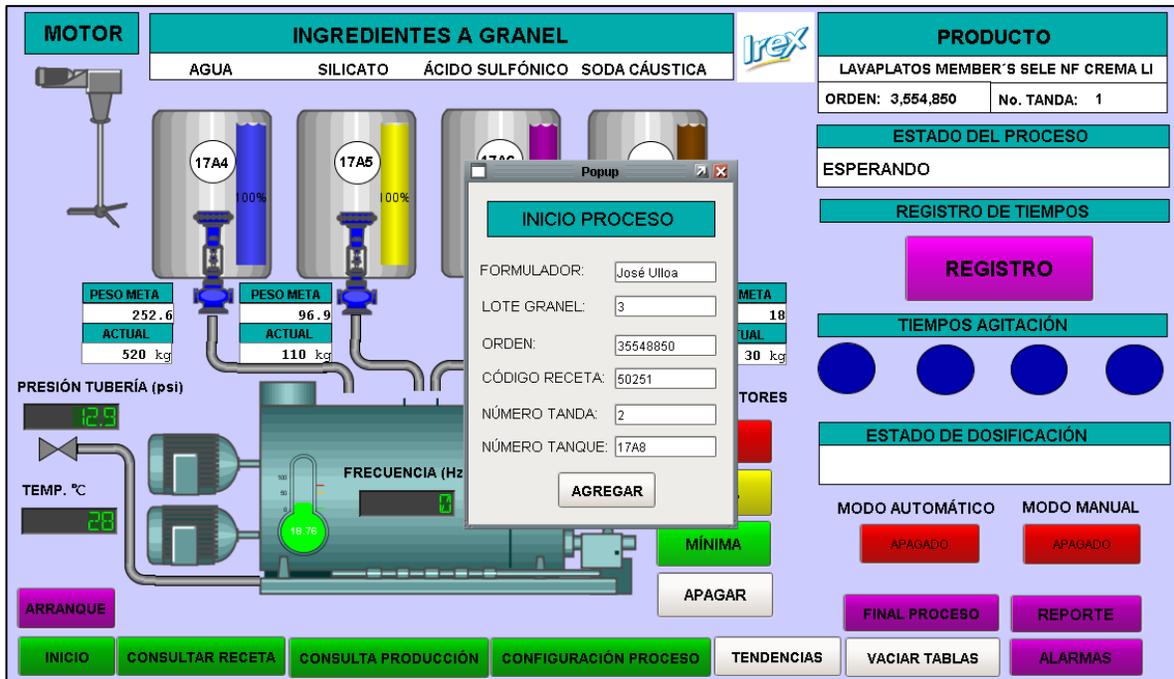


INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 19. Pantalla principal del sistema SCADA.

5.3.3.2. Ventana de Inicio

La ventana *popup Inicio* es desplegada al presionar el botón del mismo nombre. La Figura 5. 20 muestra el registro de información solicitado en dicha pantalla. El sistema le pide al usuario que ingrese el nombre del formulador, el lote del granel, el número de orden, el código de la receta, el número de la tanda y del tanque de mezcla. Una vez que el formulador ingresó los datos requeridos, debe pulsar el botón *Agregar*, de forma que la información queda almacenada en una tabla llamada *datos_inicio* y localizada en la base de datos. Al ingresar el código de la receta, se escribe el valor digitado en el *tag Código*, que se encarga de disparar el grupo de transacción denominado *Recetas*, explicado en el apartado 5.3.2, con lo cual se cargan los valores de dosificación en los indicadores de *Peso meta* de cada tanque.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 20. Ventana de inicio del proceso.

5.3.3.3. Consulta de receta

Al presionar el botón *Consultar receta*, se abre la ventana del mismo nombre, donde se despliega la lista de ingredientes de la receta cargada, con sus respectivos códigos. En caso de que exista alguna modificación en las cantidades, se le ha dotado al usuario de efectuar dicha acción al digitar el código del ingrediente y la nueva cantidad en kg, para lo cual debe pulsar el botón *Modificar*. Se ha restringido esta funcionalidad del sistema, de forma que las modificaciones puedan ejecutarse únicamente con una contraseña dada al departamento de Investigación y Desarrollo, con el fin de evitar cambios realizados por los formuladores, sin criterio técnico. La Figura 5. 21 muestra la receta para la formulación de la mezcla del producto *Lavaplatos Crema Irex Plus Limón A*.

Popup

LAVAPLATOS CREMA IREX PLUS LIMÓN A

CÓDIGO INGREDIENTE	NOMBRE	CANTIDAD (kg)
10006	AGUA	255
10005	CARBONATO DE SODIO	248
10063	SULFATO DE SODIO	21
10062	SODA CÁUSTICA	18
10072	ETER LAURIL SULFATO DE SODIO	0
50001	ÁCIDO SULFÓNICO LINEAL	225
50546	SILICATO DE SODIO AL 42%	97
10021	CARBONATO DE CALCIO	462
10095	SORBITOL 70%	6
10048	GLICERINA	6
10127	ALOE VERA	30
10006	AGUA	100
10027	DIETANOLAMIDA DE COCO	8
10136	BEROL 226	8
11531	COL AMARILLO	1
11531	COL ACID BLUE #1	0
10006	AGUA	2

CÓDIGO

MODIFICAR

CANTIDAD

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 21. Ventana de consulta de receta.

5.3.3.4. Configuración del proceso

Para acceder a la ventana nombrada *Configuración proceso* se debe pulsar el botón designado. Una vez pulsado, se despliega la pantalla observada en la Figura 5. 22, que contiene los distintos parámetros de configuración de las velocidades, tolerancias de corte y tiempo de agitación de la mezcla. Cada lote es identificado por un código llamado *Código Velocidad* y *Código Tolerancia*, para el caso de las velocidades y tolerancias, respectivamente. El sistema le permite al usuario definir numéricamente en Hz la frecuencia de giro de los motores de mezcla que, según criterios técnicos del Departamento de Investigación y Desarrollo, sean

definidas en las categorías *Alta*, *Media* y *Mínima*. Análogamente, el usuario puede establecer las tolerancias de corte para la dosificación de los líquidos almacenados en los tanques. Esta información es almacenada en las tablas *tolerancias* y *velocidades*, localizadas en la base de datos. Una vez registrados los parámetros, se debe pulsar el botón *Agregar*, para posteriormente digitar una contraseña de seguridad y que los cambios sean efectuados. Dado que cada lote de parámetros se encuentra identificado a través de un código, el usuario puede cargarlos al digitar tal identificación.

The image shows a software window titled "Popup" with the following sections and fields:

- CONFIGURACIÓN DEL PROCESO** (Section Header)
- CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA** (Section Header)
- CONFIGURACIÓN DE TIEMPOS** (Section Header)
 - TIEMPO DE AGITACIÓN: MINUTOS
 - TIEMPO DE ADICIÓN ÉTER:
 - TIEMPO DE ADICIÓN SILICÓN:
- CONFIGURACIÓN DE FRECUENCIAS DE GIRO DE MOTORES** (Section Header)
 - FRECUENCIA DE GIRO ALTA: Hz
 - FRECUENCIA DE GIRO MEDIA: Hz
 - FRECUENCIA DE GIRO MÍNIMA: Hz
- CONFIGURACIÓN DE TOLERANCIAS DE PESO CORTE** (Section Header)
 - TOLERANCIA PESO CORTE AGUA: kg
 - TOLERANCIA PESO CORTE SILICATO: kg
 - TOLERANCIA PESO CORTE SULFÓNICO: kg
 - TOLERANCIA PESO CORTE SODA: kg

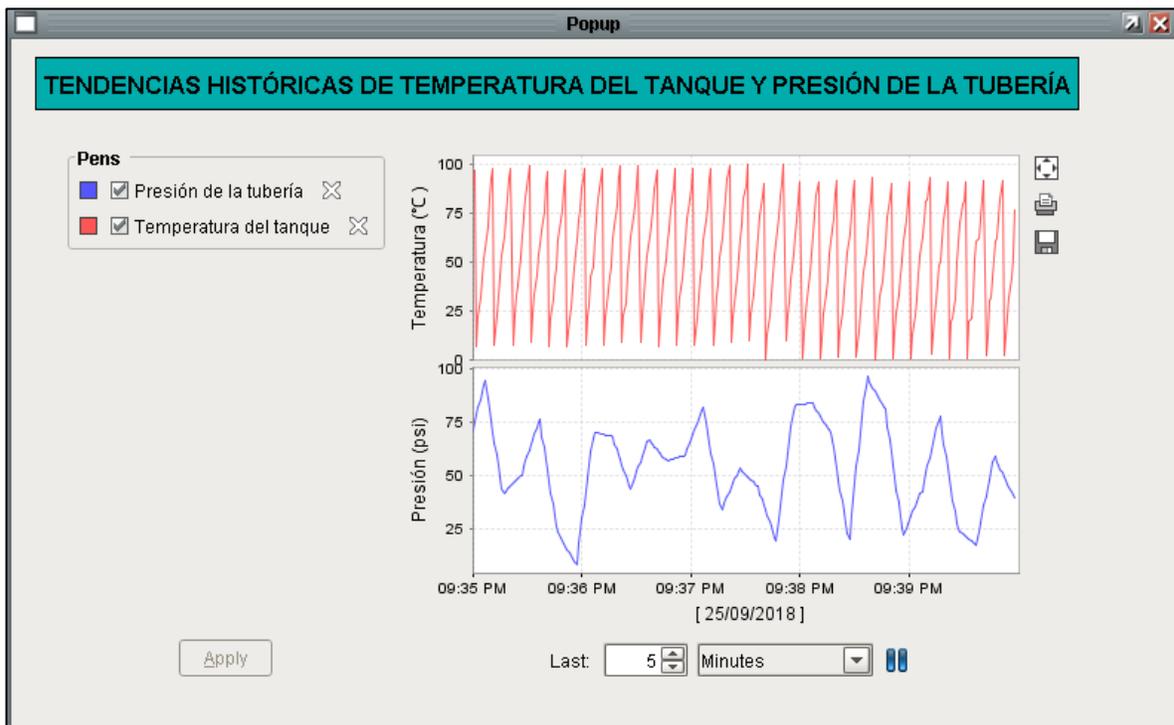
Buttons labeled "AGREGAR" are present next to the time and frequency sections, and next to the weight tolerance section.

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 22. Ventana de parámetros de configuración del proceso.

5.3.3.5. Tendencias de la temperatura del tanque y de la presión de la tubería de enfriamiento

Las tendencias históricas de la temperatura de la mezcla y la presión de la tubería de enfriamiento se pueden observar al presionar el botón llamado *Tendencias*. En dicha ventana aparecen dos gráficas con los registros históricos de las variables citadas, donde en la escala vertical se encuentra el valor de la variable en cuestión y en el eje horizontal, el tiempo, que puede ser modificado para desplegar únicamente los valores disponibles a partir de una cantidad de minutos configurable, como se aprecia en la parte inferior de la Figura 5. 23. Además, el sistema permite al usuario seleccionar si desea visualizar las dos tendencias en la misma ventana, o si prefiere observar una a la vez, al dirigirse a la sección titulada *Pens* y marcar la gráfica deseada. Asimismo, puede guardar la información histórica o imprimirla al seleccionar las opciones ubicadas a la derecha de la pantalla.

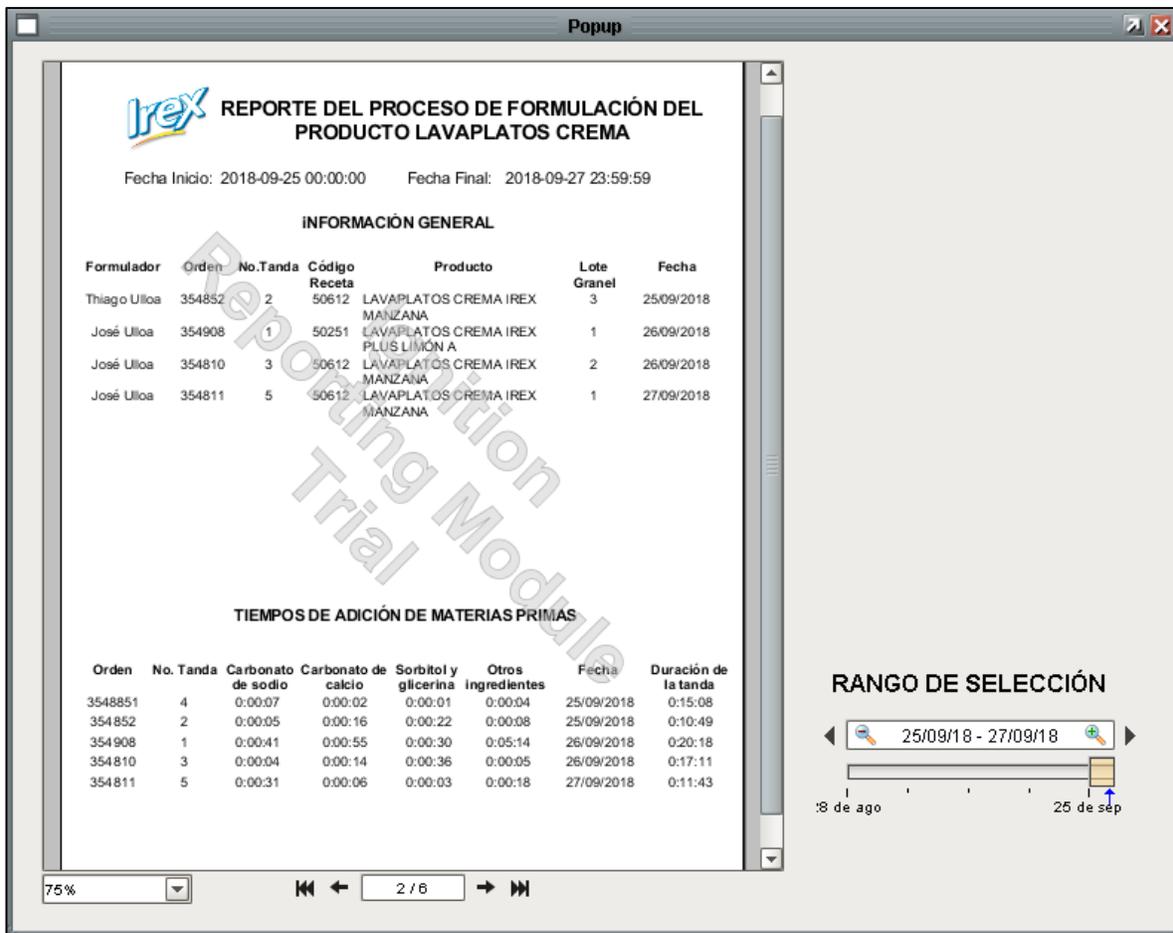


INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 23. Ventana de tendencias históricas de temperatura de la mezcla y presión de la tubería de enfriamiento.

5.3.3.6. Reportes de producción

Los reportes de producción del proceso de formulación pueden ser accedidos al pulsar el botón *Reporte*. Inmediatamente, se abre una ventana donde se visualiza el reporte y un selector llamado *Rango de selección* que permite al usuario seleccionar el intervalo de fechas para su generación. El reporte contiene en el encabezado las fechas de inicio y final, y en el apartado *Información General* se muestran el nombre del formulador, los números de orden y tanda, el código de receta, el nombre del producto, el lote de granel y la fecha de la formulación. La sección *Tiempos de adición de materias primas* presenta el registro del tiempo de duración al agregar de forma manual los materiales solicitados por la receta, así como el tiempo total tomado al realizar la tanda. Para facilitar la trazabilidad de la información, esta tabla contiene los números de orden y tanda, al igual que la fecha de producción. En caso de sobrepasar el espacio destinado para la adición de nuevos datos, el reporte automáticamente genera una nueva página bajo el mismo formato donde continúa el proceso de registro.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

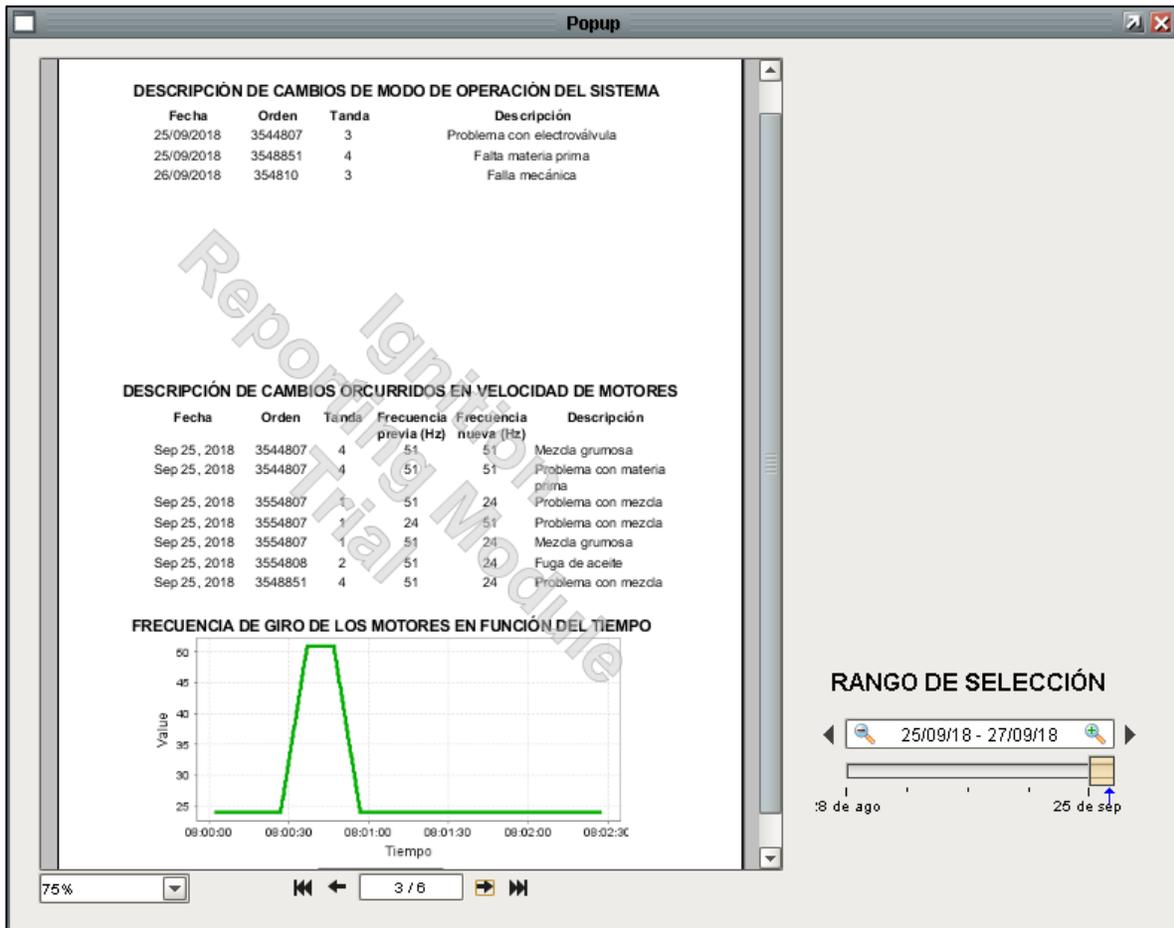
Figura 5. 24. Ventana de reporte de producción (Parte I).

La Figura 5. 25 contiene las siguientes secciones:

1. *Descripción de cambios de modo de operación del sistema:* Registra los cambios de modo de operación ocurridos durante la corrida del sistema, en caso de iniciar en modo *Automático* y efectuar un cambio al modo *Manual*. El usuario debe ingresar la razón por la cual ejecutó la modificación, con el propósito de garantizar el conocimiento de las decisiones tomadas por el formulador a sus superiores.
2. *Descripción de cambios ocurridos en velocidad de motores:* Las recetas de formulación poseen tres velocidades definidas en distintas etapas del proceso. En caso de que el formulador decida realizar un cambio en la

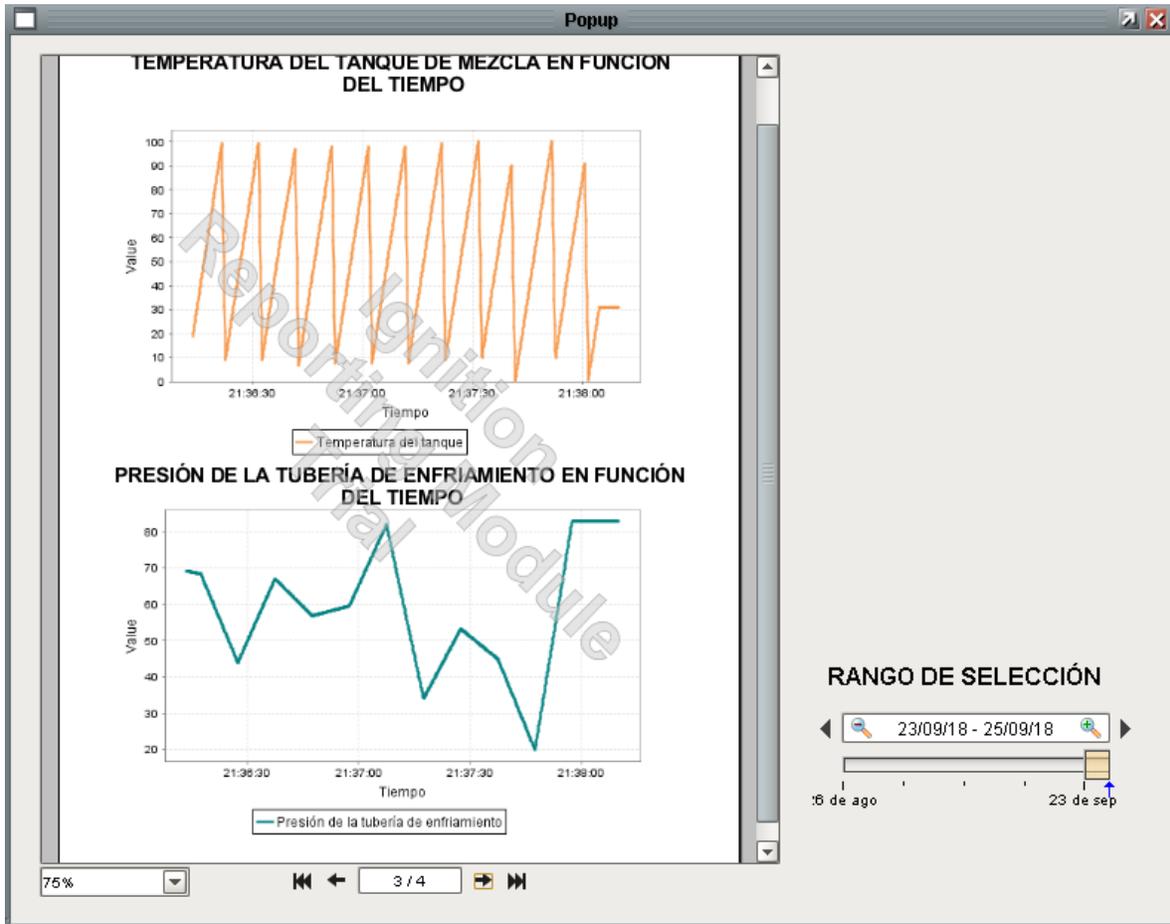
frecuencia de giro de los motores, al presentarse alguna situación particular, como fallas mecánicas o inconsistencias notorias en la textura de la mezcla, el sistema le solicita agregar la razón que motivó a dicho cambio. Así, el sistema registra la frecuencia de giro anterior y la nueva, al igual que la justificación.

Los registros históricos de las variables de frecuencia de giro de los motores, temperaturas del tanque de mezcla y de la tubería de enfriamiento, así como su presión, se pueden observar en las gráficas contenidas en las Figura 5. 25, Figura 5. 26 y Figura 5. 27.



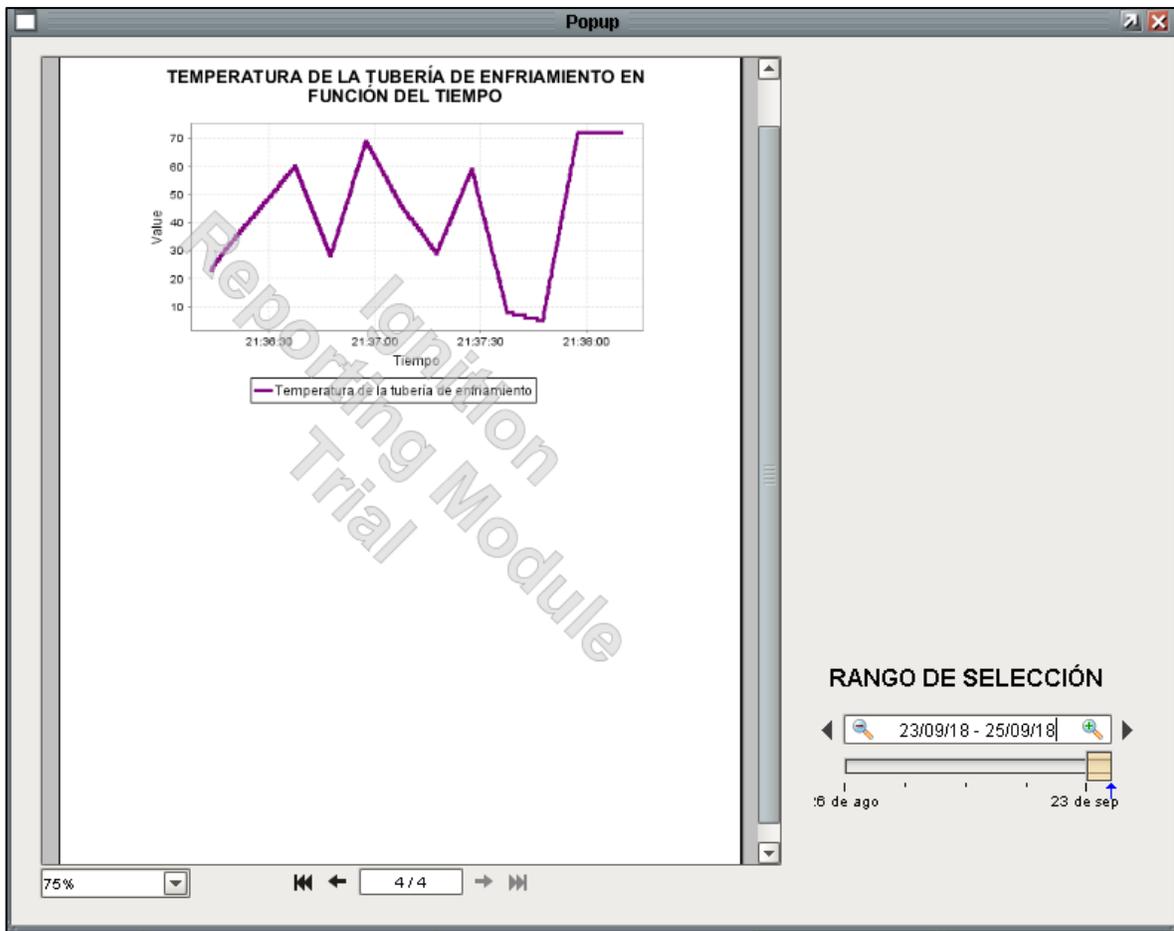
INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 25. Ventana de reporte de producción (Parte II).



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 26. Ventana de reporte de producción. (Parte III).



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 27. Ventana de reporte de producción. (Parte IV).

5.3.4. Propiedades de componentes

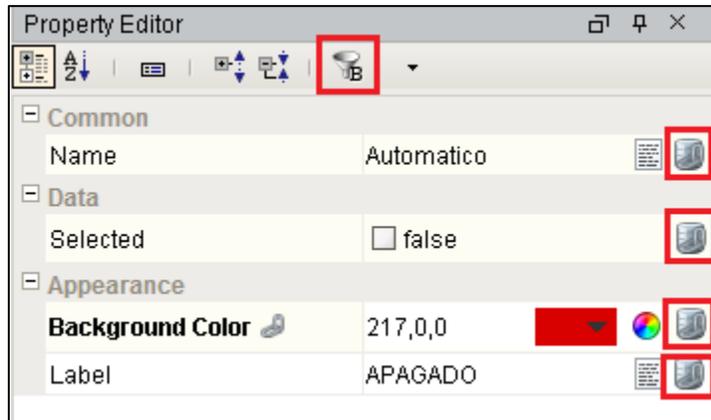
Cada componente del diseñador de *Ignition* posee un *set* de propiedades único. El *software* define a una propiedad como “una variable que afecta algún parámetro del comportamiento del componente o su apariencia” (Inductive Automation, 2018). Para modificar alguna propiedad del componente, se puede acceder a través de dos vías: mediante la pestaña *Property Editor* o *Scripting*.

5.3.4.1. Editor de propiedad (*Property Editor*)

El editor de propiedades consiste en un panel que aparece en la esquina inferior izquierda del centro de trabajo del diseñador de *Ignition*. Este muestra las propiedades del componente seleccionado. Por ejemplo, en la Figura 5. 28, al seleccionar el botón de tipo *toggle* llamado Automático y situarse en la sección *Property Editor*, se despliegan las propiedades del componente en cuestión, tales como su nombre (*Name*), su estado (*Selected*), etiqueta (*Label*) y el color de fondo (*Background Color*). Por defecto, el *software* muestra las propiedades principales, sin embargo, si el programador desea obtener la vista completa, puede seleccionar el símbolo de filtro, mostrado en la barra superior de la Figura 5. 28, y cambiar su configuración.

Cada propiedad cuenta con indicadores de estado que señalan sus características e información más relevante. Estos son de tres tipos, según (Inductive Automation, 2018) y se denotan por los siguientes símbolos:

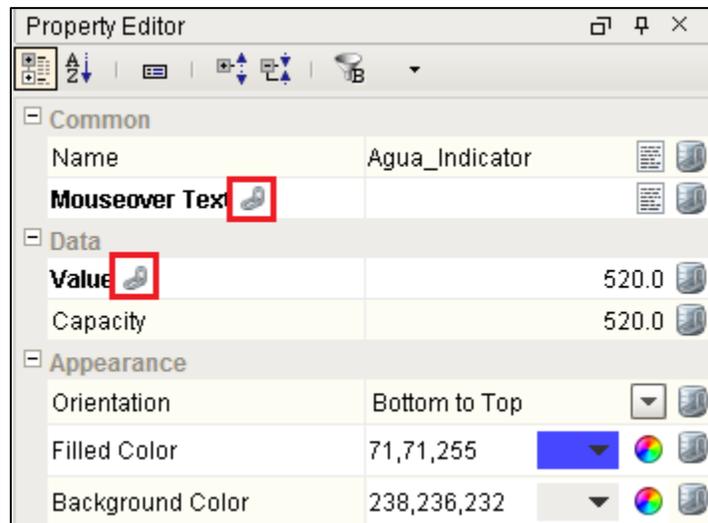
1. : El ícono de un enlace o *link* indica que la propiedad está ligada al usar la funcionalidad llamada *Property Binding*, explicada más adelante, cuyo ícono es el mostrado a la derecha de cada propiedad, enmarcado en color rojo, como se exhibe en la Figura 5. 28.
2. : El ícono de una paleta de colores indica que la propiedad está siendo afectada por los ajustes de la funcionalidad *Component Styles*, ligada a la apariencia del objeto.
3. El título de la propiedad en color azul indica que es de tipo *Custom Property*.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 28. Editor de propiedades para el botón de tipo *toggle Automático*.

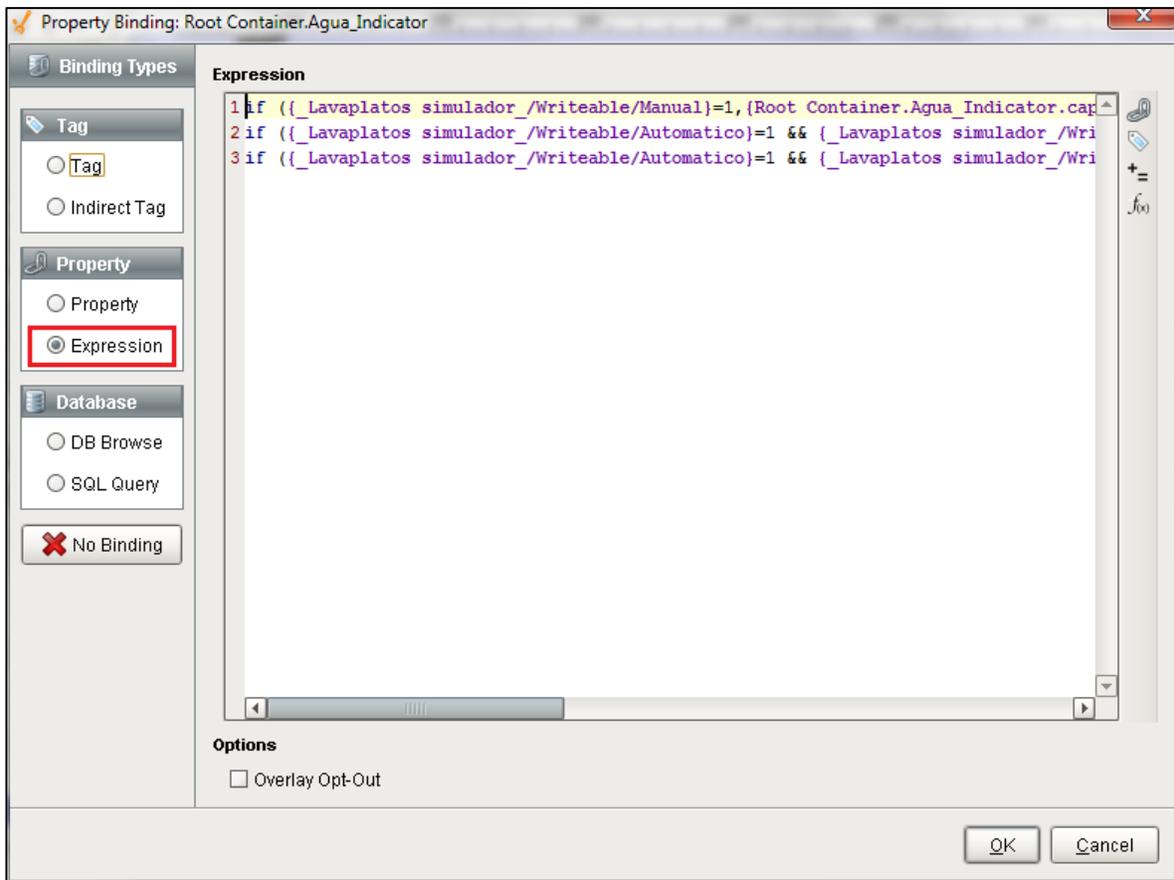
A la derecha de la mayoría de las propiedades se encuentra el botón con el ícono , indicativo de la funcionalidad titulada *Property Binding*, utilizada para vincular una propiedad del componente a otras propiedades de este o de otro, así como *tags*, y búsquedas en bases de datos. La Figura 5. 29 muestra el panel *Property Editor* del indicador de capacidad en porcentaje del tanque de almacenamiento de agua (*Agua_Indicator*). Nótese que las propiedades *Mouseover Text* y *Value* se hallan ligadas a otras propiedades o variables a través del botón *Property Binding*.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 29. Editor de propiedades para el indicador de capacidad *Agua_Indicator*.

Al seleccionar el botón *Property Binding*, se despliega la pantalla mostrada en la Figura 5. 30. Obsérvese que en la parte izquierda se encuentran las secciones *Tag*, *Property* y *Database*, que permiten al programador seleccionar el parámetro al que desea ligar su propiedad. En el caso del componente *Agua_Indicator*, se vinculó la propiedad *Value* a una expresión (*Expression*), escrita bajo los comandos *if*, *else*. La lógica seguida se conceptualizó bajo la premisa de que, al encontrarse las marcas de memoria *Automático* y *Manual*, activada y desactivada, así como las variables *Marca_Agual* y *Marca_AguaF*, en alto y bajo respectivamente, el valor del indicador de capacidad estaría dado por la resta de la capacidad del tanque y el valor de un temporizador (*Timer Sim_Agua*) para efectos de la simulación. En el caso contrario, donde la marca de memoria *Manual* estuviera puesta en alto, su valor correspondería a la resta de la capacidad del tanque y el valor del temporizador *SimManual_Agua*. Este proceso fue repetido, de forma análoga, para los indicadores de capacidad de los otros tanques.



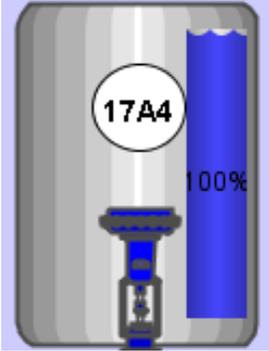
INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

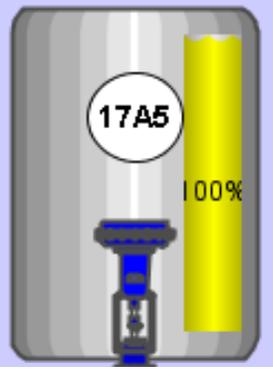
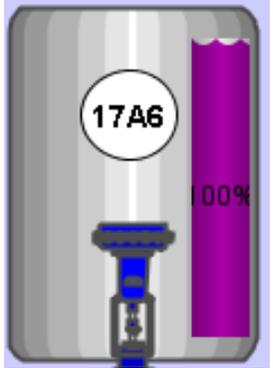
Figura 5. 30. Ventana de *Property Binding* para el componente *Agua_Indicator*.

5.3.4.2. Componentes

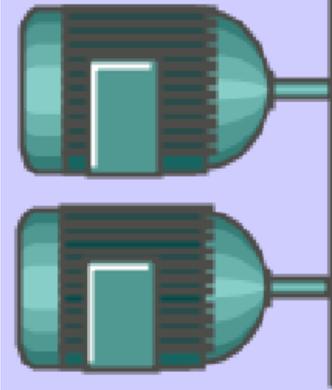
Los componentes utilizados para simular los actuadores e indicadores de variables del proceso se muestran en la Tabla 5. 13. En ella, se describen los estados de los componentes, las propiedades vinculadas a través del *Property Binding*, y las plantillas utilizadas del *Component Palette*.

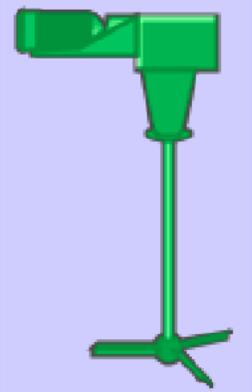
Tabla 5. 13. Propiedades de los componentes utilizados en el diseñador de *Ignition*.

Componente	Nombre	Descripción	Propiedades
	<p>Tanque de almacenamiento de agua.</p>	<p>Simula el estado de llenado del tanque. Posee un indicador de su capacidad de llenado en porcentaje y un código de identificación. Presenta una electroválvula de descarga del líquido. La dosificación se realiza en dos etapas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Indicador de capacidad: Valor está vinculado mediante el botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por la diferencia entre la capacidad del tanque y la lectura de la celda de carga virtual (<i>Temporizador</i>). Electroválvula de descarga: Al presionar el ícono del objeto, se despliega una pantalla de control, en caso de estar activado el modo <i>Manual</i>. Su color está vinculado a través del botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por el valor <i>booleano</i> del estado del temporizador (<i>Running</i>) que simula la lectura de la celda de carga.

Componente	Nombre	Descripción	Propiedades
	<p>Tanque de almacenamiento de silicato.</p>	<p>Simula el estado de llenado del tanque. Posee un indicador de su capacidad de llenado en porcentaje y un código de identificación. Presenta una electroválvula de descarga del líquido. La dosificación se realiza en una única etapa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Indicador de capacidad: Valor está vinculado mediante el botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por la diferencia entre la capacidad del tanque y la lectura de la celda de carga virtual (<i>Temporizador</i>). Electroválvula de descarga: Al presionar el ícono del objeto, se despliega una pantalla de control, en caso de estar activado el modo <i>Manual</i>. Su color está vinculado a través del botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por el valor <i>booleano</i> del estado del temporizador (<i>Running</i>) que simula la lectura de la celda de carga.
	<p>Tanque de almacenamiento de ácido sulfónico.</p>	<p>Simula el estado de llenado del tanque. Posee un indicador de su capacidad de llenado en porcentaje y un código de identificación. Presenta una electroválvula de descarga del líquido. La dosificación se realiza en una única etapa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Indicador de capacidad: Valor está vinculado mediante el botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por la diferencia entre la capacidad del tanque y la lectura de la celda de carga virtual (<i>Temporizador</i>). Electroválvula de descarga: Al presionar el ícono del objeto, se

Componente	Nombre	Descripción	Propiedades
			<p>despliega una pantalla de control, en caso de estar activado el modo <i>Manual</i>. Su color está vinculado a través del botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por el valor <i>booleano</i> del estado del temporizador (<i>Running</i>) que simula la lectura de la celda de carga.</p>
	<p>Tanque de almacenamiento de soda cáustica.</p>	<p>Simula el estado de llenado del tanque. Posee un indicador de su capacidad de llenado en porcentaje y un código de identificación. Presenta una electroválvula de descarga del líquido. La dosificación se realiza en una única etapa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de capacidad: Valor está vinculado mediante el botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por la diferencia entre la capacidad del tanque y la lectura de la celda de carga virtual (<i>Temporizador</i>). • Electroválvula de descarga: Al presionar el ícono del objeto, se despliega una pantalla de control, en caso de estar activado el modo <i>Manual</i>. Su color está vinculado a través del botón <i>Property Binding</i> a una expresión dada por el valor <i>booleano</i> del estado del temporizador (<i>Running</i>) que simula la lectura de la celda de carga.

Componente	Nombre	Descripción	Propiedades
	<p>Motores de mezcla.</p>	<p>Simula el estado de los motores mezcladores. Presenta tres estados, indicados por su color, de acuerdo con su frecuencia de giro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de giro alta: Color rojo y parpadeo por un período de 0,5 segundos. • Frecuencia de giro media: Color rojo y parpadeo por un período de 1,5 segundos. • Frecuencia de giro baja: Color verde y parpadeo por un período de 2 segundos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Color: Se duplicó la plantilla del componente y a esta última se le vinculó la propiedad <i>Fill Center Color</i> al tag correspondiente al estado <i>booleano</i> de la velocidad (<i>VAlta</i>, <i>VMedia</i> o <i>VMínima</i>).
	<p>Tanque de mezcla.</p>	<p>Simula el estado actual del tanque mezclador. Tiene dos indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de giro: Muestra en un <i>LED Display</i> el valor de la frecuencia de giro actual de los motores de mezcla. • Temperatura de la mezcla: Indica la temperatura actual de la mezcla en un termómetro virtual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de giro: Se vinculó esta propiedad al tag <i>Valor_Velocidad</i>. • Temperatura de la mezcla: Vinculada al tag llamado <i>Temperatura_Tanque</i>.

Componente	Nombre	Descripción	Propiedades
	<p>Motor de agitación del colorante.</p>	<p>Simula el estado del motor de agitación del colorante. Posee una única velocidad. Presenta dos estados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Activado: Se indica con un parpadeo de color verde por un período de 1,5 segundos. • Desactivado: Se muestra el color original de la plantilla del componente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Color: Se duplicó la plantilla del componente y a esta última se le vinculó la propiedad <i>Fill Center Color</i> al tag correspondiente al estado <i>booleano</i> de la variable del motor de agitación (<i>Motor_Agitación</i>).
	<p>Tubería de enfriamiento.</p>	<p>Simula el estado actual de la tubería de enfriamiento. Tiene los siguientes indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión: Muestra la presión actual de la tubería (psi) en un <i>LED Display</i>. • Temperatura: Indica la temperatura del agua que circula por la tubería. • Activada: Se visualiza la tubería en color verde, en caso de encontrarse activada la electroválvula. • Desactivada: Se visualiza la tubería en color gris, en caso de encontrarse desactivada la electroválvula. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión: Vinculada al tag denominado <i>Presión</i>. • Temperatura: Vinculada a la variable llamada <i>Temp_Enfriamiento</i>. • Color: Se vinculó al valor del tag <i>Tub_Enfriamiento</i>.

5.3.5. Códigos de programación (*Scripting*)

Las funcionalidades ofrecidas por el botón *Property Binding* son flexibles, fáciles de ejecutar y de entender, por lo que, en ocasiones, al diseñar lógicas de control más complejas, estas características no permiten dotarle de un elevado grado de personalización a los proyectos desarrollados. Por ello, *Ignition* cuenta con un módulo denominado *Scripting* para cada componente del diseñador de modo que, en caso de ejecutar alguna acción que no se encuentre dentro de las propiedades preestablecidas, se puede programar un *script* que sea capaz de realizarla (Inductive Automation, 2018).

Ignition utiliza el lenguaje de programación *Python*, que se integra de buena manera a la plataforma de *Java*, sobre la cual se encuentra desarrollado el *software*, otorgándole al programador la oportunidad de desarrollar poderosas herramientas (Inductive Automation, 2018). Al implementar *Python* en el entorno de *Java*, surge el nombre de *Jython*, expresión utilizada para referirse a la implementación del lenguaje de programación en un ambiente específico. Una de las ventajas más significativas frente a otros paquetes *SCADA* reside en que el programador tiene acceso completo a la librería estándar de *Java* (Inductive Automation, 2018).

El *software* posee un paquete funciones denominado *System Functions*, que permite realizar ciertas tareas con sólo ejecutar una línea de código e ingresando los argumentos solicitados. La Tabla 5. 14 contiene las funciones más empleadas al momento de desarrollar los *scripts* de los componentes del presente proyecto.

Tabla 5. 14. Funciones del módulo *Scripting* más utilizadas.

Función	Descripción	Valor de retorno
<i>system.tag.read(path_variable)</i>	Permite obtener la lectura de una variable al ingresar su dirección (<i>path</i>) como argumento.	Valor de la variable.
<i>system.tag.write(path_variable, valor_escritura)</i>	Permite escribir un nuevo valor en una variable, al ingresar su dirección como argumento.	Si la escritura fue exitosa, retorna <i>1</i> , caso contrario retorna <i>0</i> .
<i>system.db.runPrepUpdate("INSERT INTO nombre_tabla (columna1, columna2, etc.) VALUES (?, ?,etc.)", [valor1,valor2, etc.]</i>	Actualiza las entradas de la tabla localizada en la base de datos por los valores digitados.	Número de filas afectadas.
<i>system.db.runScalarQuery(query, database,tx)</i>	Realiza una búsqueda (<i>query</i>) en la base de datos de nombre <i>database</i> .	Valor de la primera fila y columna de la búsqueda.
<i>system.date.now()</i>	Permite obtener la fecha actual del ordenador.	Retorna un objeto de la clase <i>java.util.Date</i> que representa el valor del tiempo actual según el reloj del sistema.
<i>system.date.secondsBetween(date_1, date_2)</i>	Calcula el número de segundos existentes entre las fechas <i>date_2</i> y <i>date_1</i> .	Diferencia en segundos entre las dos fechas.
<i>system.gui.messageBox(message)</i>	Despliega un mensaje <i>popup</i> en la pantalla al usuario.	Nulo.

Elaboración propia

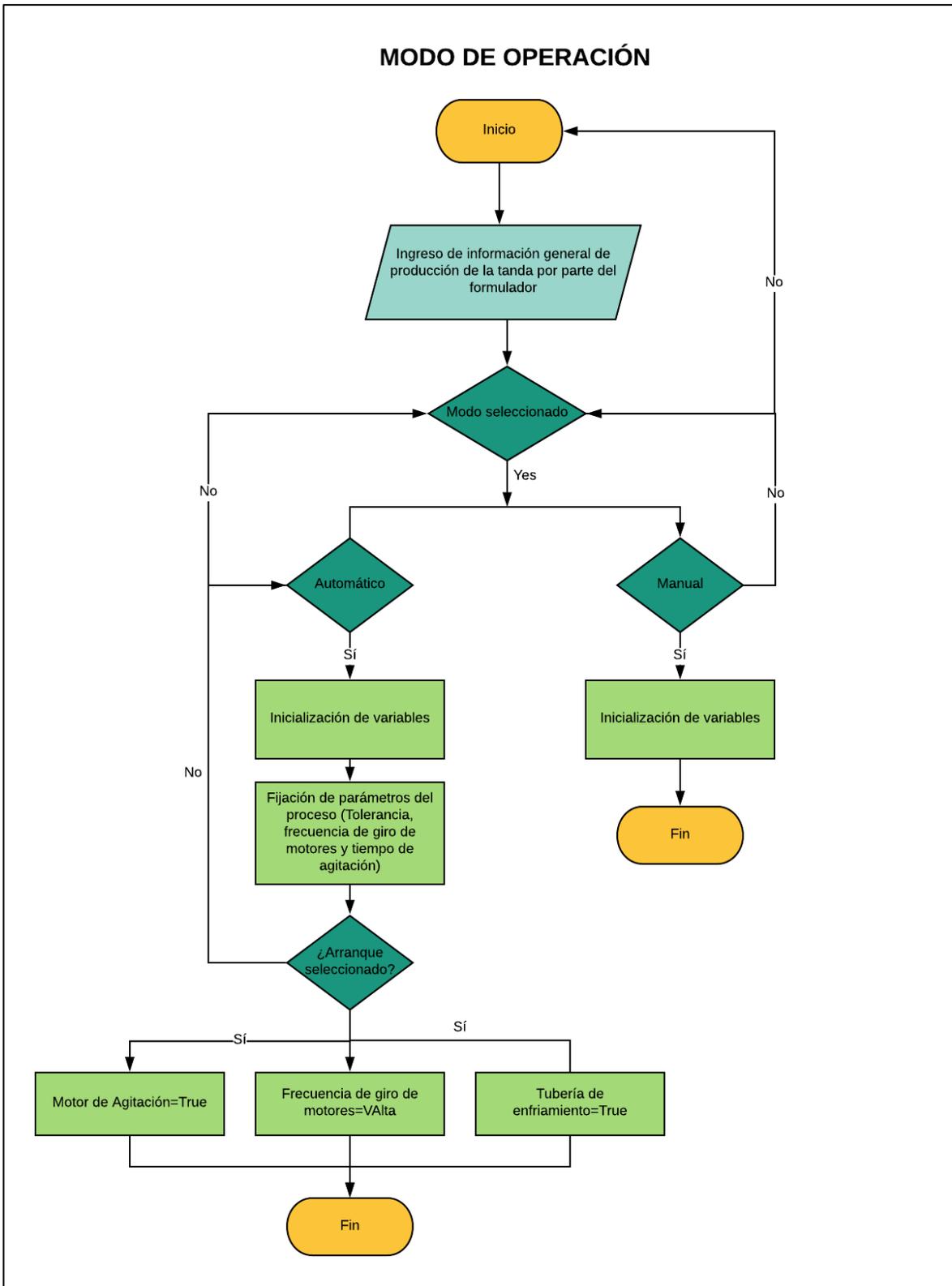
5.4. Desarrollo de la lógica de control

En secciones anteriores, se abordaron las principales funcionalidades ofrecidas por el diseñador de *Ignition*, tales como las propiedades de componentes, búsquedas en bases de datos, creación de variables y ventanas, y el desarrollo de *scripts*. Estas herramientas permiten al programador diseñar lógicas de control ajustadas a las necesidades de diseño de forma que, al efectuar distintas combinaciones entre las mismas, resulta posible obtener un producto potente y amigable con el usuario. En esta sección, se explicará el desarrollo de la lógica de control seguida para la semiautomatización del proceso de formulación de las recetas de *Lavaplatos Crema*.

5.4.1. Modo de operación

El sistema cuenta con dos modos de operación: *Automático* y *Manual*. El usuario debe seleccionar exclusivamente uno de ellos, caso contrario, si selecciona ambos, se despliega un mensaje en pantalla indicándole que dicha acción no se puede ejecutar. El primer paso que debe realizar el formulador consiste en registrar la información general de la formulación de la tanda, explicada en el apartado 5.3.3.2. Seguidamente, debe elegir el modo de operación del sistema; en caso de seleccionar el modo *Automático*, se inicializa la marca de memoria del mismo nombre y se cargan los lotes de tolerancias de corte y velocidades, según los códigos establecidos. Luego, el formulador debe presionar el botón *Arranque*, que a su vez pone en alto la marca denominada *Arranque*, enciende el motor de agitación del colorante, activa la electroválvula de la tubería de enfriamiento y fija la frecuencia de giro de los motores de mezcla en el escalón llamado *VAlta*.

Si el usuario selecciona el modo *Manual*, se activa la marca del mismo nombre, no obstante, el control de los actuadores debe efectuarlo por separado. En la Figura 5. 31 se observa el diagrama de flujo del modo de operación del sistema.



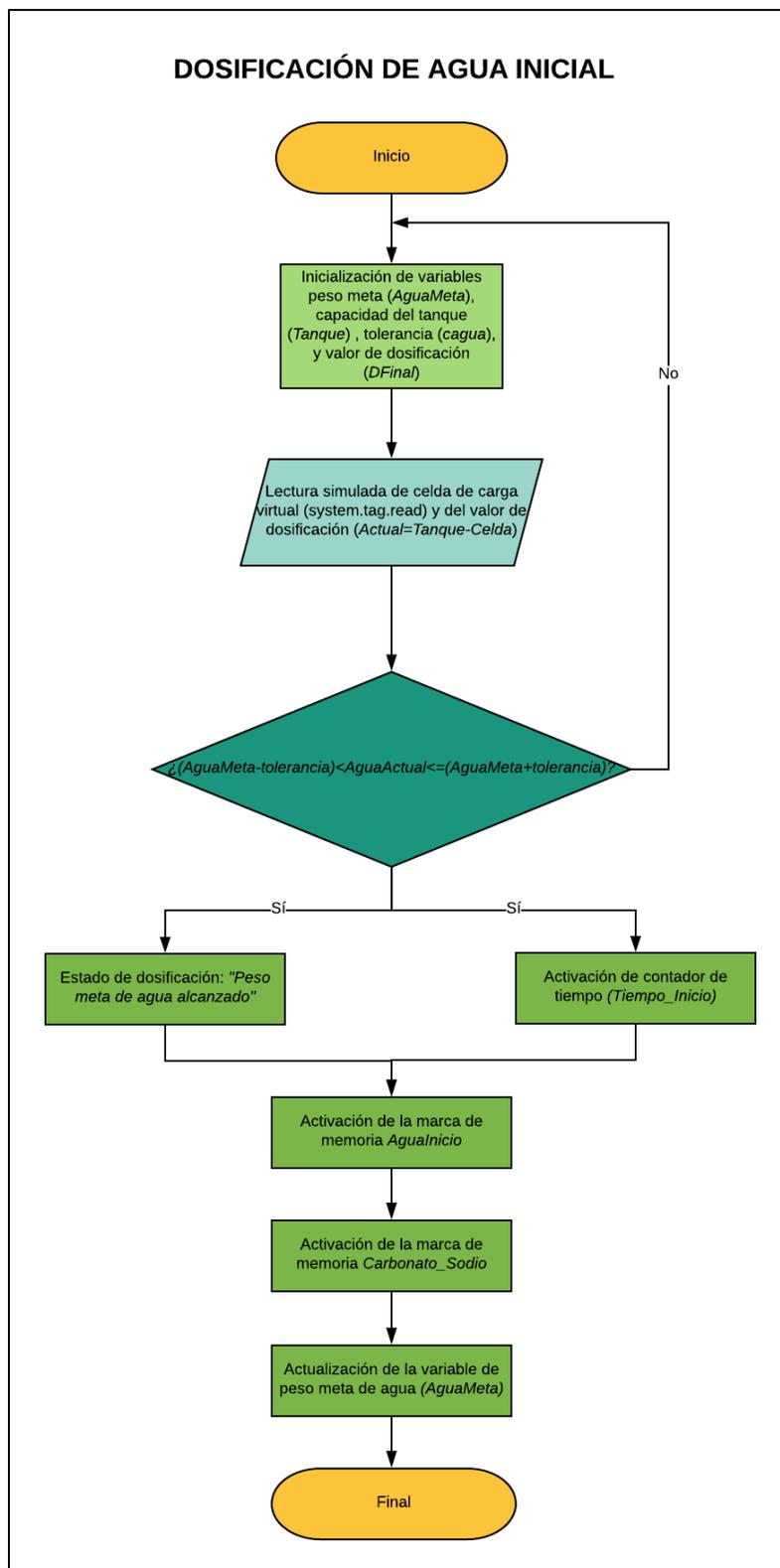
LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 31. Diagrama de flujo del modo de operación del sistema.

5.4.2. Dosificación de agua inicial

La dosificación de agua inicial ocurre después de activar el motor de agitación del colorante y la electroválvula de la tubería de enfriamiento. Independientemente del modo de operación, el primer paso consiste en la inicialización de las variables de peso meta (*AguaMeta*), capacidad del tanque (*Tanque*) y tolerancia (*cagua*). Luego, el sistema obtiene la lectura simulada de la celda de carga virtual, dada por un temporizador, y del valor actual de dosificación, correspondiente a la diferencia entre la capacidad del tanque y la lectura anterior. Una vez que la lectura actual de la dosificación se encuentre en el rango delimitado por el peso meta más la suma o resta de la tolerancia, se desactiva la electroválvula de descarga y se actualiza el estado de la etiqueta *Estado de dosificación*, colocando la leyenda *Peso meta de agua alcanzado*.

Alcanzada la dosificación requerida, se registra en el *tag* llamado *Tiempo_Inicio* el tiempo del momento respectivo, para posteriormente utilizarlo en el cómputo de la duración del tiempo tomado por el formulador en añadir el carbonato de sodio. Posteriormente, se coloca en alto la variable *Marca_Agual*, y la marca *Carbonato_Sodio*, indicadores de las etapas del proceso. Cabe destacar que la primera de ellas, una vez activada, es puesta en bajo hasta finalizar el proceso, contrario a lo sucedido con la segunda marca, la cual únicamente permanece activa al agregar el carbonato de sodio. A su vez, se actualiza el visualizador de *Peso meta*, ubicado en la parte inferior del tanque de almacenamiento, pues en las etapas finales del proceso ocurre una última dosificación. La Figura 5. 32 muestra el diagrama de flujo de esta etapa completa.



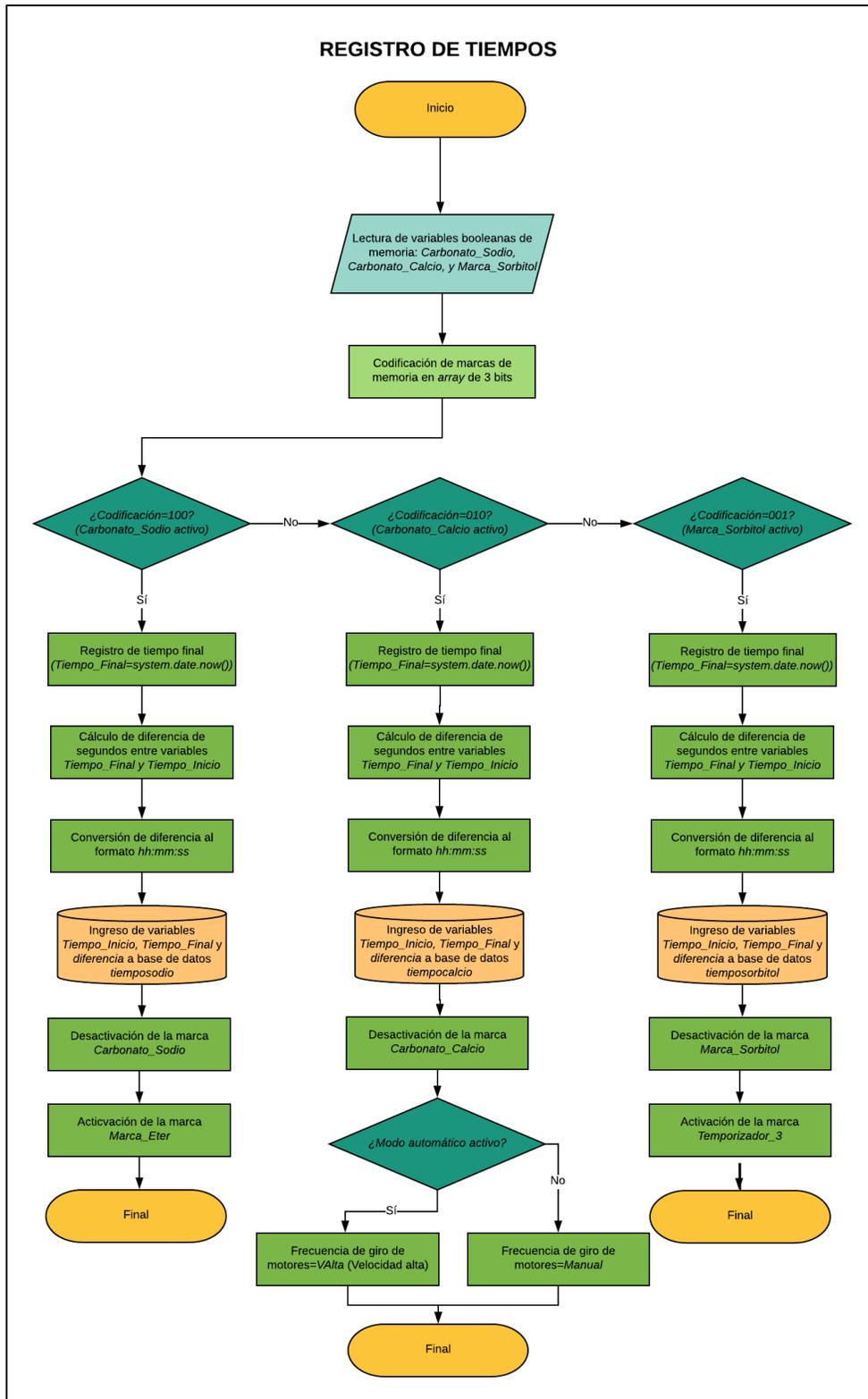
LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 32. Diagrama de flujo de la dosificación inicial de agua.

5.4.3. Registro de tiempos

La Figura 5. 33 contiene el diagrama de flujo del proceso seguido para el registro de tiempos. Recuérdese que, al completarse la dosificación inicial del agua, se activó la marca *Carbonato_Sodio*, la cual indica que está activa dicha etapa del proceso. Nótese que la adición manual de materias primas comprende los siguientes materiales: carbonato de sodio, carbonato de calcio, sorbitol y glicerina, cada una de las cuales posee una marca asociada del mismo nombre. Cuando una de esas marcas está activa, la etapa respectiva también lo está. Para fines de identificación, se realizó una codificación de tres bits para cada una de esas variables, donde el bit más significativo corresponde a la marca *Carbonato_Sodio*, el del medio a *Carbonato_Calcio* y el bit menos significativo al *tag Sorbitol*.

Si la codificación resultante es 100, la marca *Carbonato_Sodio* se encuentra activa, mientras las restantes no lo están. En este escenario, el formulador está agregando carbonato de sodio en el tanque mezclador, y para efectuar el registro del tiempo, debe presionar el botón llamado *Registro*. Al pulsarse, se registra el instante respectivo en la variable *Tiempo_Final* y se calcula la diferencia de segundos existentes entre esta y la marca *Tiempo_Inicio*. Luego, se efectúa una conversión de dicho valor al formato hh:mm:ss, y se ingresan esas variables y la diferencia, al igual que el número de orden y de tanda de la formulación, y la fecha a una tabla de nombre *tiemposodio* a la base de datos mediante el uso de la función *system.db.runPrepUpdate*, contenida en la Tabla 5. 14. Seguidamente, se pone en bajo la variable *Carbonato_Sodio* y se activa *Marca_Eter*.



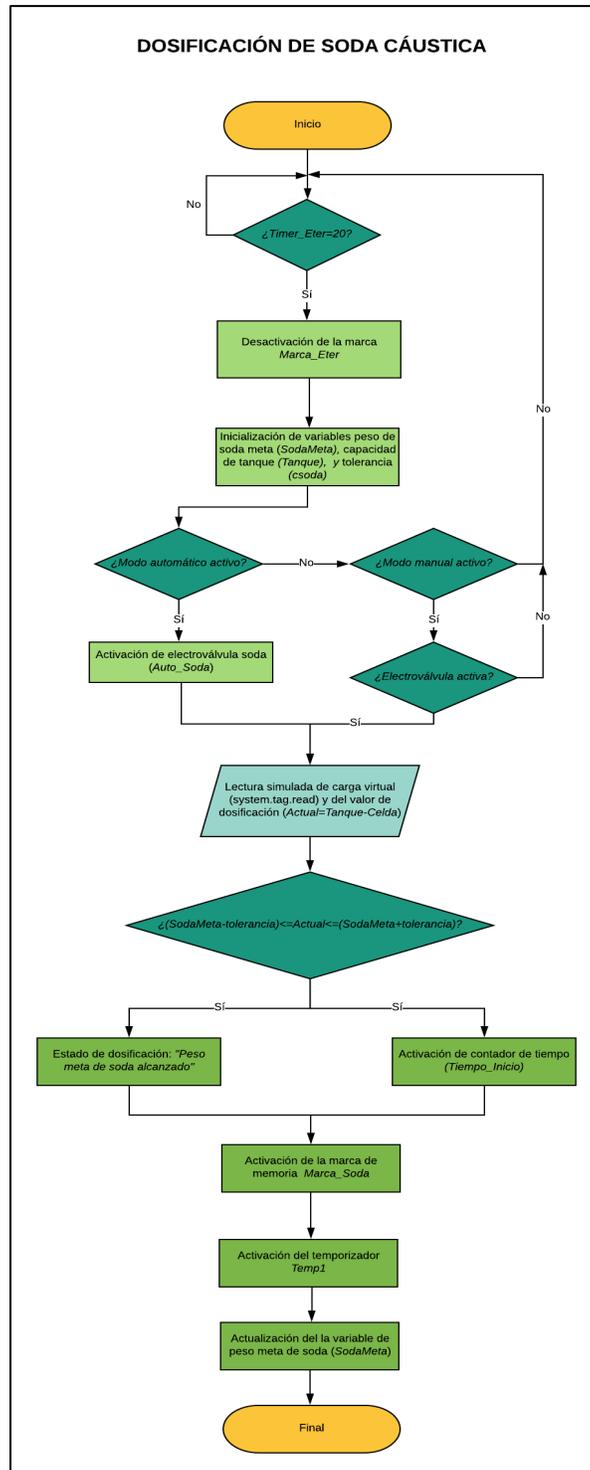
LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 33. Diagrama de flujo de registros de tiempos.

5.4.4. Dosificación de soda cáustica

Una vez registrado el tiempo tomado por el formulador al añadir el carbonato de sodio en el tanque mezclador, se activa la variable denominada *Marca_Eter*, que a su vez corre un temporizador del mismo nombre durante un tiempo definido por el usuario, como se aprecia en la Figura 5. 34. Alcanzado el tiempo, se desactiva la marca anterior y se inicializan las variables relativas a las cantidades meta por dosificar (*SodaMeta*), capacidad del tanque (*Tanque*) y tolerancia de corte (*csoda*). En caso de encontrarse el modo automático encendido, se procede a la activación automática de la electroválvula. Por su parte, si el modo manual es el que se halla activo, el usuario debe activar el actuador manualmente en la interfaz HMI.

Inmediatamente, se registra la lectura de la celda de carga y una vez que se encuentre dentro del rango definido por los límites máximo y mínimo dados por la tolerancia de corte, se desactiva la electroválvula y la etiqueta *Estado de dosificación* se actualiza con la leyenda *Peso meta de soda alcanzado*. Asimismo, se pone en alto la variable *Marca_Soda* y se activa el temporizador llamado *Temp1*, utilizado como transición para la dosificación del ácido sulfónico llevada a cabo después de culminada esta etapa. Finalmente, se actualiza el peso meta por dosificar en la interfaz HMI.



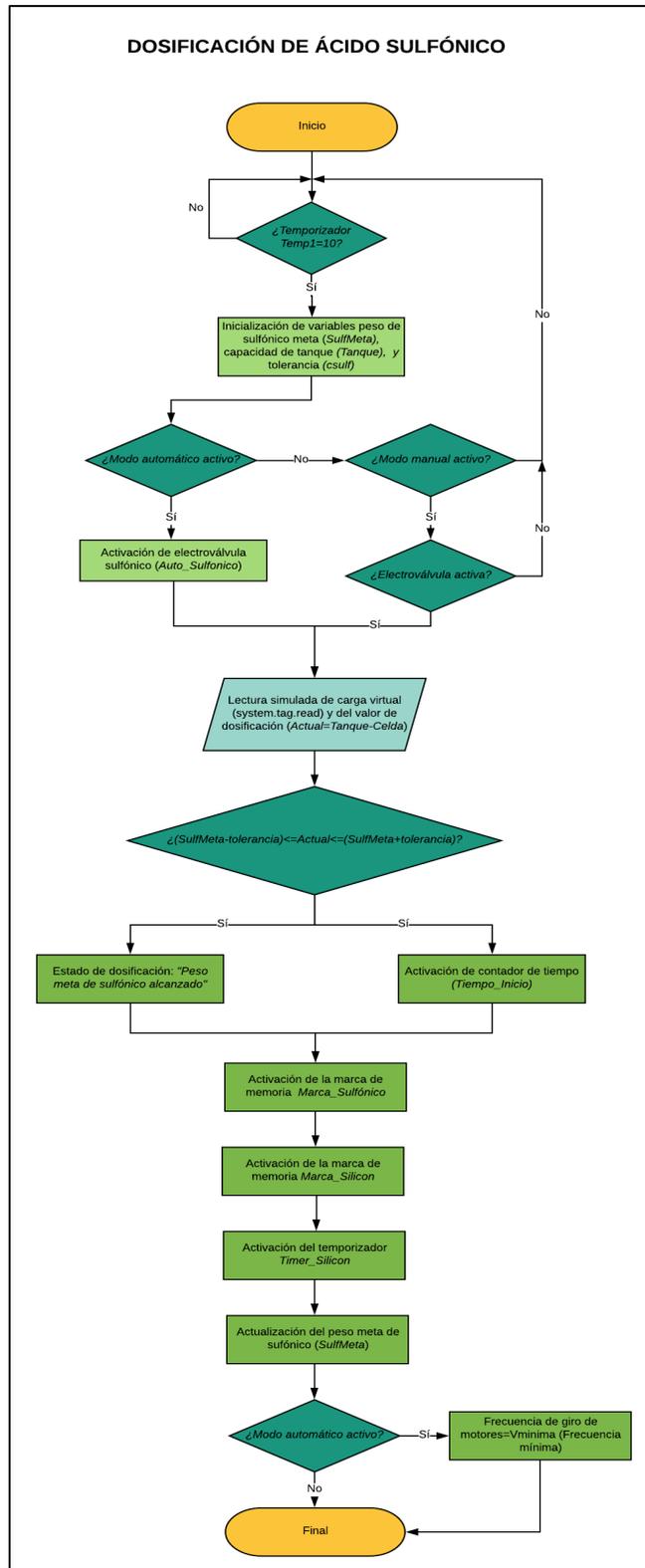
LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 34. Diagrama de flujo de la dosificación de soda cáustica.

5.4.5. Dosificación de ácido sulfónico

Al final de la etapa anterior, se activó el temporizador llamado *Temp1* durante un tiempo definido por el usuario, el cual, al alcanzarse, procede a la inicialización de las variables concernientes a la cantidad de material por dosificar (*SulfMeta*), capacidad del tanque (*Tanque*) y tolerancia (*csulf*). Posteriormente, en caso de estar encendido el modo automático, se activa la electroválvula de descarga; caso contrario, el usuario debe activarla manualmente en la interfaz.

Seguidamente, el sistema lee el valor actual de la celda de carga, y una vez que la cantidad dosificada iguale al peso meta con el grado de tolerancia definido, aparece en pantalla el texto *Peso meta de sulfónico alcanzado*, y se desactiva el actuador. Después, el sistema coloca en alto el valor de la variable *Marca_Sulfónico* y a su vez, activa la marca de memoria *Marca_Silicón*, que se encarga de correr el temporizador denominado *Timer_Silicón* durante un tiempo predeterminado. Análogamente a los procesos de dosificación previos, se actualiza el valor del peso meta por dosificar. Por último, la frecuencia de giro de los motores mezcladores se fija en el valor mínimo, únicamente si el modo automático se halla activo. La Figura 5. 35 muestra el diagrama de flujo de esta etapa del proceso.



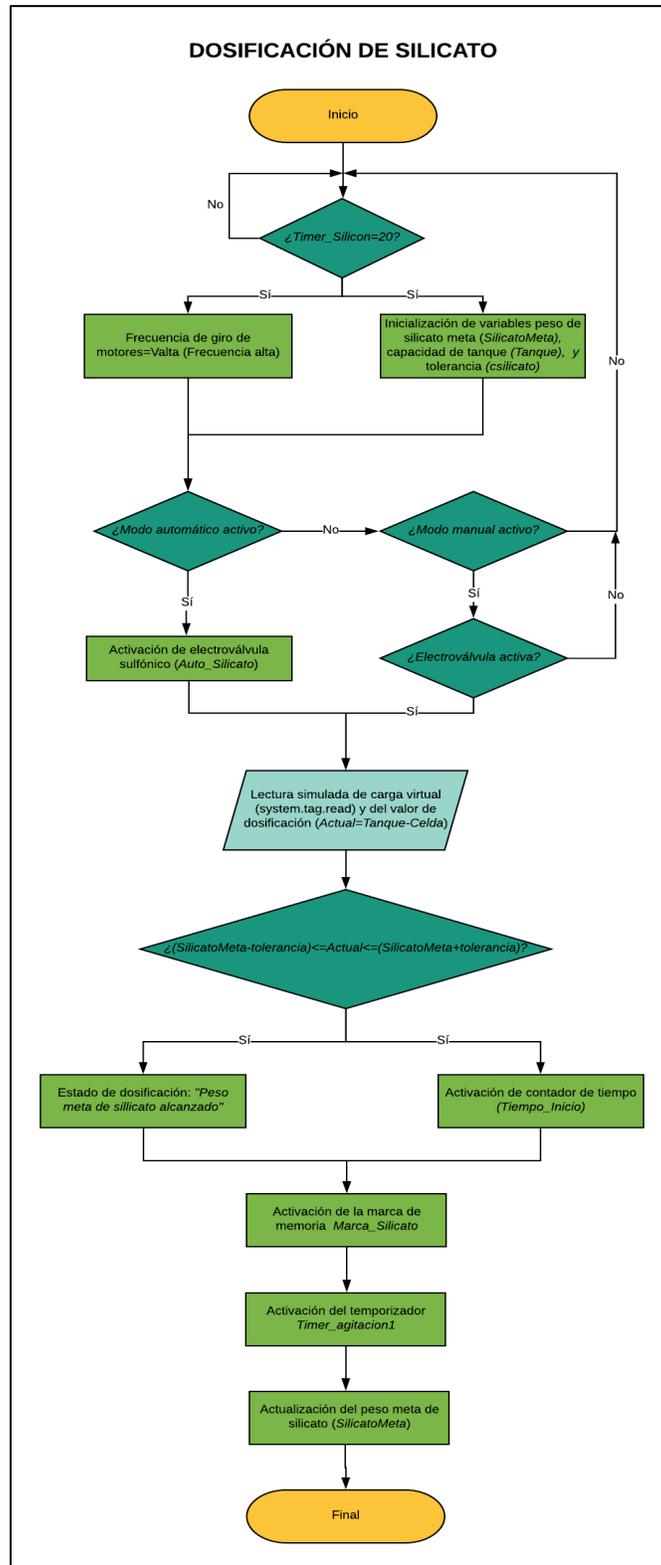
LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 35. Diagrama de flujo de dosificación de ácido sulfónico.

5.4.6. Dosificación de silicato de sodio

Una vez que el temporizador *Timer_Silicón* cumplió su ciclo, la frecuencia de giro de los motores mezcladores se establece en el escalón definido como alto. De forma paralela, se inicializan las variables correspondientes a la cantidad meta por dosificar (*SilicatoMeta*), capacidad del tanque (*Tanque*) y tolerancia de corte (*csilicato*). Como ocurrió con los procesos de dosificación anteriores, la activación de la electroválvula de descarga depende del modo de operación del sistema definido por el usuario.

La desactivación de la electroválvula se da al alcanzar la cantidad de material dosificada requerida, para lo cual se evalúa la pertenencia de dicho valor a un intervalo cuyos límites superior e inferior corresponden a la suma o resta del peso meta y la tolerancia de corte. Al ser alcanzada, se coloca la leyenda *Peso meta de silicato alcanzado* en la caja de texto titulada *Estado de dosificación*. Paralelamente, se activa la marca *Tiempo_Inicio*, que registra el momento exacto en el que finalizó la dosificación, debido a que posteriormente el formulador debe añadir el carbonato de calcio manualmente al tanque mezclador, por lo que el sistema registra el tiempo tardado al pulsar el botón *Registro*. Finalmente, se coloca en alto el valor de la variable *Marca_Silicato* y se activa la marca correspondiente al temporizador utilizado para controlar el tiempo de agitación de la mezcla en cada una de sus cuatro etapas (*Timer_agitación1*). En la Figura 5. 36, se aprecia el diagrama de flujo del proceso anterior.



LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 36. Diagrama de flujo del proceso de dosificación del silicato de sodio.

5.4.7. Control de tiempos de agitación de la mezcla

La mezcla de lavaplatos se agita a velocidades distintas a lo largo de cuatro etapas del proceso de formulación. Estas son:

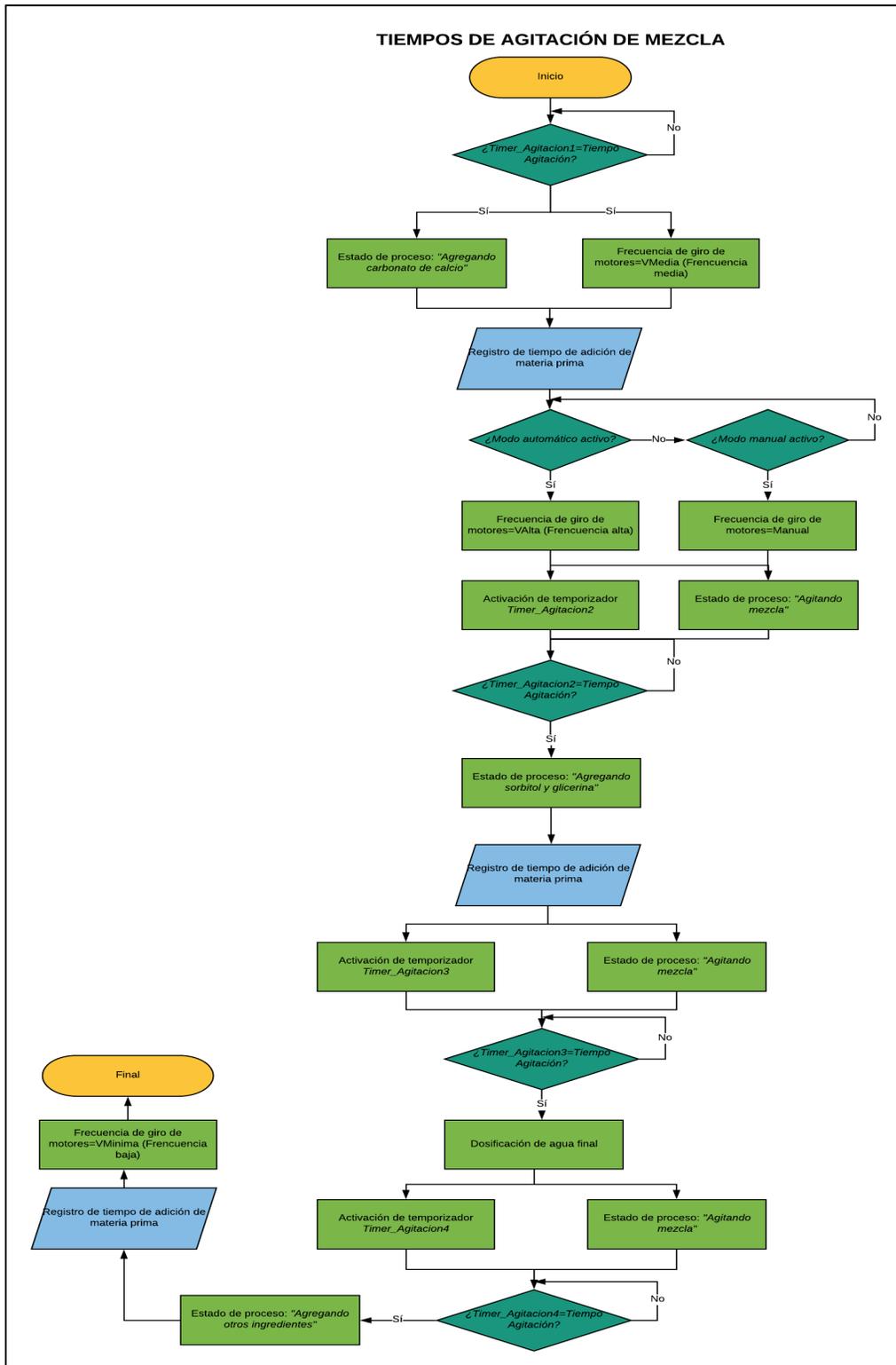
1. Culminada la dosificación de silicato de sodio.
2. Terminada la adición de carbonato de calcio.
3. Finalizada la adición de sorbitol y glicerina.
4. Culminada la dosificación del lote final de agua.

La primera etapa se lleva a cabo con una frecuencia de giro alta de los motores mezcladores durante un tiempo configurado por el departamento de Investigación y Desarrollo. Una vez alcanzado, la etiqueta *Estado del proceso* se actualiza con la leyenda *Agregando carbonato de calcio* y se establece la frecuencia de giro en el escalón medio y, del mismo modo, se activa la marca *Carbonato_Calcio*. En este punto, el formulador se encuentra añadiendo dicho material al tanque mezclador, por lo que, al finalizar la tarea debe pulsar el botón *Registro* con el fin de registrar el tiempo tardado en la base de datos llamada *tiempocalcio*. Se remite al lector a la Figura 5. 33, que contiene el diagrama de flujo detallado del registro del tiempo. Posteriormente, se fija la frecuencia de giro en el escalón alto y se activa el temporizador llamado *Timer_agitación2*.

El inicio de la segunda etapa se da al culminar la adición del carbonato de calcio al tanque mezclador. De forma análoga a la etapa previa, una vez que el valor del temporizador *Timer_agitación2* sea igual al tiempo de mezcla configurado, la caja de texto *Estado del proceso* se actualiza con la leyenda *Agregando sorbitol y glicerina*, ocurriendo al mismo tiempo, la activación de la marca *Sorbitol*. El proceso de registro del tiempo sucede de forma análoga a las etapas anteriores, y se almacena su valor en la base de datos denominada *tiemposorbitol*. Al presionar el botón *Registro*, se activa el temporizador *Timer_agitación3* y el estado del proceso es actualizado con la etiqueta *Agitando mezcla*.

La tercera etapa de agitación ocurre al terminar de adicionar el sorbitol y glicerina al tanque. El proceso es análogo a las etapas previas. Una vez que el valor del temporizador *Timer_agitación3* alcance el valor del tiempo de mezcla predeterminado, el sistema procede con la dosificación del lote final de agua.

Finalmente, la última etapa comienza al terminar de dosificar la cantidad final de agua. En este instante, se activa el temporizador *Timer_agitación4* y una vez cumplido su ciclo, el formulador debe agregar otros ingredientes a la mezcla, como colorantes y perfume, por lo cual debe efectuar un registro del tiempo tardado en completar la tarea. Al final del proceso, la frecuencia de giro de los motores mezcladores se fija en el valor mínimo.



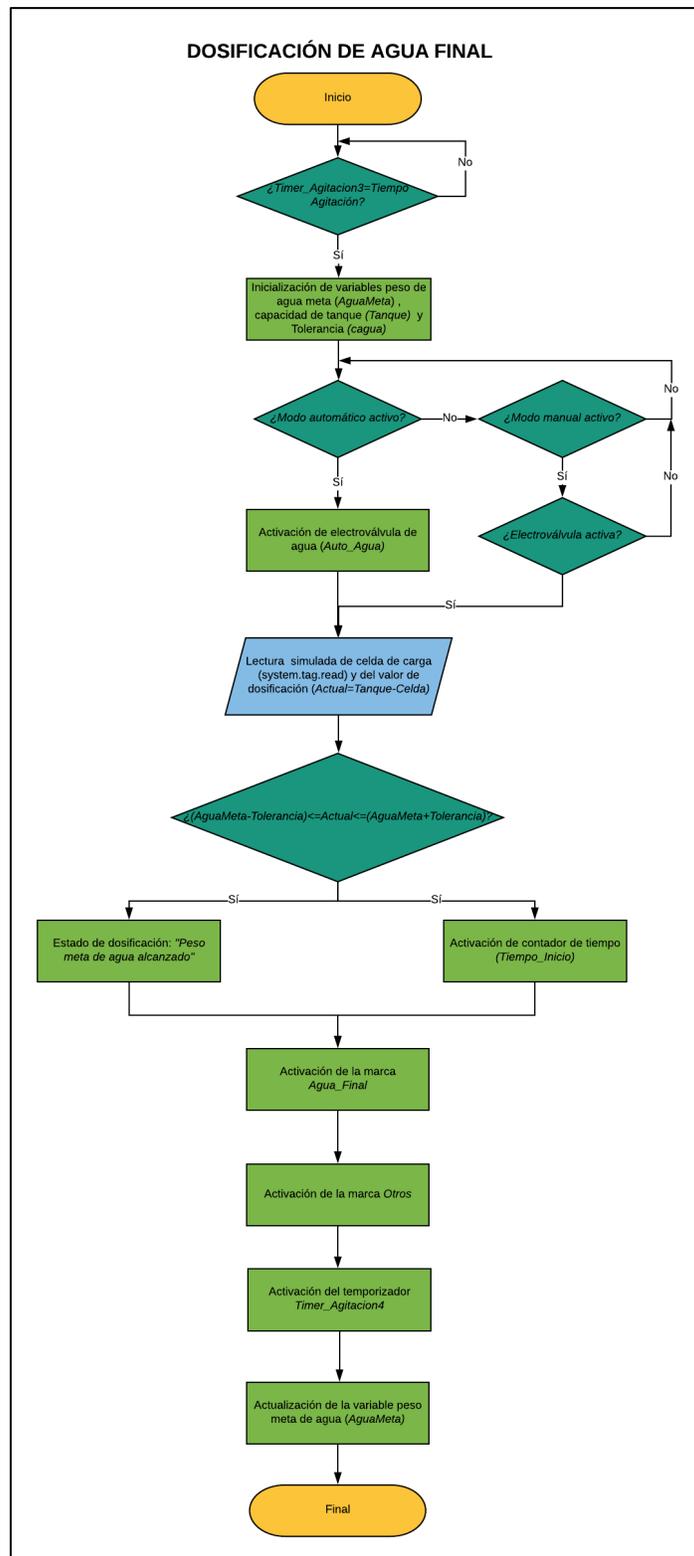
LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 37. Diagrama de flujo del control de los tiempos de agitación del a mezcla.

5.4.8. Dosificación del lote final de agua

Tal y como se acotó en la sección anterior, el inicio de este proceso ocurre al terminarse el tercer tiempo de agitación de la mezcla. En seguida, se activa la electroválvula de descarga, en caso de hallarse el modo de operación automático encendido.

Una vez que la cantidad dosificada esté dentro del rango de tolerancia definido para el peso meta, se desactiva la electroválvula y se coloca en pantalla la leyenda *Peso meta de agua alcanzado*. Al mismo tiempo, se activan las variables *Agua_Final* y *Marca_Otros*. Esta última habilita el botón *Registro* para registrar el tiempo tardado en añadir otros ingredientes a la mezcla, como fue explicado previamente. Asimismo, se da la activación del temporizador *Timer_agitación4*, empleado para controlar el último tiempo de agitación de la mezcla. Finalmente, se actualiza el valor de la cantidad meta por dosificar. La Figura 5. 38 contiene el diagrama de flujo de este proceso.



LUCIDCHART (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 38. Diagrama de flujo para el proceso de dosificación del lote final de agua.

5.5. Modificaciones mecánicas al equipo y estructura de la planta de formulación de la mezcla

5.5.1. Rediseño de los tanques de almacenamiento de los líquidos

En la actualidad, los tanques de almacenamiento del agua, silicato de sodio, soda cáustica, y ácido sulfónico se encuentran fabricados en acero al carbón grado HN. La Figura 5. 39 muestra el estado reciente del tanque de almacenamiento del ácido sulfónico lineal, donde se observa la presencia de películas corrosivas alrededor de las paredes internas del recipiente. De acuerdo con (Transmerquin, 2011), el almacenamiento de este líquido debe efectuarse en tanques de acero inoxidable del tipo 304 ó 316, debido al grado de corrosión propio del químico. Además, el sitio de instalación debe ser fresco y con buena ventilación, con el fin de evitar posibles elevaciones de la temperatura del fluido que aumenten el riesgo de incendios.



ELABORACIÓN PROPIA

Figura 5. 39. Estado actual del tanque de almacenamiento del ácido sulfónico lineal.

El acero inoxidable 304 posee una alta resistencia a la corrosión intergranular, convirtiéndose en la opción por excelencia para la fabricación de recipientes de almacenamiento de líquidos corrosivos (SUMITEC, 2018). Por ello, se ha optado por seleccionar este material para su fabricación, conservando las dimensiones actuales de cada tanque, pues su capacidad se encuentra fijada por los parámetros del departamento de Investigación y Desarrollo. Así, el proceso de diseño se limita exclusivamente al cálculo del factor de seguridad al realizar la modificación del material.

La Tabla 5. 15 contiene las principales propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.

Tabla 5. 15. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.

Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304	
Resistencia a la fluencia	170 MPa
Resistencia última a la tensión	485 MPa
Módulo de elasticidad	190 GPa

Elaboración propia

La Figura 5. 40 muestra la vista frontal del tanque de almacenamiento del ácido sulfónico lineal y sus dimensiones acotadas en mm. El espesor del recipiente ha decidido fijarse en $\frac{3}{16}$ " , al ser un valor comercial de láminas de acero inoxidable, además de constituir el valor actual del espesor del tanque. Para fines del diseño, se calculará el factor de seguridad del elemento, el cual deberá ubicarse por encima de 4, valor recomendado por la literatura (Budynas & Nisbett, 2008). Para un recipiente cilíndrico, el esfuerzo radial o de costilla, ejercido sobre las paredes del tanque, viene dado por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{pr}{t} \quad \text{Ecuación 5. 1}$$

Donde p corresponde a la presión manométrica del fluido, r el radio interior del recipiente y t el espesor de la pared.

El radio interior del recipiente corresponde a:

$$r = \frac{1}{2}d - t = 267.5 - \frac{3}{16} \cdot 25.4 = 262.7375 \text{ mm}$$

Considerando una altura de llenado del cuerpo cilíndrico de 610 mm y conociendo que la densidad específica del ácido sulfónico lineal es de $\gamma = 10\,300 \text{ N/m}^3$, se tiene que la presión manométrica del recipiente es de:

$$\rho = \gamma \cdot h = 10\,300 \cdot 0.61 = 6\,283 \text{ Pa}$$

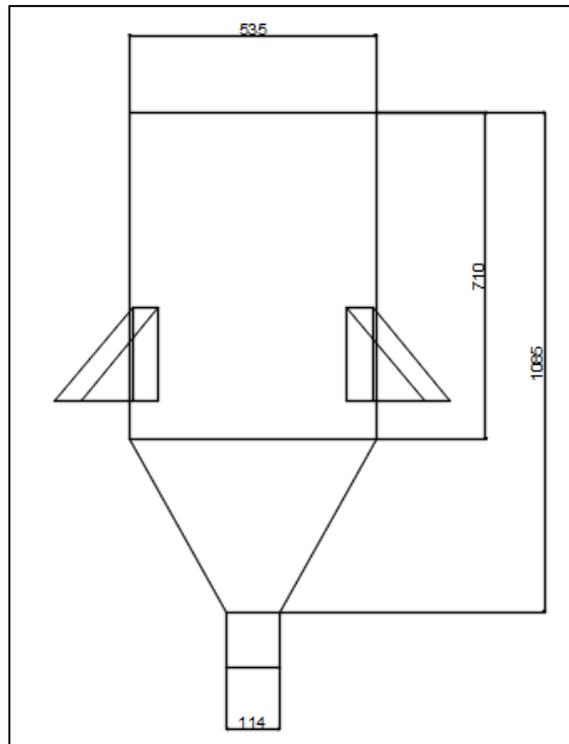
Por lo tanto, al calcular el esfuerzo permisible según la Ecuación 5.1, se concluye que:

$$\sigma_{perm} = \frac{p \cdot r}{t} = \frac{6\,283 \cdot 0.2627375}{0.0047625} = 0.3466 \text{ MPa}$$

Luego:

$$F.S = \frac{\sigma_u}{\sigma_{perm}} = \frac{485}{0.3466} = 1400 > 4$$

De donde se concluye que el diseño del recipiente satisface las condiciones impuestas anteriormente.



AUTOCAD (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 40. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento del ácido sulfónico lineal.

La soda cáustica, al igual que el ácido sulfónico, constituye un químico altamente corrosivo, con un grado de corrosión de 8 según la clasificación ONU (Grupo Transmerquim, 2018). Por este motivo, la fabricación de su recipiente de almacenamiento debe considerar el empleo de materiales resistentes al fenómeno corrosivo, razón por la cual se ha optado por utilizar el mismo material (acero inoxidable 304) que en el caso anterior. Asimismo, se mantiene el espesor fijado para el recipiente anterior, con el propósito de garantizar la uniformidad en la adquisición de las láminas para su manufactura.

La Figura 5. 41 contiene las dimensiones en mm del tanque de almacenamiento de la soda cáustica. Se observa así que el radio interior del recipiente es de:

$$r = \frac{1}{2}d - t = 150 - \frac{3}{16} \cdot 25.4 = 145.2375 \text{ mm}$$

Por su parte, asumiendo un nivel de llenado del recipiente de 210 mm, y conociendo que el peso específico de la soda cáustica es de $20\,895\text{ N/m}^3$, se tiene que la presión manométrica corresponde a:

$$\rho = \gamma \cdot h = 20\,895 \cdot 0.21 = 4\,388\text{ Pa}$$

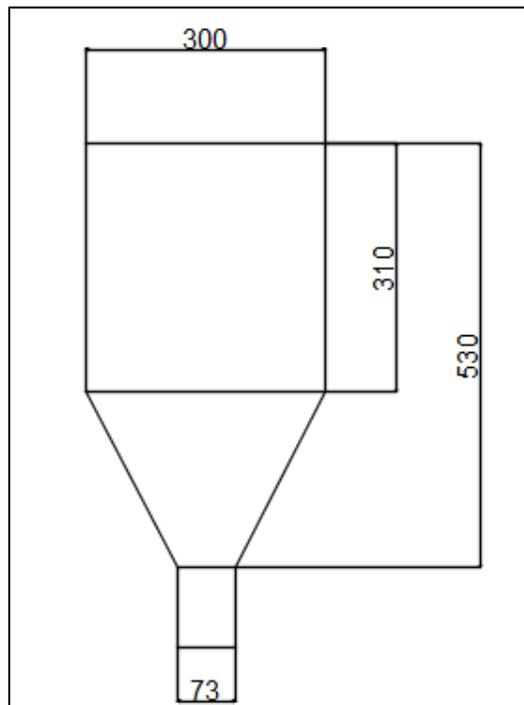
Así, el esfuerzo permisible del recipiente viene dado por:

$$\sigma_{perm} = \frac{p \cdot r}{t} = \frac{4\,388 \cdot 0.1452375}{0.0047625} = 0.1338\text{ MPa}$$

Finalmente, el factor de seguridad final es de:

$$F.S = \frac{\sigma_u}{\sigma_{perm}} = \frac{485}{0.1388} = 3495 > 4$$

Por lo tanto, el diseño satisface los requerimientos solicitados.



AUTOCAD (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 41. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento de la soda cáustica.

Con el fin de facilitar la fabricación de los cuatro tanques requeridos, se ha decidido emplear el mismo material (acero inoxidable 304), incluso para los líquidos no corrosivos, como lo son el agua y el silicato de sodio. De igual modo, se ha elegido mantener el espesor antes impuesto.

Las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua se muestran en la Figura 5. 42. Nótese que el radio interior corresponde a:

$$r = \frac{1}{2}d - t = 395 - \frac{3}{16} \cdot 25.4 = 390.2375 \text{ mm}$$

El nivel de llenado máximo del recipiente es de 770 mm, y sabiendo que el peso específico del agua es de 9810 N/m^3 , se cumple que la presión manométrica está dada por la siguiente expresión:

$$\rho = \gamma \cdot h = 9810 \cdot 0.77 = 7554 \text{ Pa}$$

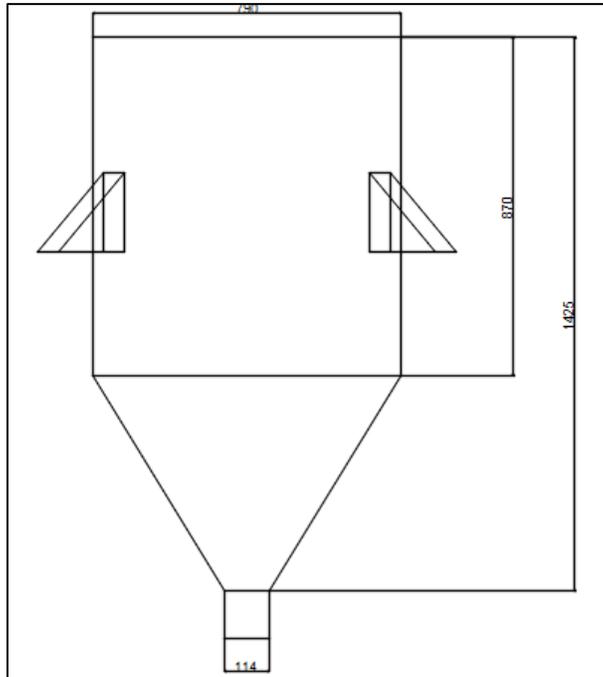
El esfuerzo permisible viene dado por:

$$\sigma_{perm} = \frac{p \cdot r}{t} = \frac{7554 \cdot 0.3902375}{0.0047625} = 0.6190 \text{ MPa}$$

De esta forma, el factor de seguridad es de:

$$F.S = \frac{\sigma_u}{\sigma_{perm}} = \frac{485}{0.6190} = 784 > 4$$

De donde se concluye que se cumple satisfactoriamente el factor de seguridad solicitado.



AUTOCAD (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 42. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento del agua.

Por último, se procede a la verificación del factor de seguridad para el recipiente de almacenamiento del silicato de sodio. En la Figura 5. 43 se aprecian las dimensiones en mm del tanque, de donde se desprende que el radio interior es de:

$$r = \frac{1}{2}d - t = 197.5 - \frac{3}{16} \cdot 25.4 = 192.7375 \text{ mm}$$

A su vez, el nivel de llenado del recipiente no sobrepasa los 365 mm, y conociendo que el peso específico del silicato de sodio es de $13\,734 \text{ N/m}^3$, se tiene que la presión manométrica corresponde a:

$$\rho = \gamma \cdot h = 13\,734 \cdot 0.365 = 5\,013 \text{ Pa}$$

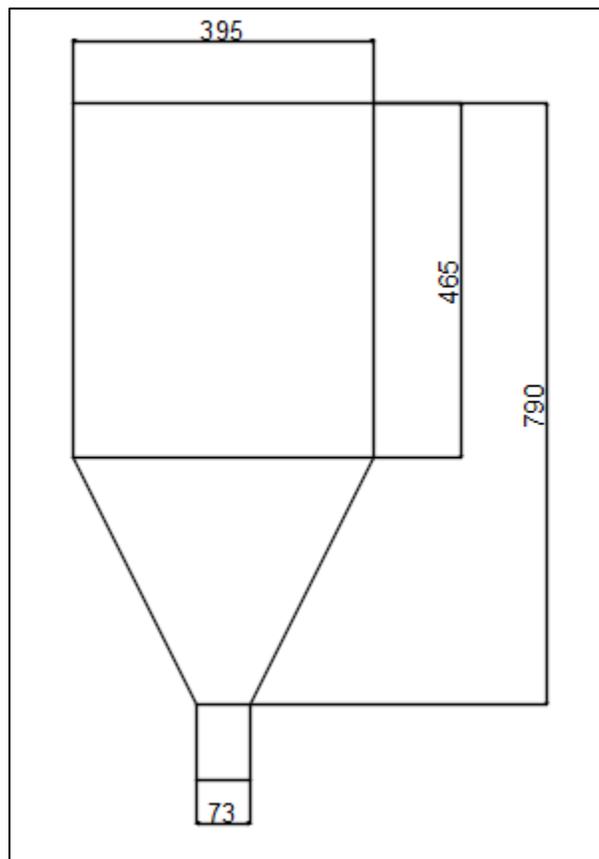
Por su parte, el esfuerzo permisible del recipiente viene dado por:

$$\sigma_{perm} = \frac{p \cdot r}{t} = \frac{5\,013 \cdot 0.1927375}{0.0047625} = 0.2029 \text{ MPa}$$

Finalmente, el valor del factor de seguridad es de:

$$F.S = \frac{\sigma_u}{\sigma_{perm}} = \frac{485}{0.2029} = 2\,390 > 4$$

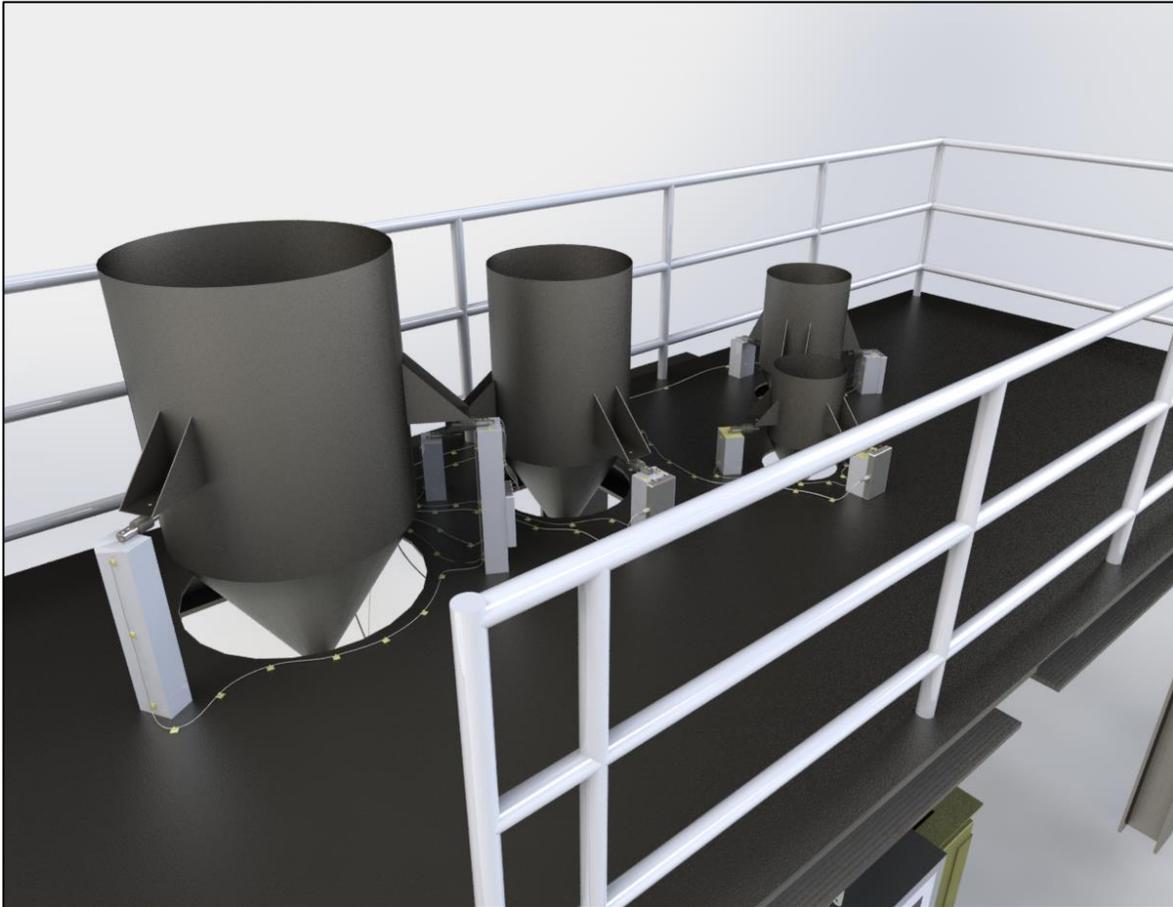
De donde se observa que se cumple el requerimiento impuesto.



AUTOCAD (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 43. Dimensiones en mm del recipiente de almacenamiento del silicato de sodio.

La Figura 5. 44 muestra la vista preliminar de los recipientes de almacenamiento de los fluidos y su localización en el diseño propuesto. Obsérvese que los elementos de sujeción a la base superior de la estructura corresponden a perfiles cuadrados con conexiones apernadas, y que se hallan soldados a la base.



SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 44. Vista preliminar de los tanques de almacenamiento.

5.5.2. Selección de tuberías

De acuerdo con (Mott, 2006), la velocidad óptima de descarga de flujos por gravedad para líquidos poco viscosos se encuentra en el rango de 0.15 m/s a 0.30 m/s. Por lo tanto, para efectos de diseño, se ha decidido fijar la velocidad máxima de descarga en 0.30 m/s, y a partir de allí encontrar el diámetro mínimo de la tubería de conducción que satisfaga dicha condición.

A través de mediciones experimentales realizadas a cabo por profesionales del departamento de Investigación y Desarrollo, se registraron los tiempos de descarga y las cantidades dosificadas de la materia prima contenida en los tanques de almacenamiento. Con esta información se efectuaron los cálculos del flujo másico de descarga de las materias primas, tal y como se aprecia en la Tabla 5. 16.

Tabla 5. 16. Flujos másicos de descarga de la materia prima.

Material	Tiempo de descarga (s)	Cantidad (kg)	Flujo másico (kg/s)
Agua	137	224	1.635
Ácido sulfónico lineal	120	161	1.342
Silicato de sodio	60	82	1.367
Soda cáustica	30	10.4	0.347

Elaboración propia

Luego, con base en la densidad de cada material y la cantidad descargada, se requiere averiguar el volumen ocupado por el fluido en el recipiente, para así determinar el caudal de salida de cada tanque. La Tabla 5. 17 contiene los datos de dichos cálculos.

Tabla 5. 17. Volumen ocupado de los fluidos en sus tanques de almacenamiento.

Material	Densidad (kg/m^3)	Cantidad (kg)	Volumen ocupado (m^3)
Agua	1000	224	0.224
Ácido sulfónico lineal	1050	161	0.153
Silicato de sodio	1400	82	0.059
Soda cáustica	1300	10.4	0.008

Elaboración propia

Seguidamente, se realiza el cálculo del caudal de descarga de cada tanque, al relacionar el volumen ocupado por cada fluido y el tiempo de desalojo. Los resultados se muestran en la Tabla 5. 18.

Tabla 5. 18. Caudal de salida de los fluidos almacenados en los tanques.

Material	Volumen ocupado (m ³)	Tiempo de descarga (s)	Caudal de salida (m ³ /s)
Agua	0.224	137	1.635x10 ⁻³
Ácido sulfónico lineal	0.153	120	1.275x10 ⁻³
Silicato de sodio	0.059	60	9.833x10 ⁻⁴
Soda cáustica	0.008	30	2.67x10 ⁻⁴

Elaboración propia

Recordando la siguiente relación para el cálculo del caudal:

$$Q = v \cdot A \quad \text{Ecuación 5. 2}$$

Donde v es la velocidad del fluido y A es el área transversal de la sección tubular. Dado que el perfil de la tubería es circular, entonces $A = \frac{\pi}{4}d^2$ y, por lo tanto, sustituyendo esta expresión en la Ecuación 5.2 y despejando el diámetro, se tiene que:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Ahora, se procederá a calcular el diámetro mínimo de la tubería de conducción para cada fluido, según los caudales obtenidos en la Tabla 5. 18 y la velocidad solicitada de 0.30 m/s. Los resultados conseguidos se evidencian en la Tabla 5. 19.

Tabla 5. 19. Diámetros requeridos para las tuberías de conducción de los fluidos.

Fluido	Caudal (m ³)	Velocidad (m/s)	Diámetro (mm)
Agua	1.635x10 ⁻³	0.30	83.33
Ácido sulfónico lineal	1.275x10 ⁻³	0.30	73.56
Silicato de sodio	9.833x10 ⁻⁴	0.30	64.60
Soda cáustica	2.67x10 ⁻⁴	0.30	33.66

Elaboración propia

Nótese que el diámetro mínimo requerido para la obtención de una velocidad de descarga de 0.30 m/s está limitado por el valor conseguido para el agua, correspondiente a 83.33 mm. Por esta razón, se ha decidido seleccionar un diámetro comercial estándar de $3\frac{1}{2}$ " (88.9 mm), y emplearlo en las tuberías de conducción para los cuatro fluidos en cuestión.

Una vez analizadas las consideraciones geométricas de la tubería, se procede a la selección de su material de fabricación. Tomando en cuenta que, de los cuatro líquidos, dos de ellos son corrosivos, y pueden acelerar el proceso de envejecimiento de las tuberías, al aumentar la rugosidad de las paredes internas, se ha optado por escoger tuberías de acero inoxidable 304 cédula 80 para el transporte de estos dos fluidos. Para los restantes, se ha optado por seleccionar hierro galvanizado cédula 40.

Cada sección de tubería cuenta con los accesorios contenidos en la Tabla 5.20.

Tabla 5. 20. Accesorios de tuberías y sus constantes.

Accesorio	Constante K
Codo a 90° roscado	1.4
Válvula de compuerta	0.15

Elaboración propia

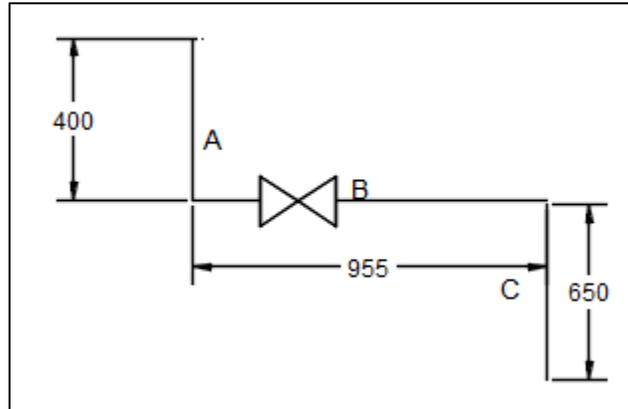
Luego, se procede al cálculo de las pérdidas de carga a lo largo de la tubería. Para ello, se presentará una muestra de cálculo del total de tuberías, seleccionando la tubería de conducción del agua para tales efectos.

Las pérdidas totales, en las secciones A, B y C, mostradas en la Figura 5.45 están dadas por:

$$\sum hf_{A \rightarrow B} = \frac{8f_A L_A Q_A^2}{D_A^5 \pi^2 g} + \frac{8f_B L_B Q_B^2}{D_B^5 \pi^2 g} + \frac{8f_C L_C Q_C^2}{D_C^5 \pi^2 g} + \frac{8 \sum K_A Q_A^2}{D_A^4 \pi^2 g} + \frac{8 \sum K_B Q_B^2}{D_B^4 \pi^2 g} + \frac{8 \sum K_C Q_C^2}{D_C^4 \pi^2 g} \quad \text{Ecuación 5. 3}$$

Donde los primeros tres términos de la Ecuación 5.3 corresponden a las pérdidas longitudinales y los restantes tres a las pérdidas debido a accesorios. Las dimensiones longitudinales de la tubería de circulación de agua se muestran en la

Figura 5. 45. Obsérvese que existen dos codos a 90° y una válvula de compuerta a lo largo del recorrido.



AUTOCAD (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 45. Dimensiones longitudinales de la tubería de conducción de agua.

El número de Reynolds para el flujo de agua en la sección A es de:

$$N_{RA} = \frac{4Q_A}{\pi D_A v} \quad \text{Ecuación 5. 4}$$

Donde v corresponde a la viscosidad cinemática del agua, cuyo valor es de $1.02 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$. Sustituyendo los datos conocidos en la Ecuación 5.4, se cumple que:

$$N_{RA} = \frac{4 \cdot 1.635 \times 10^{-3}}{\pi \cdot 77.42 \times 10^{-3} \cdot 1.02 \times 10^{-6}} = 26361.8$$

Dado que $N_{RA} > 4000$, el flujo es laminar. Nótese que las secciones B y C poseen el mismo diámetro de la sección A, de forma que el número de Reynolds coincide.

Posteriormente, se debe calcular el factor de fricción f , según el método de Swamee-Jain. Matemáticamente, se tiene que:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{3.7\epsilon}{D} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right)^2} \quad \text{Ecuación 5. 5}$$

Donde ϵ es la rugosidad absoluta de la tubería. Para hierro galvanizado cédula 40, se registra un valor de $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$.

La sección A presenta un factor de fricción dado por:

$$f_A = \frac{0.25}{\left(\log \left(\left(\frac{3.7 \cdot 4.6 \times 10^{-5}}{77.42 \times 10^{-3}} \right) + \frac{5.74}{26361.8^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.038366$$

Debido a que las secciones B y C poseen las mismas características geométricas y número de Reynolds, el factor de fricción permanece invariante.

De este modo, las pérdidas longitudinales para las secciones A, B y C, se calculan mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} h_{fL} &= \frac{8f_A Q_A^2}{D_A^5 \pi^2 g} (L_A + L_B + L_C) = \frac{8 \cdot 0.038366 \cdot (1.635 \times 10^{-3})^2}{(77.42 \times 10^{-3})^5 \cdot \pi^2 \cdot 9.81} (0.4 + 0.955 + 0.65) \\ &= 6.177 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Las pérdidas de carga debido a la presencia de accesorios corresponden a:

$$h_{acc} = \frac{8 \sum K Q^2}{D^4 \pi^2 g} = 8 \cdot \frac{(2 \cdot 1.4 + 0.15) \cdot (1.635 \times 10^{-3})^2}{(77.42 \times 10^{-3})^4 \cdot \pi^2 \cdot 9.81} = 0.018137 \text{ m}$$

Finalmente, las pérdidas totales ascienden a la cifra de:

$$h_f = 6.177 \times 10^{-3} + 0.01837 = 0.0243 \text{ m}$$

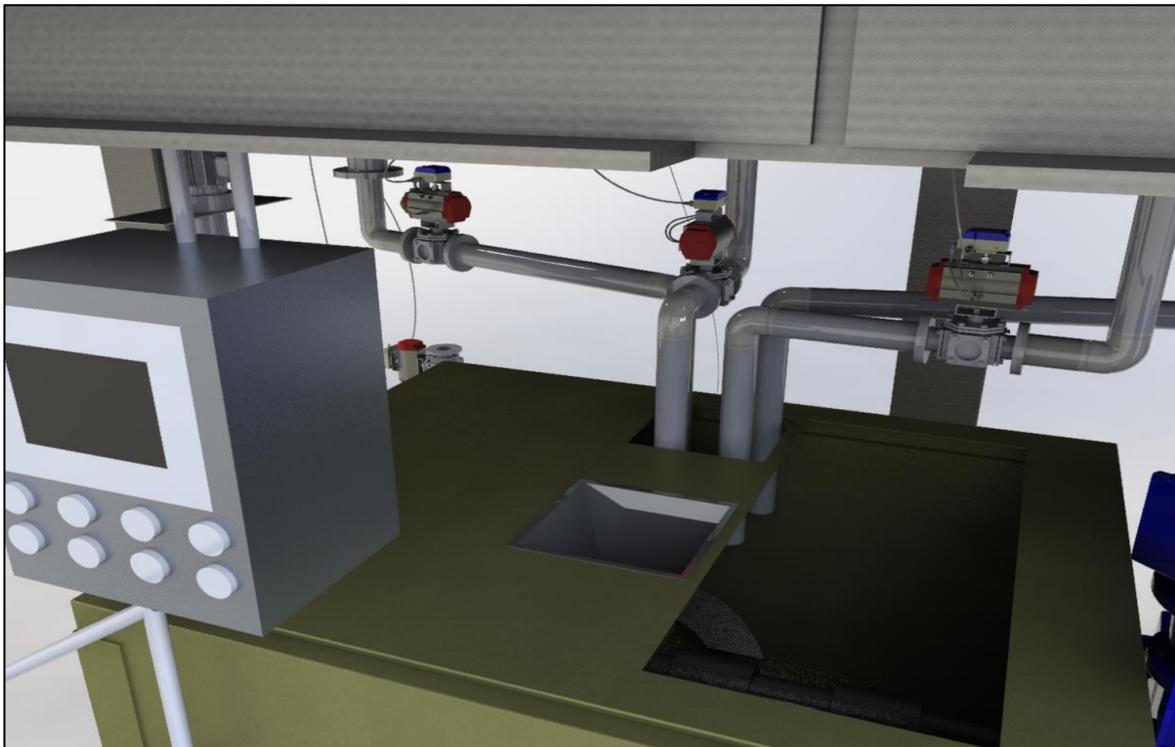
De donde se concluye que, para este caso particular, resultan despreciables. La Tabla 5. 21 contiene los cálculos de las pérdidas de carga totales para el resto de los fluidos. Obsérvese que al igual que en el caso anterior, es posible despreciarlas.

Tabla 5. 21. Pérdidas de carga totales para las tuberías de conducción de los fluidos.

Fluido	Rugosidad absoluta de la tubería (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Pérdidas de carga totales (m)
Ácido sulfónico	9×10^{-5}	520	450	650	0.1810
Silicato de sodio	4.6×10^{-5}	545	1320	650	0.0278
Soda cáustica	9×10^{-5}	600	720	650	0.0313

ELABORACIÓN PROPIA

La vista preliminar de la localización y fijación de las tuberías se contempla en la Figura 5. 46. Obsérvese el detalle de las electroválvulas en la sección B (ver Figura 5. 45) de la tubería, cuya instalación se realiza de forma horizontal con el propósito de facilitar las labores de mantenimiento del equipo y su acceso.

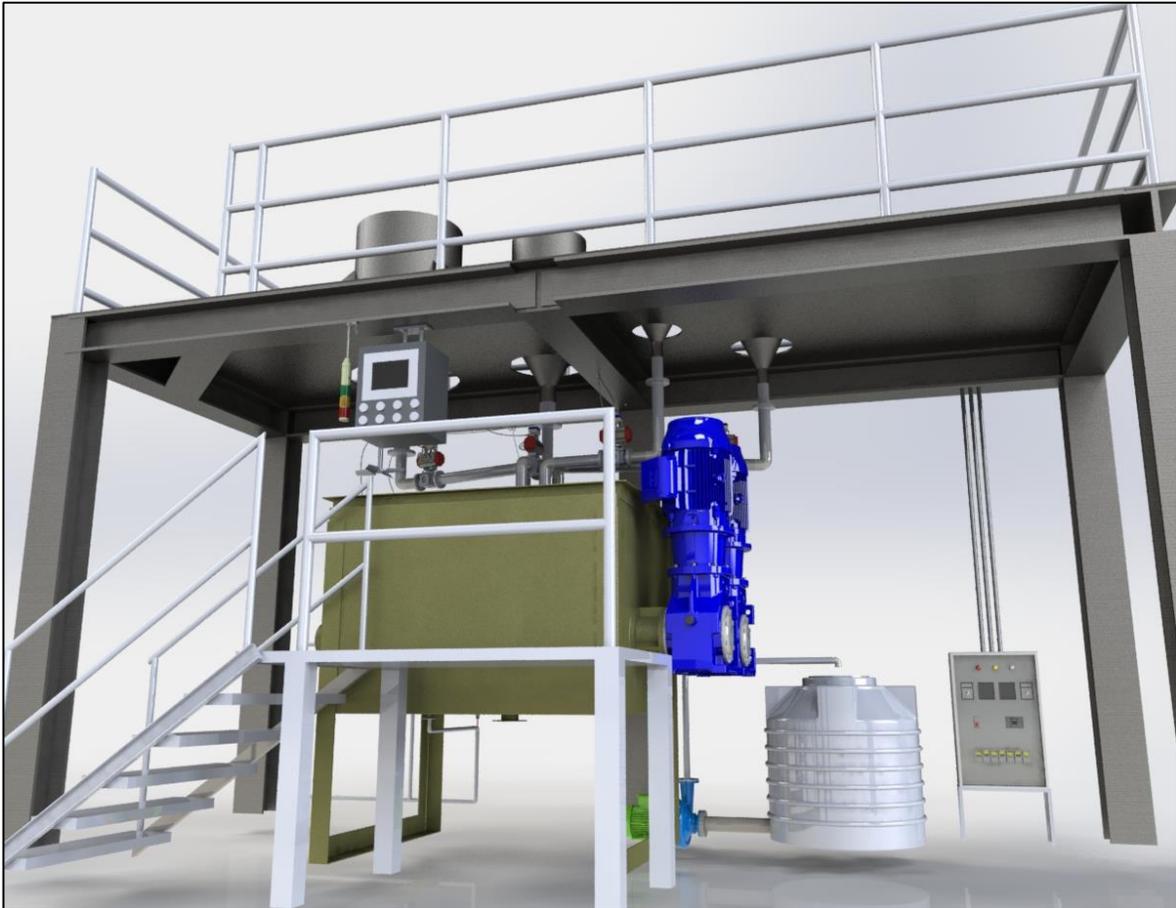


SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 46. Vista preliminar de ubicación de tuberías de circulación de fluidos.

5.5.3. Instalación de sensores y actuadores

El rediseño de la línea de formulación de la mezcla Lavaplatos Crema se puede visualizar en las Figura 5. 47 y Figura 5. 48. La instalación de los sensores y actuadores correspondientes se puede observar en las Figura 5. 50, Figura 5. 51, Figura 5. 52 y Figura 5. 53.



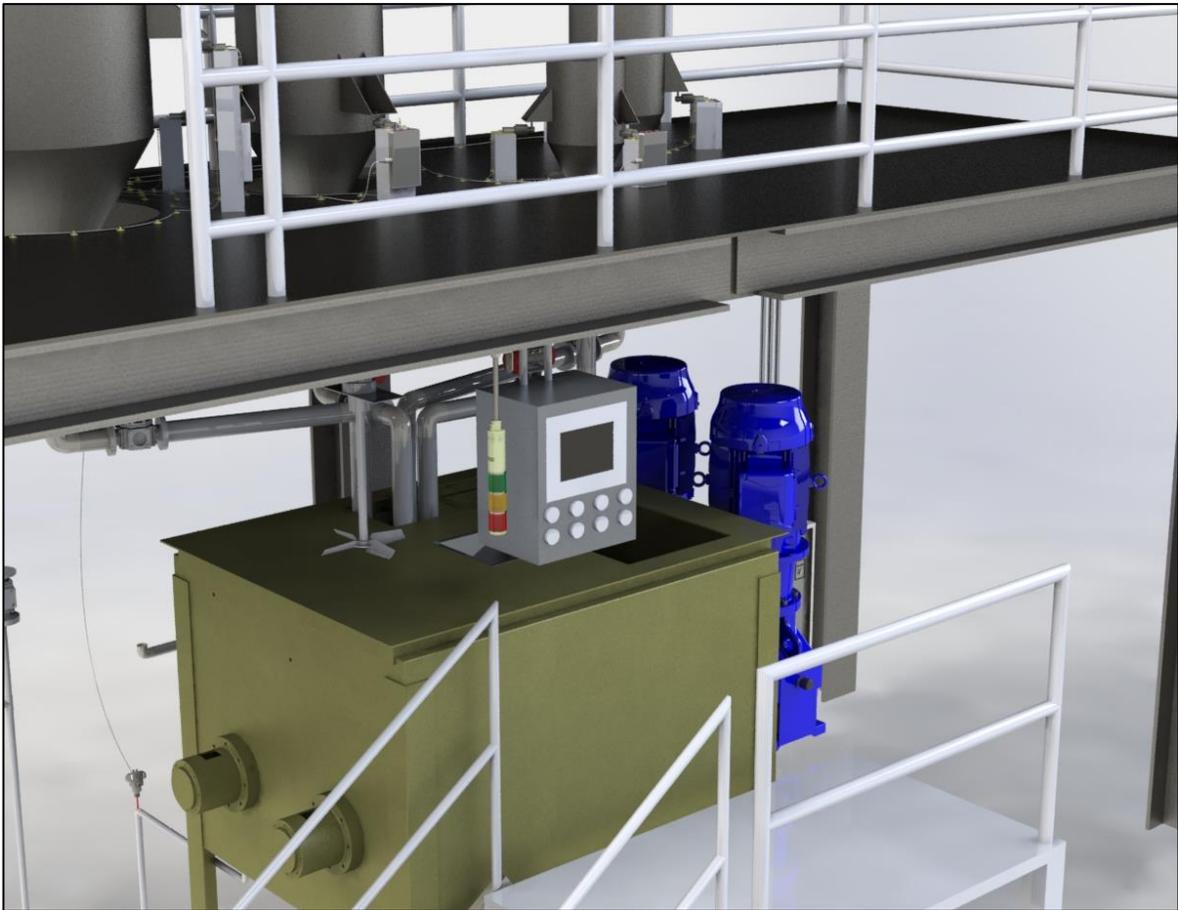
SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 47. Vista frontal de la línea de formulación de la mezcla Lavaplatos Crema.



SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

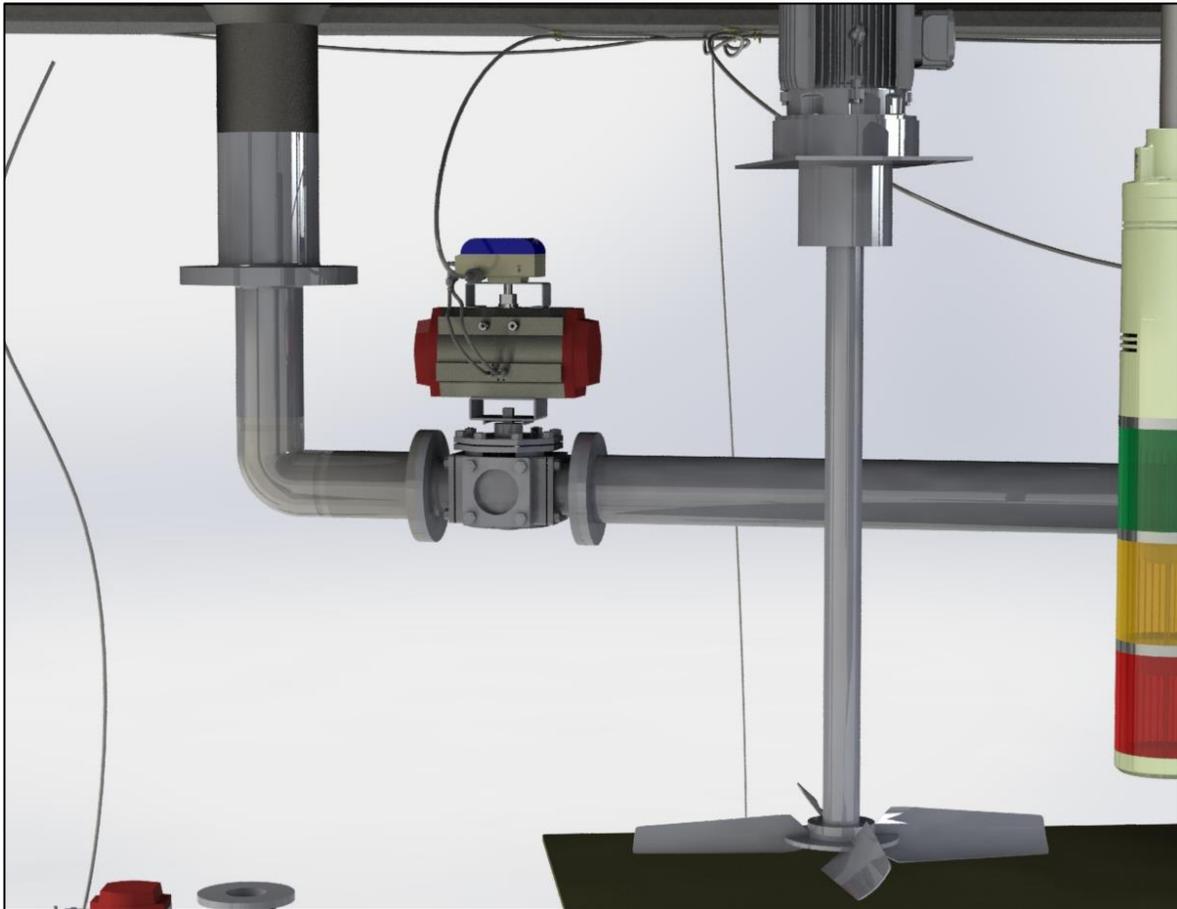
Figura 5. 48. Vista posterior de la línea de formulación de la mezcla Lavaplatos Crema.



SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 49. Detalle del panel de control del sistema.

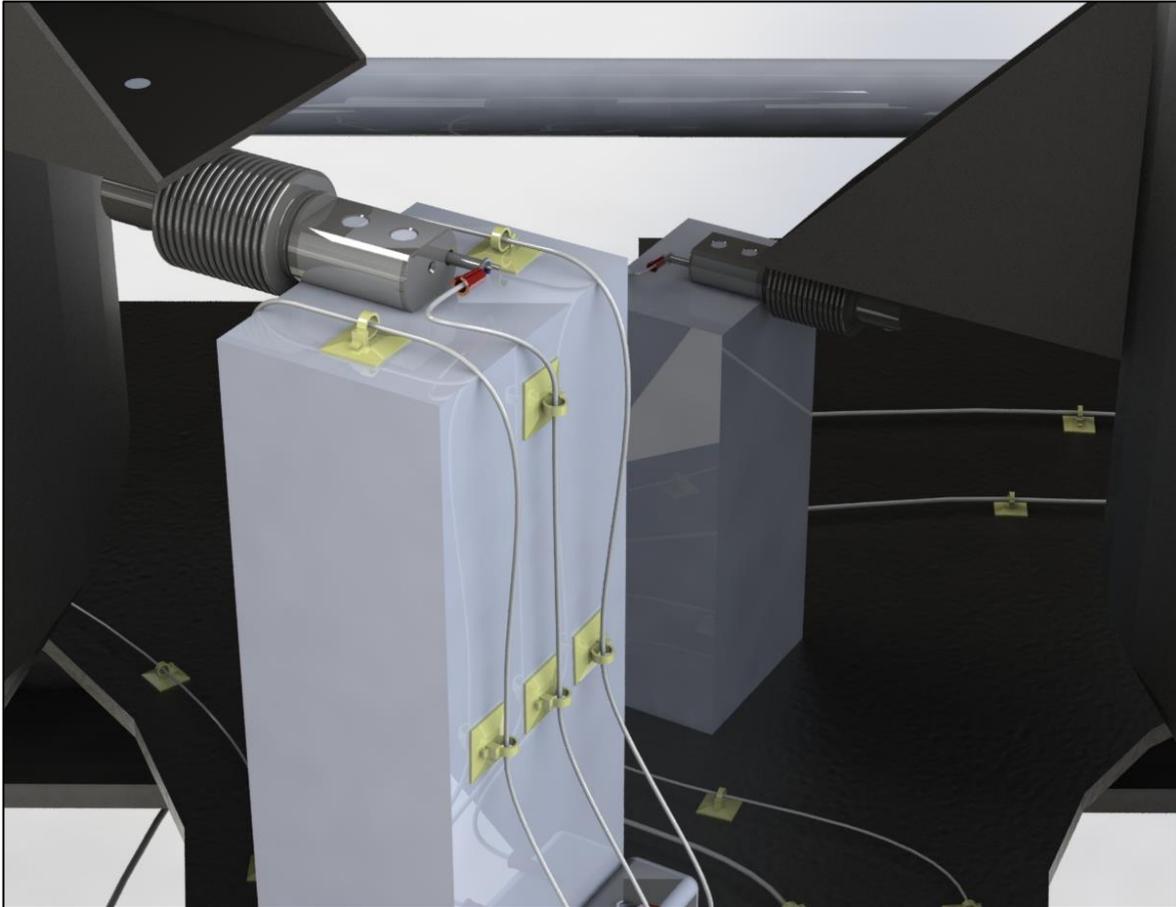
5.5.3.1. Instalación de electroválvulas



SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

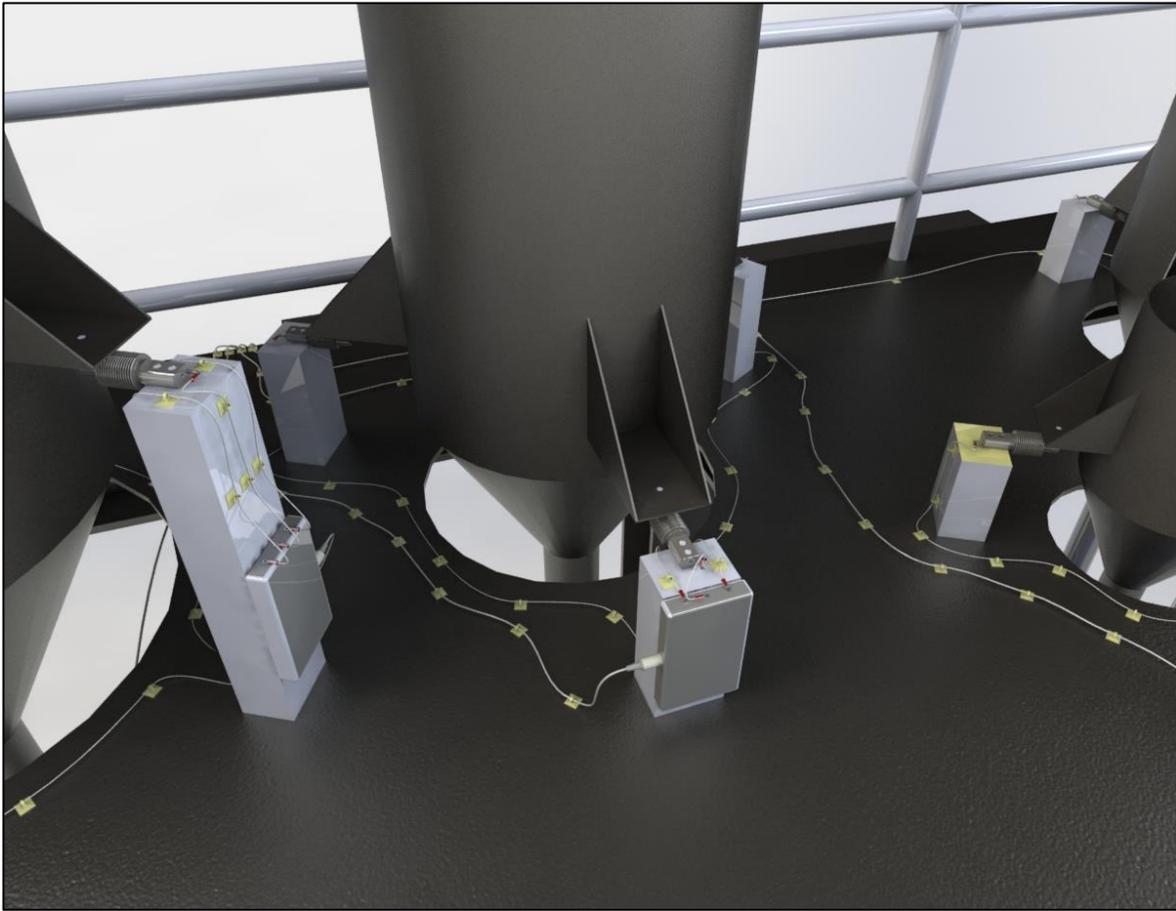
Figura 5. 50. Vista preliminar de la instalación de electroválvulas de descarga en las tuberías.

5.5.3.2. Instalación de celdas de carga



SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

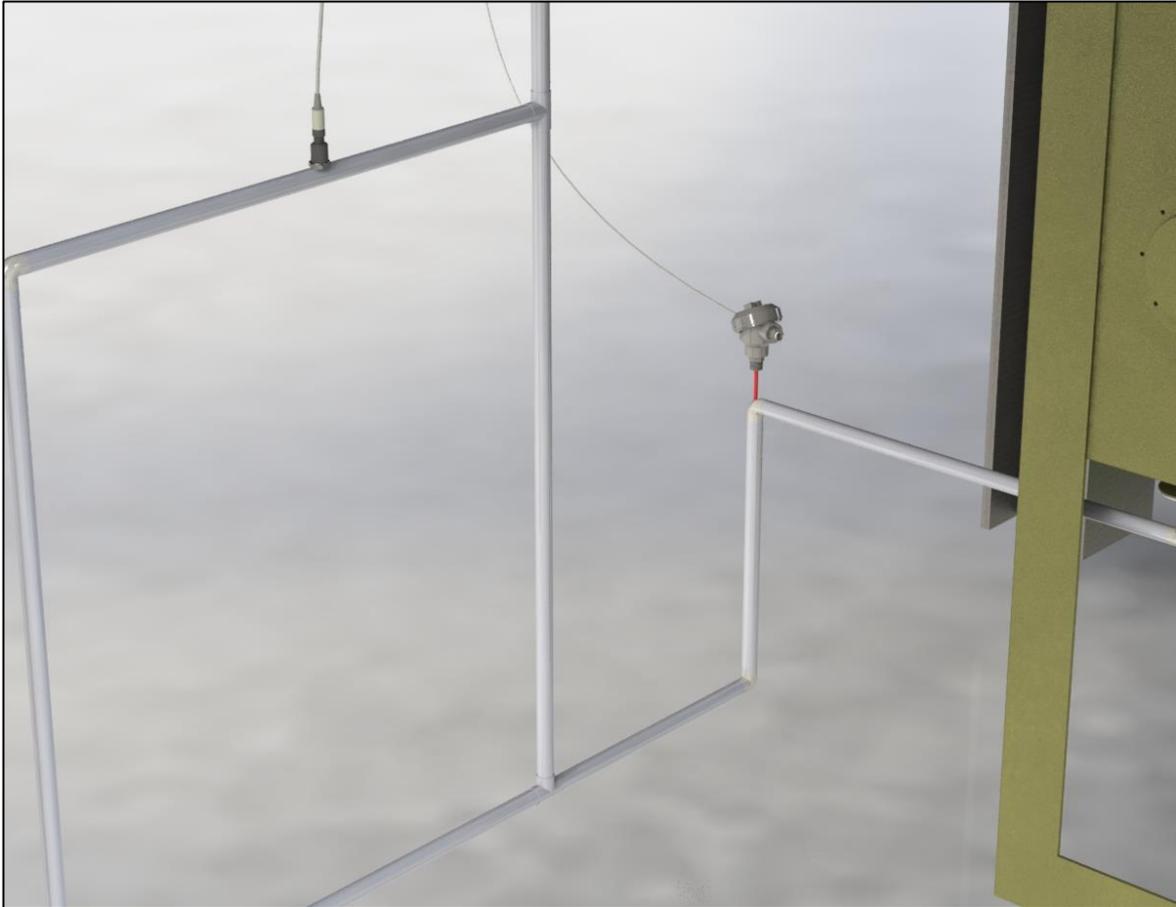
Figura 5. 51. Vista preliminar de la instalación de celdas de carga en los tanques de almacenamiento (Parte I).



SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 52. Vista preliminar de la instalación de celdas de carga en los tanques de almacenamiento (Parte II).

5.5.3.3. Instalación de termocuplas y sensor de presión



SOLIDWORKS (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 5. 53. Vista preliminar de la instalación de la termocupla y el sensor de presión en la tubería de enfriamiento.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS FINANCIERO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

6.1. Inversión Inicial

Las cotizaciones del equipo de automatización, sensores y actuadores, elementos de interconexión y otros accesorios, así como los costos de mano de obra, se muestran en las Tabla 6. 1, Tabla 6. 2, Tabla 6. 3 y Tabla 6. 4. El costo de cada rubro incluye el impuesto general sobre las ventas, IGV, a una tasa del 13%, y el tiempo de entrega estimado, de acuerdo con la información proporcionada por los proveedores.

Tabla 6. 1. Cotización del equipo requerido para la semi automatización del proceso de formulación.

Descripción	Cantidad	Tiempo de entrega	Costo con IVI (USD)
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214 AC	1	Inmediata	2412.04
Módulo de entradas analógicas	1		
HMI Siemens 6AV21232GB030AX0 Pantalla 7"	1		
Licencia de software Tia Porta V13	1		

Elaboración propia

Tabla 6. 2. Cotización de sensores y actuadores requeridos para la semi automatización del proceso de formulación.

Descripción	Cantidad	Tiempo de entrega	Costo con IVI (USD)
Celdas de carga Rice Lake RLHBB	12	2-3 semanas	6712.20
Termocupla ½" NPT x ¾" NPT Feva y Asociados S.A.	1	3 semanas	308.69
Termocupla ½" NPT x ½" NPT Feva y Asociados S.A.	1	3 semanas	308.69
Sensor de presión Ashcroft Xmitr TM Type 1005, IP54	1	10 semanas	438.52

Descripción	Cantidad	Tiempo de entrega	Costo con IVI (USD)
Cajas sumadoras para celdas de carga	4	2-3 semanas	904.00
Botones de activación y torre de luces indicadora	8	2 semanas	425.30
Actuador y válvula neumática Bray Controls	8	Inmediata	4664.65
Total			13 762.05

Elaboración propia

Tabla 6. 3. Cotización de accesorios y elementos de interconexión requeridos para la semi automatización del proceso de formulación.

Descripción	Cantidad	Tiempo de entrega	Costo con IVI (USD)
Tarjeta IP Ethernet para indicador de peso	1	2-3 semanas	452.00
Cables para interconexión de celdas de carga	35 m	2-3 semanas	474.60
Gabinetes en poliéster 500x400x300 mm	2	2 semanas	764.10
Materiales menores	-	Inmediata	500.00
Total			2190.7

Elaboración propia

Tabla 6. 4. Costos de mano de obra.

Mano de obra	Salario				Total de horas	Salario total (USD)
	Mensual (USD)	Semanal (USD)	Diario (USD)	Por Hora (USD)		
Mecánico	597.06	149.27	24.87	3.11	72	298.56
Electricista	449.41	112.35	18.73	2.34	72	168.48
Operador	448.80	112.20	18.70	2.33	72	167.76
Costos totales						634.8

Elaboración propia

Los costos totales del proyecto se muestran en la Tabla 6. 5. Se le ha asignado al rubro de imprevistos un valor del 15% de su totalidad, según criterios del departamento de Costos de la empresa, de modo que la inversión inicial que se debe realizar asciende a la cifra de 21 850 USD.

Tabla 6. 5. Costos totales del proyecto.

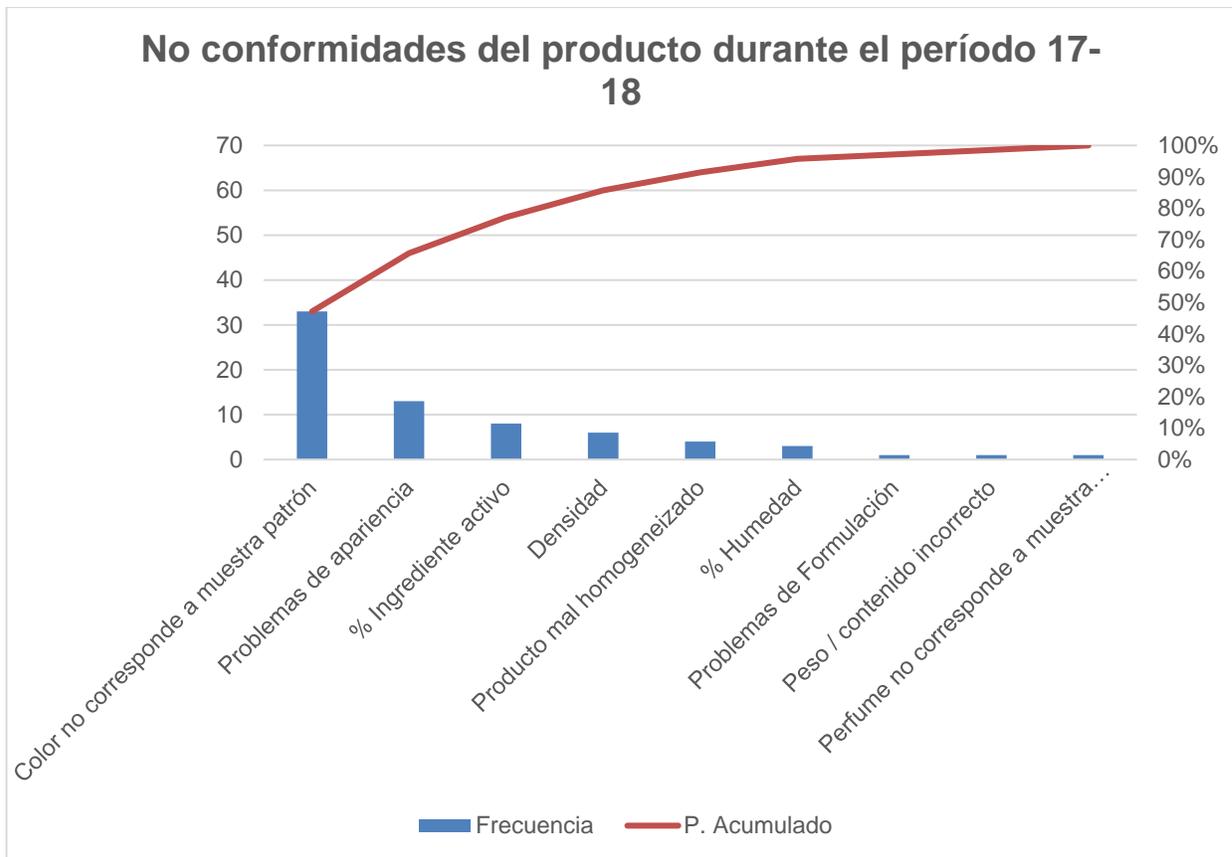
Rubro	Costo (USD)
Equipo	2 412.04
Sensores y actuadores	13 762.05
Elementos de interconexión y accesorios	2 190.70
Mano de obra	634.8
Total	19 000
Imprevistos (15% del total)	2850
Inversión inicial	21 850

Elaboración propia

6.2. Análisis de rentabilidad

De acuerdo con datos del Departamento de Calidad del Grupo Irex, durante el período 2017-2018, comprendido entre los meses de octubre y septiembre, se registraron 70 levantamientos de no conformidades en el Sistema de Control de Calidad. Se aplica el levantamiento de producto no conforme (PNC) a la tanda, identificada con un determinado número de orden.

La Figura 6. 1 muestra la frecuencia relativa de las no conformidades presentes y su porcentaje acumulado, a través de un diagrama de Pareto. Obsérvese que la no conformidad más frecuente se debe a la falta de correspondencia entre el color de la mezcla de formulación y el de la muestra patrón, abarcando un 47% del total. Ocupa el segundo lugar la no conformidad relacionada con problemas de la apariencia de la mezcla, siendo la presencia de grumos la más común.



EXCEL (DEPARTAMENTO DE CALIDAD)

Figura 6. 1. Diagrama de Pareto de las no conformidades durante el período 17-18.

El departamento de Calidad de la empresa asocia cada no conformidad a una causa de origen específica, agrupadas en cuatro categorías:

1. Mano de obra: La no conformidad se debe al incumplimiento del formulador y operadores en el procedimiento seguido por la receta de formulación proporcionada por el departamento de Investigación y Desarrollo. Esto incluye modificaciones en los parámetros de operación del equipo, como velocidad de motores, y del proceso, por ejemplo, tiempos de agitación y cantidades por dosificar.
2. Maquinaria: La presencia de la no conformidad es causada por comportamientos irregulares del equipo, entre ellos, variadores de frecuencia, válvulas y celdas de carga.

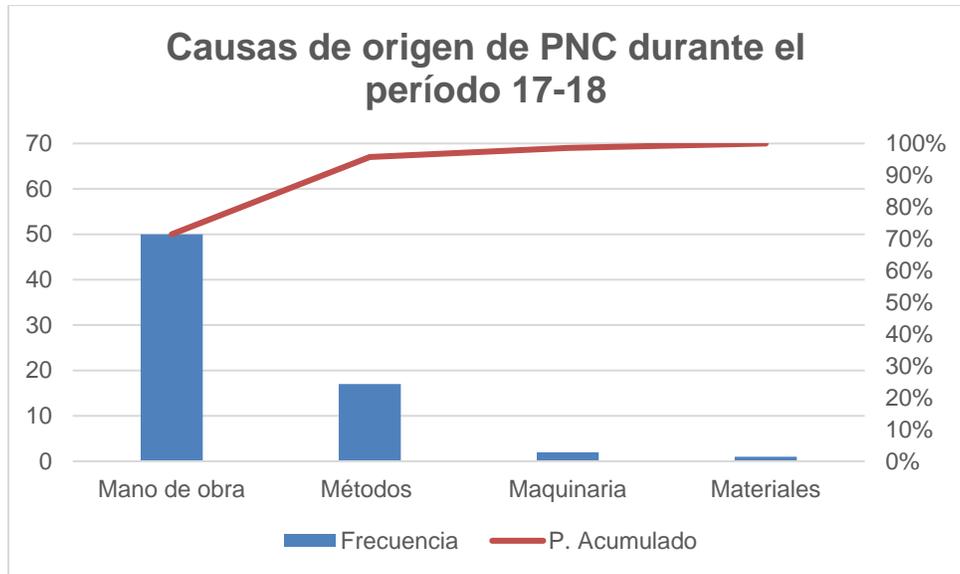
3. Materiales: Las condiciones de almacenamiento de las materias primas pueden dar lugar al deterioro o modificación de sus propiedades, generando a su vez la aparición de no conformidades en la mezcla final.
4. Métodos: La no conformidad es causada por errores en el diseño de la formulación de la receta de la mezcla.

La Figura 6. 2 muestra la frecuencia de las causas de origen de las no conformidades del producto durante el período 17-18. Nótese que el factor de mano de obra representa un 71% de la totalidad, convirtiéndose en el principal responsable de la aparición de no conformidades en la mezcla final del producto, según estadísticas del departamento de Calidad. La Tabla 6. 6 contiene las frecuencias absolutas de cada categoría.

Tabla 6. 6. Frecuencia de las causas de origen asociadas a la aparición de no conformidades en la mezcla.

Causa de origen	Frecuencia
Mano de obra	50
Métodos	17
Maquinaria	2
Materiales	1
Total de No Conformidades	70

DEPARTAMENTO DE CALIDAD



EXCEL (DEPARTAMENTO DE CALIDAD)

Figura 6. 2. Diagrama de Pareto de las causas de origen de las no conformidades del producto.

Recuérdese que la receta de formulación de la mezcla consta de 10 etapas en su totalidad, de las cuales 6 serán automatizadas, traduciéndose en un porcentaje de automatización del 60% del total del proceso. La Tabla 6. 7 contiene el estado de cada una de sus etapas.

Tabla 6. 7. Estado de automatización de las etapas de la formulación de la mezcla.

Etapa	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento	¿Etapa automatizada?
1	Colorante Agua	2		Preparar colorante con velocidad 2 en motor de agitación de colorante. Dejar agitando durante el proceso.	Sí
2	Agua	7		Abrir sistema de enfriamiento para controlar que la temperatura no suba en el mezclador, manteniéndolo	Sí

Etapa	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento	¿Etapa automatizada?
				abierto hasta el final del proceso. Agregar agua al mezclador (tanque 17-A8). Mantener velocidad.	
3	Carbonato de sodio Sulfato de sodio	7		Agregar el carbonato de sodio y el sulfato de sodio al mezclador. Mantener velocidad.	No
4	Éter lauril sulfato Soda cáustica 50%	7 7		Seguidamente, agregar el éter lauril. Luego, agregar soda cáustica 50% al mezclador. Mantener velocidad.	Sí
5	Ácido sulfónico lineal Silicón antiespumante	7 2 7		Agregar el ácido sulfónico al mezclador mientras se agita. Al terminar de dosificar el sulfónico, bajar la velocidad del mezclador y añadir el silicón.	Sí
6	Silicato de sodio al 42%	7	5	Agregar el silicato de sodio al mezclador y agitar por el tiempo indicado. Mantener velocidad.	Sí
7	Carbonato de calcio	4 y 9	5	Añadir primera ración de carbonato de calcio al mezclador con baja velocidad (4). Luego, agregar ración restante a alta velocidad y agitar por el tiempo indicado.	No
8	Sorbitol al 70% Glicerina	9	5	Agregar el sorbitol y glicerina y mantener alta velocidad. Agitar por tiempo indicado.	No
9				Parar y medir temperatura.	Sí

Etapa	Materia prima	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación (min)	Procedimiento	¿Etapa automatizada?
				Tomar muestra para laboratorio (Tiempo tomado en laboratorio de aproximadamente 10 min)	
10				De estar bien el análisis, medir temperatura de descarga que permita empacar entre 37°C-47°C	No

Elaboración propia

Tomando como insumos las estadísticas del período 17-18, para el cual, 50 de un total de 70 no conformidades se deben al factor de mano de obra, al implementar el sistema propuesto y asumiendo una variación *ceteris paribus* del resto de las causas de origen, dicha cifra disminuiría a 20, mientras que la totalidad pasaría a 40, experimentándose una reducción del 43%, durante el primer período después de la implementación.

Tabla 6. 8. Frecuencia de las causas de origen asociadas a la aparición de no conformidades en la mezcla después de la implementación del sistema.

Causa de origen	Frecuencia
Mano de obra	20
Métodos	17
Maquinaria	2
Materiales	1
Total de No Conformidades	40

DEPARTAMENTO DE CALIDAD

La cantidad de producto no conforme debido al factor de mano durante el período 17-18 se expone en la Tabla 6. 9.

Tabla 6. 9. Cantidad de PNC durante el período 17-18 debido al factor de mano de obra.

Causa de origen	Cantidad de PNC durante período 17-18 (kg)	Cantidad de PNC con implementación del sistema para siguiente período (kg)
Mano de obra	172 000	68 800

DEPARTAMENTO DE CALIDAD

De acuerdo con el Departamento de Costos de la empresa, el valor estimado del kilogramo del PNC almacenado en bodega, incluyendo el costo de mano de obra, materia prima, metro cuadrado por espacio de aprovechamiento y tiempo asociado, ronda la cifra de 0.35 USD. El detalle de estos rubros se omite en el presente documento debido a las políticas de confidencialidad manejadas por la empresa. A partir de dicho valor estimado, resulta posible obtener los costos asociados a las no conformidades ocasionadas por el factor de mano de obra para el período 17-18. La Tabla 6. 10 contiene dicha información, donde se observa que para el primer período después de la implementación del sistema, se experimentaría un ahorro anual de 36 120 USD.

Tabla 6. 10. Costos anuales de PNC asociados al factor mano de obra.

Rubro	Costo (USD) durante período 17-18	Costo (USD) con implementación del sistema para siguiente período	Ahorro durante primer período (USD)
Producto No Conforme (PNC)	60 200	24 080	36 120

DEPARTAMENTO DE COSTOS

6.3. Rentabilidad del proyecto

6.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

Constituye un indicador financiero empleado para el cálculo de la rentabilidad de un proyecto. Para su determinación, se debe considerar la inversión inicial realizada, y computar la diferencia entre los ingresos y egresos, de forma periódica. La actualización de los flujos netos se efectúa a través de la tasa de descuento, que indica la rentabilidad mínima esperada para cubrir la inversión, los costos y conseguir beneficios (Mete, 2014). Para efectos de este proyecto, la tasa de descuento (TD) reportada por el departamento de Costos es de un 10%.

Si el VAN del proyecto es mayor o igual que cero, el proyecto se acepta. En caso contrario, es rechazado.

6.3.2. Tasa interna de rendimiento (TIR)

Mete (2014) define la tasa interna de rendimiento como la tasa de interés que, al ser utilizada en el cálculo del VAN, hace que este valor sea cero. El cálculo de este indicador no depende de las condiciones existentes en el mercado financiero, por lo que se trata de una cifra intrínseca del proyecto.

Si el cálculo de la TIR es mayor a la tasa de descuento, el proyecto es considerado atractivo en términos financieros, debido a que los ingresos cubren los egresos y existen beneficios adicionales por encima de la expectativa. Por el contrario, si la cifra de la TIR es menor que la TD, los ingresos reportados no son capaces de cubrir los egresos, existiendo de esta forma pérdidas económicas.

6.3.3. Retorno de la inversión (ROI)

El retorno de la inversión (ROI) cuantifica la efectividad de una inversión, al indicar que, por cierta cantidad de dinero invertida en el proyecto, se estará

retornado una ganancia cuantificable. Este indicador debe ser mayor que cero, de modo que el proyecto resulte rentable.

6.3.4. Cálculo de indicadores financieros

Para el cálculo efecto de los tres indicadores financieros explicados en las secciones anteriores, se necesita la siguiente información:

1. Estimación de la inversión inicial (Ver sección 6.1.)
2. Gastos por mantenimiento del sistema: Se ha supuesto un valor del 10% anual dedicado a labores de mantenimiento del sistema.
3. Ahorro por reducción de PNC.
4. Depreciación del equipo: La vida útil del sistema es de 10 años, por lo que el flujo de caja proyectado se realiza para dicho período de tiempo.
5. Aumento anual de 3% en los costos de materia prima, mano de obra y gastos por mantenimiento, pues según la Revisión del Programa Macroeconómico del Banco Central de Costa Rica, la inflación proyectada para el período 2018-2019 es cercana a esa cifra.

Las Tabla 6. 12 y Tabla 6. 12 contienen los cálculos del flujo de operaciones para un período de 10 años.

Tabla 6. 11. Flujo de operaciones del proyecto.

	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso por ahorro PNC		36,120.00	37,204.00	38,320.00	39,470.00	40,655.00	41,874.00	43,130.00	44,425.00	45,760.00	47,129.00
Total ingresos		36,120.00	37,204.00	38,320.00	39,470.00	40,655.00	41,874.00	43,130.00	44,425.00	45,760.00	47,129.00
Menos: Gastos											
Gastos de mantenimiento		2,000.00	2,060.00	2,122.00	2,186.00	2,252.00	2,320.00	2,390.00	2,462.00	2,536.00	2,612.00
Depreciación		2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00
Valor libros equipo vendido											
Utilidad antes de impuesto		31,935.00	32,959.00	34,013.00	35,099.00	36,218.00	37,369.00	38,555.00	39,778.00	41,039.00	42,332.00
Impuesto sobre renta 17%		5,428.95	5,603.03	5,782.21	5,966.83	6,157.06	6,352.73	6,554.35	6,762.26	6,976.63	7,196.44
Utilidad después de impuesto		26,506.05	27,355.97	28,230.79	29,132.17	30,060.94	31,016.27	32,000.65	33,015.74	34,062.37	35,135.56
Depreciación		2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00	2,185.00
Valor en libros equipo vendido		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión equipo	-21,850.00										
Inversión de reposición equipos											
Inversión ampliación equipo											
Flujo neto de efectivo	-21,850.00	28,691.05	29,540.97	30,415.79	31,317.17	32,245.94	33,201.27	34,185.65	35,200.74	36,247.37	37,320.56

Elaboración propia

Tabla 6. 12. Flujo neto de operaciones del proyecto.

Años	Inversión inicial	Flujo de operaciones	Valores residuales	FNE proyecto
0	-21 850 USD		-	28 691 USD
1	-	28 691 USD	-	29 540 USD
2	-	29 540 USD	-	30 415 USD
3	-	30 415 USD	-	31 317 USD
4	-	31 317 USD	-	32 245 USD
5	-	32 245 USD	-	33 201 USD
6	-	33 201 USD	-	34 185 USD
7	-	34 185 USD	-	35 200 USD
8	-	35 200 USD	-	36 247 USD
9	-	36 247 USD	-	37 320 USD
10	-	37 320 USD	-	28 691 USD

Elaboración propia

Tabla 6. 13. Evaluación del proyecto.

Indicador	Valor	Umbral	¿Cumple?
VAN	175 377 USD	>0	Sí
TIR	134%	>10%	Sí
ROI	25	>1	Sí

Elaboración propia

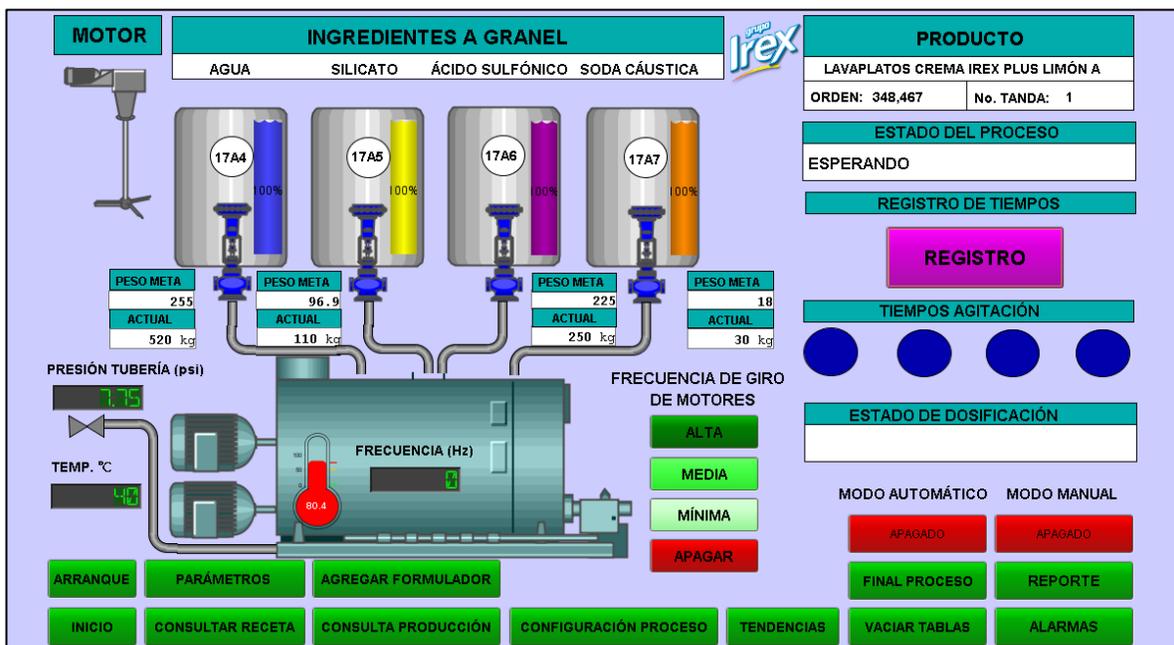
Obsérvese de la Tabla 6. 13 Tabla 6. 13 que el VAN resultante es mayor que cero, el valor de la TIR se encuentra por encima de la tasa de descuento y el ROI es superior a 1, concluyendo así que el proyecto es financieramente rentable.

CAPÍTULO 7: RESULTADOS

Los resultados obtenidos al simular el sistema SCADA en un ordenador están contenidos en la presente sección. Se observan las etapas de la formulación de la receta y las instrucciones giradas por el sistema para el operador.

7.1. Vista general de la interfaz HMI

La Figura 7. 1 muestra la vista general de la interfaz HMI. Se observa el estado de llenado de los tanques de almacenamiento, al igual que las cantidades meta por dosificar y el peso actual de cada tanque. En la esquina superior derecha se encuentra la información relativa a la tanda por formular, incluyendo su número, el número de orden de producción, y el tipo de producto.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 1. Vista general de la interfaz HMI del sistema.

7.2. Registro de formuladores

El sistema permite al usuario añadir nuevos formuladores a la base de datos existente, o eliminar alguno de ellos, colocando únicamente el código ID que se observa al lado del nombre del formulador, tal y como se aprecia en la Figura 7. 2.



The screenshot shows a window titled "Popup" with a close button. The main content is a table with the following data:

ID	Nombre del formulador
1	Michael Montero
2	Martín Montero
3	Diego Zúñiga
4	Alexánder Romero
5	Jenner Hernández
6	Gerardo Naranjo

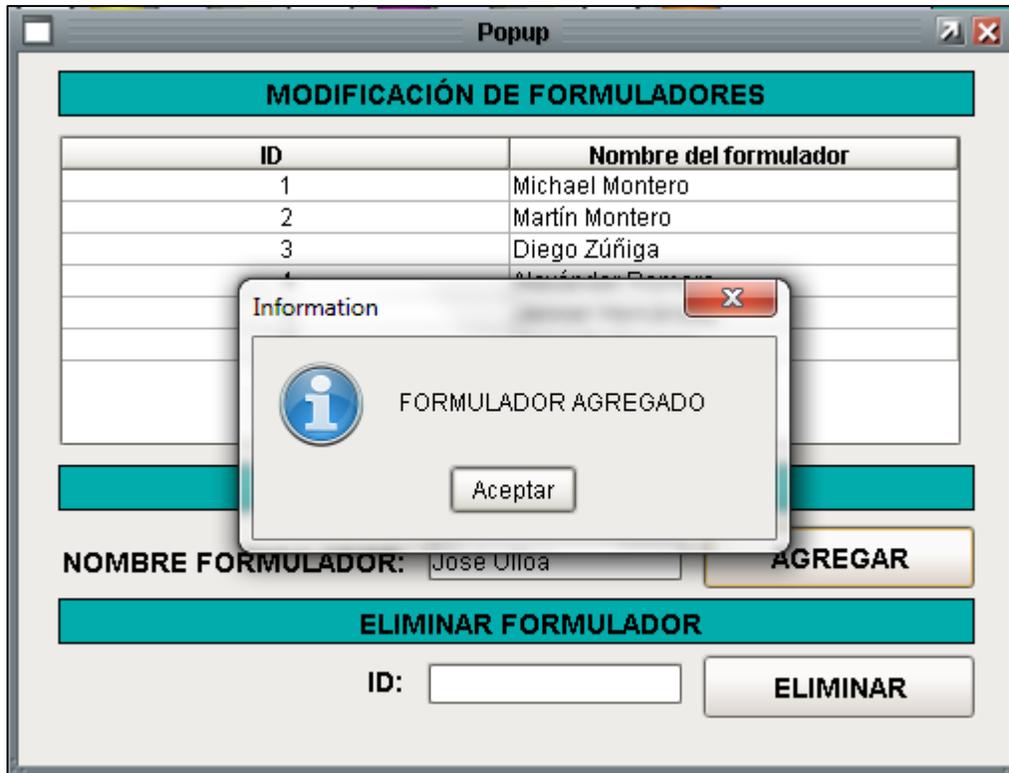
Below the table, there are two sections:

- AGREGAR FORMULADOR**: A section with a label "NOMBRE FORMULADOR:" followed by a text input field and a button labeled "AGREGAR".
- ELIMINAR FORMULADOR**: A section with a label "ID:" followed by a text input field and a button labeled "ELIMINAR".

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 2. Ventana de registro de formuladores.

Para añadir un nuevo formulador, el usuario debe digitar su nombre y presionar el botón *Agregar*. Una vez agregado, se despliega un mensaje en pantalla con la leyenda *Formulador agregado*, como se observa en la Figura 7. 3.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 3. Adición de formulador a base de datos.

Si el usuario desea eliminar el nombre de un formulador de la base de datos, debe digitar el código de identificación que se encuentra en la primera columna de la lista de formuladores en el espacio llamado *ID* y pulsar el botón *Eliminar*. Seguidamente, el sistema muestra en pantalla el mensaje *Formulador Eliminado*, como se contempla en la Figura 7. 4.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 4. Eliminación de formulator de base de datos.

7.3. Configuración de parámetros del proceso

Para configurar los parámetros del proceso, el usuario debe pulsar el botón denominado *Configuración proceso* en la pantalla principal de la interfaz HMI. Inmediatamente, se despliega la pantalla mostrada en la Figura 7. 5. El sistema permite la manipulación de los siguientes parámetros, única y exclusivamente para el personal del departamento de Investigación y Desarrollo, mediante una contraseña:

1. Tiempos: El usuario puede configurar los 4 tiempos de agitación de la mezcla, el tiempo de adición del éter lauril y del silicón antiespumante. Para ello, debe digitar el valor deseado en minutos al lado de cada etiqueta y presionar el botón *Agregar*.

2. Frecuencia de giro de los motores: El sistema le concede al usuario la potestad de definir las frecuencias de giro establecidas en los escalones de alta, media y mínima.
3. Tolerancias de peso corte de los líquidos de dosificación: El usuario puede establecer la tolerancia de peso corte en kilogramos para la dosificación de los líquidos almacenados en los tanques.

Los lotes de parámetros de configuración son almacenados en una base de datos.

The image shows a software window titled "Popup" with a close button. The window is divided into several sections for process configuration:

- CONFIGURACIÓN DEL PROCESO** (Main title)
- CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA** (Section header)
- CONFIGURACIÓN DE TIEMPOS** (Section header)
 - TIEMPO DE AGITACIÓN: MINUTOS
 - TIEMPO DE ADICIÓN ÉTER: **AGREGAR**
 - TIEMPO DE ADICIÓN SILICÓN:
- CONFIGURACIÓN DE FRECUENCIAS DE GIRO DE MOTORES** (Section header)
 - FRECUENCIA DE GIRO ALTA: Hz
 - FRECUENCIA DE GIRO MEDIA: Hz **AGREGAR**
 - FRECUENCIA DE GIRO MÍNIMA: Hz
- CONFIGURACIÓN DE TOLERANCIAS DE PESO CORTE** (Section header)
 - TOLERANCIA PESO CORTE AGUA: kg
 - TOLERANCIA PESO CORTE SILICATO: kg **AGREGAR**
 - TOLERANCIA PESO CORTE SULFÓNICO: kg
 - TOLERANCIA PESO CORTE SODA: kg

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 5. Ventana de configuración de parámetros del proceso.

Con el fin de visualizar los lotes de los parámetros del proceso que han sido cargados a la base de datos, el usuario debe presionar el botón llamado *Parámetros* en la pantalla principal y, en seguida, se despliega la pantalla observada en la Figura 7. 6. En esta ventana, el usuario puede seleccionar el lote deseado correspondiente a cada categoría, a través del código de identificación ID que aparece a su lado.

POPUP

LOTES DE FRECUENCIAS DE GIRO DE LOS MOTORES MEZCLADORES

Frecuencia alta (Hz)	Frecuencia media (Hz)	Frecuencia mínima (Hz)	ID
51	24	20	1
51	30	15	2

SELECCIONAR ID DE LOTE DE FRECUENCIA: **SELECCIONAR** **ELIMINAR**

LOTES DE TOLERANCIAS DE PESO CORTE DE MATERIA PRIMA

ID	Corte Agua (kg)	Corte Soda (kg)	Corte Sulfónico (kg)	Corte Silicato (kg)
1	2	1	2	1
2	1	1	1	1

SELECCIONAR ID DE LOTE DE TOLERANCIA: **SELECCIONAR** **ELIMINAR**

LOTES DE TIEMPOS DE ADICIÓN Y AGITACIÓN

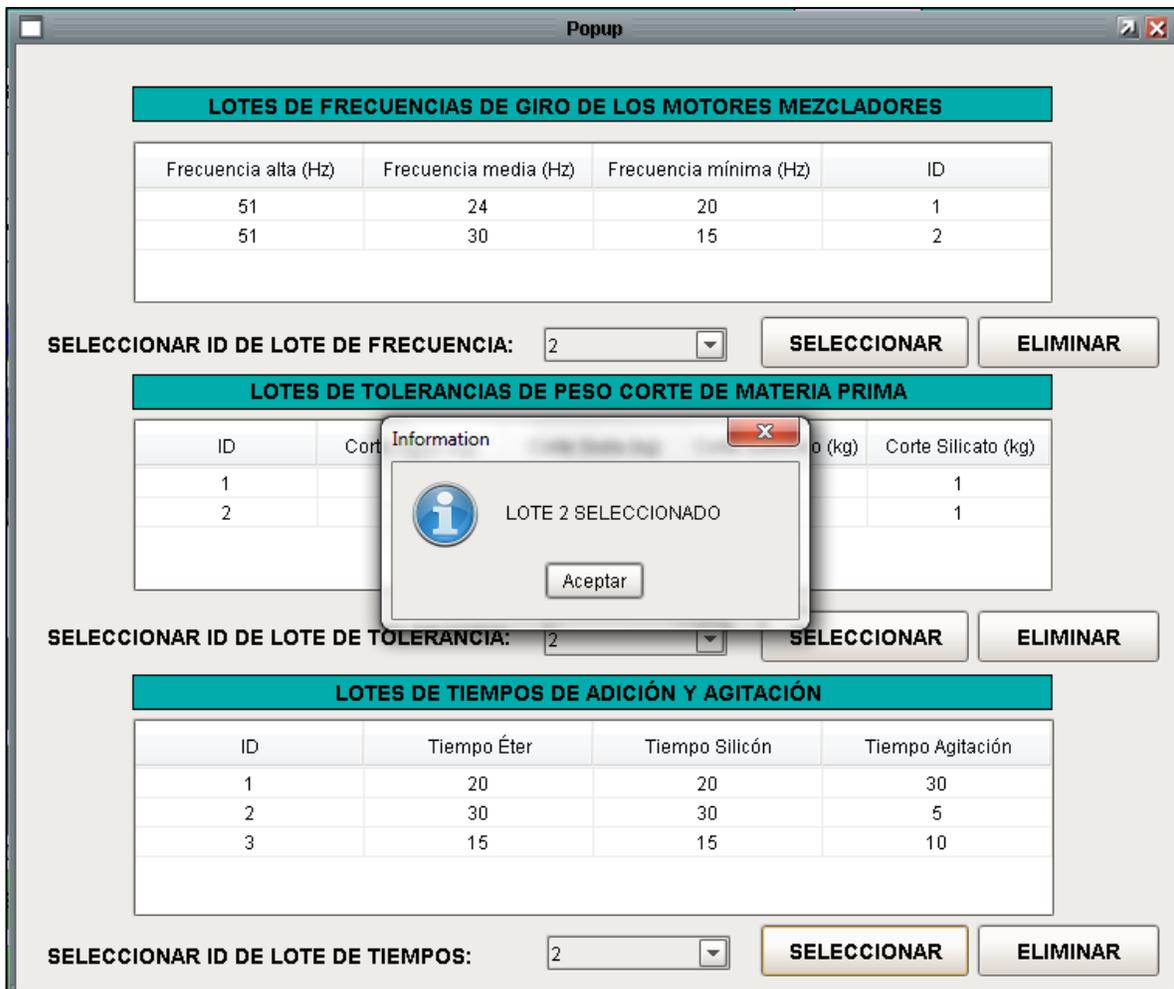
ID	Tiempo Éter	Tiempo Silicón	Tiempo Agitación
1	20	20	30
2	30	30	5
3	15	15	10

SELECCIONAR ID DE LOTE DE TIEMPOS: **SELECCIONAR** **ELIMINAR**

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 6. Selección de lotes de parámetros del proceso (Parte I).

Para realizar la selección del lote, el usuario debe elegir de la lista de códigos el respectivo y presionar el botón llamado *Seleccionar*. Posteriormente, el sistema muestra en pantalla un mensaje con el número del lote seleccionado.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 7. Selección de lotes de parámetros del proceso.

De forma análoga, en caso de que el usuario desee eliminar un lote, debe elegir de la lista de códigos de identificación el correspondiente y presionar el botón *Eliminar*.

7.4. Modo de operación

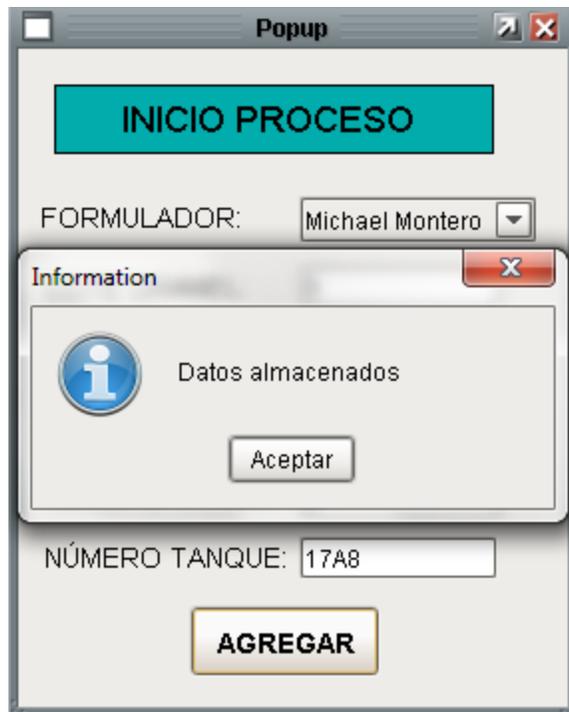
Antes de seleccionar el modo de operación del sistema, el formulador debe presionar el botón *Inicio* en la pantalla principal, desplegándose una ventana, donde debe registrar la información solicitada, tal y como se aprecia en la Figura 7. 8.

The image shows a software window titled "Popup" with a light gray background. At the top center, there is a teal rectangular button with the text "INICIO PROCESO" in white. Below this, there are six rows of input fields, each with a label on the left and a text box on the right. The labels and their corresponding values are: "FORMULADOR:" with "Michael Montero" (shown in a dropdown menu), "LOTE GRANEL:" with "1", "ORDEN:" with "354866", "CÓDIGO RECETA:" with "50251" (shown in a dropdown menu), "NÚMERO TANDA:" with "3", and "NÚMERO TANQUE:" with "17A8". At the bottom center of the window is a white rectangular button with the text "AGREGAR" in black. The window has a standard title bar with a close button (X) on the right.

INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 8. Ventana de registro de información de inicio del proceso (Parte I).

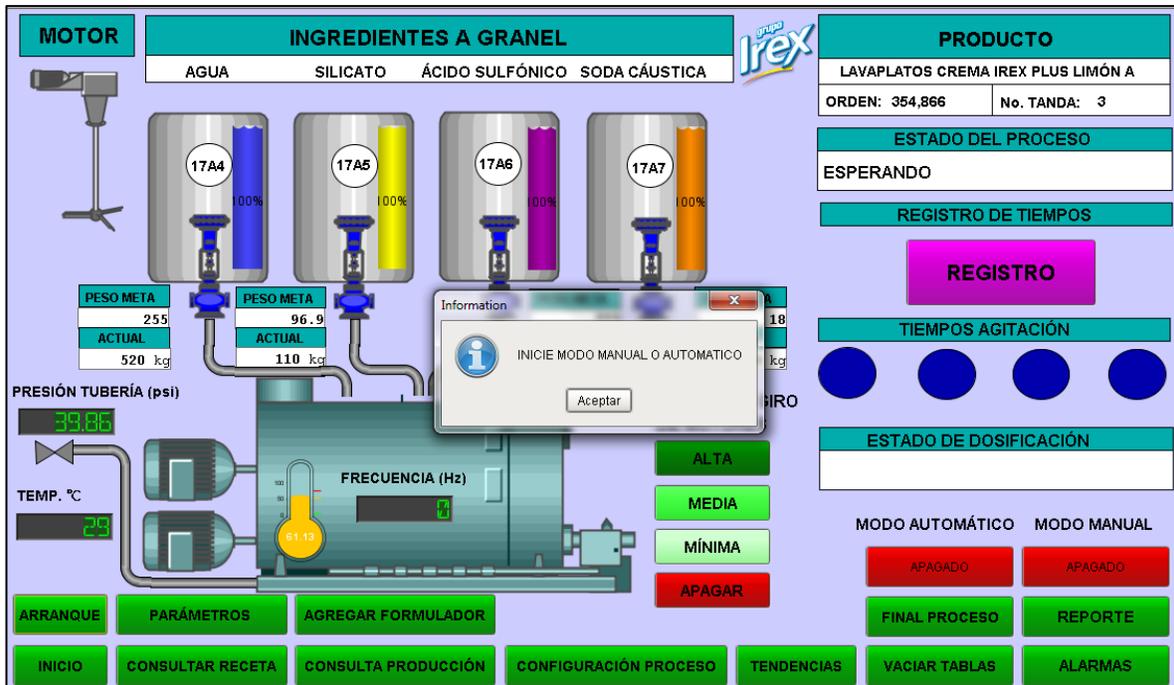
Una vez que el formulador registró la información requerida, debe presionar el botón *Agregar*. Seguidamente, aparece un mensaje en pantalla informando al usuario que los datos fueron almacenados correctamente, como se observa en la Figura 7. 9.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 9. Ventana de registro de información de inicio del proceso (Parte II).

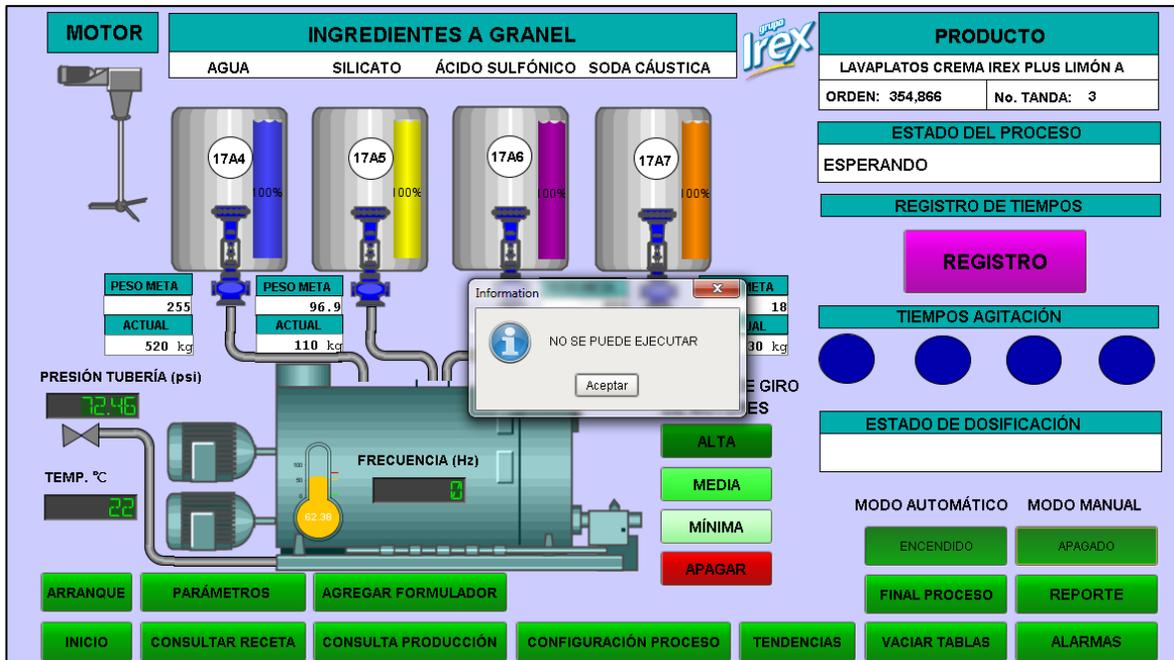
En caso de que el operario presione el botón *Arranque* sin haber seleccionado aún el modo de operación, el sistema muestra un mensaje en pantalla advirtiéndole de su error. La Figura 7. 10 muestra la advertencia generada.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 10. Mensaje de advertencia del sistema (Parte I).

De igual forma, si el usuario selecciona los modos de operación *Automático* y *Manual* a la vez, el sistema genera una advertencia, indicándole la imposibilidad de ejecutar dicha acción, como se muestra en la Figura 7. 11.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

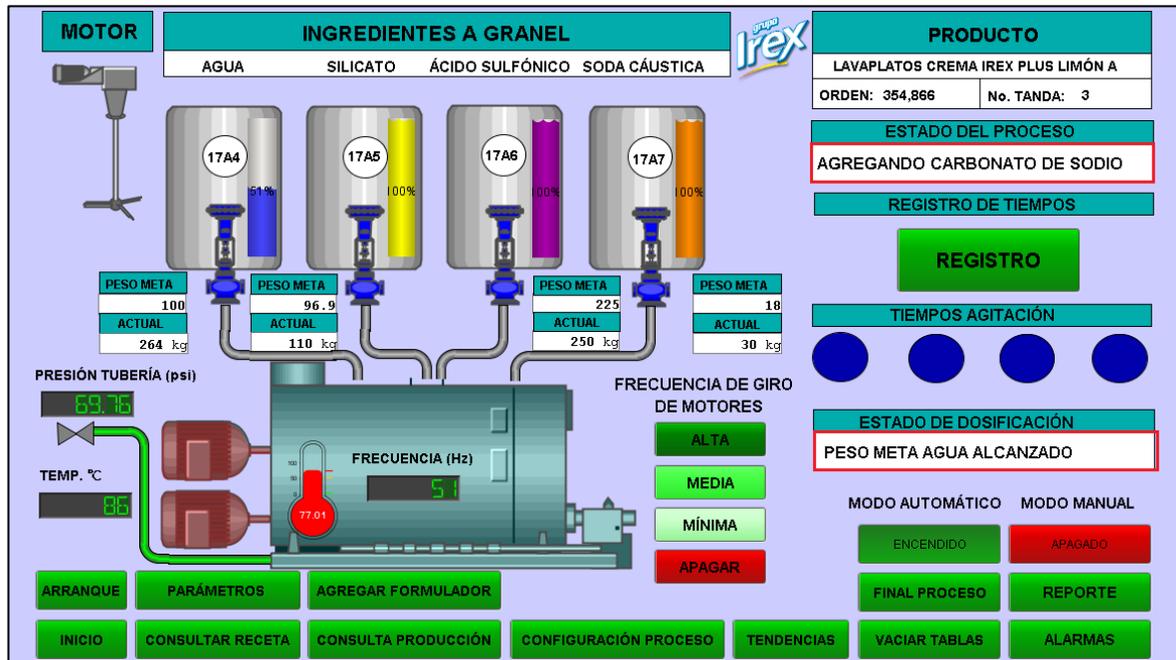
Figura 7. 11. Mensaje de advertencia del sistema (Parte II).

7.5. Proceso semi automático de formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema*

7.5.1. Etapas 1, 2 y 3

Las primeras tres etapas del proceso comprenden la activación de la electroválvula de la tubería de enfriamiento, el encendido del motor de agitación del colorante y la descarga del lote inicial de agua. Además, se encienden los motores mezcladores y se fija su frecuencia de giro en el escalón *Alto*, indicándose a través de un parpadeo de color rojo en su símbolo en pantalla. Una vez que el lote inicial de agua fue descargado, se actualiza el estado de dosificación del proceso mediante la leyenda *Peso meta agua alcanzado*. Después, en la etiqueta *Estado del proceso* se visualiza el texto *Agregando Carbonato de Sodio*, señalándole al usuario que a partir de ese instante debe añadir dicha materia prima al tanque mezclador. A su vez, el botón *Registro* parpadea en color verde, recordándole al

formulador que debe presionarlo, para así registrar el tiempo tomado en completar la adición del material. La Figura 7. 12 contiene las acciones explicadas previamente.

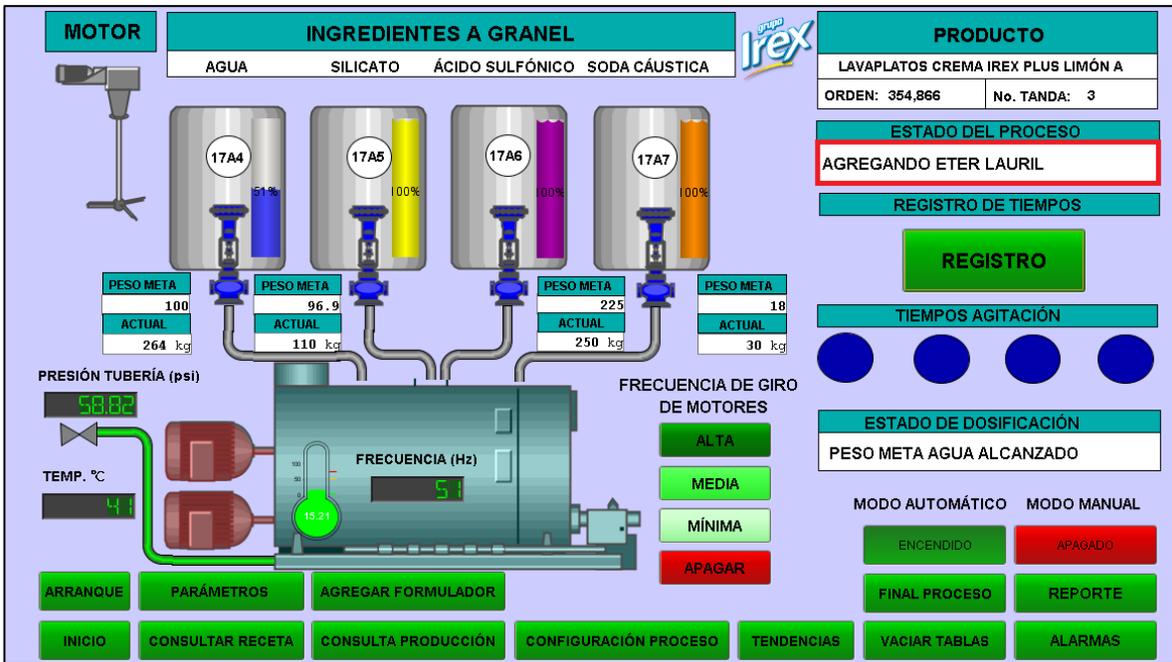


INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 12. Etapas 1, 2 y 3 del proceso de formulación de la mezcla.

7.5.2. Etapa 4

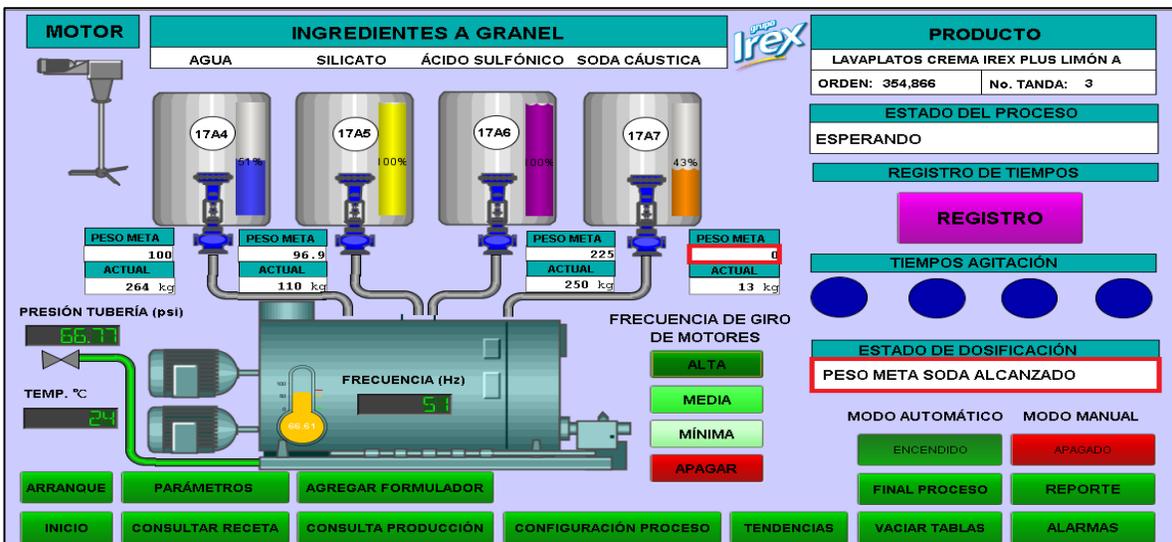
En esta etapa, el formulador debe agregar el éter lauril a la mezcla, por lo que el estado del proceso se actualiza a *Agregando éter lauril*, durante el tiempo configurado en la sección 7.3. En la Figura 7. 12 se señala la aparición en pantalla del texto anterior.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 13. Etapa 4 del proceso de la formulación de la mezcla (Parte I).

Posteriormente, se inicia la dosificación de la soda cáustica, y una vez que finaliza, se muestra el texto *Peso meta soda alcanzado*, señalado en la Figura 7. 14.

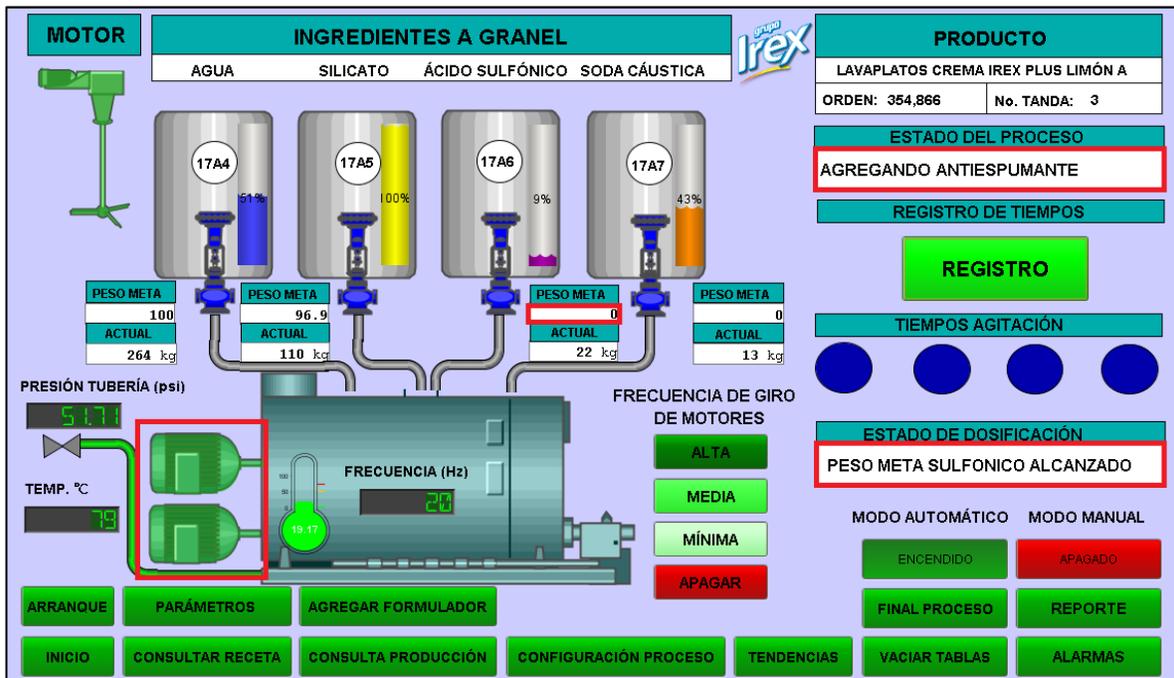


INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 14. Etapa 4 del proceso de formulación de la mezcla (Parte II).

7.5.3. Etapa 5

Concluida la dosificación de la soda cáustica, el sistema cuenta con un temporizador que corre por un tiempo de 10 segundos, para después de completado, iniciar con la descarga del ácido sulfónico lineal. Una vez finalizada, la etiquetas *Estado de dosificación* y *Estado del proceso* se actualizan con las leyendas *Peso meta sulfónico alcanzado* y *Agregando antiespumante*, respectivamente. Asimismo, la frecuencia de giro de los motores mezcladores se fija en el escalón mínimo, representada en pantalla con un parpadeo de color verde en estos elementos. Estas acciones son indicadas en Figura 7. 15.



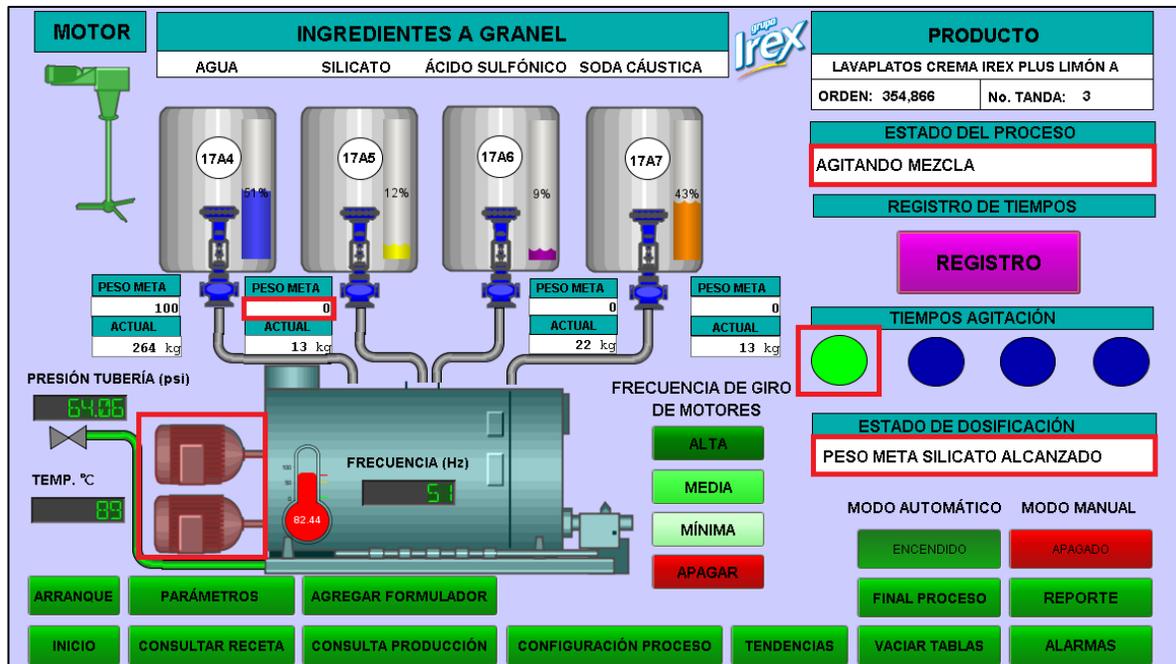
INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 15. Etapa 5 del proceso de formulación de la mezcla.

7.5.4. Etapa 6

Después de agregar el silicón antiespumante, la frecuencia de giro de los motores se devuelve al escalón alto, por lo que existe en pantalla un parpadeo de

color rojo sobre estos. Inmediatamente, se empieza a dosificar el silicato de sodio, y al igual que en los casos anteriores, una vez que el peso meta es alcanzado, se muestra en pantalla el texto correspondiente. Luego, inicia el primer período de agitación de la mezcla, el cual se indica a través de una luz de color verde intermitente ubicada en la sección *Tiempos agitación*. La Figura 7. 16 muestra las acciones descritas en el párrafo anterior.

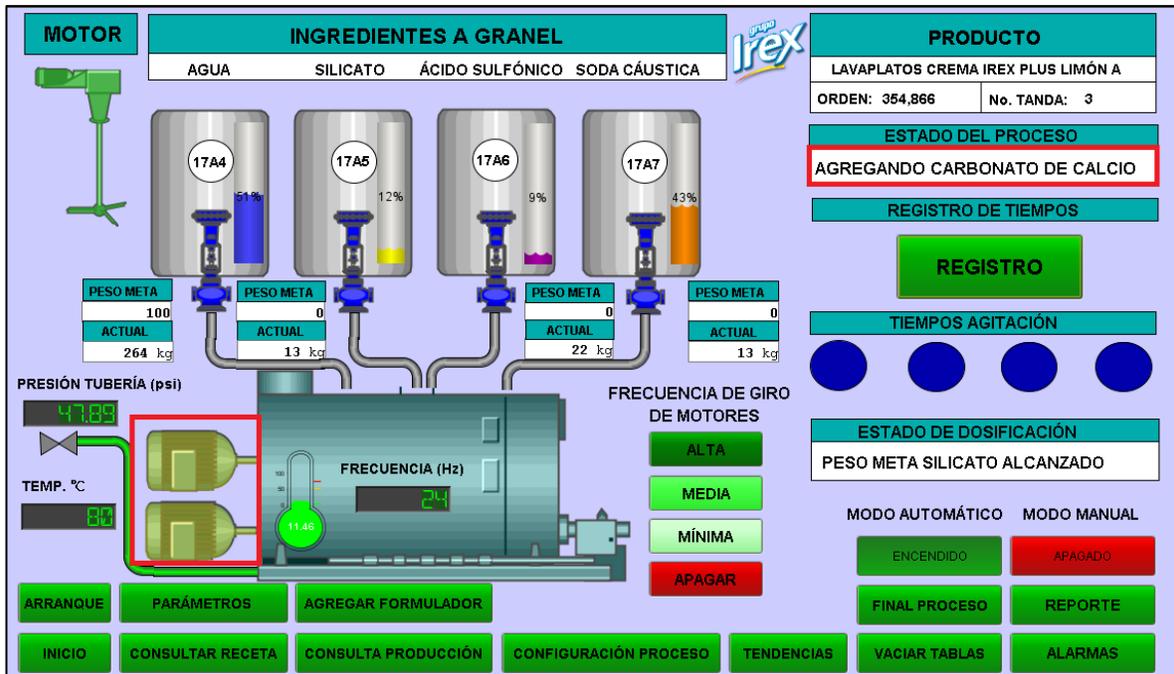


INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 16. Etapa 6 del proceso de formulación de la mezcla.

7.5.5. Etapa 7

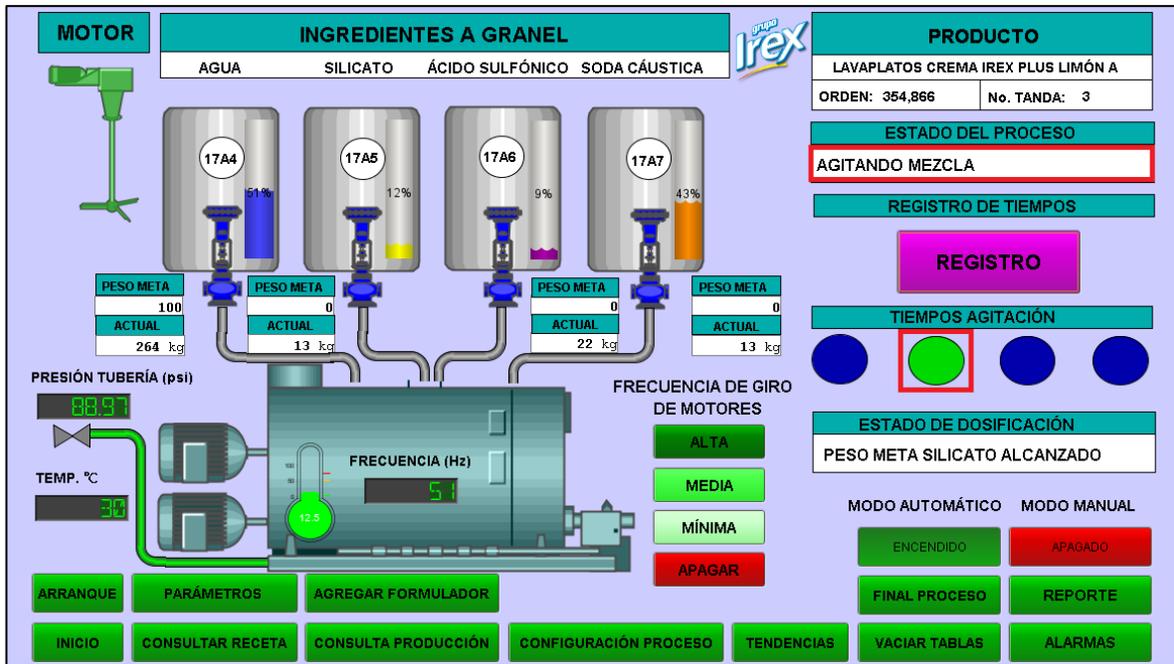
Finalizado el primer período de agitación de la mezcla, el formulador debe añadir el carbonato de calcio al tanque mezclador. El sistema le recuerda en pantalla la ejecución de la tarea. En esta etapa, la frecuencia de giro de los motores mezcladores se establece en el valor definido como medio, representado a través de un parpadeo de color amarillo en estos elementos. Una vez que el operario terminó de agregar la materia prima, debe presionar el botón *Registro*. En la Figura 7. 17 se visualizan los indicadores mencionados.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 17. Etapa 7 del proceso de formulación de la mezcla (Parte I).

Después de registrar el tiempo, se inicia el segundo período de agitación de la mezcla, por lo que la segunda luz indicadora se vuelve de color verde intermitente. Además, la frecuencia de giro de los motores se reestablece en el valor alto, tal y como se observa en la Figura 7. 18.

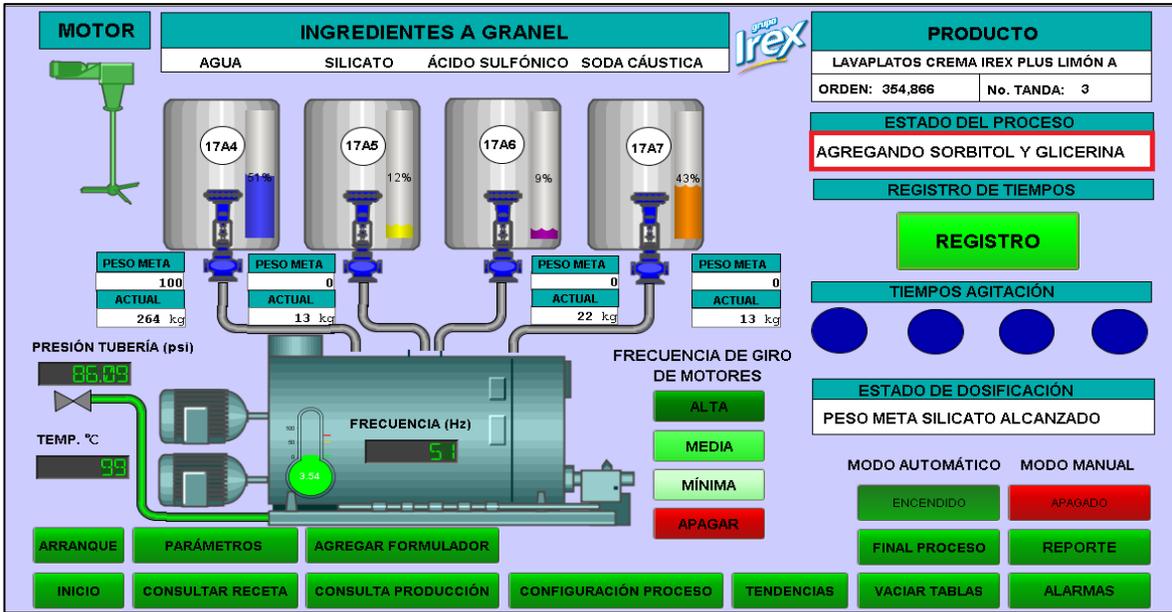


INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 18. Etapa 7 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 2).

7.5.6. Etapa 8

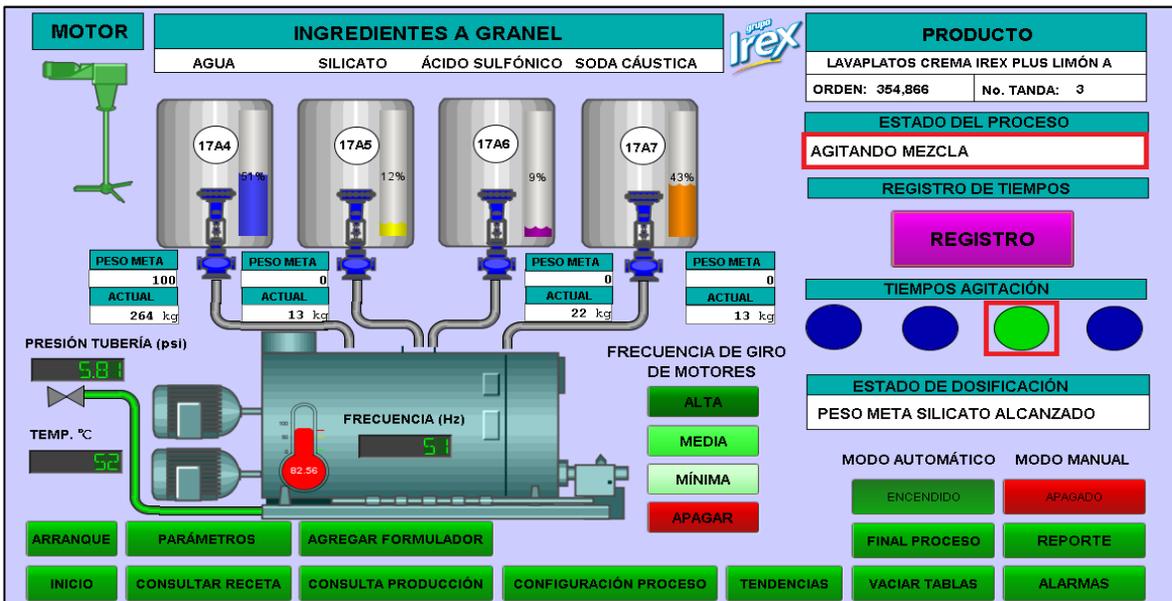
Una vez que haya culminado el segundo período de agitación de la mezcla, el sistema le indica al formulador que debe agregar el sorbitol y la glicerina. Completada la tarea, debe presionar el botón *Registro*. La Figura 7. 19 señala el texto aludido.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 19. Etapa 8 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 1).

Posteriormente, inicia el tercer período de agitación de la mezcla, y de igual forma que en los casos anteriores, su indicador es una luz verde intermitente, localizada en la sección *Tiempos agitación*, como se observa en la Figura 7. 20.

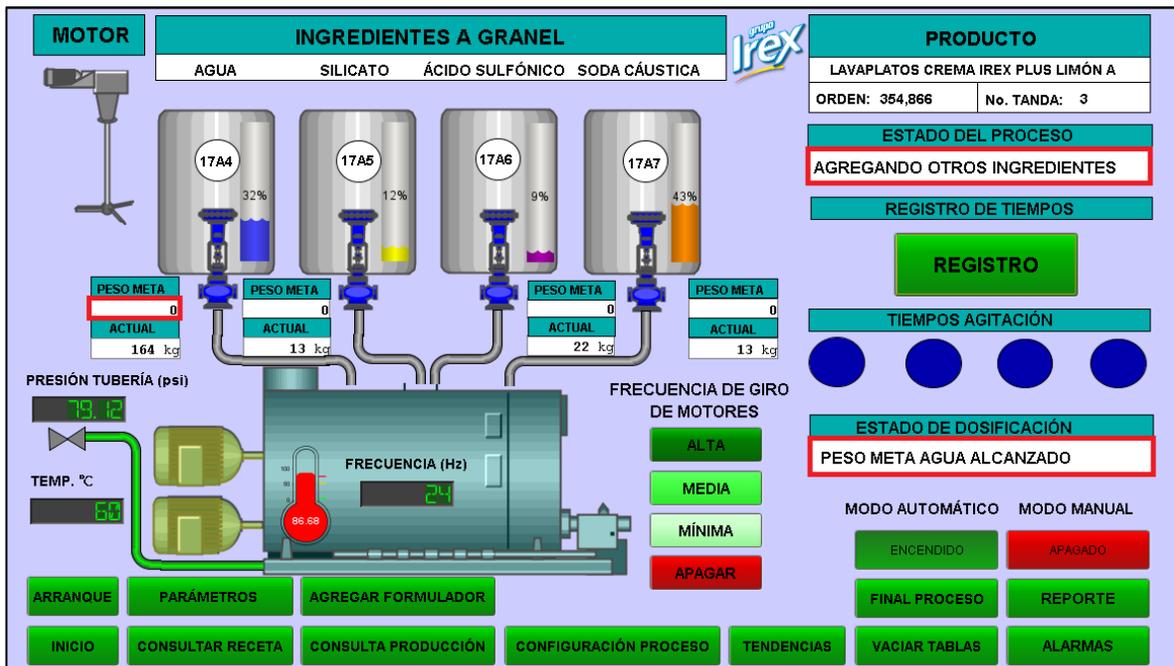


INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 20. Etapa 8 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 2).

7.5.7. Etapa 9

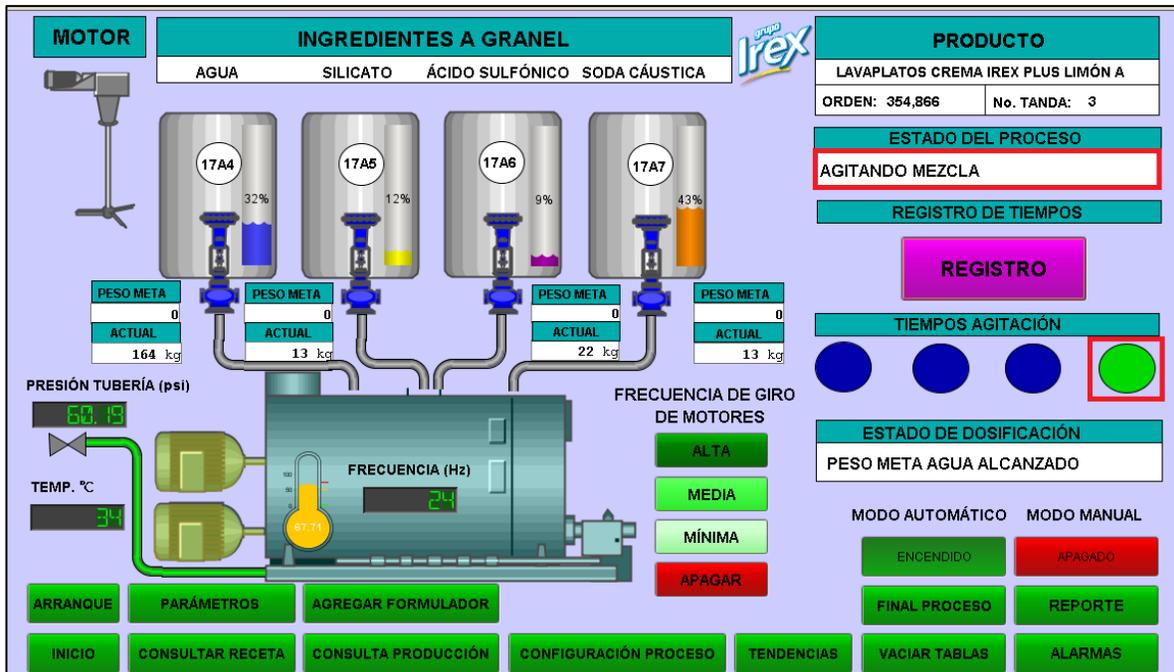
En esta etapa, ocurre la dosificación del lote final de agua. Una vez terminada, se señala en pantalla su estado, para posteriormente indicarle al formulador el siguiente paso, correspondiente a la adición del resto de los ingredientes de la receta, como el perfume y colorante. Después de añadir la materia prima, debe presionar el botón *Registro*. Los indicadores de esta etapa se observan en la Figura 7. 21.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 21. Etapa 9 del proceso de formulación de la mezcla (Parte 1).

Por último, el cuarto período de agitación de la mezcla se da luego de registrar el tiempo de adición de los ingredientes anteriores, como se aprecia en la Figura 7. 22.



INDUCTIVE AUTOMATION (ELABORACIÓN PROPIA)

Figura 7. 22. Etapa 9 del proceso de formulación de la mezcla.

7.5.8. Etapa 10

La etapa final del proceso de formulación consiste en tomar una lectura de la temperatura de la mezcla y verificar que esté dentro del rango de 37°C-47°C. El sistema captura el valor de dicha temperatura y lo muestra en el reporte generado, al presionar el botón *Final Proceso*.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

1. Se ha diseñado un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, capaz de operar sobre el proceso de formulación de la mezcla *Lavaplatos Crema*. Las variables del proceso de formulación de la mezcla que se determinaron como críticas fueron la temperatura del tanque mezclador, la temperatura y la presión de la tubería de enfriamiento, los tiempos de agitación de la mezcla, la frecuencia de giro de los motores y los tiempos de adición de los ingredientes sólidos.
2. La propuesta de automatización planteada en este documento excluye la dosificación de los polvos de la mezcla, debido a que las instalaciones de la planta no cuentan con el espacio suficiente para incorporar mecanismos dosificadores para sólidos. Se ha elegido el *software* SCADA *Ignition*, compatible con la mayoría de los controladores en el mercado, y capaz de integrar las funcionalidades de *Python* y *Java* para el desarrollo de proyectos altamente personalizados. El PLC seleccionado es de la marca SIEMENS, de la serie S7-1200.

El proceso de selección de los sensores y actuadores necesarios para el funcionamiento del sistema consideró el ambiente corrosivo y abrasivo propio de la formulación de la mezcla, por lo que se eligieron instrumentos de medición fabricados en acero inoxidable. Se decidió emplear una configuración de tres celdas de carga separadas por una distancia angular de 120° para el conocimiento de los pesos de los tanques de almacenamiento, aumentando el grado de precisión de la lectura reportada con respecto al estado actual, donde solo existe una única celda de carga. Asimismo, para la dosificación del agua, ácido sulfónico, soda cáustica y silicato de sodio, se optó por elegir un actuador neumático de pistón y una válvula neumática de solenoide. Para la medición de la temperatura del

- tanque mezclador, se seleccionó una termocupla tipo J, y un termopozo de perfil cónico, capaz de resistir a las vibraciones presentes propias del medio.
3. El SCADA diseñado permite la obtención de trazabilidad de las distintas etapas de la formulación de la mezcla, al generar reportes dinámicos y automatizados, que contienen el estado de los parámetros de operación del proceso y los responsables de efectuar modificaciones. A partir de su análisis, el departamento de Producción es capaz de establecer indicadores y tomar decisiones fundamentadas para la mejora del proceso.
 4. Dentro de las modificaciones mecánicas planteadas para el acoplamiento del sistema diseñado y el equipo actual, se decidió rediseñar los tanques de almacenamiento, al cambiar su material de fabricación de acero al carbón grado HN a acero inoxidable 304, utilizado para la manipulación de sustancias corrosivas. Además, se decidió fijar una velocidad de descarga de los líquidos en 0.30 m/s, un valor seguro recomendado para el transporte de flujos por gravedad, lo que resultó en la elección de una tubería de 3 ½" de diámetro para los cuatro fluidos en cuestión, de acero inoxidable cédula 80 para los corrosivos, y de hierro galvanizado cédula 40 para el resto.
 5. El 71% de las no conformidades (PNC) presentes en la mezcla durante el período 17-18 fueron ocasionadas por el factor de mano de obra. Dado que la propuesta planteada automatiza en un 60% el total del proceso, durante el primer año se experimentará una reducción del 43% en la totalidad del producto de no conforme. En términos de rentabilidad, el proyecto cuenta con un valor actual neto (VAN) de 574 597 USD, una tasa interna de rendimiento (TIR) del 401% y un retorno de la inversión (ROI) de 25, haciéndolo financieramente viable.
 6. Se elaboró un manual de usuario para el adecuado uso del *software* diseñado, así como un plan de mantenimiento preventivo que incluye las acciones proactivas requeridas y su frecuencia para una buena operación del sistema.

8.2. Recomendaciones

1. Se recomienda capacitar a los formuladores y operadores del equipo en la manipulación de sustancias corrosivas.
2. Capacitar a los formuladores y operadores en el transporte adecuado de los sacos de materia prima, con el fin de no comprometer su postura.
3. Se adjunta un plan de mantenimiento para el SCADA diseñado, complementario al programa de mantenimiento manejado por la empresa.
4. Colocar como parte de la documentación de la estación de trabajo, el manual de usuario para la operación del sistema.
5. Conectar la base de datos local con la responsable de la generación de las órdenes de producción, de forma que exista una mayor trazabilidad de la información.
6. Instalar una base de datos de respaldo, para que en caso de que exista alguna falla en la principal, el registro de la información no se vea comprometido.
7. Coordinar con el departamento de Informática, el mantenimiento preventivo del servidor *web*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Areny, R. P. (1994). *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona: Marcombo.
- Ashcroft. (s.f.). *Ashcroft: Eight Steps to Thermowell Selection*. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de www.ashcroft.com
- Benedict, R. (1984). *Fundamentals of temperature, pressure, and flow measurements*. Canada: John-Wiley.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F. : McGraw Hill.
- Centro Español de Metrología. (s.f.). *Procedimiento de EL-020 para la calibración de multímetro digitales con más de 5 1/2 dígitos de resolución*. Tres Cantos, Madrid: CEM.
- Córdova, R. (2017). *Modernización del sistema SCADA de la planta de producción de balanceado de la empresa GISIS. S.A.* Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- EmcoControls. (s.f.). *How to Select a Suitable Thermowell*. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de www.emcontrols.com/379/thermowell
- Fluke Corporation. (s.f.). *Electrical Calibration: Fluke Corporation*. Recuperado el 2015, de sitio web de Fluke Corporation: <http://us.flukecal.com/es/products/electrical-calibration/electrical-calibrators/calibrador-multifunci%C3%B3n-de-alto-rendimiento-5>
- García López, D. (7 de Julio de 2005). *Instrumentación y Control Industrial: Universidad de Huelva*. Recuperado el 2015, de sitio web de Universidad de Huelva: <http://www.uhu.es/diego.lopez/ICI/GPIB.pdf>
- Grupo Transmerquim. (4 de Octubre de 2018). *Hoja de datos de seguridad de soda cáustica*. Obtenido de GTM: [http://www.gtm.net/images/industrial/s/SODA%20CAUSTICA%20%20\(EN%20ESCAMAS%20O%20PERLAS\).pdf](http://www.gtm.net/images/industrial/s/SODA%20CAUSTICA%20%20(EN%20ESCAMAS%20O%20PERLAS).pdf)
- Inductive Automation. (15 de Septiembre de 2018). Obtenido de Download Ignition: <https://inductiveautomation.com/resources/training/quickstart/downloading-ignition-windows>
- Johanna, C., & Romero, D. (2011). *Tutorial Norma ISA S5.1. y Diagramas P&ID*. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Mete, M. (2014). Valor Actual Neto y Tasa de Retorno: su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Radio Vo. 7 No.7*, 52-60.

- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- National Instruments. (2013). *Hardware de visión artificial*. Recuperado el 13 de Octubre de 2015, de Sitio web de National Instruments: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/211212>
- National Instruments. (2016). *Vision: National Instruments*. Recuperado el 15 de Enero de 2016, de sitio web de National Instruments: <http://www.ni.com/vision/software/vbai/>
- Petruzella, F. (2011). *Programmable Logic Controllers*. New York: McGraw Hill.
- Potter, D. (1996). Measuring Temperature with Termocouples-A tutorial. *National Instruments Corporation*(Application Note 043).
- Rodríguez Penín, A. (2011). *Sistemas SCADA Guía Práctica*. Barcelona: Marcombo.
- Rodríguez, J. C. (22 de Enero de 2008). *Mezclado y mezcladoras*. Obtenido de CPB México: <http://www.cpbmexico.com.mx/PDF/mez4b566.pdf>
- SUMITEC. (10 de Octubre de 2018). *Acero inoxidable AISI 304/304L*. Obtenido de Suministros Técnicos S.A. : <http://www.sumiteccr.com/acero/inoxidable/AI07.pdf>
- Transmerquin, G. (12 de Septiembre de 2011). *Hoja de datos de seguridad de ácido sulfónico lineal*. Obtenido de https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/%C3%81CIDO+SULF%C3%93NICO_TRANSMERQUIM.pdf/d20eccb3-40b1-4b22-b41b-b04250ab8671?version=1.0
- Vocabulario internacional de Metrología. (2008). *Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM).3ª Edición en español*. CEM.

ANEXOS Y APÉNDICES

Anexos

A.1. Manual de usuario

La vista general del sistema SCADA se muestra en la Figura A. 1. Para iniciar con el proceso de formulación semi automático de la mezcla de *Lavaplatos Crema*, primero debe registrar su nombre en la base de datos local. Para ello, diríjase al botón *Agregar Formulador* ubicado en la sección inferior de la pantalla, y presiónelo.

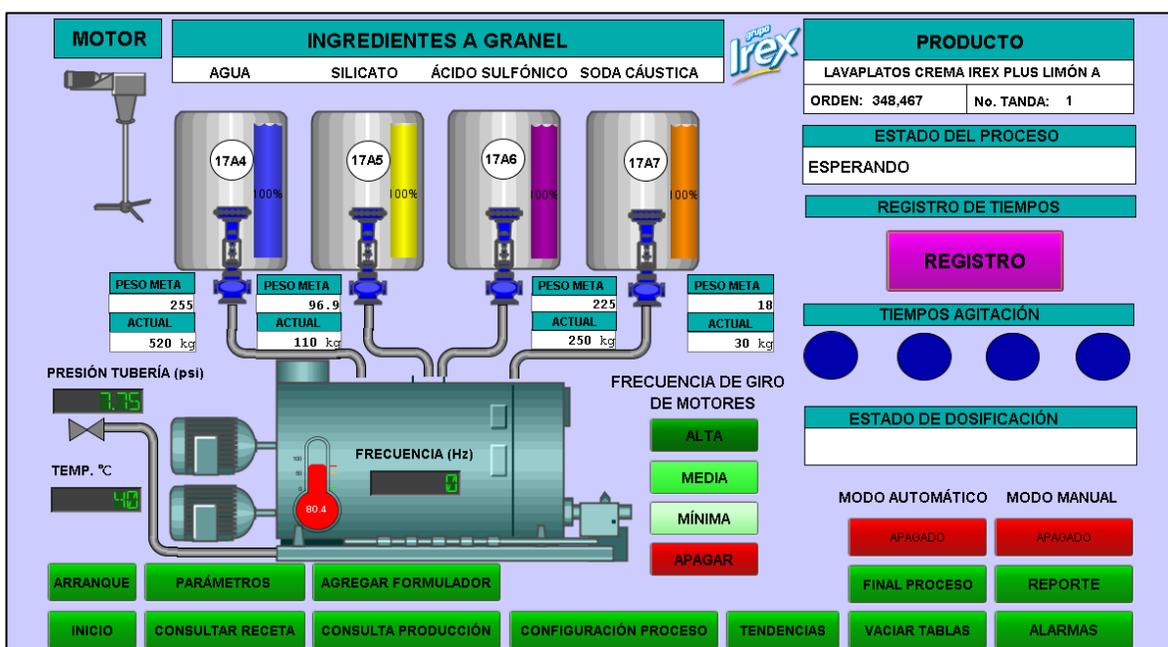


Figura A. 1. Vista general del sistema SCADA.

Al presionar el botón anterior, aparece una pantalla como la mostrada en la Figura A. 2. En caso de que su nombre no aparezca en el listado de formuladores previamente cargados, proceda a registrarse, colocando su nombre completo al lado de la etiqueta *Nombre Formulador* y presione el botón *Agregar*.

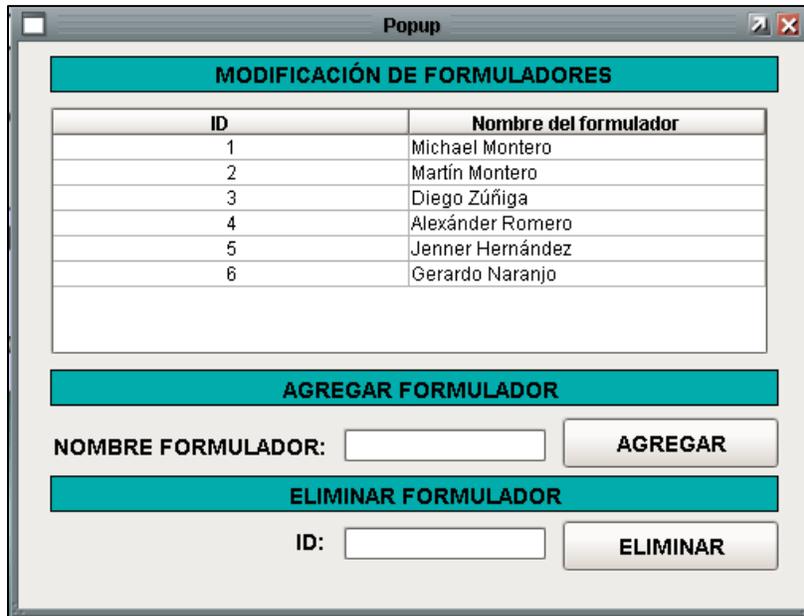


Figura A. 2. Ventana de formuladores.

Seguidamente, se le desplegará un mensaje en pantalla, como el observado en la Figura A. 3, indicándole que su nombre ha sido registrado en la base de datos actual. Si desea eliminar su nombre del listado, coloque el código ID que aparece al lado de su nombre y presione el botón *Eliminar*.

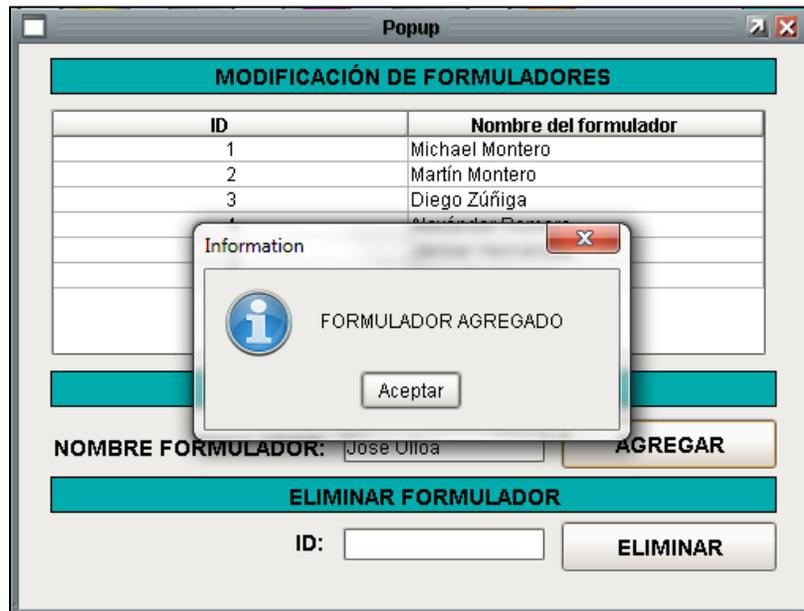


Figura A. 3. Mensaje en pantalla al agregar nuevo formulator.

Posteriormente, debe cerrar la ventana y dirigirse al botón de *Inicio*, ubicado en la sección inferior de la pantalla principal. Allí, debe seleccionar su nombre, ingresar el código de la receta de la lista activa, los números de orden de producción y tanda, y el número del tanque de formulación, tal y como se muestra en la Figura A. 4. Una vez que haya completado los pasos anteriores, presione el botón *Agregar*.



The image shows a software window titled "Popup" with a close button in the top right corner. Inside the window, there is a section titled "INICIO PROCESO" in a blue box. Below this title, there are several input fields: "FORMULADOR" is a dropdown menu showing "Michael Montero"; "LOTE GRANEL" is a text box containing "1"; "ORDEN" is a text box containing "354866"; "CÓDIGO RECETA" is a dropdown menu showing "50251"; "NÚMERO TANDA" is a text box containing "3"; and "NÚMERO TANQUE" is a text box containing "17A8". At the bottom of the form is a button labeled "AGREGAR".

Figura A. 4. Pantalla de configuración del inicio del proceso.

Después de presionar el botón anterior, el sistema despliega un mensaje como el señalado en la Figura A. 5.



Figura A. 5. Mensaje en pantalla al configurar los parámetros de inicio del proceso.

En caso de que cuente con las credenciales de seguridad otorgadas por el departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa, puede configurar los parámetros de operación del proceso, tales como las frecuencias de giro de los motores mezcladores y los tiempos de agitación. Para añadir un nuevo lote de parámetros, debe presionar el botón *Configuración Proceso* localizado en la pantalla principal. El sistema desplegará una ventana como la observada en la Figura A. 6. Debe agregar cada lote por separado, y al presionar el botón *Agregar*, el sistema le solicitará una contraseña, para completar el proceso.

The image shows a software window titled "Popup" with a light gray background and a teal header. The window is organized into four distinct sections, each with a teal header bar:

- CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA:** This section is currently empty.
- CONFIGURACIÓN DE TIEMPOS:** This section contains three rows of input fields. The first row is labeled "TIEMPO DE AGITACIÓN:" followed by a text box and the unit "MINUTOS". The second row is labeled "TIEMPO DE ADICIÓN ÉTER:" followed by a text box. The third row is labeled "TIEMPO DE ADICIÓN SILICÓN:" followed by a text box. To the right of these rows is a button labeled "AGREGAR".
- CONFIGURACIÓN DE FRECUENCIAS DE GIRO DE MOTORES:** This section contains three rows of input fields. The first row is labeled "FRECUENCIA DE GIRO ALTA:" followed by a text box and the unit "Hz". The second row is labeled "FRECUENCIA DE GIRO MEDIA:" followed by a text box and the unit "Hz". The third row is labeled "FRECUENCIA DE GIRO MÍNIMA:" followed by a text box and the unit "Hz". To the right of these rows is a button labeled "AGREGAR".
- CONFIGURACIÓN DE TOLERANCIAS DE PESO CORTE:** This section contains four rows of input fields. The first row is labeled "TOLERANCIA PESO CORTE AGUA:" followed by a text box and the unit "kg". The second row is labeled "TOLERANCIA PESO CORTE SILICATO:" followed by a text box and the unit "kg". The third row is labeled "TOLERANCIA PESO CORTE SULFÓNICO:" followed by a text box and the unit "kg". The fourth row is labeled "TOLERANCIA PESO CORTE SODA:" followed by a text box and the unit "kg". To the right of these rows is a button labeled "AGREGAR".

Figura A. 6. Pantalla de configuración de los parámetros del proceso.

Para seleccionar los lotes de parámetros de operación del proceso, debe presionar el botón *Parámetros*, situado en la pantalla principal. Inmediatamente, le aparecerá una ventana como la que se puede apreciar en la Figura A. 7. Allí, debe seleccionar por cada parámetro, el lote deseado y pulsar el botón *Seleccionar*. El sistema le indicará, a través de un mensaje, que esta acción fue completada.

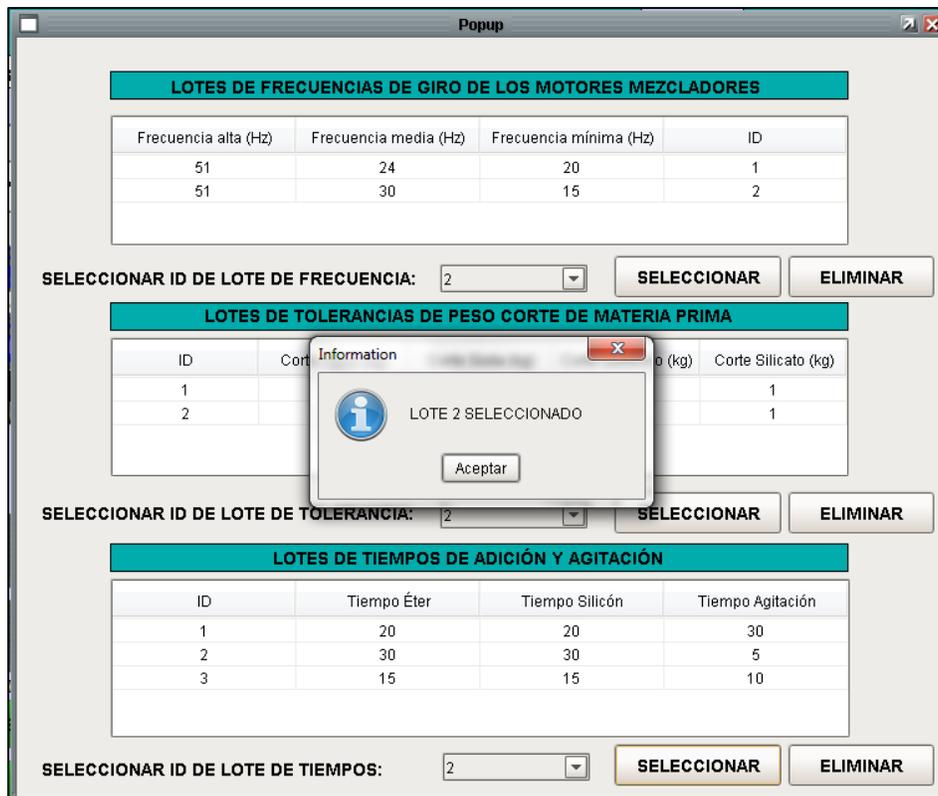


Figura A. 7. Selección de lotes de parámetros de operación del proceso.

Una vez configurados los parámetros de operación del proceso y la información relativa a la tanda de producción, debe proceder al arranque del sistema. Para ello, debe seleccionar el modo de operación del sistema: *Automático* o *Manual*. Si selecciona los dos modos, el sistema le indicará que dicha acción no se puede concretar, como se aprecia en la Figura A. 8.

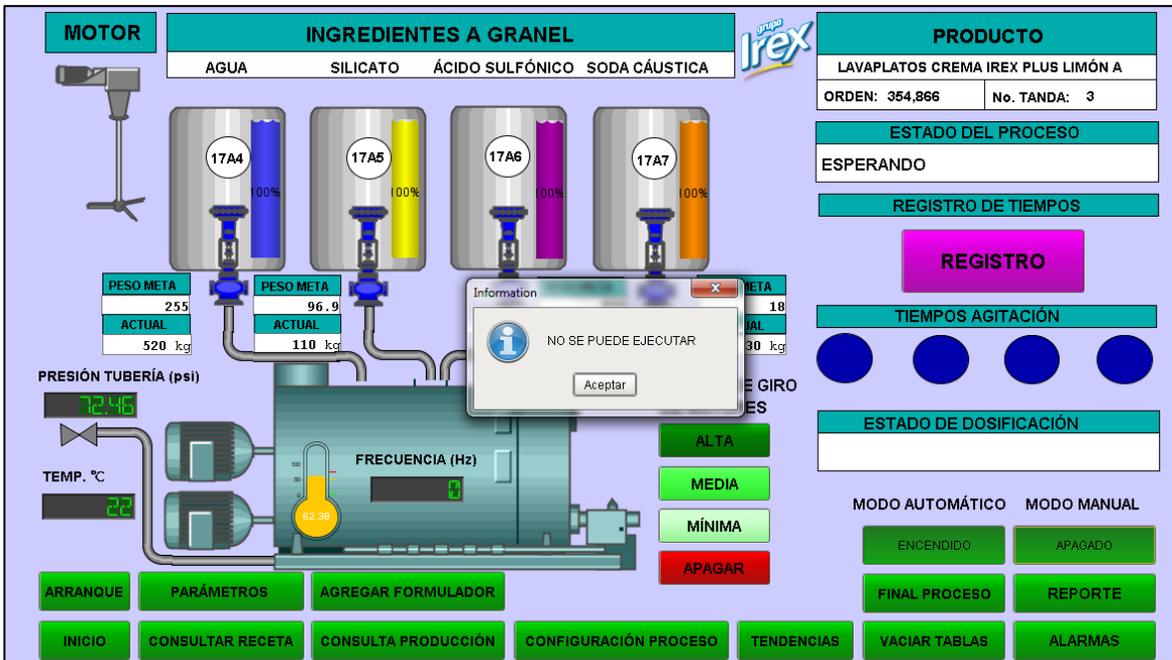


Figura A. 8. Error en pantalla al seleccionar los dos modos de operación del sistema.

Si, por el contrario, no ha seleccionado ningún modo de operación y presiona el botón de *Arranque*, el sistema le informará de su omisión, tal y como se observa en la Figura A. 9.

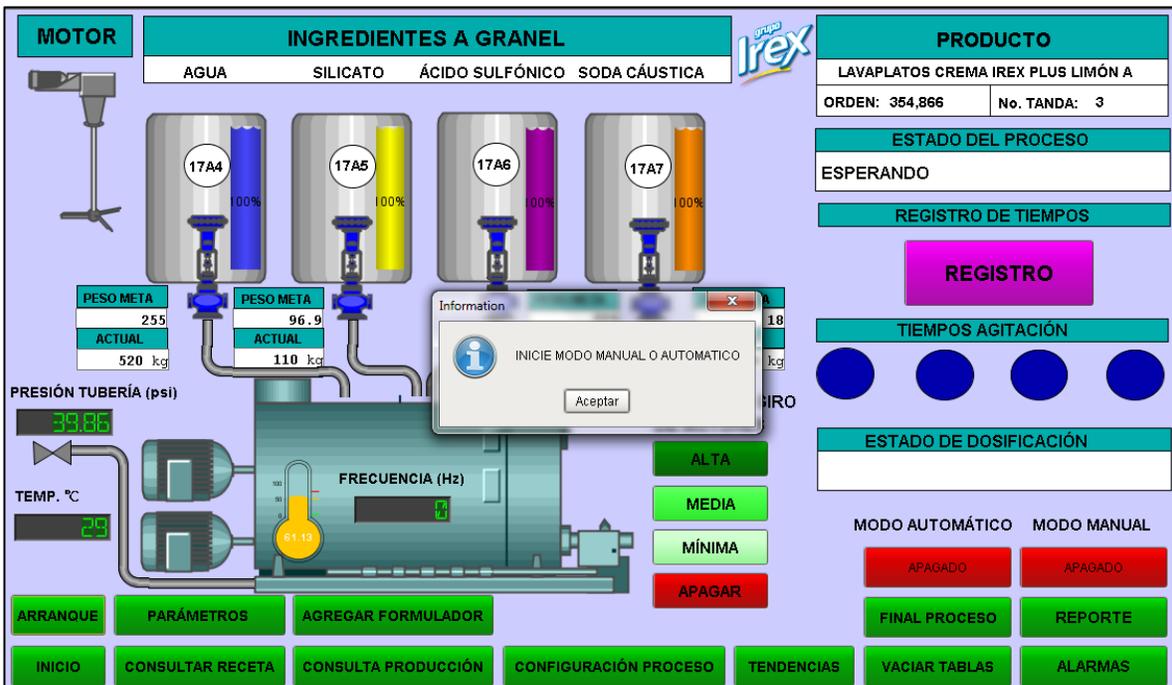


Figura A. 9. Advertencia en pantalla al no seleccionar algún modo de operación.

En caso de haber seleccionado el modo de operación *Automático*, para iniciar el proceso, debe presionar el botón de *Arranque*. No podrá modificar la frecuencia de giro de los motores mezcladores, ni activar o desactivar las electroválvulas de descarga, al operar bajo este modo. En caso de modificar la frecuencia de giro de los mezcladores, el sistema le solicitará que indique el motivo de dicho cambio, como se observa en la Figura A. 10. Debe pulsar el botón *Agregar* para realizar de forma efectiva el cambio en la frecuencia de giro.

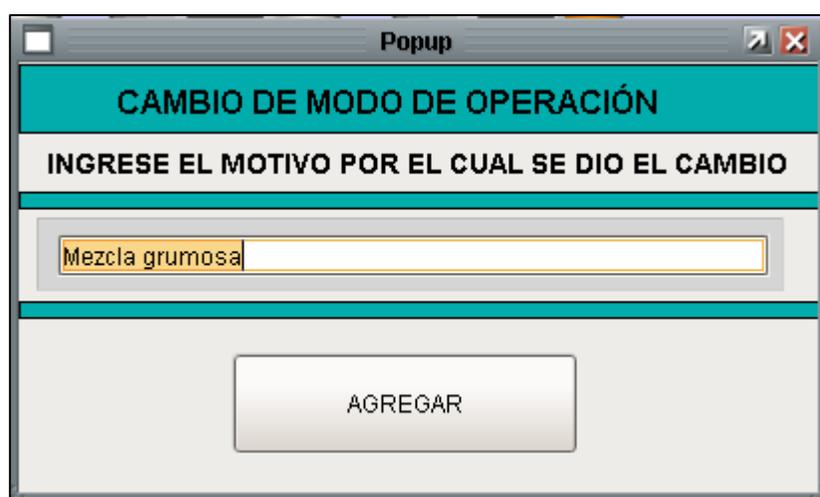


Figura A. 10. Pantalla de cambio de frecuencia de giro de motores mezcladores.

Una vez iniciado el modo *Automático*, el sistema le irá indicando el estado actual del proceso, en el cuadro de texto del mismo nombre, así como el estado de dosificación del agua, ácido sulfónico, soda cáustica y silicato de sodio. Por ejemplo, si la etiqueta del proceso se actualiza con la leyenda *Agregando carbonato de calcio*, el sistema le recuerda que en esta etapa del proceso debe efectuar la adición de este polvo al tanque mezclador. Además, el color del botón *Registro* pasa a ser verde intermitente, con el fin de indicarle que, una vez que haya culminado con la tarea indicada en la etiqueta *Estado del proceso*, debe presionar el botón para registrar el tiempo tardado en completar la acción, como se observa en la Figura A. 11.

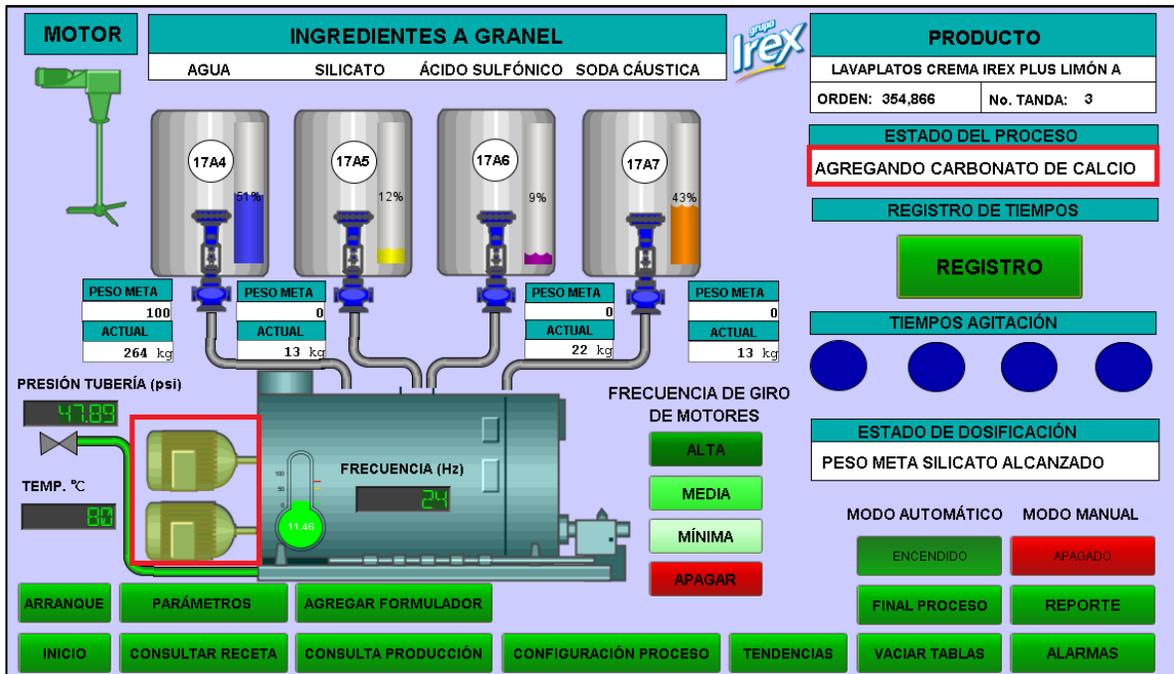


Figura A. 11. Etiqueta de Estado actual del proceso.

En caso de que la mezcla se encuentre agitando, el sistema, mediante la actualización de la etiqueta anterior a *Agitando mezcla* y un parpadeo de color verde en alguna de las cuatro luces ubicadas por debajo de la sección llamada *Tiempos agitación*, le indica que ha iniciado alguno de los períodos de agitación de la mezcla, como se muestra en la Figura A. 12.

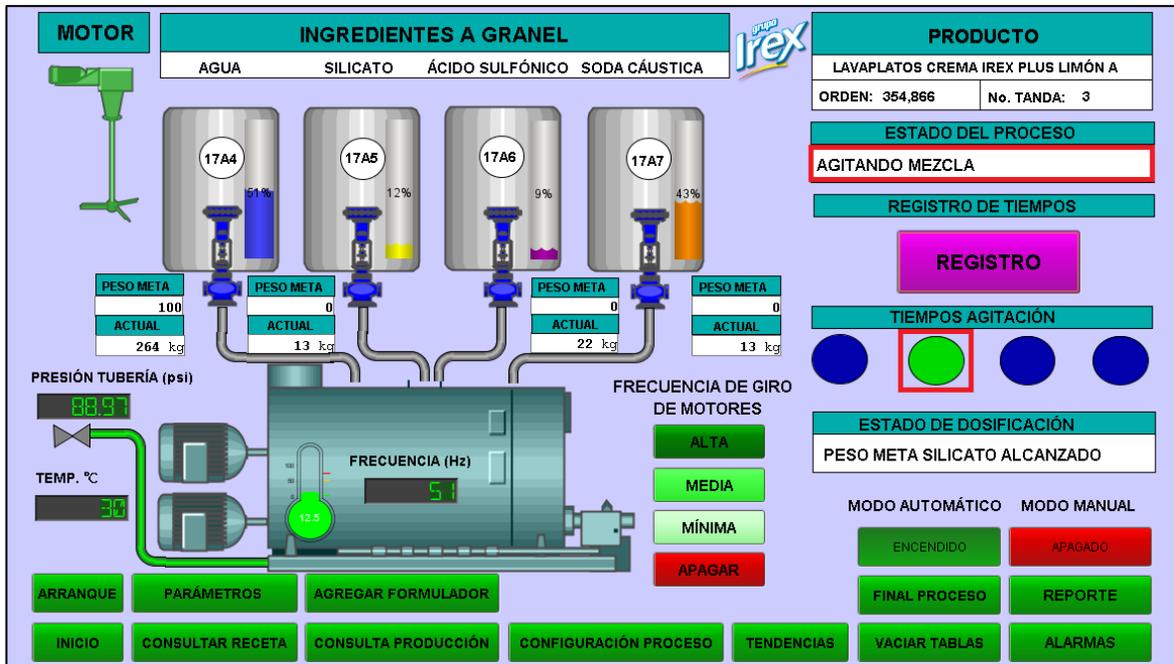


Figura A. 12. Estado de agitación de la mezcla.

El sistema le otorga la posibilidad de realizar un cambio de modo de operación *Automático* a *Manual* en pleno desarrollo del proceso. Para ello, debe justificar su decisión, de forma análoga al cambio en la frecuencia de giro (Ver Figura A. 10). En el modo *Manual*, puede activar y desactivar las electroválvulas de descarga de la materia prima (presionando el símbolo en pantalla), al igual que realizar cambios en las frecuencias de giro de los motores, sin la necesidad de justificar sus motivos. La Figura A. 13 muestra la ventana de activación y desactivación manual de las electroválvulas de descarga.

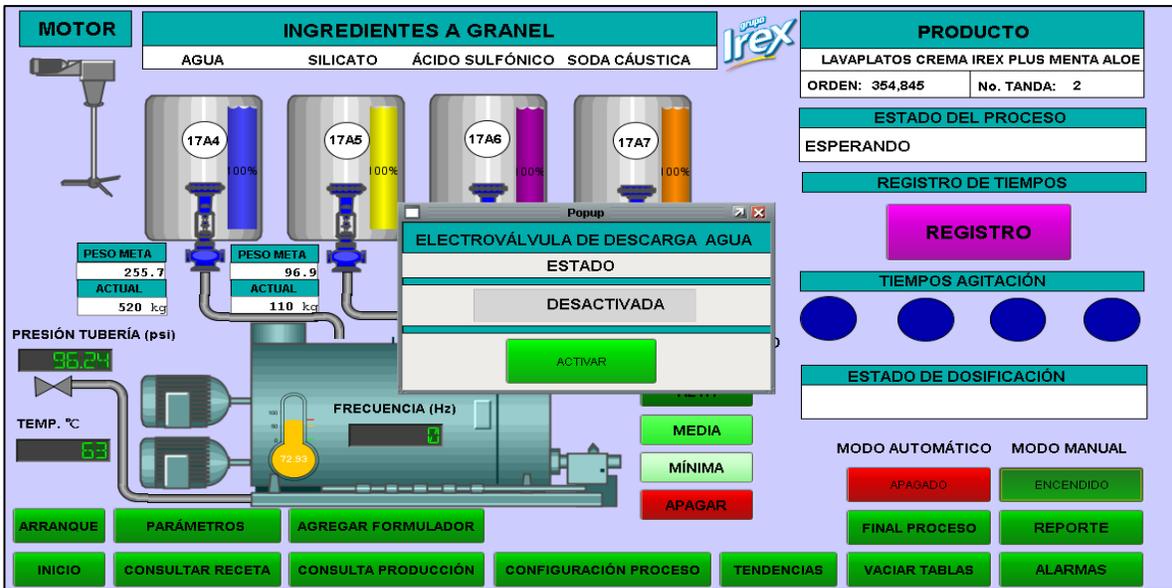


Figura A. 13. Control manual de electroválvulas.

Si desea observar las tendencias históricas de las temperaturas del tanque mezclador y de la tubería de enfriamiento, debe presionar el botón *Tendencias*, y se desplegará la pantalla contenida en la Figura A. 14.

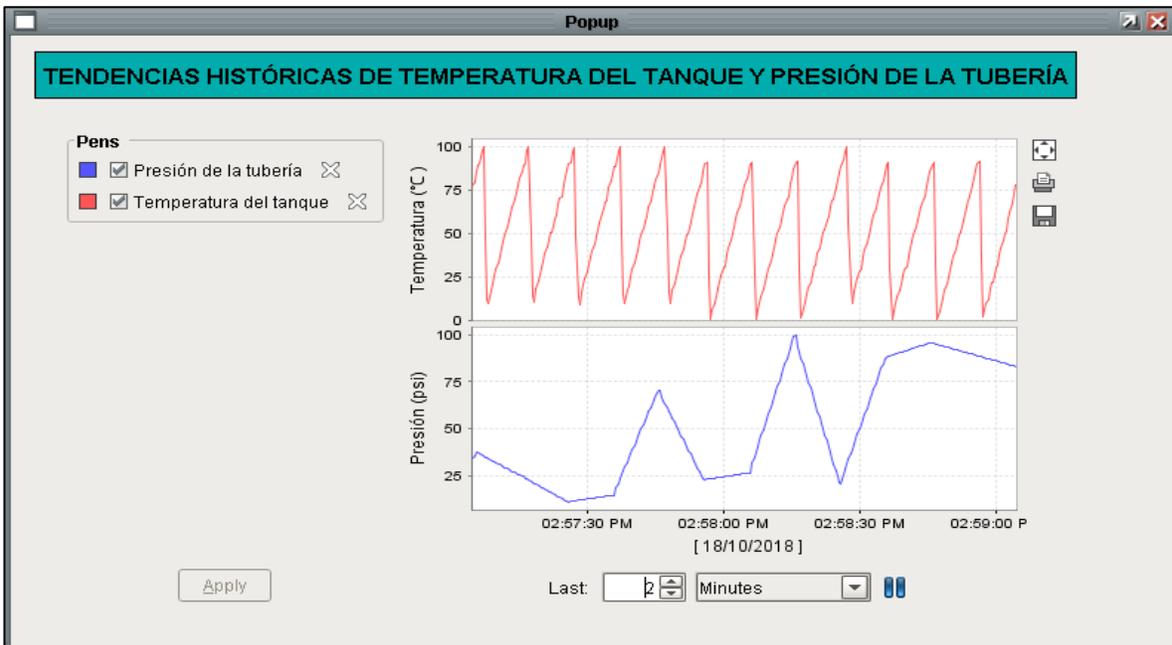


Figura A. 14. Tendencias históricas de las temperaturas del tanque mezclador y la tubería de enfriamiento.

La generación del reporte de producción se da al presionar el botón *Final Proceso*. Una vez presionado, se desactivan los actuadores antes activos, y se genera de forma automática el reporte de formulación, mostrado en la Figura A. 15.

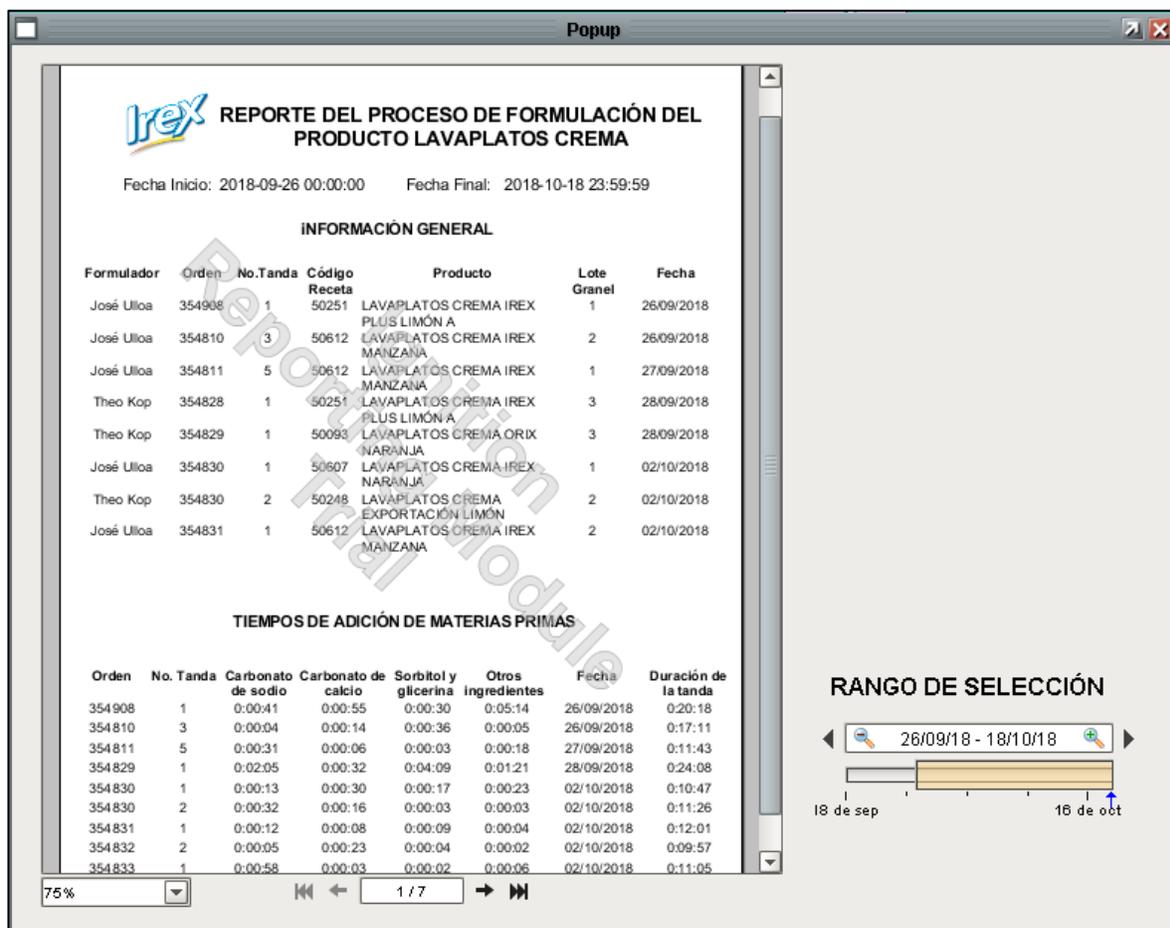


Figura A. 15. Generación de reporte de producción.



Programa Mantenimiento Preventivo

Realizado por: José Daniel Ulloa Sanabria.

Fecha: 30-10-2018 Versión 1.1

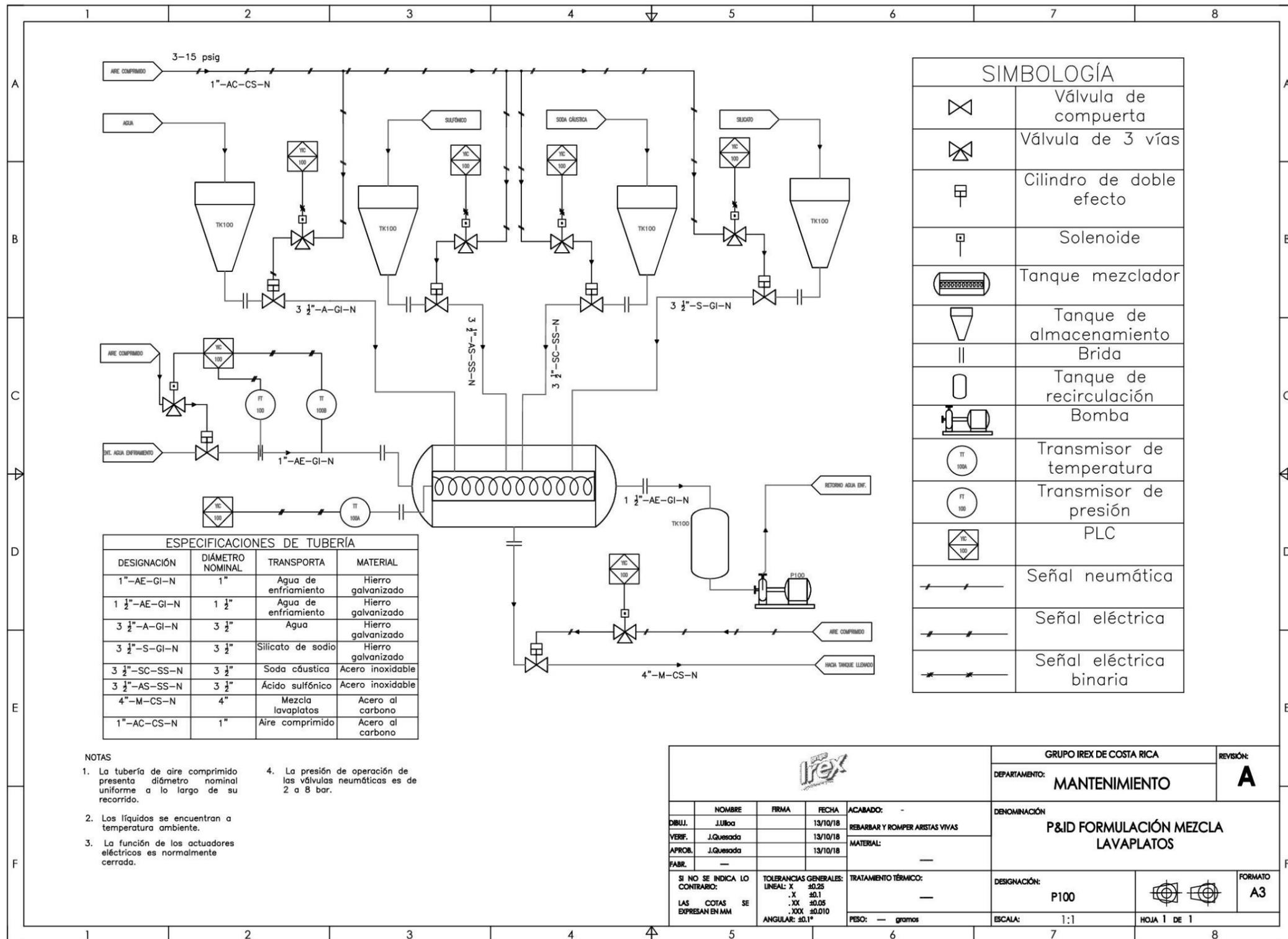
SISTEMA	SCADA Proceso Formulación de mezcla Lavaplatos
Subsistema	

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS	CONSECUENCIAS	
1 Controlar la frecuencia de giros de los motores mezcladores y los tiempos de agitación de la mezcla, según la receta programada.	1 El sistema controla la frecuencia de giro de los motores, pero no el tiempo de agitación de la mezcla.	1 Desbordamiento de bits en el temporizador del controlador.	El temporizador no es reiniciado.	Operacional: El control de tiempos de agitación debe llevarse mediante un cronómetro, facilitando su alteración por parte del formulador. Pérdida de registros del tiempo en la generación del reporte final.	
		2 Falla en la memoria del controlador.	No se inicia período de conteo.		
		3 Existencia de problemas en el reloj interno del CPU del controlador.	Alteración en la frecuencia de ciclo de las instrucciones.		
	2 El sistema controla los tiempos de agitación de la mezcla, pero no la frecuencia de giro de los motores.	1 Existencia de sobretensiones y picos de voltaje durante el funcionamiento de los motores.	1 Existencia de sobretensiones y picos de voltaje durante el funcionamiento de los motores.	Activación de las alarmas de las de sobrepicos de tensión del variador de frecuencia.	Operacional: El control de la frecuencia de giro de los motores se lleva a cabo de forma manual. Pérdida de registros de la frecuencia de giro en la generación del reporte final.
			2 Presencia de sobretensión externa en los bornes del motor.	Sobrecalentamiento del variador de frecuencia.	
			3 Falla en la memoria del variador de frecuencia.	Los parámetros de operación fueron borrados.	
	3 El sistema no controla ni la frecuencia de giro de los motores ni los tiempos de agitación de la mezcla.	1 Presencia de luz roja en el indicador RUN del PLC.	1 Presencia de luz roja en el indicador RUN del PLC.	Detención del flujo normal del programa del controlador.	Operacional: El control de la frecuencia de giro de los motores y de los tiempos de agitación se lleva a cabo de forma manual, facilitando la alteración de estos parámetros por parte del formulador.
			2 Fallo en el bus interno de comunicaciones y la interfase de la periferia distribuida del PLC.	El controlador no es capaz de leer las entradas del sistema ni de actuar sobre las salidas.	
			3 Error en fuente de alimentación.	Desenergización de los módulos del PLC.	
2 Dosificar de manera automática las cantidades de agua, soda cáustica, ácido sulfónico y silicato, establecidas en la receta dentro del rango de tolerancia programado por el usuario.	1 No se da del todo la dosificación automática.	1 Existe un daño completo en el sistema de aire comprimido.	Se imposibilita la actuación del actuador neumático.	Operacional: La dosificación debe llevarse a cabo de forma manual.	
		2 Presencia de fugas en la tubería de aire comprimido.	Se imposibilita la actuación del actuador neumático, al no llegar la presión suficiente para la apertura/cierre del paso de flujo.		
		3 La señal eléctrica de la activación de la válvula solenoide no se genera.	Se imposibilita la apertura del sobre de la válvula solenoide y, por ende, el paso del flujo de aire al actuador neumático.		
	2 La dosificación ocurre, pero no corresponde a la receta programada.	1 Existencia de fallos en la base de datos de la receta.	1 Existencia de fallos en la base de datos de la receta.	Se da la transferencia de datos de manera incorrecta al controlador.	Operacional: La dosificación debe llevarse a cabo de forma manual.
			2 Problemas en la transferencia de datos vía Ethernet desde la base de datos hasta el OPC.	Se da la transferencia de información de manera desfasada.	
			3 El servidor web se encuentra caído.	No se establece conexión entre el servidor y el OPC.	
	3 La dosificación ocurre, corresponde a la receta programada, pero el rango de tolerancia de corte no es el programado.	1 Existencia de fallos en los grupos de transacción de parámetros de la receta.	1 Existencia de fallos en los grupos de transacción de parámetros de la receta.	Los parámetros de operación del proceso no son transferidos correctamente al OPC.	Operacional: Alteraciones en el proceso de formulación de la mezcla.
			2 Problemas en la calibración de las celdas de carga.	La lectura de las celdas de carga no corresponde al peso real de la materia prima.	
			3 Existencia de fallos en el indicador de peso.	Las tolerancias programadas no se cumplen.	
3 Generar reportes del estado de los parámetros del proceso de formulación de la mezcla Lavaplatos Crema, de forma diaria a las 6:00 p.m., en una base de datos local.	1 No se da del todo la generación del reporte.	1 Existencia de fallos en el proveedor de la conexión de Internet.	No existe una conexión sostenida a Internet.	Operacional: Desconocimiento total de los parámetros de operación del proceso de formulación de la mezcla.	
		2 Presencia de problemas en el servidor web.	El cliente no puede visualizar ni controlar el proceso.		
		3 Existen problemas de conexión con la base de datos local.	No es posible transferir la información almacenada en la base datos.		
	2 La generación del reporte es incompleta, pero se entrega a la hora programada.	1 Existencia de fallos en el proveedor de la conexión de Internet.	1 Existencia de fallos en el proveedor de la conexión de Internet.	No existe una conexión sostenida a Internet.	Operacional: Desconocimiento parcial de los parámetros de operación del proceso de formulación de la mezcla.
			2 Problemas de sobrescritura en las columnas de la base de datos local.	Imposibilidad de almacenar información adicional en la base de datos.	
			3 Existen problemas de conexión con la base de datos local.	No es posible transferir la información almacenada en la base datos.	
	3 La generación del reporte es completa, pero no se entrega a la hora programada.	1 Existencia de fallos en el proveedor de la conexión de Internet.	1 Existencia de fallos en el proveedor de la conexión de Internet.	El sistema SCADA presenta caídas constantes.	Operacional: Imposibilidad de levantar indicadores de formulación diarios a la hora planteada.
			2 Problemas en la conexión del puerto 8088 del cliente.	El cliente no es capaz de recibir datos por parte del servidor.	
			3 Existen problemas de conexión con la base de datos local.	No es posible transferir la información almacenada en la base datos.	

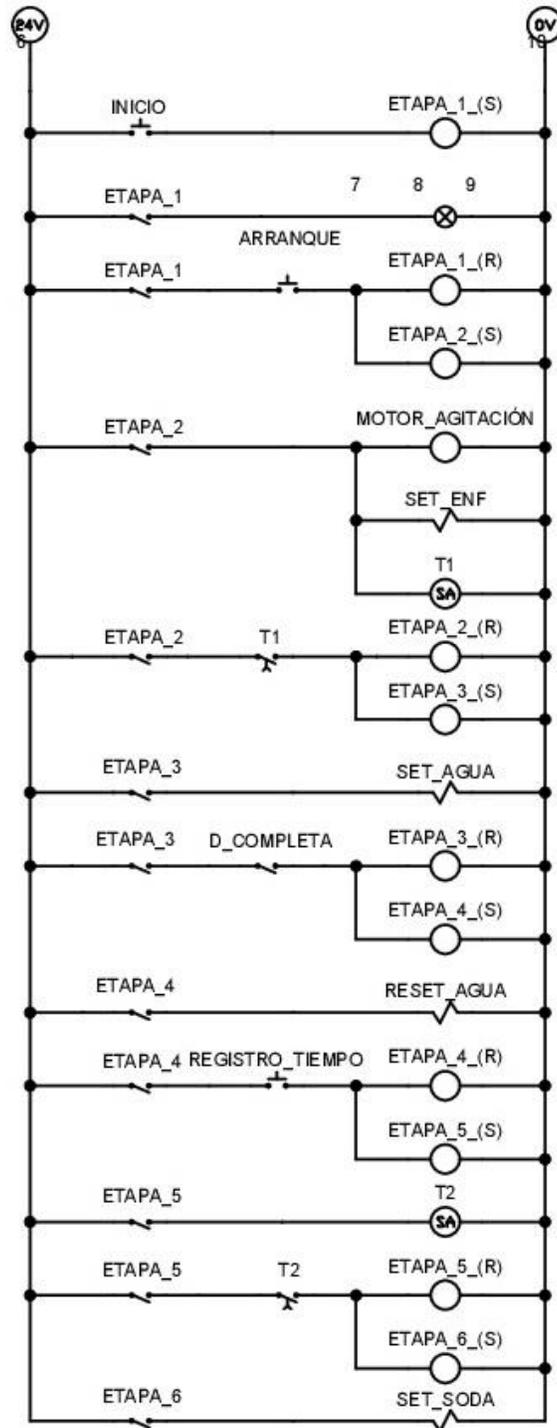
A.2. Programa de mantenimiento preventivo

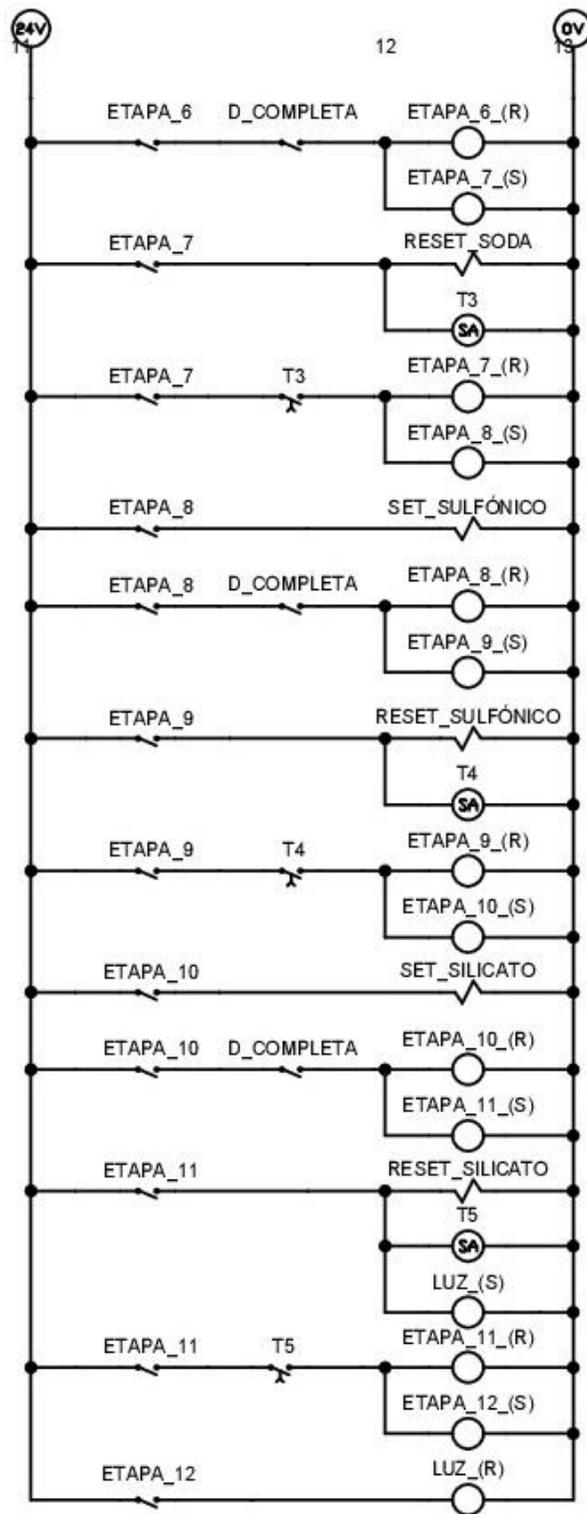
SISTEMA		Subsistema		Frecuencia						Tiempo estimado tarea		Mano Obra requerida y costo estimado con cargas sociales				
				Semanal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual	Minutos	Horas	Mecánico		Electrónica		
# Consecutivo	Acción proactiva	52	12	6	4	2	1			Cantidad	Costo/hora	Total	Cantidad	Costo/hora	Total	
111	Ejecutar las herramientas de diagnóstico de fallas de memoria incorporadas en el software del controlador.					X		120	2				1	3321.46	13285.84	
112	Ejecutar las herramientas de diagnóstico de fallas de memoria incorporadas en el software del controlador.					X		120	2				1	3321.46	13285.84	
113	Se realiza en conjunto con la acción proactiva del consecutivo 112.															
121	Aumentar el tiempo de desaceleración y revisar los parámetros de resistencia y watts de frenado dinámico del variador de frecuencia.					X		60	1				1	3321.46	6642.92	
122	Determinar y localizar la fuente de radiaciones externas y ventilar el área.			X				60	1				1	3321.46	19928.76	
123	Resetear la memoria EEPROM del variador de frecuencia. Posteriormente, configurar de nuevo los parámetros de operación.					X		60	1				1	3321.46	6642.92	
131	Revisar las herramientas de diagnóstico del controlador.					X		60	1				1	3321.46	6642.92	
132	Se realiza en conjunto con la acción proactiva del consecutivo 131															
133	Realizar mediciones de la tensión de alimentación del controlador y de los distintos módulos de entradas/salidas y de comunicación.			X				60	1				1	3321.46	19928.76	
211	Revisar la presión de salida de la tubería de aire comprimido.	X						30	0.5	1	3321.46	86357.96				
212	Se realiza en conjunto con la acción proactiva del consecutivo 211.															
213	Realizar mediciones de la tensión de salida del controlador.			X				30	0.5				1	3321.46	1660.73	
221	Acceder a la página del servidor web y revisar el estado de la conexión de los grupos de transacción. Reiniciar servidor.				X			30	0.5				1	3321.46	1660.73	
222	Se realiza en conjunto con acción proactiva para consecutivo 211.															
223	Desconexión del servidor, limpieza externa e interna del hardware con spray de protección para placas con circuitos electrónicos. De ser necesario realizar mejoras de hardware como añadir o cambiar placas de memoria RAM. Actualización del sistema de software con la última versión de Linux Server. Ejecución de un antivirus de manera Live. Reconectar el servidor. Verificar temperatura del sitio donde se encuentre para evitar sobrecalentamientos. Si se presentan problemas en el decoding o en alguna otra función, reparar servidor.				X			120	2				1	3321.46	6442.92	
231	Se realiza en conjunto con la acción proactiva del consecutivo 221.															
232	Calibrar celdas de carga contra muestra patrón.		X					60	1	1	3221.46	3221.46				
233	Contactar proveedor (Romanas Azzokkar S.A.).		X					30	0.5				1	3321.46	19928.76	
311	Comprobar el ancho de banda ofrecido por el proveedor de Internet. En caso de presentarse un cuello de botella, determinar cuáles equipos están ocupando el ancho asignado al sistema de comunicación y liberar este espacio.		X					15	0.25				1	3321.46	9964.38	
312	Acceder a la página del servidor web y revisar su estado. Reiniciar servidor.				X			30	0.5				1	3221.46	6442.92	
313	Revisar el estado de conexión de la base de datos en el servidor web. Reiniciar.				X			90	1.5	1	3321.46	19928.76				
321	Se realiza en conjunto con la acción proactiva del consecutivo 311.															
322	Liberar espacio en base de datos y trasladar información a las bases de datos históricas de la empresa.						X	120	2				1	3321.46	6642.92	
323	Se realiza en conjunto con acción proactiva para consecutivo 313															
331	Revisar la configuración del router y la velocidad de descarga de Internet.		X					30	0.5				1	3321.46	19928.76	
332	Solicitar los permisos correspondientes al departamento de IT para activar el puerto 8088.				X			60	1				1	3321.46	13285.84	
333	Se realiza en conjunto con la acción proactiva del consecutivo 313.															
											Subtotal	€109.508			€172.316	
											Total Anual		€281.824			

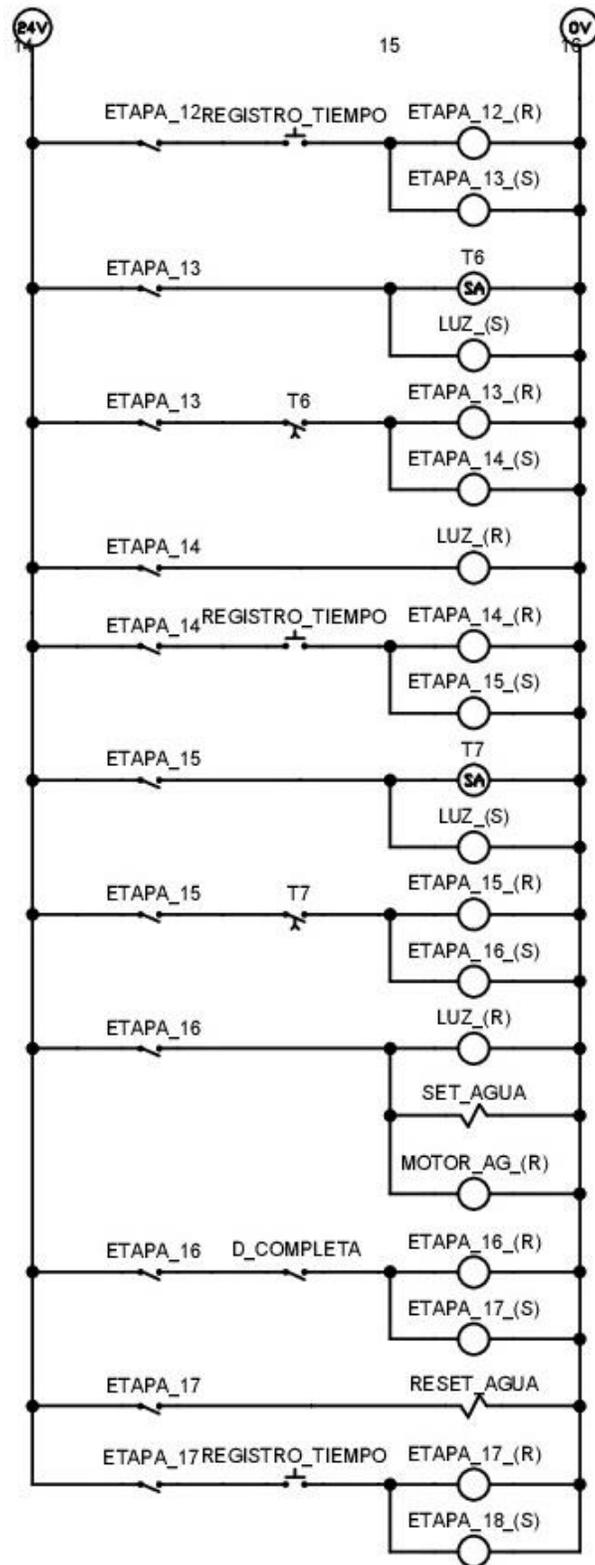
A.3. Diagrama de instrumentación P&ID

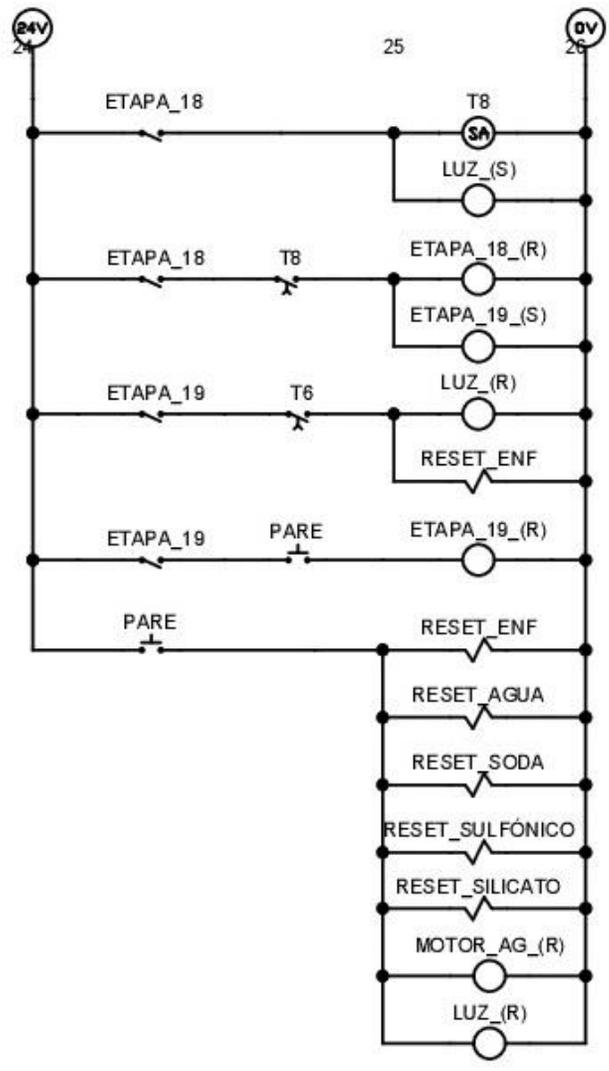


A.4. Diagrama escalera del programa









Apéndices

A.1. Hoja de datos del CPU 1214c AC/DC/RIy

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, compact CPU, AC/DC/relay,
onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO relay 2 A; 2 AI 0-10 V DC, Power
supply: AC 85-264 V AC at 47-63 Hz, Program/data memory 100 KB



General information	
Product type designation	CPU 1214C AC/DC/relay
Firmware version	V4.2
Engineering with	
• Programming package	STEP 7 V14 or higher
Supply voltage	
Rated value (AC)	
• 120 V AC	Yes
• 230 V AC	Yes
permissible range, lower limit (AC)	85 V
permissible range, upper limit (AC)	264 V

Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Encoder supply	
24 V encoder supply	
• 24 V	20.4 to 28.8V
Power loss	
Power loss, typ.	14 W
Memory	
Work memory	
• integrated	100 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	4 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card
Backup	
• present	Yes
• maintenance-free	Yes
• without battery	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.08 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction
CPU-blocks	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
• Number, max.	Limited only by RAM for code
Data areas and their retentivity	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
• Number, max.	8 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
• per priority class, max.	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB
Address area	
Process image	
• Inputs, adjustable	1 kbyte

• Outputs, adjustable	1 kbyte
Hardware configuration	
Number of modules per system, max.	3 comm. modules, 1 signal board, 8 signal modules
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Backup time	480 h; Typical
• Deviation per day, max.	±60 s/month at 25 °C
Digital inputs	
Number of digital inputs	14; Integrated
• of which inputs usable for technological functions	6; HSC (High Speed Counting)
Source/sink input	Yes
Number of simultaneously controllable inputs	
all mounting positions	
— up to 40 °C, max.	14
Input voltage	
• Rated value (DC)	24 V
• for signal "0"	5 V DC at 1 mA
• for signal "1"	15 V DC at 2.5 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
for standard inputs	
— parameterizable	0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
— at "0" to "1", min.	0.2 ms
— at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
— parameterizable	Yes
for technological functions	
— parameterizable	Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz
Cable length	
• shielded, max.	500 m; 50 m for technological functions
• unshielded, max.	300 m; For technological functions: No
Digital outputs	
Number of digital outputs	10; Relays
Switching capacity of the outputs	
• with resistive load, max.	2 A
• on lamp load, max.	30 W with DC, 200 W with AC
Output delay with resistive load	
• "0" to "1", max.	10 ms; max.

• "1" to "0", max.	10 ms; max.
Relay outputs	
• Number of operating cycles, max.	mechanically 10 million, at rated load voltage 100 000
Cable length	
• shielded, max.	500 m
• unshielded, max.	150 m
Analog inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
• Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
Cable length	
• shielded, max.	100 m; twisted and shielded
Analog outputs	
Number of analog outputs	0
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μs
Encoder	
Connectable encoders	
• 2-wire sensor	Yes
Encoder	
Connectable encoders	
• 2-wire sensor	Yes
1. Interface	
Interface type	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
automatic detection of transmission rate	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
Interface types	
• Number of ports	1
• integrated switch	No
Protocols	
• PROFINET IO Controller	Yes
• PROFINET IO Device	Yes
• SIMATIC communication	Yes

• Open IE communication	Yes
• Web server	Yes
• Media redundancy	No
PROFINET IO Controller	
• Transmission rate, max.	100 Mbit/s
Services	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes
— Isochronous mode	No
— Open IE communication	Yes
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFINergy	No
— Prioritized startup	Yes
— Number of IO devices with prioritized startup, max.	16
— Number of connectable IO Devices, max.	16
— Number of connectable IO Devices for RT, max.	16
— of which in line, max.	16
— Activation/deactivation of IO Devices	Yes
— Number of IO Devices that can be simultaneously activated/deactivated, max.	8
— Updating time	The minimum value of the update time also depends on the communication component set for PROFINET IO, on the number of IO devices and the quantity of configured user data.
PROFINET IO Device	
Services	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes
— Isochronous mode	No
— Open IE communication	Yes
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFINergy	Yes
— Shared device	Yes
— Number of IO Controllers with shared device, max.	2
Protocols	
Supports protocol for PROFINET IO	Yes

A.2. Interfaz HMI



SIMATIC HMI, KTP700 BASIC, BASIC PANEL,
MANDO POR TECLAS/TACTIL,
PANTALLA TFT 7" , 65536 COLORS,
INTERFAZ PROFINET,
CONFIGURABLE CON DESDE WINCC BASIC V13/ STEP7
BASIC V13,
CONTIENE SW OPEN SOURCE QUE SE CEDE
GRATUITAMENTE VER EN EL CD ADJUNTO

Display	
Tipo de display	Pantalla TFT panorámica, retroiluminación LED
Diagonal de pantalla	7 in
Achura del display	154,1 mm
Altura del display	85,9 mm
Nº de colores	65536
Resolución (píxeles)	
Resolución de imagen horizontal	800
Resolución de imagen vertical	480
Retroiluminación	
MTBF de la retroiluminación (con 25 °C)	20000 h
Retroiluminación variable	Sí
Elementos de mando	
Teclado	
Nº de teclas de función	8
Teclas con LED	No
Teclas del sistema	No
Teclado numérico/alfanumérico	
Teclado numérico	Sí ; Teclado en pantalla

Teclado alfanumérico	Sí ; Teclado en pantalla
Manejo táctil	
Como pantalla táctil	Sí
Diseño/montaje	
Montaje vertical (formato retrato) posible	Sí
Montaje horizontal (formato apaisado) posible	Sí
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	24 V DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	230 mA
Intensidad transitoria de cierre A ² s	0,2 A ² s
Potencia	
Consumo, típ.	5,5 W
Procesador	
Tipo de procesador	
X86	No
ARM	Sí
Memoria	
Flash	Sí
RAM	Sí
Memoria de usuario	10 Mbyte
Tipo de salida	
Acústica	
Zumbador	Sí
Altavoz	No
Hora	
Reloj	
Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí
Reloj por software	Sí
Respaldado	Sí
Sincronizable	Sí
Interfaces	
N.º de interfaces RS 485	0
N.º de interfaces USB	1 ; hasta máx. 16 GB
Número de slot para tarjetas SD	0

Nº de interfaces paralelas	0
Nº de interfaces 20 mA (TTY)	0
N.º de interfaces RS 232	0
Nº de interfaces RS 422	0
N.º de otras interfaces	0
Con interfaces a SW	No
Industrial Ethernet	
N.º de interfaces Industrial Ethernet	1
LED de estado Industrial Ethernet	2
Informes (logs)	
PROFINET	Sí
PROFINET IO	No
IRT, función soportada	No
PROFIBUS	No
MPI	No
Protocolos (Ethernet)	
TCP/IP	Sí
DHCP	Sí
SNMP	Sí
DCP	Sí
LLDP	Sí
Propiedades WEB	
HTTP	No
HTML	No
Otros protocolos	
CAN	No
MODBUS	Sí ; Modicon (MODBUS TCP/IP)
Soporta protocolo para EtherNet/IP	Sí
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Avisos de diagnósticos	
Se puede leer la información de diagnóstico	No
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase A)	Sí
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	No
Grado de protección y clase de protección	
IP (frontal)	65

Envolvente tipo 4 en el frente	Sí
Enclosure Type 4x en el frente	Sí
IP (lado posterior)	20
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
Homologación KC	Sí
cULus	Sí
RCM (anterior C-TICK)	Sí
Uso en atmósfera potencialmente explosiva	
ATEX zona 2	No
ATEX zona 22	No
cULus Class I zona 1	No
cULus Class I zona 2, división 2	No
FM Class I división 2	No
Condiciones ambientales	
Máx. ángulo de inclinación permitido sin ventilación externa	35 °
Temperatura de empleo	
En servicio (montaje vertical)	
En posición de montaje vertical, mínima	0 °C
En posición de montaje vertical, máxima	50 °C
En servicio (máx. ángulo de inclinación)	
Con ángulo máx. de inclinación, mínima	0 °C
Con ángulo máx. de inclinación, máxima	40 °C
En servicio (montaje vertical, formato retrato)	
En posición de montaje vertical, mínima	0 °C
En posición de montaje vertical, máxima	40 °C
En servicio (máx. ángulo de inclinación, formato retrato)	
Con ángulo máx. de inclinación, mínima	0 °C
Con ángulo máx. de inclinación, máxima	35 °C
Temperatura de almacenaje/transporte	
mín.	-20 °C
máx.	60 °C
Humedad relativa del aire	
En servicio máx.	90 %
Sistemas operativos	
Windows CE	No
propietarios	Sí
Ejecutable para sistema operativo de configuración	

A.3. Hoja de datos para celda de carga



Dimensions

Picture is a representation of actual product

Rated Capacity	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	M	N
kg/mm												
5-500	120.0	40.0	23.0	32.0	20.5	45.5	10.0	82.0	18.0	20.0	20.0	8.20
lb/in												
11.0-1,102.3	4.72	1.61	0.91	1.26	0.81	1.79	0.39	3.23	0.71	0.79	0.79	0.32

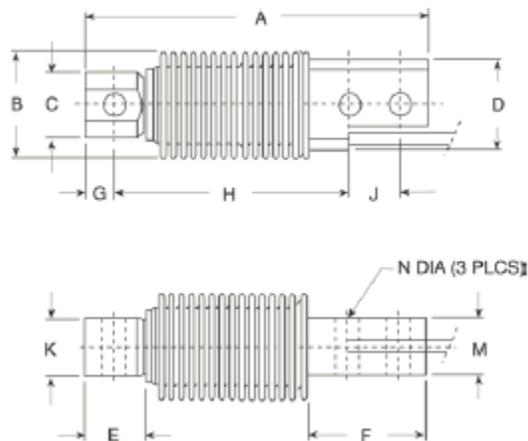
Order Information

Load Rating	Part #	Est. Weight	Price
OIML			
5 kg	32678	2 lb	Consult
10 kg	32677	2 lb	Consult
20 kg	31259	2 lb	Consult
50 kg	31260	2 lb	Consult
100 kg	31261	2 lb	Consult
200 kg	31262	2 lb	Consult
250 kg	31263	2 lb	Consult
500 kg	36462	2 lb	Consult
NTEP Certified			
5 kg	36462	2 lb	Consult
10 kg	41114	2 lb	Consult
20 kg	41115	2 lb	Consult
50 kg	41116	2 lb	Consult
100 kg	41117	2 lb	Consult
200 kg	41118	2 lb	Consult
250 kg	41119	2 lb	Consult
500 kg	41120	2 lb	Consult

* Non-NTEP Certified

** Non-NTEP Certified, not FM approved

*** Not interchangeable with 500 kg



Specifications

Full Scale Output:

2.0 mV/V

Output Resistance:

355 (± 5) ohms

Input Resistance:

380 (± 10) ohms

Material/Finish:

Stainless steel

Temperature:

Compensated range
14° F to 104° F/-10° C to 40° C

Operating range
-40° F to 150° F/-40° C to 65° C

Safe Overload:

150% full scale

Rated Excitation:

5-10VDC (15V maximum)

Total Error:

0.02% full scale

Insulation Resistance:

2,000 megohms

Deflection at Capacity:

5 kg-500 kg=0.4 mm (0.015 in)

Seal Type:

Hermetically sealed, IP68

Cable Color Code:

Blue+ Excitation

Black- Excitation

White+ Signal

Red- Signal

Green+ Sense

Gray- Sense

Cable Length:

3 m (10 ft)

Cable Diameter:

0.220 polyurethane jacket

Warranty:

Two-year limited warranty

Approvals:



A.4. Hoja de datos para actuador neumático



Specifications

Torque:	to 44,130 Lb-in (4,986 Nm)
Pressure Rating:	Max Pressure: 140psig (10 Bar)
Temperature Range by Trim:	Standard: -4°F to 200°F (-20°C to 93°C) Low: -40°F to 176°F (-40°C to 80°C) High: 0°F to 300°F (-18°C to 149°C) Extreme High: 0°F to 350°F (-18°C to 176°C) 4 hours at 482°F (250°C)
Body Materials:	Extruded Aluminum Alloy Anodized 316 Stainless Steel Electroless Nickel Plated Body Exterior Hard Anodized Body Exterior Seacorr Coated Body Exterior
Operation Type:	Double Acting (Series 92) Spring Return (Series 93)
Output Shaft/Pinion:	Carbon Steel Zinc Plated Stainless Steel
Double Acting Rotation:	90°, 135°, 180°
Spring Return Rotation:	90°
Pneumatic Supply Ports:	1/8" – 1/4"

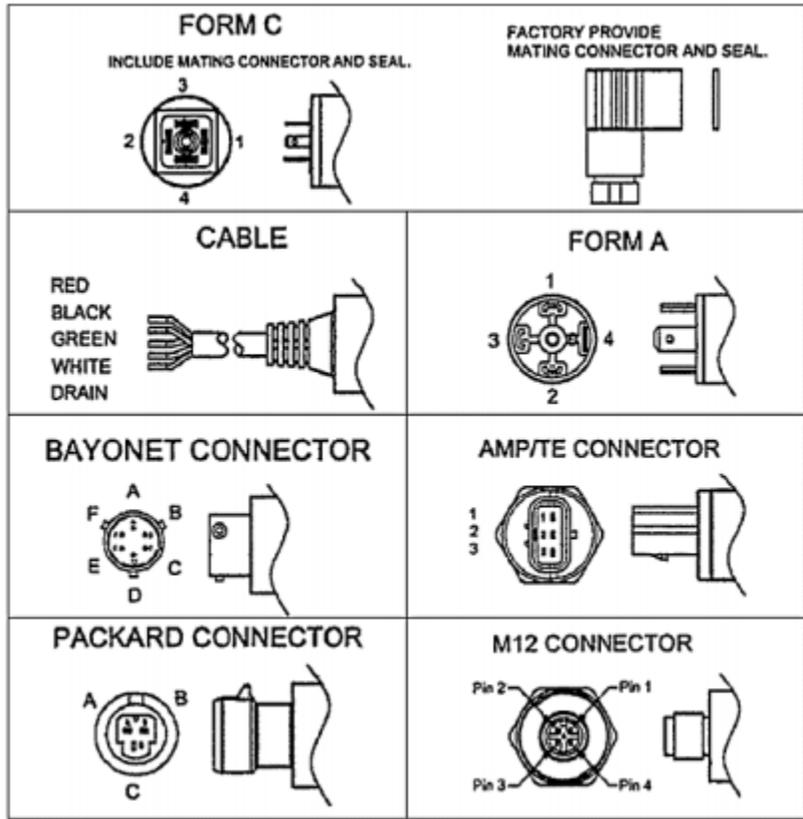
A.5. Hoja de datos para sensor de presión

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Ambient Temperature: 25°C (unless otherwise specified)

PARAMETERS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Accuracy (RSS of linearity, hysteresis, and repeatability)	-0.5		0.5	%F.S. BFSL	≤ 2psi @ 25°C
	-0.25		0.25	%F.S. BFSL	> 2psi and ≤ 5psi @ 25°C
	-0.1		0.1	%F.S. BFSL	> 5psi and ≤ 500psi @ 25°C
	-0.25		0.25	%F.S. BFSL	> 500psi and ≤ 5000psi @ 25°C
	-0.75		0.75	%F.S. BFSL	> 5000psi @ 25°C
Isolation, Body to any Lead	100			MΩ	@500V _{DC}
Dielectric Strength			2	mA	@500V _{AC} , 1min
Pressure Cycles	1.00E+6			0~FS Cycles	
Proof Pressure	3X		20k psi	Rated	
Burst Pressure	4X		20k psi	Rated	
Long Term Stability (1 year)	-0.1		0.1	%F.S.	
Total Error Band	-1.25		1.25	%F.S.	≤ 2psi
	-1.0		1.0	%F.S.	> 2psi and ≤ 5psi
	-0.75		0.75	%F.S.	> 5psi and ≤ 5000psi
	-1.25		1.25	%F.S.	> 5000psi
Compensated Temperature	-20		+85	°C	
Operating Temperature	-40		+125	°C	Except cable 105°C max
Storage Temperature	-40		+125	°C	Except cable 105°C max
Load Resistance (R _L)	R _L > 100k			Ω	Voltage Output
Load Resistance (R _L)	< (Supply Voltage -9V) / 0.02A			Ω	Current Output
Current Consumption			5	mA	Voltage Output
Rise Time (10% to 90%)	<2ms (Voltage Output); <3ms (Current Output); Without Snubber				
Pressure Port Material	316L Stainless Steel; 316L Stainless Steel Snubber				
Shock	50g, 11msec Half Sine Shock per MIL-STD-202G, Method 213B, Condition A				
Vibration	±20g, MIL-STD-810C, Procedure 514.2, Fig 514.2-2, Curve L				

For custom configurations, consult factory.



Note: Refer to installation instructions for recommended torque.

PRESSURE PORT TYPE

CODE	PORT	DIM B	DIM C REF.
2	1/4-19 BSPP	0.472 [13.9]	0.366 [9.3]
3	G3/8 JIS B2351	0.615 [15.6]	0.366 [9.3]
4	7/16-20UNF MALE SAE J1926-2 STRAIGHT THREAD O-RING BUNA-N 90SH ID8.92xW1.83mm	0.508 [12.9]	0.366 [9.3]
5	1/4-18 NPT	0.600 [15.24]	0.366 [9.3]
6	1/8-27 NPT	0.390 [9.90]	0.366 [9.3]
B	G1/4 JIS B2351	0.547 [13.9]	0.366 [9.3]
E	1/4-19 BSPT	0.500 [12.7]	0.366 [9.3]
F	1/4-19 BSPP FEMALE (without snubber)	0.771 [19.6]	0.366 [9.3]
P	7/16-20UNF FEMALE SAE J513 STRAIGHT THREAD WITH INTEGRAL VALVE DEPRESSOR	0.647 [17.5]	0.366 [9.3]
N	7/16-20UNF FEMALE SAE J513 STRAIGHT THREAD	0.687[17.5]	0.366 [9.3]
Q	M10 x 1.0 mm ISO 6149-2	0.449 [11.4]	0.366 [9.3]
S	M12 x 1.5 mm ISO 6149-2	0.531 [13.5]	0.366 [9.3]
U	G/14 DIN 3852 FORM E GASKET DIN3869-14 NBR	0.531 [13.5]	0.366 [9.3]
W	M20 x 1.5 mm ISO 6149-2	0.531[13.5]	0.456 [11.6]
G	M14 x 1.5 mm ISO 6149-2	0.531 [13.5]	0.366 [9.3]

CODE	CONNECTION TYPE	DIM A
1	CABLE 2 FT	2.19 [55.6]
E	CABLE 3 FT	2.19 [55.6]
2	CABLE 4 FT	2.19 [55.6]
3	CABLE 10 FT	2.19 [55.6]
4	PACKARD CONNECTOR A	2.25 [57.2]
5	BAYONET CONNECTOR	2.11 [53.6]
6	FORM C	1.95 [49.5]
7	FORM A	2.10 [53.3]
9	PACKARD CONNECTOR B	2.25 [57.2]
D	M12 CONNECTOR	1.95 [49.5]
M	CABLE 1 M	2.19 [55.6]
N	CABLE 2 M	2.19 [55.6]
P	CABLE 5 M	2.19 [55.6]
R	CABLE 10 M	2.19 [55.6]
A	AMP CONNECTOR	2.10 [53.3]