

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÉLULA DEL ÁREA LÍQUIDOS, PARA UN CLIENTE DE HAG INGENIERÍA S.A.S, DEDICADO AL SECTOR FARMACÉUTICO.



Jorge Esteban Meneses Delgado.

Trabajo de grado en Automática Industrial
Modalidad: Práctica Profesional

Director:

Ing. Oscar Amaury Rojas Alvarado

Asesor de la empresa:

Ing. Harold Alfredo Grueso

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Popayán, Septiembre 2019

Jorge Esteban Meneses Delgado.

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÉLULA DEL ÁREA
LÍQUIDOS, PARA UN CLIENTE DE HAG INGENIERÍA S.A.S,
DEDICADO AL SECTOR FARMACÉUTICO.**

Informe presentado a la Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para la obtención del
Título de

Ingeniero en:
Automática Industrial

Director:
Ing. Oscar Amaury Rojas Alvarado

Popayán, Cauca
2019

Nota de Aceptación:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, Septiembre de 2019.

Agradecimientos

Dedicado a mis padres,
hermanos y demás familiares
como Pilar fundamental
en todo mi proceso de
formación, soporte emocional
y motivación. En especial a
mi padre, quien siempre se
mostró orgulloso de mí y de
mis logros, aunque ya no esté
junto a mi, esto es para él,
siempre vivirás en mi corazón.

Tabla de contenido

Lista de figuras	IV
Lista de tablas	VIII
1. Diseño	1
1.1. Ingeniería conceptual	1
1.1.1. Descripción del proceso actual	1
1.1.2. Diagrama de flujo	2
1.1.3. Declaración del problema	3
1.1.4. Requerimientos del cliente	5
1.1.5. Objetivos del cliente	6
1.2. Ingeniería básica	7
1.2.1. Descripción del proceso	7
1.2.2. Descripción de la planta	8
1.2.3. Variables controladas y manipuladas	9
1.2.4. Escenario de automatización	12
1.2.5. Diagrama de flujo de proceso	13
1.2.6. Modelos ISA-88.01 del proceso productivo de la planta	14
1.2.7. Diagrama de tubería e instrumentos PI&D sustentado en el estándar ISA5.1	39

1.2.8. Listado de instrumentos	45
1.2.9. Criterios de selección de elementos hardware.	45
1.2.10. Elementos Hardware seleccionados	47
1.2.11. Elementos Software seleccionados	51
1.2.12. Listados de señales de instrumentos	52
1.2.13. Listados alarmas	52
1.2.14. Listados Interbloqueos (Interlocks)	52
1.3. Ingeniería de detalle	52
1.3.1. Diagrama de distribución en planta	53
2. Implementación	54
2.1. Procura	54
2.2. Construcción	54
2.2.1. Programación y configuración PLC.	54
2.2.2. Desarrollo HMI Y SCADA	68
2.3. Puesta en marcha	78
2.3.1. Validación del sistema de control	78
2.3.2. Comparación de tiempos de manufactura entre operación manual y operación automatizada.	79
2.3.3. Comparación de la intervención del operario en los dos procesos: manual y automatizado.	84
3. Conclusiones	86
Bibliografía	87

Lista de figuras

1.1. Diagrama de flujo de proceso por etapas.	2
1.2. Diagrama de flujo de proceso por operaciones.	3
1.3. Escenario de automatización para el área de líquidos.	12
1.4. Diagrama de flujo de proceso	13
1.5. Relación de los tres modelos del estándar ISA-88.01.	15
1.6. Modelo de proceso completo con respecto al estándar ISA-88.01.	15
1.7. Proceso y etapas del modelo de proceso.	16
1.8. Etapa de proceso premezclado.	16
1.9. Etapa de proceso fabricación.	17
1.10. Etapa de proceso envasado.	17
1.11. Modelo físico genérico estándar ISA 88.01.	18
1.12. Modelo físico.	19
1.13. Célula y unidades del modelo físico.	19
1.14. Unidad Tanque de premezclado.	20
1.15. Unidad tanque de fabricación.	20
1.16. Unidad tanque de envasado 1.	21
1.17. Unidad tanque de envasado 2.	21
1.18. Esquema modelo de control procedimental.	22

1.19.Procedimiento producción líquidos 1. 23

1.20.Unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 23

1.21.Operación Agitar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 24

1.22.Operación llenar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 25

1.23.Operación enfriar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 26

1.24.Operación calentar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 27

1.25.Operación trasegar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 28

1.26.Operación impulsar producto (flushing) de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 29

1.27.Operación recircular de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima. 30

1.28.Unidad de procedimiento fabricar producto. 30

1.29.Operación agitar de la unidad de procedimiento fabricar producto. 31

1.30.Operaciones enfriar y calentar de la unidad de procedimiento fabricar producto. 31

1.31.Operaciones flushing y recircular de la unidad de procedimiento fabricar producto. 32

1.32.Operación llenar de la unidad de procedimiento fabricar producto. 33

1.33.Operación trasegar de la unidad de procedimiento fabricar producto. 34

1.34.Unidad de procedimiento envasar producto 1. 34

1.35.Operación agitar de la unidad de procedimiento envasar producto. 35

1.36.Operación llenar(trasegar) de la unidad de procedimiento envasar producto. 36

1.37.Operación trasegar de la unidad de procedimiento envasar producto. 37

1.38.Distinción en colores para la relación de los modelos ISA-88.01. 38

1.39.Ejemplo de la relación de los modelos ISA-88.01. 38

1.40.Ejemplo etiquetado numérico de la célula líquidos 1, según estándar ISA-5.1 40

1.41.Ejemplo etiquetado numérico de la unidad tanque premezclado o auxiliar según estándar ISA-5.1. 41

1.42.Ejemplo etiquetado numérico del módulo de equipo agitador según estándar ISA-5.1. 41

1.43. Ejemplo etiquetado numérico del módulo de control motor (agitador) según estándar ISA-5.1.	43
1.44. PI&D unidad tanque pre mezclado o auxiliar).	43
1.45. PI&D unidad tanque fabricación.	44
1.46. PI&D unidad tanque envasado 1.	44
1.47. PI&D unidad tanque envasado 2.	45
1.48. Distribución en planta área líquidos.	53
2.1. Ejemplo de creación etiquetas(tags)	55
2.2. Ejemplo configuración entradas digitales	57
2.3. Ejemplo configuración de transmisores tanque auxiliar	58
2.4. Ejemplo de configuración controlador PID en el tanque auxiliar	59
2.5. Ejemplo de configuración motores en el tanque auxiliar	60
2.6. Ejemplo de configuración válvulas en el tanque auxiliar	60
2.7. Ejemplo lógica de control tanque auxiliar	61
2.8. Ejemplo lógica de control tanque fabricación	62
2.9. Ejemplo lógica de control tanques envasado	63
2.10. Instrucciones Add On	64
2.11. Configuración módulos de entradas y salidas en el PLC	65
2.12. Configuración conexiones Ethernet en el PLC	67
2.13. Pantalla tanque auxiliar	70
2.14. Ventana emergente operación llenar	71
2.15. Pantalla tanque envasado 1	73
2.16. Ventana emergente operación agitar	74
2.17. Pantalla supervisorio del cuarto fabricación	75
2.18. Pantalla supervisorio del cuarto envase	76

2.19. Diseño de reporte 77

Lista de tablas

1.1. Ejecución actual de las operaciones	1
1.2. Problemas actuales del proceso	3
1.3. Requerimientos de control	5
1.4. Requerimientos HMI	6
1.5. Requerimientos SCADA	6
1.6. Requerimiento de comunicación	6
1.7. Variables controladas y manipuladas	9
1.8. Identificación en letras según el estándar ISA5.1	39
1.9. Etiquetado numérico célula líquidos 1	40
1.10. Etiquetado numérico de las unidades	40
1.11. Etiquetado numérico de los módulos de equipo	41
1.12. Etiquetado numérico de los módulos de control	42
1.13. Comparación de tecnologías para elegir el transmisor de temperatura	47
1.14. Comparación de tecnologías para elegir el transmisor de presión hidrostática	48
1.15. Comparación de tecnologías para elegir el módulo de carga.	48
1.16. Comparación de tecnologías para elegir las válvulas	49
1.17. Comparación de tecnologías para elegir motores	49
1.18. Comparación de tecnologías para elegir variadores	49

1.19.Comparación de tecnologías para elegir el PLC	50
1.20.Comparación de tecnologías para elegir los módulos E/S	50
1.21.Comparación de tecnologías para elegir las panel view	50
1.22.Requerimientos software	51
2.1. Configuración de tareas periódicas	56
2.2. Módulos de entradas y salidas	66
2.3. Pantallas HMI cuarto fabricación	68
2.4. Ventanas emergentes para HMI del cuarto fabricación.	70
2.5. Pantallas HMI envase	71
2.6. Ventana emergente para HMI del cuarto envase	73
2.7. Pantallas SCADA.	75
2.8. Tiempos de operación manual tanque premezclado(auxiliar)	79
2.9. Tiempos de operación manual tanque fabricación	80
2.10.Tiempos de operación tanques envasado	81
2.11.Tiempo operación automática tanque premezclado(auxiliar)	82
2.12.Tiempo operación automática tanque fabricación	83
2.13.Tiempo operación automática tanques envasado	84
2.14.Intervención del operario en un proceso manual y un proceso automático	84

Introducción

En la actualidad, las compañías dedicadas al campo farmacéutico, alimenticio, metalúrgico, minero y químico [1] tienen el reto de automatizar sus líneas de fabricación con el ánimo de optimizar sus procesos mejorando así el rendimiento de la misma [2] [3] [4] [5].

La industria farmacéutica es una de las más dinámicas y complejas en comparación con los otros tipos de factorías ya que exige niveles altos de calidad, seguridad, trazabilidad y producción [6] [7] que se describirán a continuación. En cuanto a calidad, este tipo de empresas han tenido un reto desafiante, por ello desde el año 2002 se comienza con la implementación de buenas prácticas de manufactura (GMP) [8], hecho que ha reunido a personas de todo el mundo con el objetivo de armonizar dichas habilidades de producción, dando como resultado el establecimiento de guías, que permiten diseñar, monitorear y controlar los procesos e instalaciones, asegurando identidad, fuerza y pureza de los productos farmacéuticos [9].

Otro aspecto que resulta preocupante es la seguridad en la industria, puesto que en los últimos años han ocurrido distintos tipos de accidentes afectando la integridad del personal, esta situación requiere ser atendida y regulada mediante diferentes normas que garanticen el bienestar de los trabajadores [10]. Por otra parte, con relación al tópico de trazabilidad, se requiere un historial de datos que se registren en toda la cadena de abastecimiento, con la finalidad de entregar un producto seguro y confiable al cliente, para así evitar inconvenientes con el tema de falsificación de medicamentos [11].

En lo concerniente a los niveles de producción y tiempos, dichas compañías tienen una gran responsabilidad, deben satisfacer la necesidad de los pacientes siendo asequible a cada uno de ellos en un tiempo pertinente pues estos productos influyen directamente en la salud [7] [12].

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se evidencia de forma clara la gran necesidad que tienen este tipo de compañías, quienes mediante la automatización buscan satisfacer estas regulaciones que cada vez se ponen más rigurosas [13].

Para llevar a cabo una propuesta de automatización adecuada se sigue el ciclo de vida clásico de un proyecto de ingeniería que abarca dos fases, la primera un diseño conformado por la ingeniería conceptual, ingeniería básica e ingeniería de detalle y la segunda una implementación conformada por procura, construcción y puesta en marcha como se muestra en los siguientes capítulos: primer capítulo diseño, segundo capítulo implementación y tercer capítulo conclusiones.

Capítulo 1

Diseño

1.1. Ingeniería conceptual

En esta fase se realiza un análisis de la manufactura actual y se concreta el diagrama de flujo de proceso. Posteriormente, se estudian los inconvenientes que se están presentando en el proceso, se exponen los requerimientos específicos proporcionados por el cliente, y finalmente, se plantean los objetivos para dar solución al problema [14] [15].

1.1.1. Descripción del proceso actual

Actualmente, el proceso de producción en la célula líquidos 1 se lleva a cabo de forma manual: Existen tres tanques, uno para premezclar, otro para fabricar y tercero para envasar. En cada uno de los recipientes nombrados anteriormente se tiene la posibilidad de ejecutarse cualquiera de las operaciones explicadas en la **Tabla 1.1**, las cuales están regidas por el orden que conlleve la instrucción de manufactura. En cuanto al tema de supervisión y reporte, se dispone de un supervisor que realiza inspección presencial en cada tanque y la información se registra de manera escrita.

Tabla 1.1: Ejecución actual de las operaciones

Operación	Ejecución
Agitar	El operario mediante un interruptor prende y apaga el motor.
	La velocidad se cambia mediante un potenciómetro.

Llenar	Conexión manual de la manguera que transporta el agua purificada.
	Apertura y cierre manual de la válvula que permite el suministro de agua purificada.
Enfriar	Conexión manual de la manguera que transporta el agua fría.
	Apertura y cierre manual de la válvula que permite el suministro de agua fría
Calentar	Conexión manual de la manguera que transporta el vapor.
	Apertura y cierre manual de la válvula que permite el suministro de vapor
Trasegar	Conexión manual de las mangueras, los tanques y la motobomba.
	Encendido y apagado de la motobomba mediante un interruptor.
	La velocidad de la motobomba se varía mediante un potenciómetro
Recirculación	Conexión manual de la manguera, el tanque y la motobomba.
	Encendido y apagado de la motobomba mediante un interruptor.
	Velocidad de la motobomba se varía mediante un potenciómetro

1.1.2. Diagrama de flujo

En el diagrama de flujo del proceso se muestra la secuencia productiva, desde que ingresa la materia prima hasta el empaqueo y almacenamiento del producto terminado, con el objetivo de tener claro el flujo interactuante en las diferentes etapas y procesos [16], para lo cual se crean dos diagramas, el primero hace referencia a las etapas y el otro a las operaciones.

El diagrama de flujo de proceso por etapas indica los flujos entrantes y salientes del proceso productivo (ver figura 1.1). Inicialmente en la etapa de premezclado del tanque auxiliar ingresan los químicos y el agua purificada como materia prima. Durante esta sección sufre una serie de transformaciones resultando un subproducto que ingresa a la segunda etapa llamada manufactura en el tanque de fabricación. En esta etapa se llevan a cabo una serie de alteraciones con ayuda de otros químicos y la adición de agua purificada en caso de que sea necesario, obteniendo un producto final que se incorpora en la etapa de envasado, donde se busca mantener las condiciones del producto antes de ser llevado a la máquina empaquetadora. Después de pasar por la etapa de empaqueo resulta un producto listo para el almacenaje.

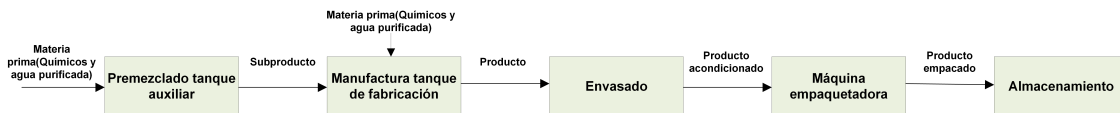


Figura 1.1: Diagrama de flujo de proceso por etapas.

Fuente: El autor, junio 2019.

El PFD por operaciones hace referencia a las diferentes actividades que se llevan a cabo en cada una de las etapas de producción (ver figura 1.2). En el tanque auxiliar se elaboran las operaciones de agitación, llenado, calentamiento, enfriamiento, impulsión del producto restante (flushing), recirculación. Es fundamental aclarar que la secuencia de dichas operaciones está sujeta a la instrucción de manufactura y varía según el producto a realizar. Para trascender a la etapa del tanque de fabricación se hace por medio de la operación trasegar, en esta nueva etapa se llevan a cabo las mismas actividades que en el tanque auxiliar, pero con diferentes sustancias de materia prima y con un subproducto ya elaborado. Para pasar a la etapa de envasado 1 o envasado 2, se hace una segunda operación trasegar. En esta etapa se efectúa la operación agitación realizada con el ánimo de mantener las condiciones del producto elaborado. De igual modo, se ejecuta la operación trasego, la cual permite llevar el producto a la máquina empaquetadora donde es empaquetado y finalmente almacenado.

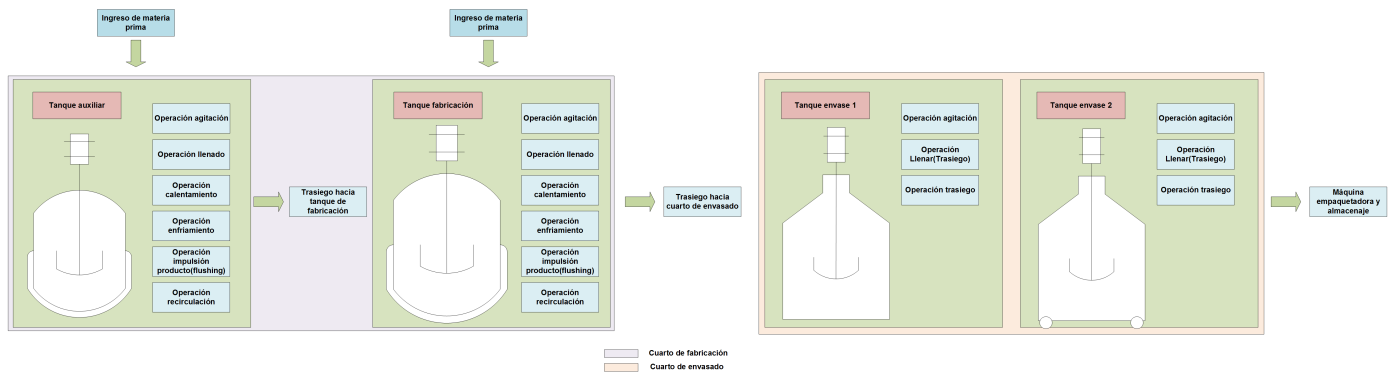


Figura 1.2: Diagrama de flujo de proceso por operaciones.

Fuente: El autor, junio 2019.

1.1.3. Declaración del problema

Para la identificación de los problemas existentes en el proceso de manufactura, se realiza un análisis por cada tarea con el ánimo de formalizar las falencias como se describe en la **Tabla 1.2**.

Tabla 1.2: Problemas actuales del proceso

Tarea	Problemas
Agitar	Disponibilidad del operario.
	Tiempo de ejecución de la operación.
	Fallas en maniobrar en el tiempo que se requiere el encendido o apagado del motor.
	Fallas en cambiar la velocidad en el tiempo que se requiere.

Llenar	Disponibilidad del operario
	Tiempo de ejecución de la operación.
	Fallas en llenar un nivel deseado.
	Peligro para el operario por posible rebose de sustancias calientes
Enfriar	Disponibilidad del operario
	Tiempo de ejecución de la operación.
	Fallas para lograr la temperatura deseada en la receta.
Calentar	Disponibilidad del operario
	Tiempo de ejecución de la operación.
	Fallas para lograr la temperatura deseada de la receta.
	Peligro de accidente para el operario por maniobrar vapor caliente.
Trasegar	Disponibilidad del operario
	Tiempo de ejecución de la operación.
	Fallas en trasegar un nivel deseado.
	Peligro para el operario por posible rebose de sustancias calientes.
Recirculación	Disponibilidad del operario
	Tiempo de ejecución de la operación.
	Fallas en la variación de la velocidad para una homogenización adecuada de los productos.
Supervisión y monitoreo	Agotamiento físico del supervisor.
	Operaciones sin supervisión total.
Reportes	Posibles fallas y alteraciones humanas al dar información de los diferentes lotes,

De la **Tabla 1.2** se concluye que en el proceso actual existen falencias en:

- **Calidad.** Debido a que las recetas no se pueden seguir al pie de la letra y por ende muchos lotes son desechado antes de salir al mercado.
- **Seguridad.** Los operarios están en constante riesgo al manipular manualmente sustancias peligrosas.
- **Trazabilidad.** Facilidad en equivocación o alteración de la información de los procesos.
- **Producción.** Las tareas de producción exigen tiempos altos y minimizan la producción de lotes.

1.1.4. Requerimientos del cliente

El cliente requiere diseñar e implementar un sistema de control automático que permita superar las dificultades encontradas y así cumplir los retos actuales de la industria farmacéutica. Por tanto solicita lo que se expone en las **Tablas 1.3 a 1.6**:

Tabla 1.3: Requerimientos de control

Controlador lógico programable(PLC)	
Cuarto	Requerimiento
Fabricación Líquidos 1	Tanque auxiliar 200 L
	Controlar la agitación del producto, por medio de un motor con variador de velocidad.
	Controlar el nivel del tanque.
	Controlar la temperatura en el tanque (calentamiento / enfriamiento), el calentamiento mediante la regulación del tren de vapor y la salida de condensados, y el enfriamiento mediante el control del tren de agua fría. Es importante aclarar que los ingresos y salidas de los trenes de vapor se caracterizan por ser independientes.
	Controlar el trasiego hacia el tanque de fabricación de 700 L, este proceso se realiza con la misma bomba centrífuga que se emplea para la recirculación.
	Controlar el tiempo de apertura de la válvula que inyecta aire comprimido para impulsar el producto que no es trasegado.
	Controlar la velocidad de una bomba centrífuga por medio de un motor con variador de velocidad. Esta bomba es compartida con el trasiego al tanque de fabricación de 700 L.
	Tanque de fabricación 700 L
	Controlar la agitación del producto, por medio de un motor con variador de velocidad.
	Controlar el nivel y peso del tanque.
	Controlar la temperatura en el tanque (calentamiento / enfriamiento), el calentamiento mediante la regulación del tren de vapor y la salida de condensados, y el enfriamiento mediante el control del tren de agua fría. Es de aclarar que los ingresos y salidas de los trenes de vapor y agua fría son independientes.
	Controlar el tiempo de apertura de la válvula que inyecta aire comprimido para impulsar el producto que no es trasegado
	Controlar la velocidad de una bomba centrífuga de homogenización, por medio de un motor con variador de velocidad.

Envase Líquidos 1	Tanques de envase de 400 L
	Controlar la agitación del producto por medio de un motor con variador de velocidad.
	Controlar el trasiego fabricación-envase desde el cubículo de envase. En esta operación debe controlarse el nivel de los tanques de envase, mediante la motobomba del cuarto de fabricación, de tal manera que esta se encienda si el nivel del tanque de 400L es bajo y se apague cuando el nivel del tanque de 400 L llegue al nivel superior.

Tabla 1.4: Requerimientos HMI

Desarrollo de interfaz hombre-máquina(HMI)	
Cuarto	Requerimiento
Fabricación y envase líquidos 1	Programación del HMI que permita al operador interactuar con los procesos llevados a cabo tanto en el cuarto de fabricación como en el de envase. Dichas pantallas deben diseñarse adecuadamente para proporcionar un aprendizaje y familiarización rápida del sistema por parte de los operarios.

Tabla 1.5: Requerimientos SCADA

Supervisión, Control y Adquisición de Datos(SCADA)	
Cuarto	Requerimiento
Supervisores	Desarrollo que posibilite la supervisión, control y adquisición de datos para ser llevados a una base de datos que permita su almacenamiento y registro organizado mediante un reporte.

Tabla 1.6: Requerimiento de comunicación

Comunicación	
Cuarto	Requerimiento
Piso técnico	Red que interconecte pantallas, PLC, estación de trabajo.

1.1.5. Objetivos del cliente

- Mejorar la calidad de los productos manteniendo un control de las diferentes variables que intervienen en el proceso y así cumplir estrictamente las recetas proporcionadas por el área

de producción.

- Evitar la intervención manual de los operarios con variables peligrosas.
- Almacenar ordenadamente, sin alteraciones, ni errores humanos la información del proceso que evidencia toda la secuencia productiva.
- Optimizar los tiempos de elaboración para incrementar la producción.

1.2. Ingeniería básica

El diseño de la ingeniería básica refleja soluciones a problemas detallados en la ingeniería conceptual [17] [18]. Por lo tanto, el desarrollo de este capítulo se apoya en los siete pasos de la descripción conceptual, el modelado ISA-88.01, la construcción de diagrama PI& D, los criterios de selección de instrumentos, los elementos hardware y software seleccionados y los listados de instrumentos, señales, alarmas e interlocks propuestos.

1.2.1. Descripción del proceso

Una vez realizadas las reuniones con el cliente y realizar el respectivo análisis de las necesidades, se formaliza la descripción del proceso que se desea implementar, así:

El proceso comienza en el tanque auxiliar donde se realizan diferentes operaciones, posteriormente este subproducto es trasladado al reactor de fabricación donde sufre otra serie de cambios generando un producto terminado. Finalmente, el producto es llevado al tanque de envasado donde se acondiciona mientras se suministra a la máquina empaquetadora.

Para la elaboración de los distintos lotes de producción, se realizan diferentes operaciones que se ejecutan siguiendo la instrucción de manufactura, la cual indica la secuencia y parámetros que se deben llevar a efecto para la obtención del producto final. Para el tanque auxiliar y tanque de fabricación se da la opción de realizar las siguientes operaciones: Agitar, llenar, calentar, enfriar, trasegar, impulsar producto (flushing) y recircular. Asimismo, en el tanque de envasado se ejecutan las actividades agitar, llenar (trasiego) y trasegar.

En cuanto a las operaciones en cada uno de los reactores, se tienen las siguientes:

- **Agitar.** Para la preparación de los productos se hace necesario mezclar las materias primas dentro de los reactores, por tanto, se utiliza un mezclador que se acciona mediante un motor trifásico de 3 caballos de fuerza (Hp) con variador para el control de velocidad. Esta variable se regula entre 900 r.p.m y 1720 r.p.m.

- **Llenar.** El ingreso de materia prima (agua purificada), se regula entre 10 L - 200 L para el reactor auxiliar y 32 L -700 L para el reactor de fabricación. Esta etapa se hace en dos operaciones: llenado a volumen y llenado inicial. Para el reactor auxiliar solo se ejecuta el llenado inicial y para el reactor de fabricación los dos tipos.
- **Enfriar.** El proceso de enfriado,cuenta con un flujo de agua fría que ingresa y sale de la chaqueta a través de una válvula de entrada y otra de salida. Se regula la temperatura entre 25 °C y 130 °C.
- **Calentar.** La temperatura dentro del tanque se eleva gracias a un flujo de vapor que ingresa a la chaqueta mediante una válvula.Esta temperatura,se controla entre 25 °C y 130 °C.
- **Trasiego.** El producto debe ser transportado de un recipiente a otro por lo que se cuenta con un juego de válvulas y una motobomba (la velocidad varía entre 1750 r.p.m y 3500 r.p.m) que impulsa el producto.A continuación se describen los trasiegos: el primer,se realiza del reactor auxiliar hasta el reactor fabricación(la cantidad a trasegar varía entre (32 L-700 L);el segundo,se produce del reactor fabricación, a cualquiera de los tanques de envasado(la cantidad a trasegar(oscila entre 10 L - 400 L; y el tercero,se efectúa desde alguno de los tanques de envasado al tanque pulmón de la empaquetadora(la máquina absorbe la cantidad de producto que necesita).
- **Impulsión producto (Flushing).** El proceso consiste en ingresar aire comprimido para expulsar los restos de líquidos que quedan tanto en el reactor como en la tubería.
- **Recirculación.** Este proceso consiste en extraer e introducir la mezcla varias veces por medio de una manguera,un conjunto de válvulas y una motobomba de impulso(la velocidad varía entre 1750 r.p.m y 3500 r.p.m) con el fin de homogenizar las sustancias.

1.2.2. Descripción de la planta

La planta que se requiere automatizar es una célula del área de líquidos. Esta se constituye por dos cuartos: un cuarto de fabricación y un cuarto de envasado.

- **Cuarto fabricación.** Existen dos reactores, el primero es el reactor auxiliar de 200 L con chaqueta,en el cual,se lleva a cabo el proceso de premezclado de las sustancias a partir instrucciones de manufactura,por tanto se tiene en cuenta la siguiente instrumentación:

Nota: Todas las tuberías que intervienen en cada una de las operaciones,son de acero inoxidable y poseen 2 in de diámetro.

- **Operación de agitación.** Se emplea un motor con variador para el control de velocidad.

- **Operación de llenado.** Se usa una válvula que interrumpe el circuito de agua purificada. Dicho actuador es compartido entre el reactor auxiliar y el reactor de fabricación. También se destina un sensor-transmisor para la medición de nivel.
 - **Operación de calentamiento de la chaqueta.** Se dispone de un tren en el cual están instaladas tres válvulas, una de corte por seguridad local, una de corte general y otra de control. Además, se tiene una válvula de drenaje de condensados. De igual forma se tiene un sensor transmisor cuya función es medir la temperatura (el mismo sensor de la operación de enfriamiento), un sensor transmisor de presión para monitorear el empuje del vapor.
 - **Operación de enfriamiento de la chaqueta.** Se acondiciona el tren de agua fría en donde están instaladas una válvula de ingreso del agua proveniente de un enfriador de agua (chiller) y una válvula de control puesta en el retorno del tren. De igual manera, se encuentra un sensor transmisor para la medición de temperatura.
 - **Operación trasiego.** Para el trasiego se destinan los sensores transmisores de nivel tanto del reactor emisor como del reactor receptor. También una válvula de salida del reactor, una motobomba de impulso y 3 válvulas de control trasiego.
 - **Operación de impulsión producto (flushing).** Se utiliza la válvula de ingreso aire comprimido y las válvulas de trasiego.
 - **Operación recirculación.** Se acomoda una válvula de corte a la salida del reactor, una motobomba de impulso y una válvula de control para el proceso.
- **Cuarto Envasado.** Está constituido por dos tanques, cada uno integrado por un agitador, una válvula de ingreso, una válvula de trasiego hacia el tanque pulmón de la máquina empaquetadora y un sensor transmisor para la cuantificación del nivel.

1.2.3. Variables controladas y manipuladas

Teniendo claridad en las respuestas a las preguntas ¿Qué se va hacer? (descripción del proceso) y ¿Dónde se va a realizar? (Descripción de la planta) se hace necesario el estudio de las diferentes variables que juegan en el proceso, con la finalidad de identificar los lazos de control existentes. Por tanto, en la **Tabla 1.7** se describen dichas variables.

Tabla 1.7: Variables controladas y manipuladas

Reactor	Operación	Variable controlada	Variable manipulada	Esquema de control
	Agitación	Velocidad(r.p.m)	Frecuencia(Hz)	Lazo abierto con instrumentos

Auxiliar

	Llenado Inicial	Nivel(L)	Flujo que pasa por la válvula de control(L*min)	Lazo cerrado
	Enfriamiento	Temperatura(°C)	Flujo agua fría que retorna por válvula de control(L*min)	Lazo cerrado
	Calentamiento	Temperatura(°C)	Flujo de vapor que pasa por la válvula de control(L*min)	Lazo cerrado
	Trasiego	Nivel(L)	Flujo impulsa la motobomba(L*min)	Lazo cerrado
	Impulsión producto(Flushing)	Tiempo(min)	Conteo tiempo(min)	Lazo abierto con instrumentos
	Recirculación	Velocidad(r.p.m)	Frecuencia(Hz)	Lazo abierto con instrumentos
Fabricación	Agitación	Velocidad(r.p.m)	Frecuencia(Hz)	Lazo abierto con instrumentos
	Llenado Inicial/ Llenado a volumen	Nivel(L)/Peso(Kg)	Flujo que pasa por la válvula de control(L*min)	Lazo cerrado
	Enfriamiento	Temperatura(°C)	Flujo agua fría que retorna por válvula de control(L*min)	Lazo cerrado
	Calentamiento	Temperatura(°C)	Flujo de vapor que pasa por la válvula de control(L*min)	Lazo cerrado
	Impulsión producto(Flushing)	Tiempo(min)	Conteo tiempo(min)	Lazo abierto con instrumentos
	Recirculación	Velocidad(r.p.m)	Frecuencia(Hz)	Lazo abierto con instrumentos
Envasado 1	Llenar(Trasiego)	Nivel(L)	Encendido o apagado motobomba(L*min)	Lazo cerrado
	Agitación	Velocidad(r.p.m)	Frecuencia(Hz)	Lazo abierto con instrumentos

Envasado 2	Llenar(Trasiego)	Nivel(L)	Encendido o apagado moto-bomba(L*min)	Lazo cerrado
	Agitación	Velocidad(r.p.m)	Frecuencia(Hz)	Lazo abierto con instrumentos

Para el **premezclado** se tienen en cuenta los siguientes lazos de control:

- **Agitación.** Se Tiene un lazo de control abierto con instrumentos que regule la velocidad (r.p.m) de agitación. Para el control de dicha variable se hace necesario utilizar un variador encargado de manipular la frecuencia de voltaje que ingresa al motor (variable manipulada).
- **Llenado inicial.** Se tiene un lazo de control cerrado que regule el nivel(L) de agua purificada en el reactor auxiliar. Para el control de dicha variable se hace necesario manipular el flujo de agua purificada (variable manipulada medida en L* min) que ingresará a dicho reactor.
- **Enfriamiento.** Se tiene un lazo de control cerrado que regule la temperatura (disminución °C) en el reactor auxiliar. Para el control de dicha variable se hace necesario manipular el flujo de agua fría (variable manipulada medida en L* min) que retorna de la chaqueta de dicho reactor.
- **Calentamiento.** Se tiene un lazo de control cerrado que regule la temperatura (aumento °C) en el reactor auxiliar. Para el control de dicha variable se hace necesario manipular el flujo vapor (variable manipulada medida en L* min) que ingresará a la chaqueta de dicho reactor.
- **Trasiego.** Se tiene un lazo de control cerrado que regule el nivel (L) a trasegar desde el reactor auxiliar al reactor de fabricación. Para el control de dicha variable se hace necesario manipular el flujo del producto (variable manipulada medida en L* min) encendiendo y apagando la motobomba.
- **Impulsión producto (Flushing).** Se tiene un lazo de control abierto con instrumentos que regule el tiempo (min) en que permanece encendida esta operación. Para controlar esta variable es necesario activar el temporizador para que inicie el conteo (variable manipulada en min) y lo lleve al valor deseado.
- **Recirculación.** Se tiene un lazo de control abierto con instrumentos que regule la velocidad. Para el control de dicha variable se hace necesario utilizar un variador encargado de manipular la frecuencia de voltaje que ingresa al motor (variable manipulada).

Como se muestra en la **Tabla 1.7**, para las etapas de proceso **fabricación, envasado 1 y envasado 2**, tienen lazos de control similares con instrumentación diferente.

1.2.4. Escenario de automatización

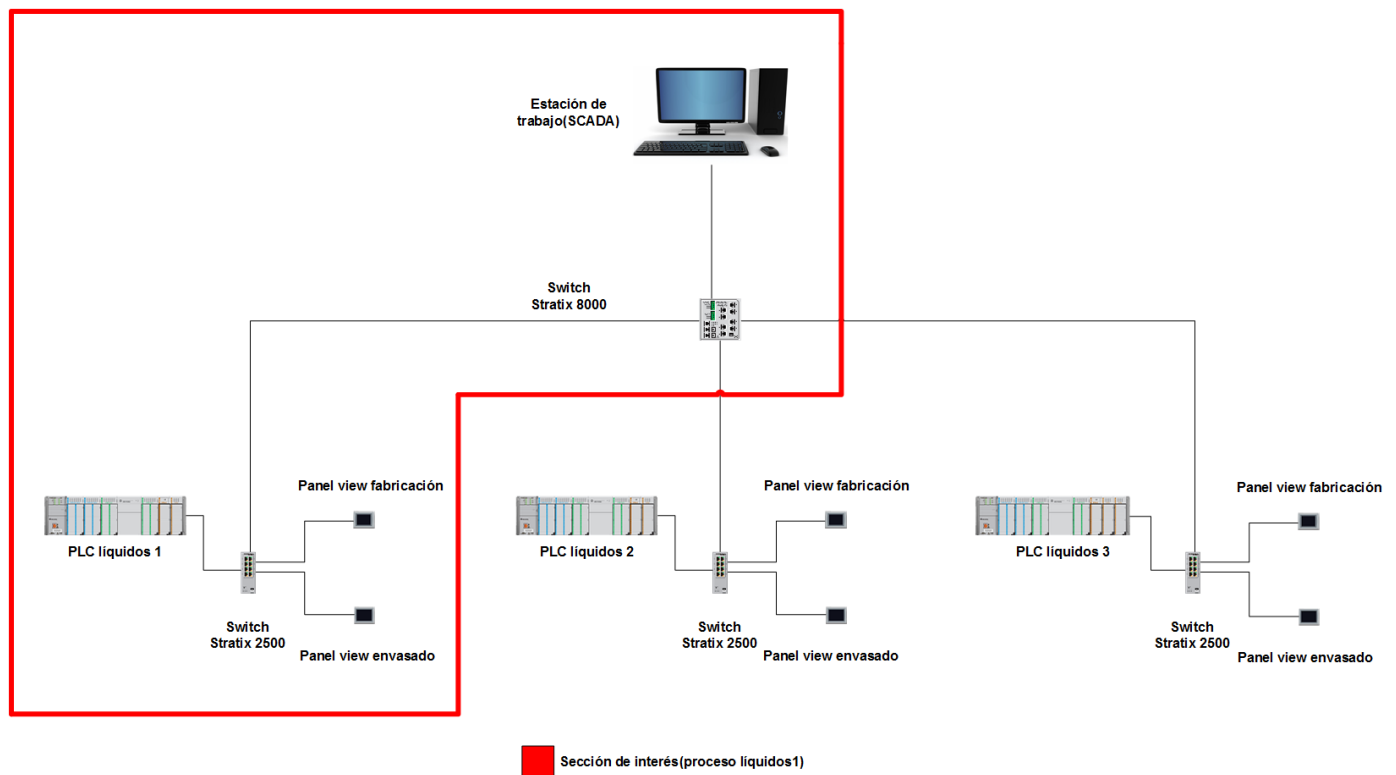


Figura 1.3: Escenario de automatización para el área de líquidos.

Fuente: El autor, junio 2019.

En el proyecto de automatización del área de producción de líquidos se tiene un sistema de control distribuido (**ver figura 1.3**), basado en el protocolo de comunicación industrial Ethernet IP conformada por: una estación de monitoreo (WS – Estación de Trabajo) en la cual se encuentra instalado el software SCADA de supervisión, adquisición y almacenamiento de información (base de datos), usando el paquete de FactoryTalk View Site Edition V10.0. Esta estación se comunica con el sistema a través de un switch industrial (Access 001) Ethernet administrable de capa 2 Stratix 8000. Del switch Stratix 8000 se desprenden 3 switches industriales (Managed 001, 002, 003) Ethernet ligeramente administrables Stratix 2500, estos switches están comunicados entre ellos en una tipología similar a una estrella. Finalmente, de cada uno de los switches Stratix 2500 se comunican los PLC (CompactLogix 1769-L33ER) con sus respectivos módulos de comunicación descritos anteriormente y las Panel View Plus 7 (dos por cada línea, una de 10,4 in para cada cuarto de fabricación y otra de 6,5 in para el cuarto de envasado).

En cuanto a los controladores lógicos programables existen tres de la familia CompactLogix de Allen Bradley: uno para la célula líquidos uno, otro para la célula líquidos 2 y el tercero para la célula líquidos 3. Estos dispositivos se eligieron de acuerdo a las características propias del

proceso (número de señales desde y hacia la instrumentación, y memoria requerida), la marca Allen Bradley se seleccionó por el cliente para propender a la uniformidad y compatibilidad con la automatización existente en la empresa. Los PLC's tienen relacionado seis módulos entradas digitales 1769-IQ32, seis módulos de salidas digitales 1769-OB32, tres módulos de entradas análogas 1769-IF16C, cuatro módulos de salida análogas 1769-OF8C.

Con estos equipos se construye un sistema utilizando el software de diseño Integrated Architecture Builder (IAB) de Rockwell Software, el cual permite dimensionar un procedimiento de automatización, que integra las recomendaciones de fabricantes para el sistema y da una cotización aproximada de los costos de los equipos requeridos para este.

Es importante mencionar que en el proyecto solo se contempla la célula de líquidos uno, de modo que sólo se tiene cuenta la parte subrayada en rojo de la Figura 1.3.

Remitirse al **Anexo A. Listado de direcciones IP**, para observar la direcciones IP disponibles en los diferentes equipos de la red.

1.2.5. Diagrama de flujo de proceso

En la **Figura 1.4** se muestra un diagrama de flujo más completo, donde se evidencia el flujo de entrada y salida de cada una de las etapas y las operaciones que se llevan a cabo en cada una de ellas.

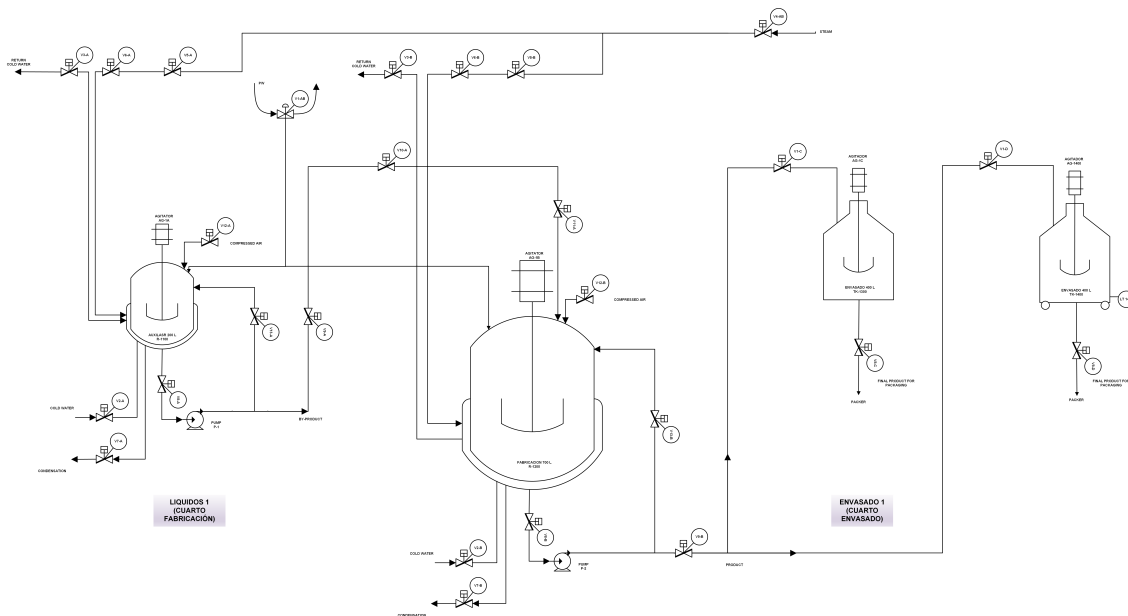


Figura 1.4: Diagrama de flujo de proceso .

Fuente: El autor, junio 2019.

1.2.6. Modelos ISA-88.01 del proceso productivo de la planta

El objetivo primordial del estándar ISA-88.01 es separar el proceso de los equipos físicos de la planta, o sea, por un lado, se tiene todo el análisis y conocimiento del proceso, y por otro lado se estudian los equipos de la planta considerando sus capacidades. Otra ventaja que brinda el estándar, es la manufactura flexible y reutilizable, dado que su organización permite que en un equipo se fabriquen múltiples productos [19] [20].

El proceso y los equipos físicos de la planta líquidos uno, se estudian y analizan en tres modelos del estándar ISA-88.01. El primer modelo hace referencia al modelo de proceso el cual resulta de la ejecución de cada nivel del Modelo de Control de Procedimental sobre los niveles del Modelo Físico. El segundo es el modelo físico, donde se describen los dispositivos y equipos en los cuales se va soportar el proceso. Finalmente, se encuentra el modelo de control procedimental que relaciona las operaciones que se llevan a cabo en los diferentes procesos.

Modelo de proceso

El modelo de proceso proporciona un análisis organizado y jerárquico del proceso [21]. Su disposición se compone de 4 niveles:

- **“Proceso”**. Nivel superior que contiene una o más estaciones de proceso, las cuales son organizadas de manera serial, paralelo o simultáneas.
- **“Etapas de proceso”**. En general operan independientemente de otras etapas y generan variaciones fisicoquímicas al material procesado.
- **“Operaciones de proceso”**. Conformadas por tareas ordenadas de procesamiento menor que al ser acopladas conforman las operaciones de proceso.
- **“Acciones de proceso”**. Actividades de procesamiento menor.

Una manera fácil de explicar el modelo de proceso es relacionar los tres modelos como se muestra en la **Figura 1.5**.

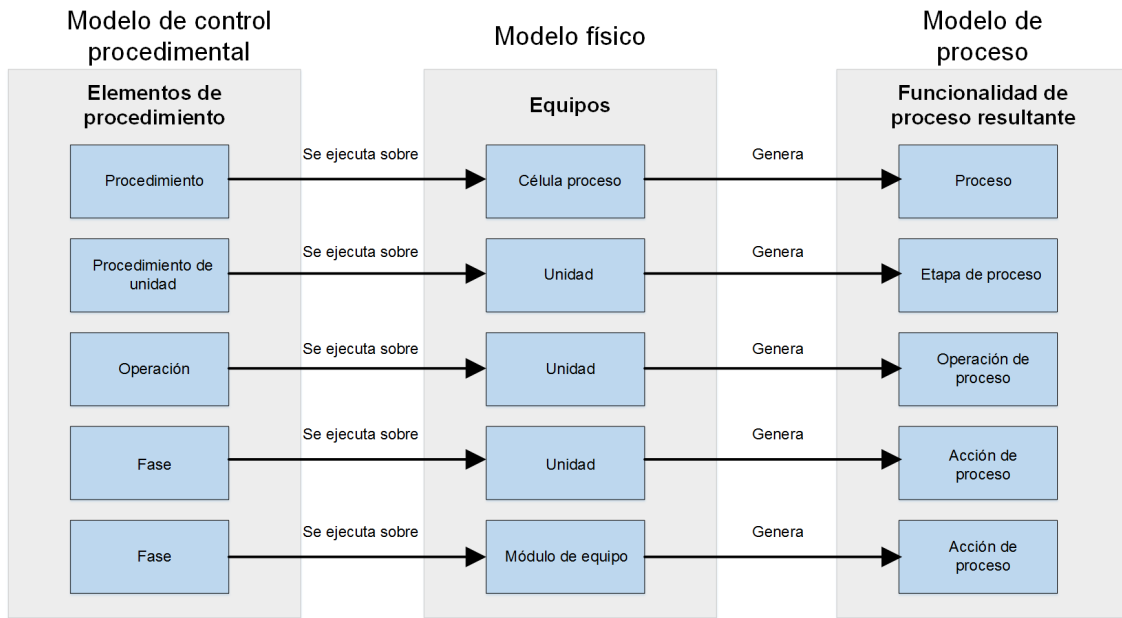


Figura 1.5: Relación de los tres modelos del estándar ISA-88.01.

Fuente: El autor, junio 2019.

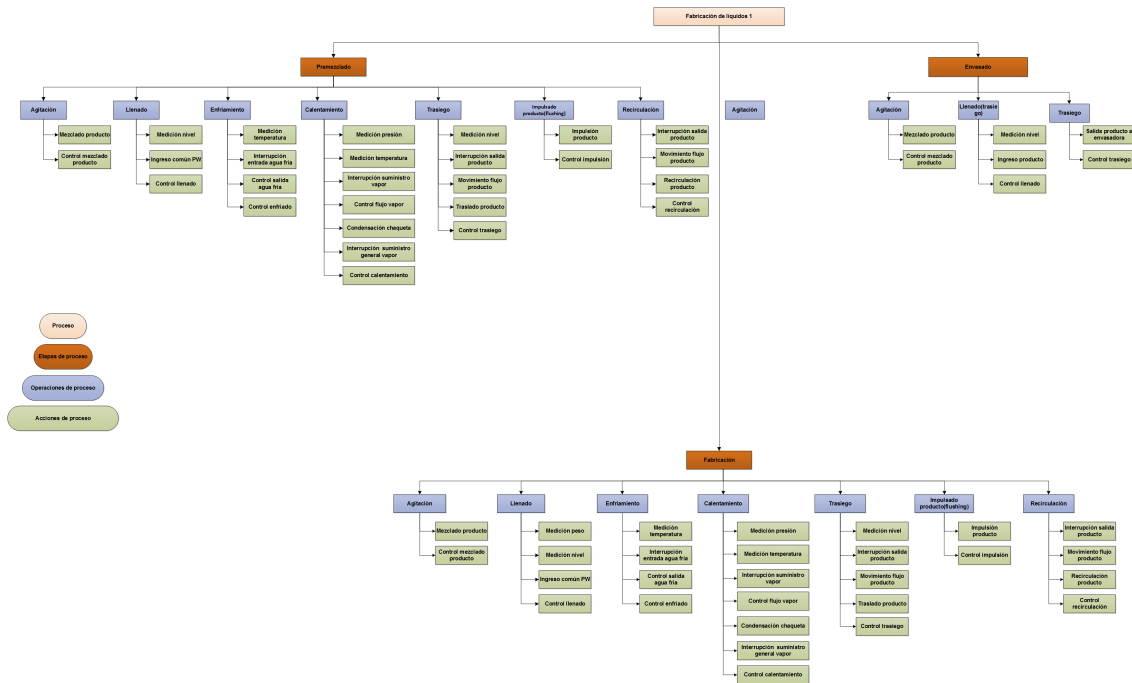


Figura 1.6: Modelo de proceso completo con respecto al estándar ISA-88.01.

Fuente: El autor, junio 2019.

El modelo de proceso para líquidos relaciona tres etapas de proceso, 20 operaciones de proceso y 69 acciones de proceso (ver Figura 1.6).

El modelo de proceso muestra una actividad productiva organizada. En el lugar más alto de la jerarquía se tiene el proceso de fabricación líquidos uno, posteriormente se desglosan cuatro etapas de este: premezclado, fabricación y envasado (ver Figura 1.7).

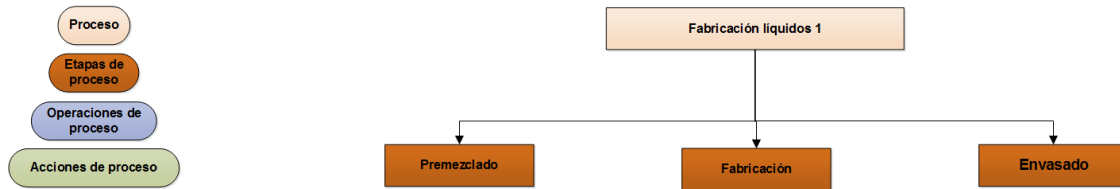


Figura 1.7: Proceso y etapas del modelo de proceso.

Fuente: El autor, junio 2019.

Para la etapa del premezclado, se efectúan las operaciones agitación, llenado, enfriamiento, calentamiento, trasiego, impulsión producto (flushing) y recirculación (ver Figura 1.8).

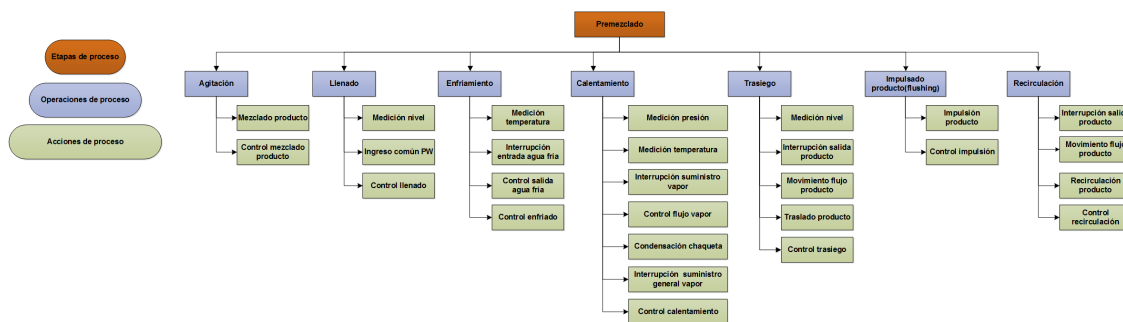


Figura 1.8: Etapa de proceso premezclado.

Fuente: El autor, junio 2019.

Para la etapa de proceso fabricación (ver Figura 1.9), se ejecutan exactamente las mismas operaciones que en la etapa anterior. No obstante, existe una diferencia considerable en la operación llenado, en razón que existe una acción llamada medición de peso pues este reactor cuenta con un sistema de medición adicional para una actividad específica denominada llenado a volumen.

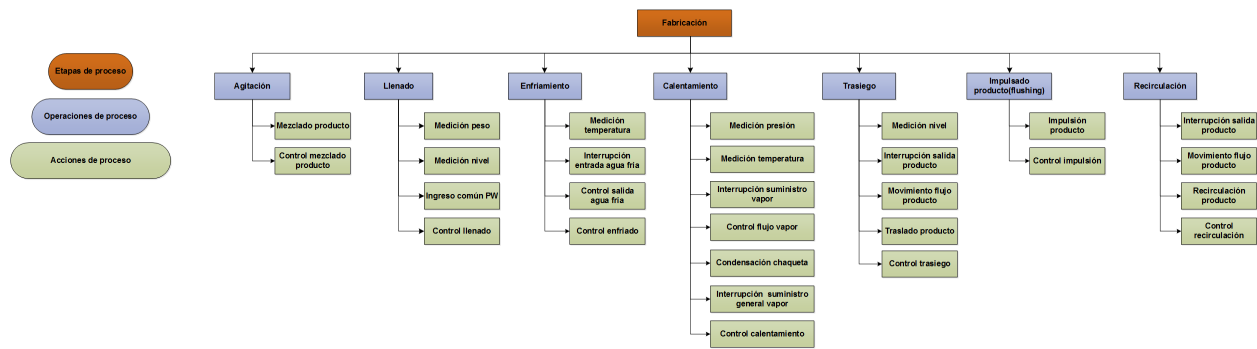


Figura 1.9: Etapa de proceso fabricación.

Fuente: El autor, junio 2019.

Para la etapa de envasado (ver Figura 1.10) se emprenden las operaciones:Agitación,llenado(trasiego) y trasiego.

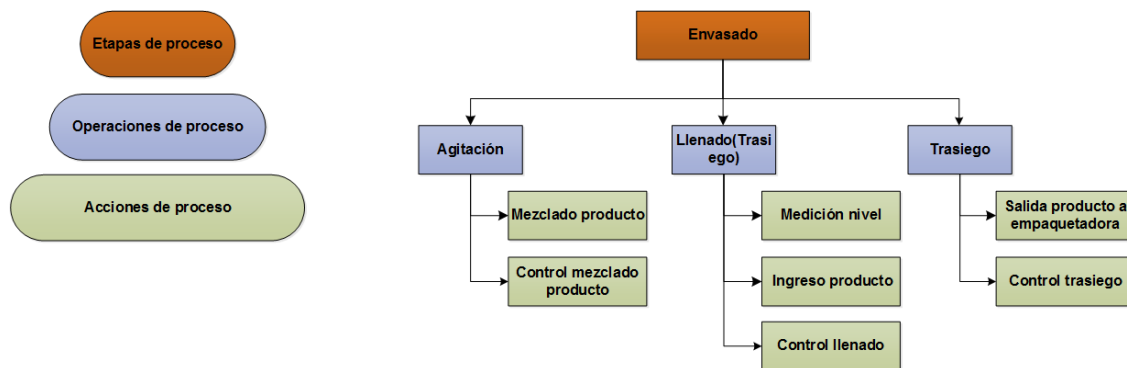


Figura 1.10: Etapa de proceso envasado.

Fuente: El autor, junio 2019.

Modelo Físico

El modelo físico estudia, analiza y jerarquiza los activos físicos que componen una planta de producción [22]. Es valioso identificar los 4 niveles que constituyen este modelo:

- **“Célula de proceso”**. Interpreta un agrupamiento general de todos los equipos físicos que son necesarios para la producción de uno o más lotes.
- **“Unidades”**. Compuestas por módulos de equipo y de control que ejecutan actividades significativas en el proceso.
- **“Módulos de equipo”**. Conjunto de equipos que llevan a cabo tareas menores de procesamiento. Un módulo de equipo puede contener otros de este tipo.

- **“Módulos de control”**. Dispositivo de regulación que actúa como una sola entidad, generando una conexión directa con el proceso. Un módulo de control puede contener otros de este tipo.

Cabe destacar que el modelo involucra una jerarquización más amplia incluyendo “empresa”, “sitio” y “área”, no estando estos relacionados con el nivel de planta sino a nivel empresa por consiguiente se citan en la **Figura 1.11** , pero no se detallan.

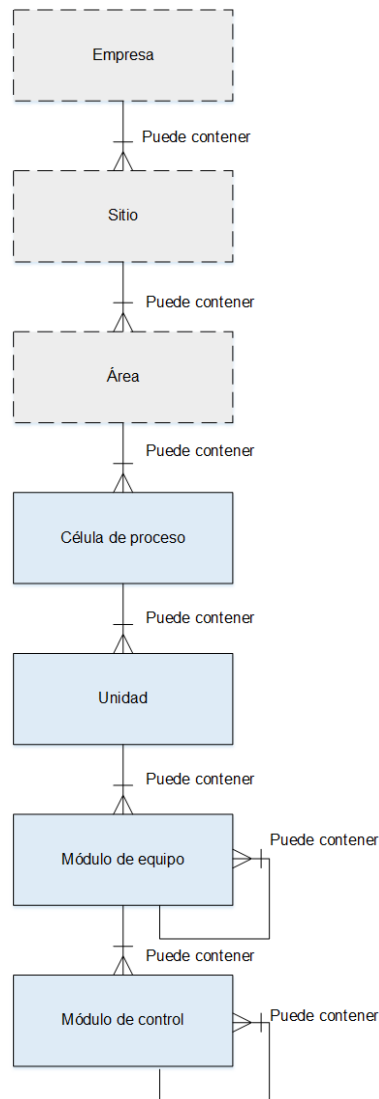


Figura 1.11: Modelo físico genérico estándar ISA 88.01.

Fuente: Tomado de ANSI/ISA-88.01-199.

Para el modelo físico, se tiene una célula de proceso, cuatro unidades, veinte módulos de equipo, sesenta y seis módulos de control como se muestra en la **Figura 1.12**.

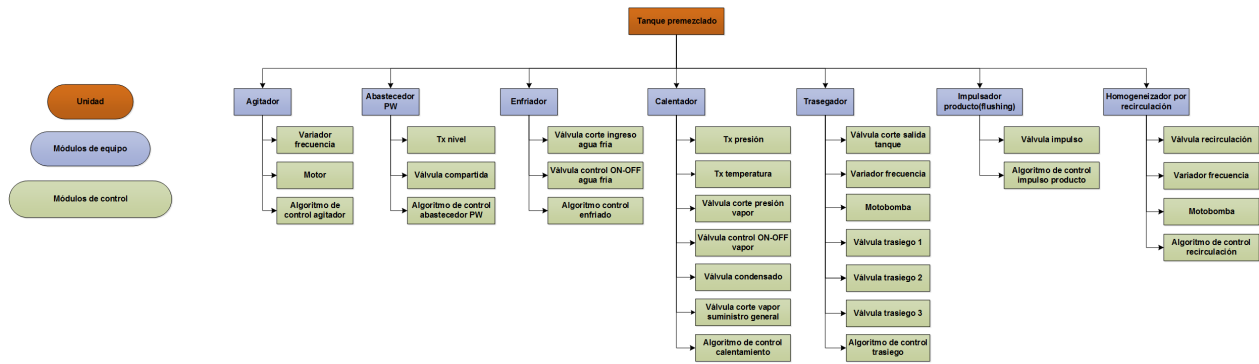


Figura 1.14: Unidad Tanque de premezclado.

Fuente: El autor, junio 2019.

En cuanto a la unidad de fabricación los módulos de equipo y módulos de control son similares; a pesar de ello, existe una diferencia en el módulo de equipo abastecedor pw pues cuenta con un módulo de control adicional llamado transmisor de peso, que se relaciona con una celda de carga encomendada para intervenir en la operación llenado a volumen (ver Figura 1.15).

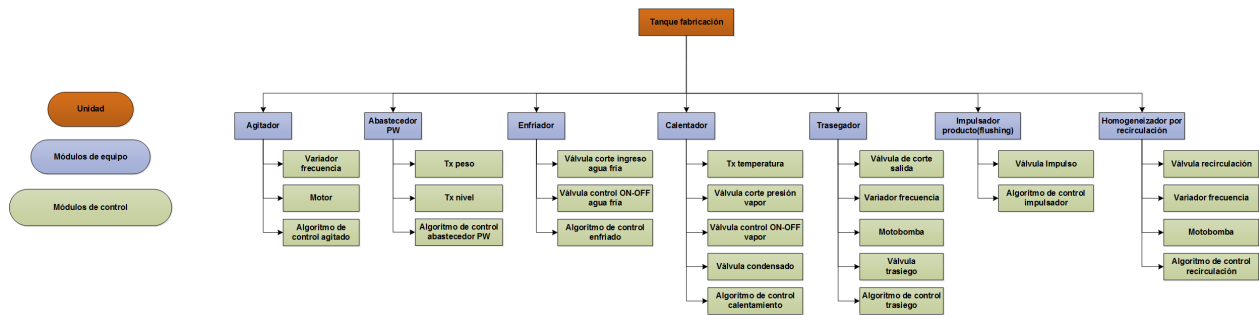


Figura 1.15: Unidad tanque de fabricación.

Fuente: El autor, junio 2019.

Para la unidad de envasado 1 (ver Figura 1.16) y envasado 2 (ver Figura 1.17), cada una cuenta con los módulos de equipo agitador, abastecedor producto y trasegador.

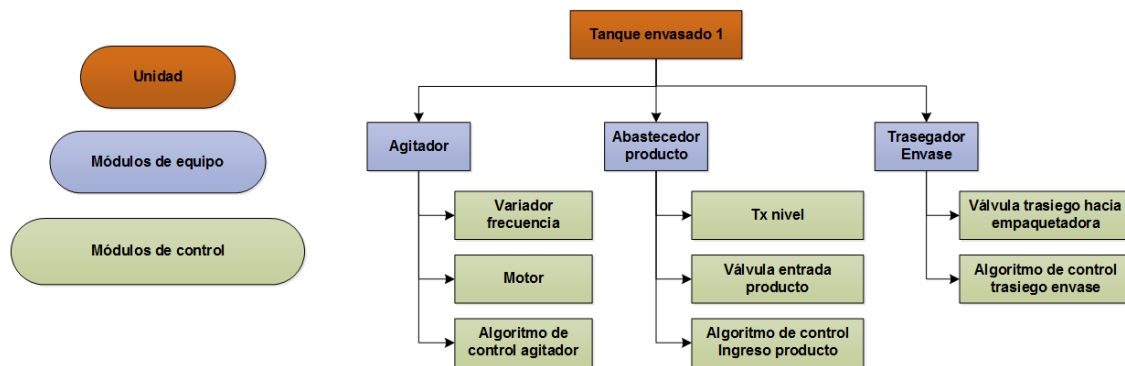


Figura 1.16: Unidad tanque de envasado 1.

Fuente: El autor, junio 2019.

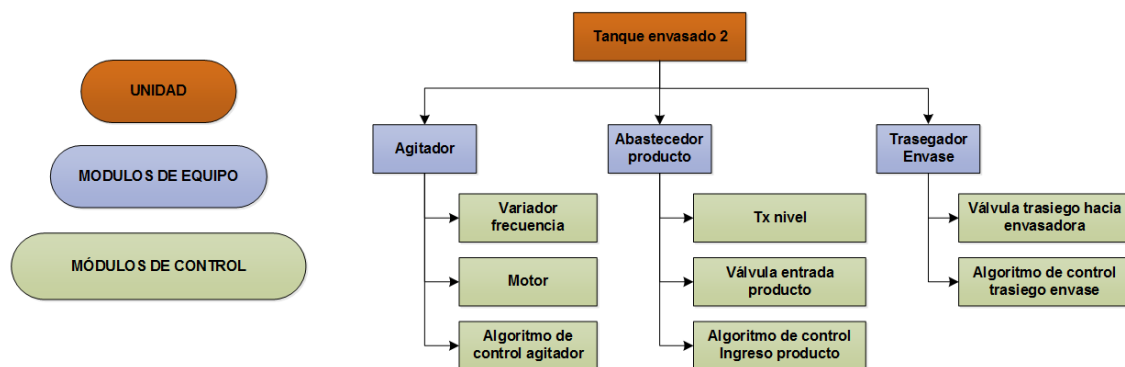


Figura 1.17: Unidad tanque de envasado 2.

Fuente: El autor, junio 2019.

Modelo de control procedimental.

El modelo de control procedimental (ver **Figura 1.18**) precisa y jerarquiza las acciones de producción de forma secuencial y ordenada [23]. Está orientado directamente a las funciones de los equipos produciéndose una secuencia organizada de actividades para realizar un proceso específico. El diseño de este modelo dispone la construcción de instrucciones genéricas que las recetas utilizan para la preparación de distintos productos.

Los niveles que componen este modelo son:

- **“Procedimiento”**. Nivel más alto de la jerarquía que determina la estrategia para llevar a cabo la elaboración de un lote a partir de la reunión de diferentes tareas.
- **“Procedimientos de unidad”**. Reunión ordenada de operaciones que dan cabida a una secuencia productiva efectuada dentro de una unidad. Se debe señalar que se toma como

referencia el documento normalizado IEC 848 que se refiere al gráfico funcional control de etapa y transición (SFC), con el propósito de representar una secuencia de control donde las etapas iniciales serían las operaciones, las etapas siguientes serían las fases y las transiciones serían las especificaciones de transición de cada etapa.

- **“Operaciones”**. Conjunto organizado de acciones de procesamiento menor (fases) que comúnmente generan cambios físicos o químicos en el material procesado.
- **“Fases”**. Acciones de procesamiento menor que efectúan una o más tareas orientadas al proceso. Dichas acciones pueden subdividirse en otras tareas aún menores, como lo son los pasos y transiciones en un sistema de eventos discretos (SED).

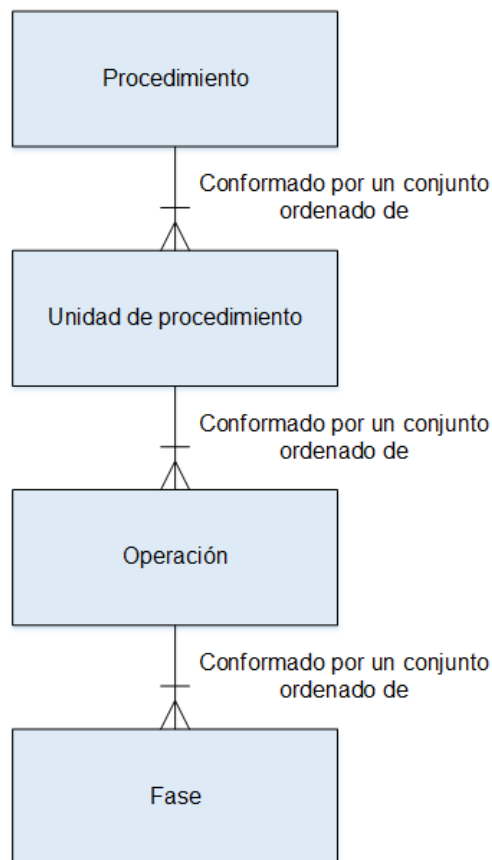


Figura 1.18: Esquema modelo de control procedimental.

Fuente: Tomado de ANSI/ISA-88.01-199.

El modelo de control procedimental, cuenta con un procedimiento llamado producción líquidos 1 y tres procedimientos de unidad denominados premezclar materia prima, fabricar producto y envasar producto como se muestra en la **Figura 1.19**.

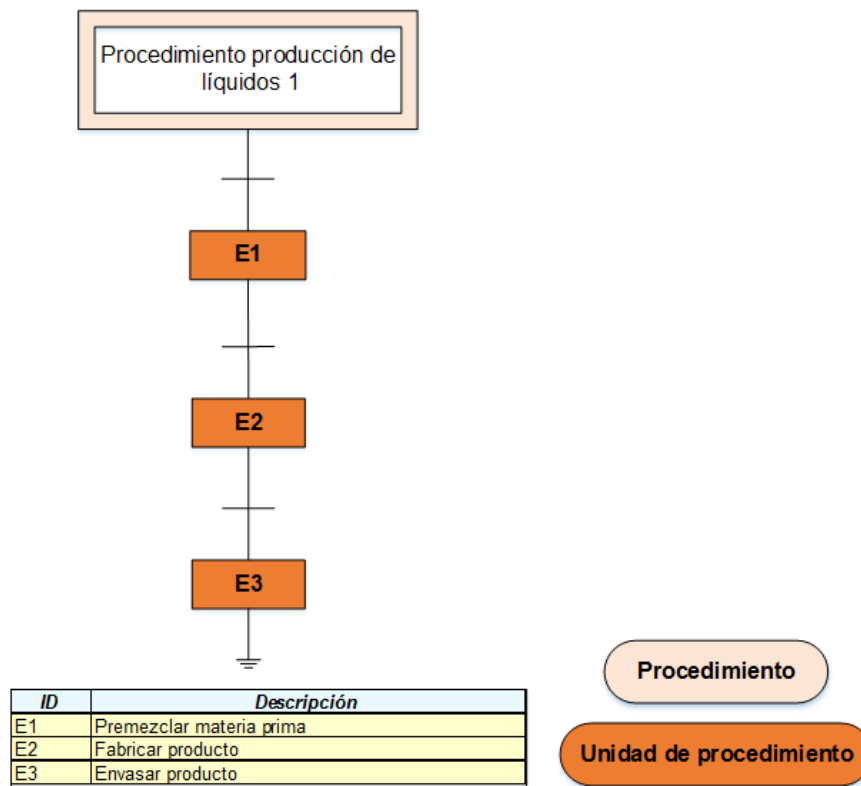


Figura 1.19: Procedimiento producción líquidos 1.

Fuente: El autor, junio 2019.

En la etapa cero de la unidad de procedimiento premezclar materia prima (ver Figura 1.20), se mantienen todos los equipos apagados y los parámetros reiniciados. Posteriormente se escoge la operación deseada que describen las etapas E1.0 a E1.6.

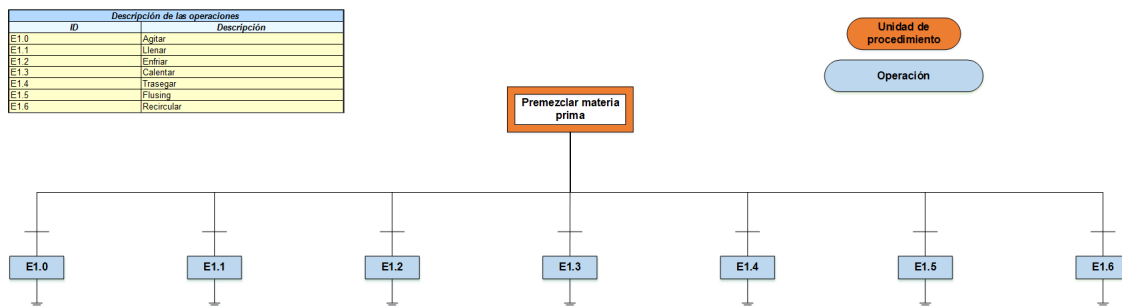


Figura 1.20: Unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.

Fuente: El autor, junio 2019.

Profundizando en cada una de las operaciones anteriores, se tiene lo siguiente:

En la etapa inicial de la operación agitar (ver Figura 1.21), se conserva el motor apagado y los

parámetros en reiniciados. Después en la etapa E1.0.1, se ingresan el valor deseado de velocidad y tiempo. Posteriormente, en la etapa E1.0.2, se enciende el motor a la velocidad deseada hasta que se cumple el tiempo estipulado.

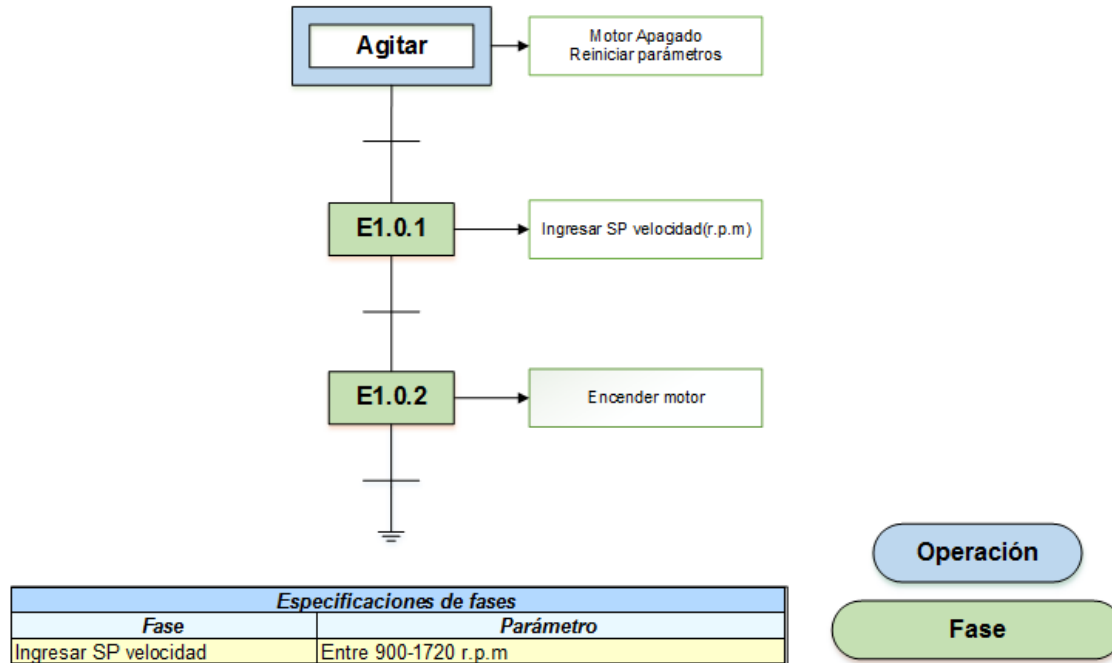


Figura 1.21: Operación Agitar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.

Fuente: El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la operación llenar (ver Figura 1.22), se preserva la válvula suministro de PW cerrada y los parámetros reiniciados. Luego en la etapa E1.1.1, se ingresa el valor deseado de nivel. Más adelante en la etapa E1.1.2, se abre la válvula de suministro agua purificada hasta que llegue al valor deseado de nivel. Seguidamente, la etapa E1.1.3, se cierra la válvula de agua purificada (PW).

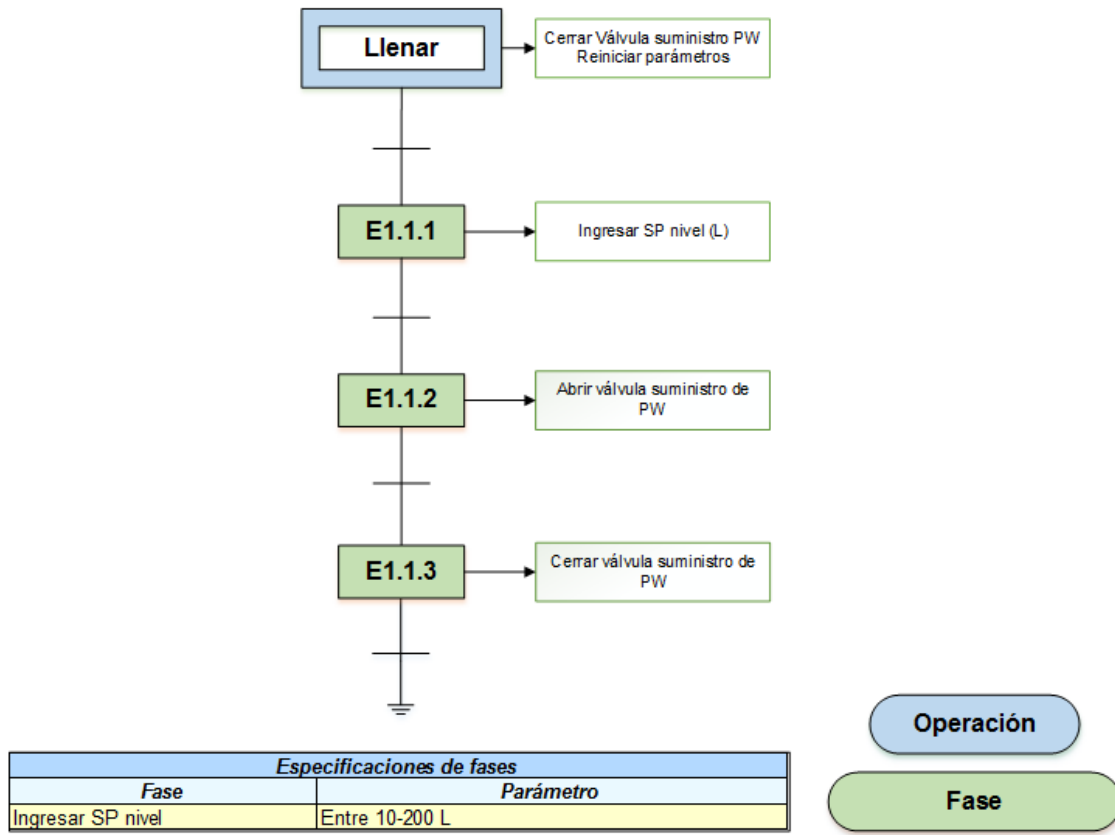


Figura 1.22: Operación llenar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.
 Fuente: El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la operación enfriar (ver **Figura 1.23**), se asegura que las válvulas de ingreso y control estén cerradas y los parámetros reiniciados. A continuación en la etapa E1.2.1, se ingresan el valor deseado de temperatura y tiempo de establecimiento. Seguidamente en la etapa E1.2.2, se abre la válvula de ingreso de agua fría a la chaqueta y activa el control PID (derivativo, integral, proporcional) de la válvula de regulación hasta alcanzar la referencia de temperatura y cumplir el tiempo requerido. Más tarde, en la etapa E1.2.3 se cierra las válvulas, se detiene el control PID y se abre la válvula de condensados por un tiempo establecido para drenar el líquido de la chaqueta.

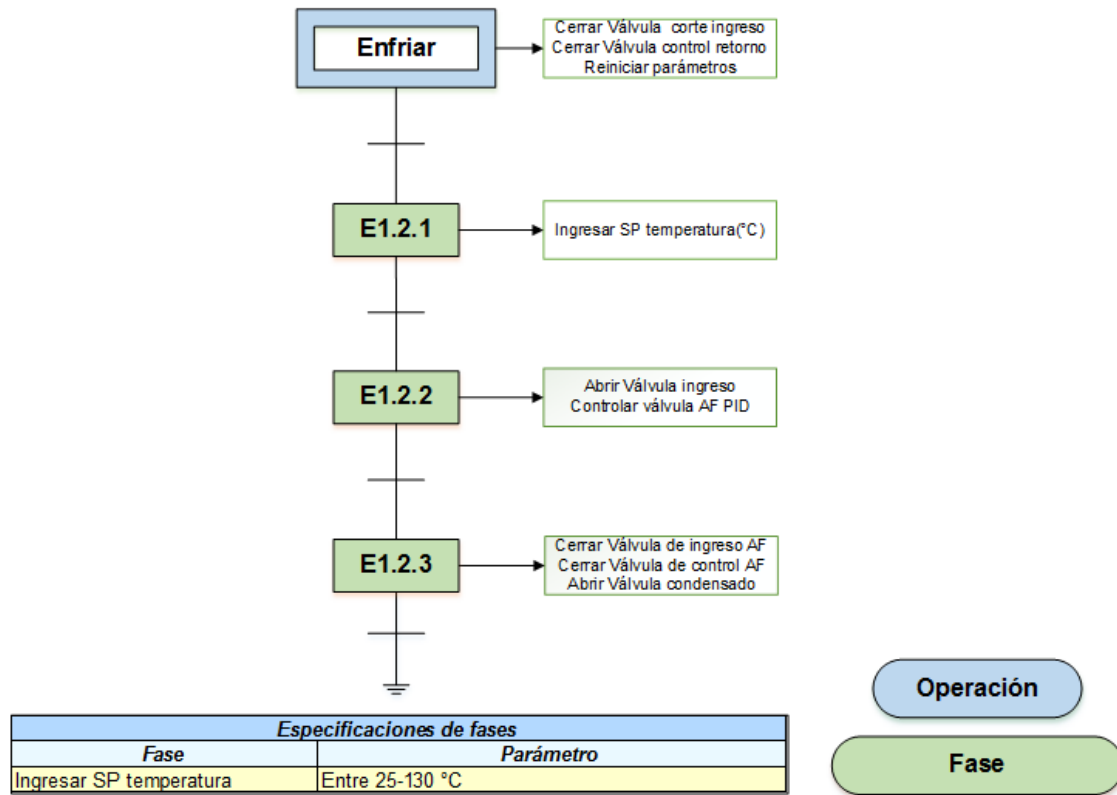


Figura 1.23: Operación enfriar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.
 Fuente: El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la operación calentar (**ver Figura 1.24**), se tienen las válvulas en estado cerrado y los parámetros reiniciados. Posteriormente en la etapa E1.3.1, se ingresan los valores deseados de temperatura y tiempo de establecimiento. Luego, la etapa E1.3.2 se abre la válvula corte presión vapor, válvula de condensado y se activa el PID de la Válvula control vapor, hasta alcanzar el nivel de temperatura y el tiempo apetecidos. Por último, en la etapa E1.3.3 se cierran las válvulas de ingreso, control y condensado.

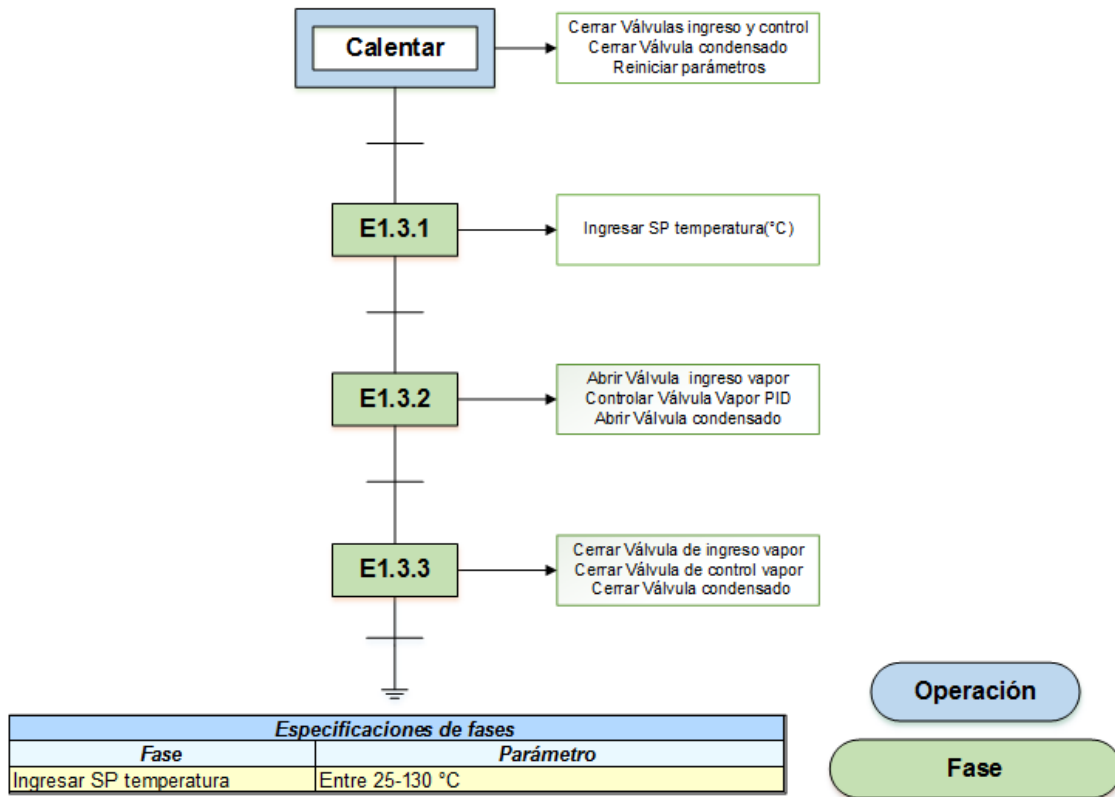


Figura 1.24: Operación calentar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.
 Fuente: El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la operación trasiego (ver **Figura 1.25**), se mantienen las válvulas de salida y trasiego cerradas, la motobomba apagada y los parámetros reiniciados. Seguidamente, en la etapa E1.4.1 se ingresa el valor deseado de litros a trasegar. Después, en la etapa E1.4.2, se abre la válvula de corte de salida, las tres válvulas de trasiego y se mantiene apagada la motobomba. Ulteriormente en la etapa E1.4.3 se enciende la motobomba de impulso hasta que el nivel en el tanque receptor (fabricación) sea alto ó el nivel de tanque emisor sea bajo o se haya cumplido el nivel solicitado. En el primer caso (nivel alto) se devuelve a la etapa E1.4.2 y en el segundo (referencia deseada o nivel receptor bajo) avanza a la etapa E1.4.4, donde se cierran las válvulas, se apaga la motobomba y se espera la notificación de que el trasiego ha finalizado.

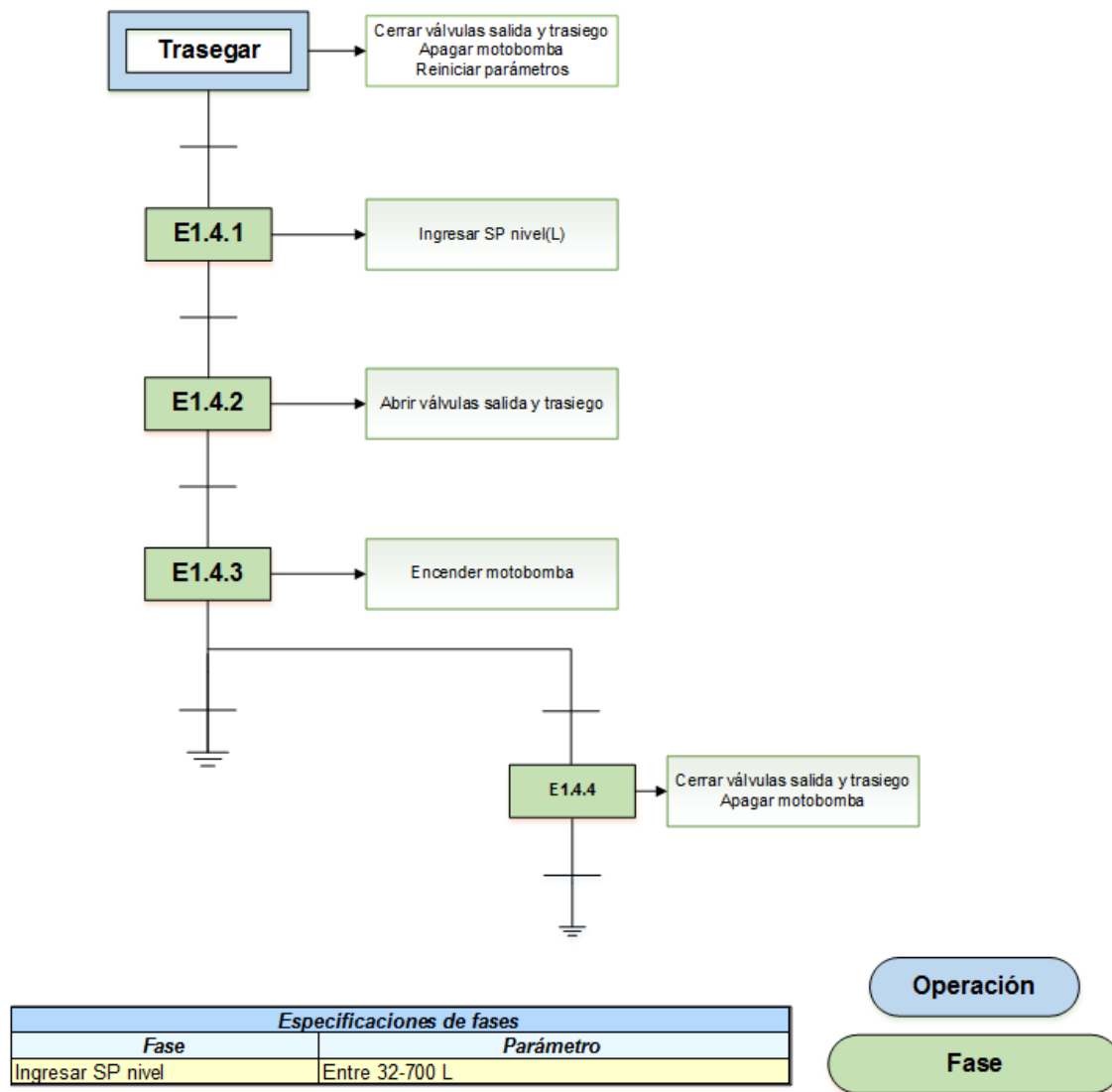


Figura 1.25: Operación trasegar de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.

Fuente: El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la operación flushing (ver **Figura 1.26**), se pone la válvula de corte flushing y las válvulas de trasiego en estado cerradas, además de reiniciar los parámetros. Primeramente, en la etapa E1.5.1, se ingresa el valor deseado de tiempo. Luego, en la etapa E1.5.2, se abren las válvulas de trasiego y posteriormente la de flushing hasta que se cumpla el tiempo solicitado.

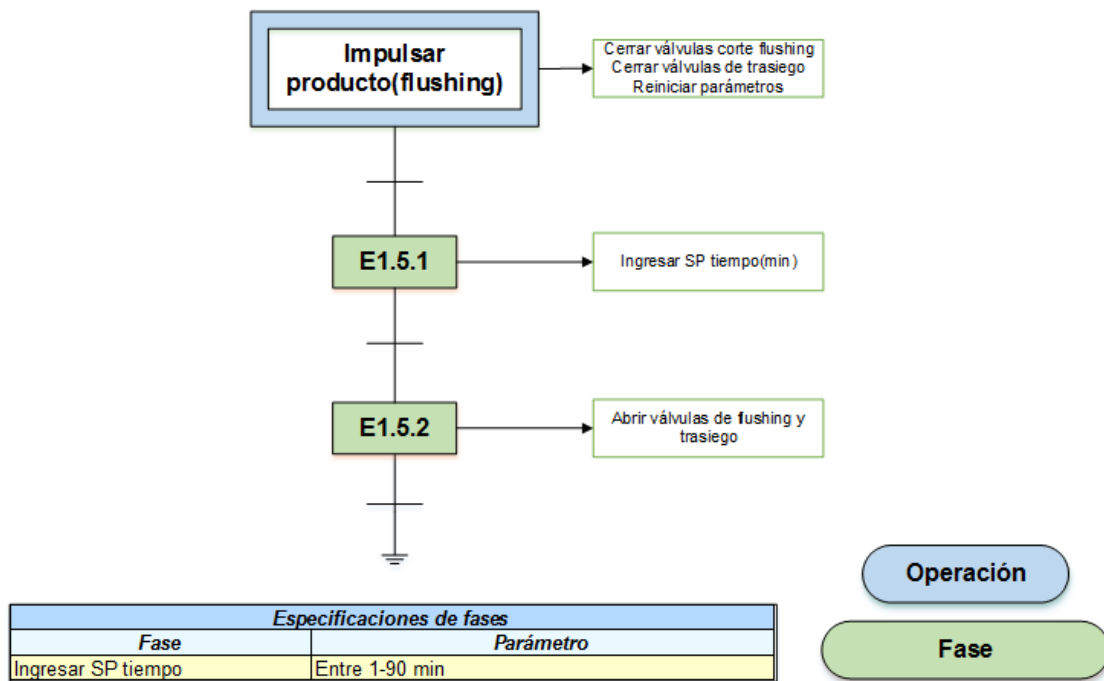


Figura 1.26: Operación impulsar producto (flushing) de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.

Fuente:El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la operación recircular (ver Figura 1.27), se mantienen las válvulas de salida y recirculación cerradas, la motobomba apagada y los parámetros reiniciados. A continuación, en la etapa E1.6.1, se ingresa el valor deseado de velocidad y el tiempo requerido. Posteriormente en la etapa E1.6.2, se da apertura a las válvulas salida del reactor y recirculación, además de encender la motobomba hasta alcanzar el valor deseado de velocidad y tiempo.

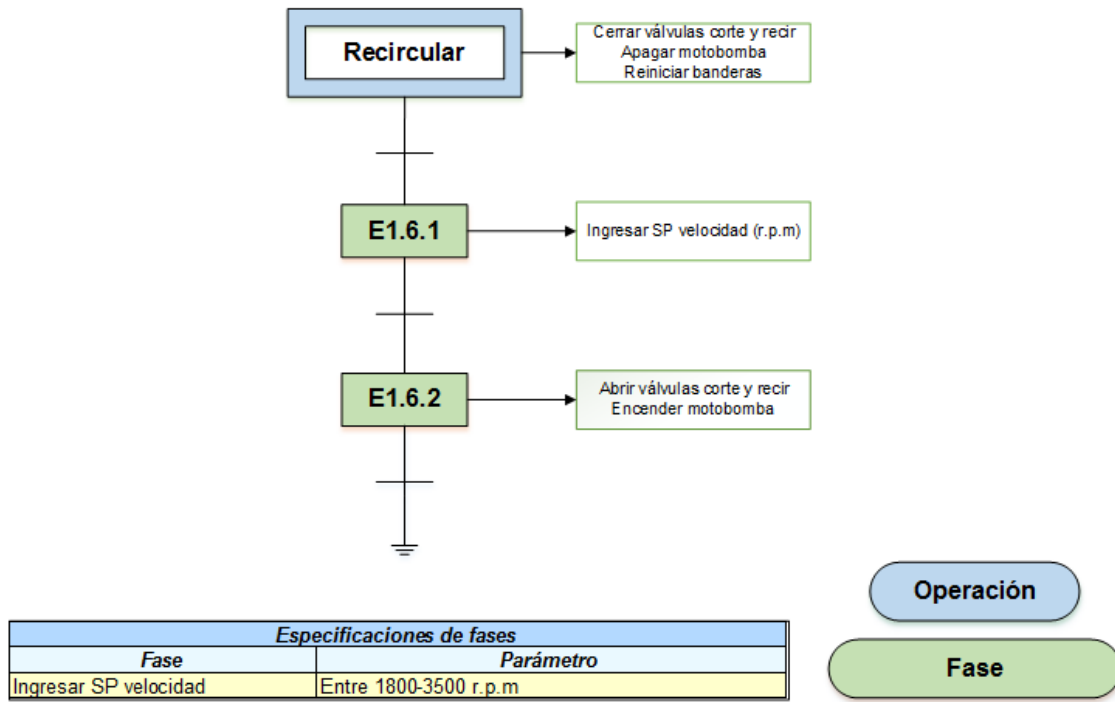


Figura 1.27: Operación recircular de la unidad de procedimiento pre mezclar materia prima.

Fuente:El autor, junio 2019.

La unidad de procedimiento fabricar (ver Figura 1.28),producto es similar a la unidad de procedimiento pre mezclar materia,pues están conformadas por las mismas operaciones, es decir, agitar (ver Figura 1.29), enfriar (ver Figura 1.30),calentar (ver Figura 1.30), impulsión producto-flushing (ver Figura 1.31), recircular(ver Figura 1.32).Es necesario destacar, que a pesar de que las secuencias de fases son parecidas, estas se llevan a cabo en diferentes equipos.

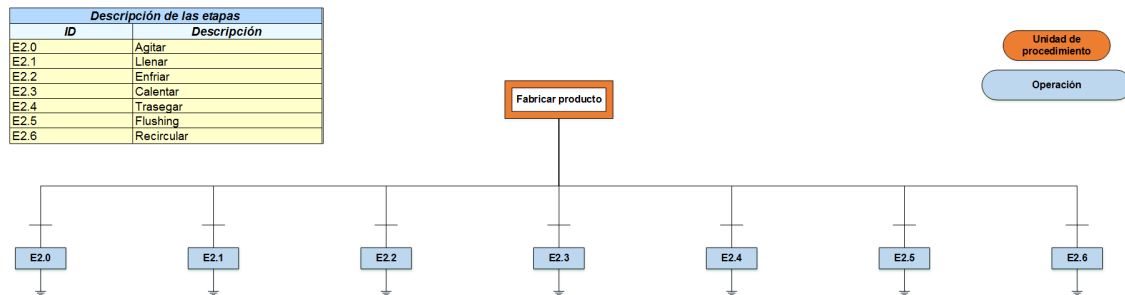


Figura 1.28: Unidad de procedimiento fabricar producto.

Fuente:El autor, junio 2019.

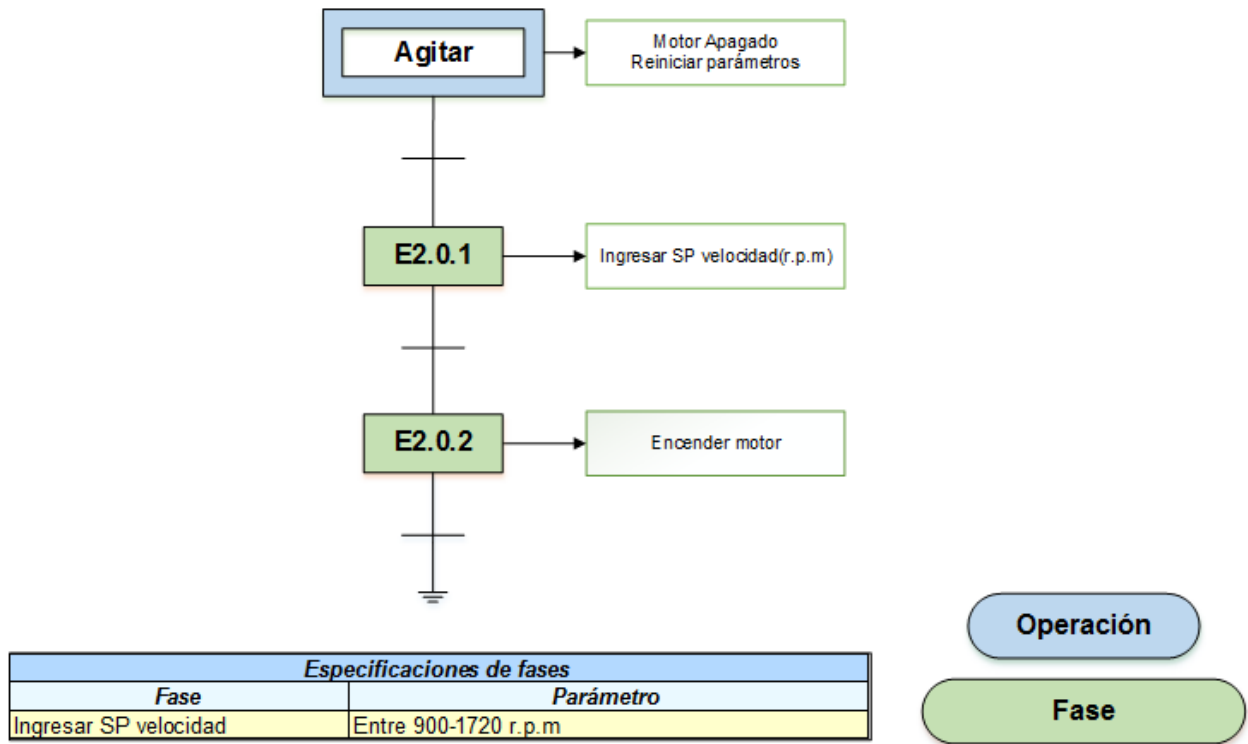


Figura 1.29: Operación agitar de la unidad de procedimiento fabricar producto.
Fuente:El autor, junio 2019.

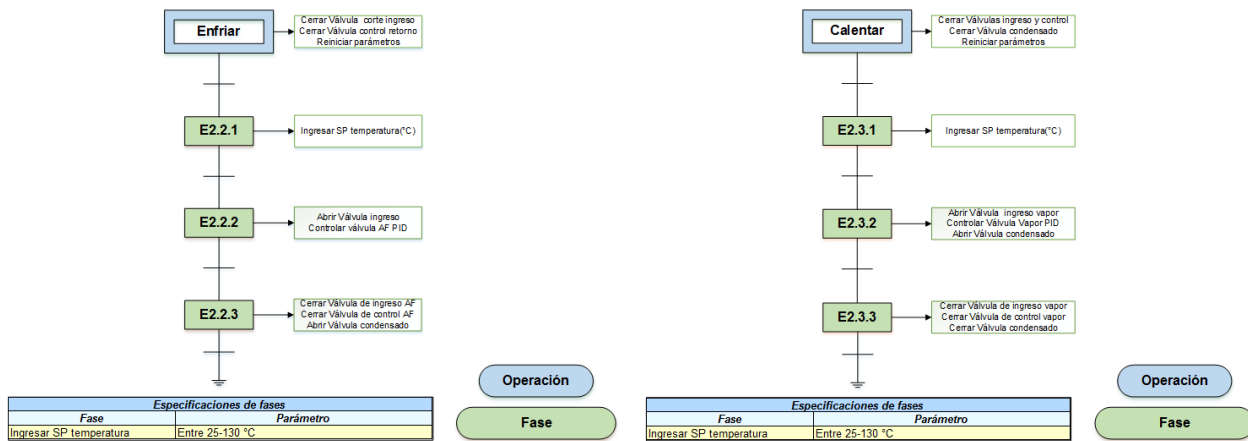


Figura 1.30: Operaciones enfriar y calentar de la unidad de procedimiento fabricar producto.

Fuente:El autor, junio 2019.

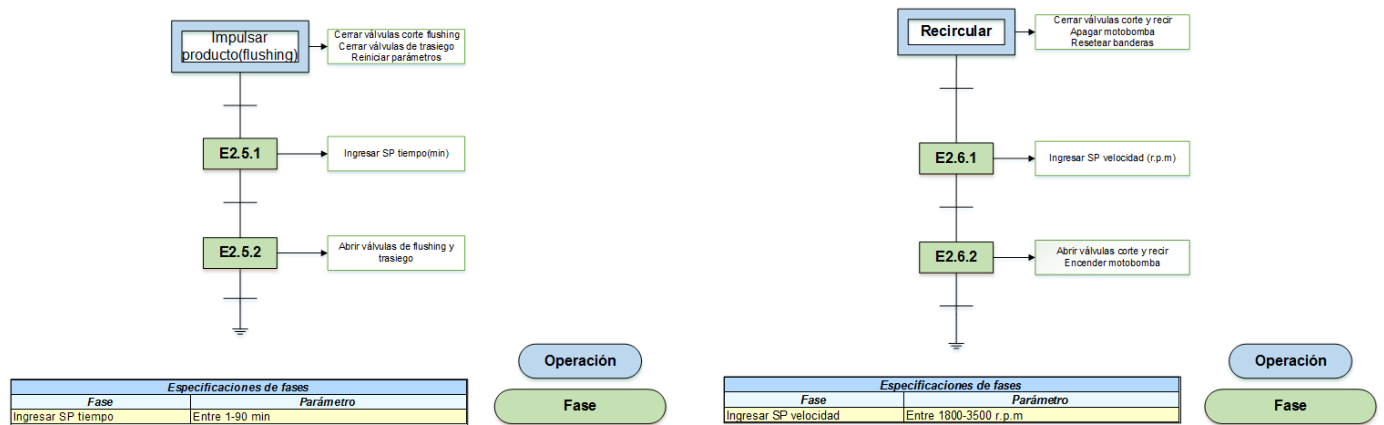


Figura 1.31: Operaciones flushing y recircular de la unidad de procedimiento fabricar producto.

Fuente:El autor, junio 2019.

En cuanto a las operaciones llenar (ver Figura 1.32), y trasegar (ver Figura ??), se presentan diferencias en la jerarquía lógica con respecto a la unidad de procedimiento analizada anteriormente.

En la etapa inicial de la operación llenar, se tiene la válvula de suministro de agua purificada (PW) cerrada y los parámetros reiniciados. Posteriormente se encuentra dos caminos. El primero hace referencia al llenado inicial y el segundo al llenado complementario. El llenado inicial es similar al explicado en la unidad premezclado materia prima. El llenado complementario se explica a continuación: En la etapa E2.1.4 se ingresa el valor deseado en kilogramos que hacen falta para cumplir con el nivel descrito en la instrucción de manufactura. Luego en la etapa E2.1.5 se abre la válvula de agua purificada (pw). Finalmente en la etapa E2.1.6 se cierra la válvula una vez se llegue a la referencia deseada y se confirma la finalización de esta operación.

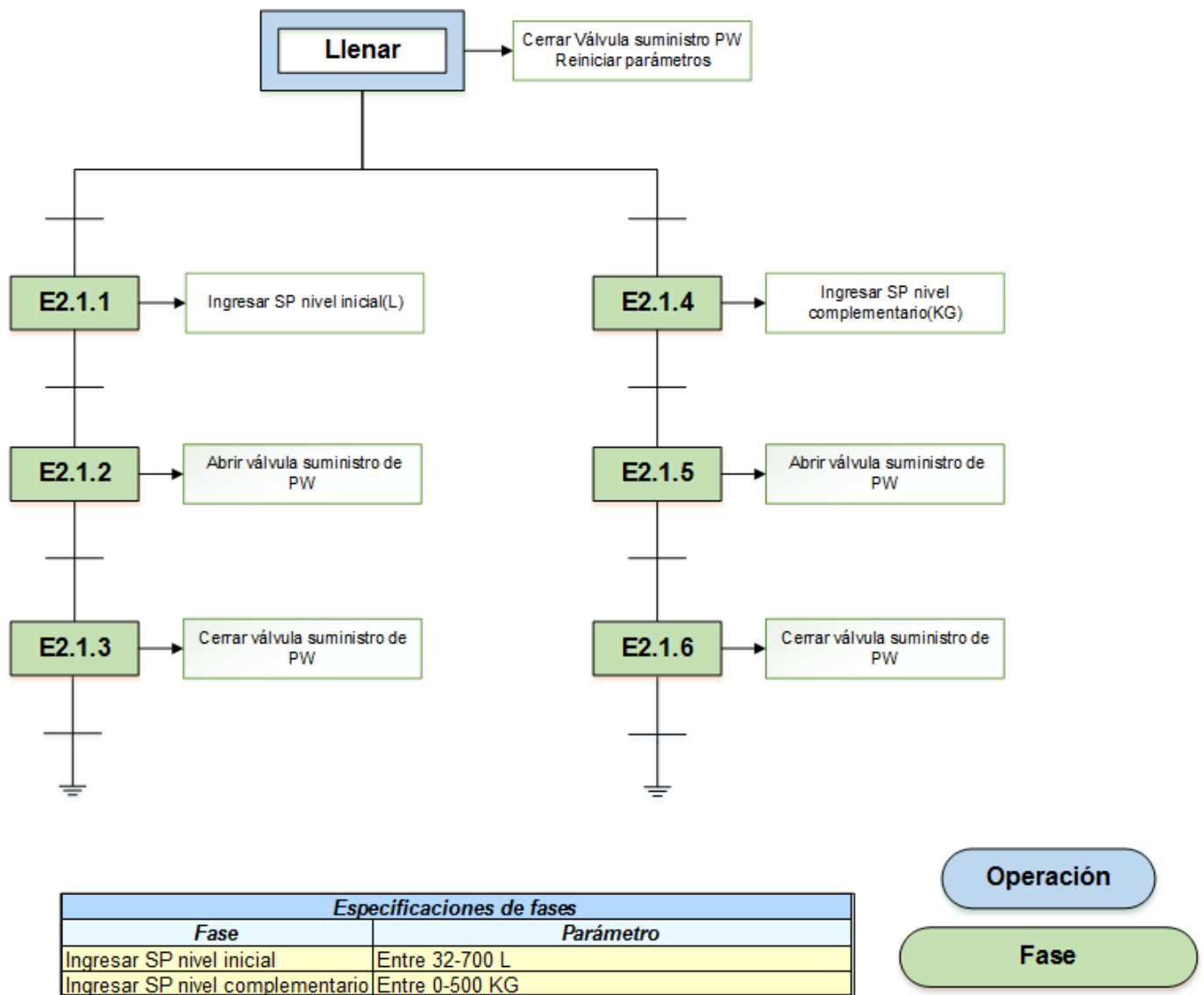


Figura 1.32: Operación llenar de la unidad de procedimiento fabricar producto.

Fuente:El autor, junio 2019.

La operación trasegar desde el cuarto de fabricación solo tiene el objetivo de habilitar esta tarea, permitiendo notificar que la secuencia dada por la instrucción de manufactura se ha cumplido y el producto está listo para ser envasado. Esta operación se ejecuta desde el cuarto de envasado por facilidades del operario.

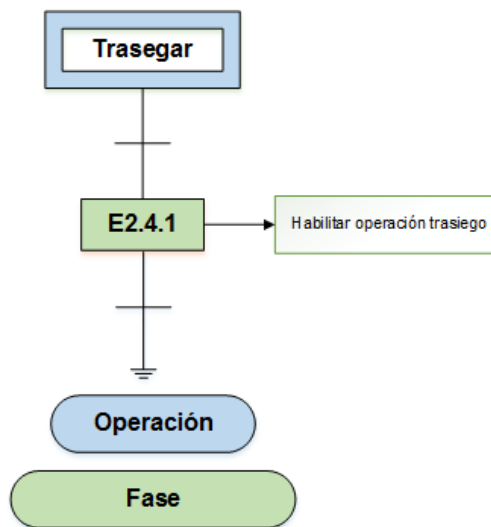


Figura 1.33: Operación trasegar de la unidad de procedimiento fabricar producto.

Fuente:El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la unidad de procedimiento envasar producto, se tiene una acción de mantener condiciones iniciales, seguidamente se encuentra en paralelo las etapas agitar(E3.0),llenar(E3.1),trasegar (E3.2),como se nota en la Figura 1.34.

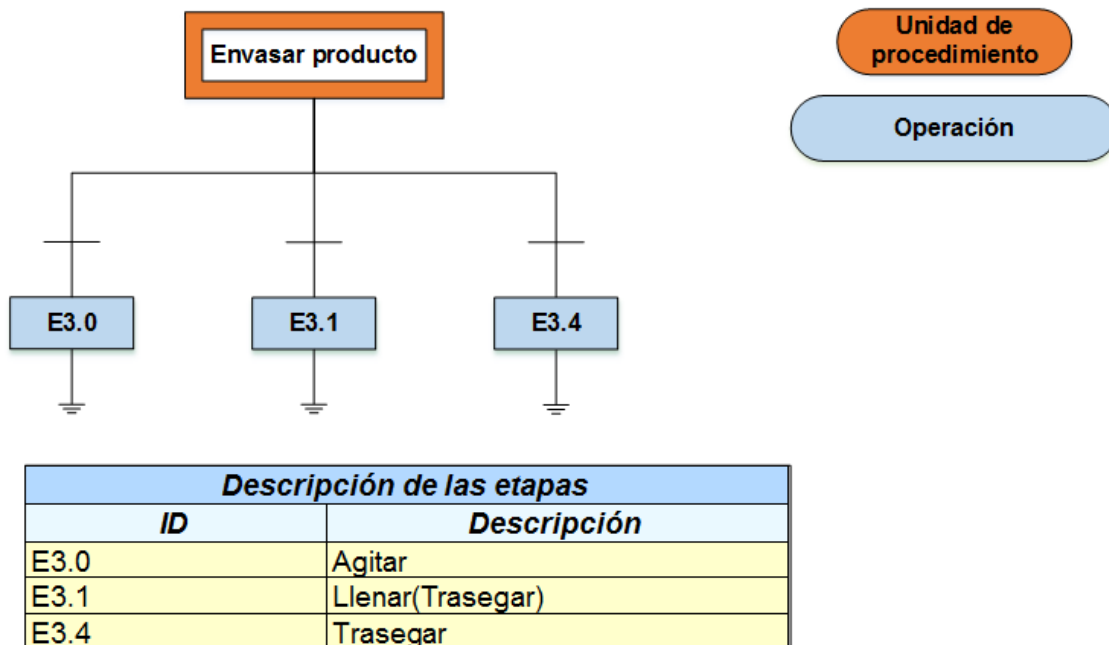


Figura 1.34: Unidad de procedimiento envasar producto 1.

Fuente:El autor, junio 2019.

Profundizando en las operaciones, se nota que la secuencia lógica de la operación agitar (**ver Fi-**

Figura 1.35) es semejante a la de las dos unidades anteriores, pero con instrumentación y equipos diferentes.

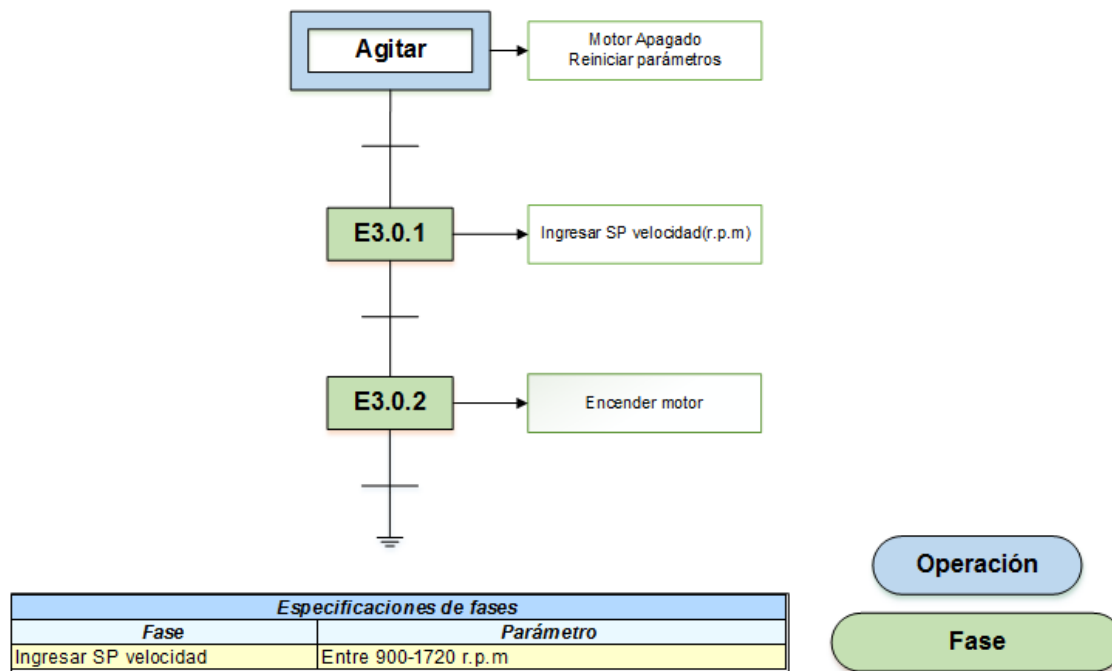


Figura 1.35: Operación agitar de la unidad de procedimiento envasar producto.
Fuente:El autor, junio 2019.

En la etapa inicial de la operación llenar(trasegar) (ver Figura 1.36),se cierran las válvulas de salida del reactor, trasiego e ingreso al tanque envasado. Además, se apaga la motobomba y se reinician los parámetros. Posteriormente, se halla dos rutas, una para el envasado en el tanque 1 y la otra para el tanque 2.Enfatizando en ruta 1, se encuentra la etapa E3.1.1, en el cual se ingresa la referencia de nivel requerido. Seguidamente en la etapa E3.1.2 se abren las válvulas de salida del tanque de fabricación, válvula de trasiego, la válvula de ingreso tanque envasado 1 y se mantiene apagada la motobomba. A continuación, en las etapas E3.1.3 se enciende la motobomba. En este punto se encuentran dos opciones: la primera regresa a la etapa E3.1.2, si cumple que el nivel en el tanque de envasado 1 es alto y la segunda avanza a la etapa E3.1.4,si corrobora que el nivel en el tanque de fabricación es bajo o se llega al valor deseado del nivel. En esta etapa se cierran las válvulas de salida del reactor, trasiego e ingreso y se apaga la motobomba.

Respecto a la segunda ruta es similar a la descrita anteriormente, pero está relacionada con el tanque de envasado 2.

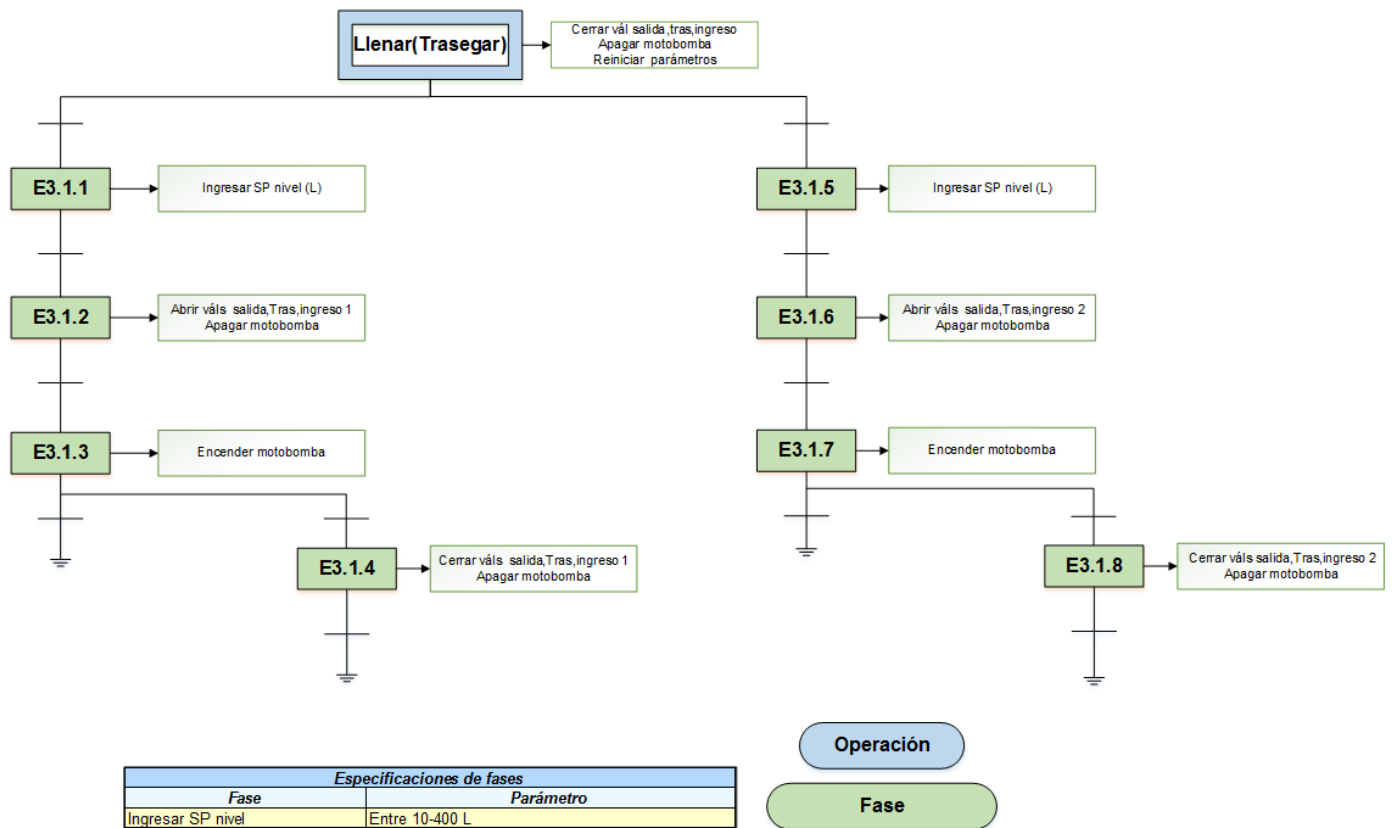


Figura 1.36: Operación llenar(trasegar) de la unidad de procedimiento envasar producto.
Fuente:El autor, junio 2019.

La operación trasegar se realiza manualmente abriendo o cerrando la válvula desde la interfaz como se nota en la figura 1.37)

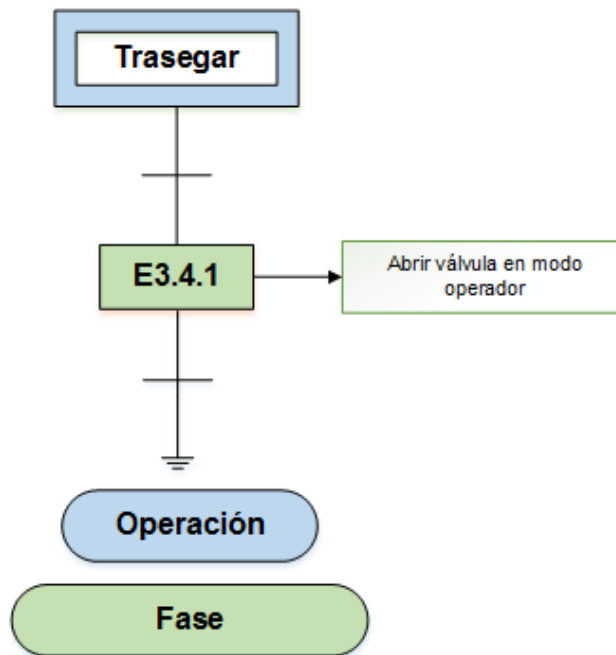


Figura 1.37: Operación trasegar de la unidad de procedimiento envasar producto.

Fuente:El autor, junio 2019.

Interacción entre los modelos ISA-88.

Entre los modelos que ofrece el estándar ISA-88.01, es decir, control procedimental, físico y proceso, se halla una correspondencia jerárquica entre ellos. El vínculo está enmarcado en que el modelo de control procedimental se efectúa sobre los equipos o instrumentos referidos en el modelo físico, generando el modelo de proceso. Para distinguir adecuadamente la relación de los tres modelos se utilizaron cuatro tonos de colores (rosa, naranja, azul, verde) que asocian los niveles de cada uno de ellos como se muestra en la **Figura 1.38**.

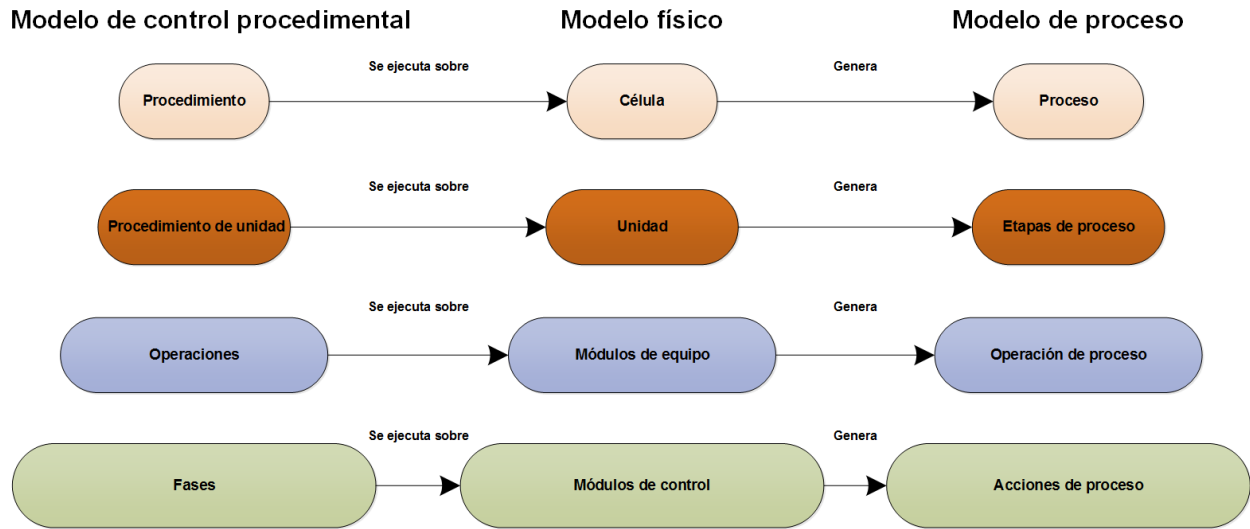


Figura 1.38: Distinción en colores para la relación de los modelos ISA-88.01.
Fuente:El autor, junio 2019.

Un ejemplo de dicha relación se plantea en la **Figura 1.39**.

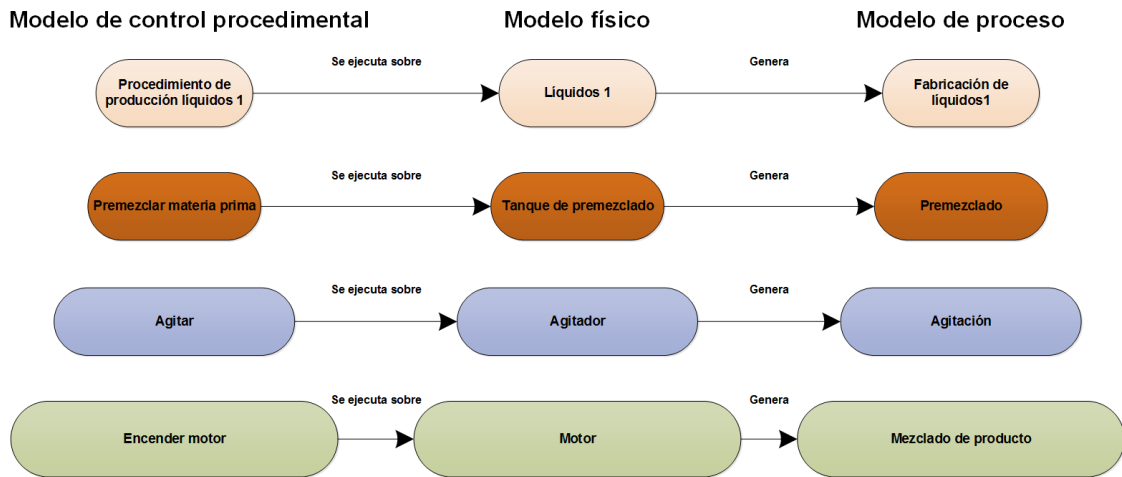


Figura 1.39: Ejemplo de la relación de los modelos ISA-88.01.
Fuente:El autor, junio 2019.

En la correspondencia del nivel superior de color rosa se toma las acciones del procedimiento producción líquidos 1 y se ejecutan en la célula líquidos 1, para producir un proceso denominado fabricación de líquidos 1. Un nivel más abajo distinguido con el color naranja, incluye el procedimiento de unidad premezclar materia prima, que involucra diferentes tareas secuenciales y se ejecuta sobre la unidad tanque de premezclado produciendo una etapa de proceso llamada premezclado. En el siguiente nivel, caracterizado por un color azul se halla la operación agitar que

se implementa sobre el módulo de equipo agitador para producir el proceso de agitación. Para finalizar se localiza en el último nivel con color verde ,la fase encender motor que se realiza sobre el módulo de control motor para producir la acción de proceso mezclado de producto.

1.2.7. Diagrama de tubería e instrumentos PI&D sustentado en el estándar ISA5.1

Etiquetado en letras, según el estándar ISA-5.1

En la **Tabla 1.8**, se describe el etiquetado en letras según el estándar ISA-5.1.

Nota: la primera letra indica la variable de medición y la segunda la función de salida que cumple.

Tabla 1.8: Identificación en letras según el estándar ISA5.1

Identificación funcional según isa 5.1	
Nomenclatura	Descripción
YC	Controlador de estado
LC	Controlador nivel
TC	Controlador de temperatura
SC	Controlador de velocidad
PC	Controlador de presión
LT	Transmisor de nivel
PT	Transmisor de presión
WT	Transmisor de peso
TT	Transmisor de temperatura
YV	Válvula de estado(abierto-cerrado)
TV	Válvula de control temperatura
LV	Válvula control nivel
AG	Agitador
P	Motobomba
SV	Variador de velocidad
R	Reactor
TK	Tanque
AS	Suministro de aire

Etiquetado en numérico, según el estándar ISA-5.1

Para llevar a cabo esta nomenclatura se tiene presente el modelo físico del estándar ISA-88.01 de la siguiente manera:

- **Célula líquidos uno.** Esta célula está distinguida por el número uno, primer dígito de la etiqueta numérica (ver **Tabla 1.9**).

Tabla 1.9: Etiquetado numérico célula líquidos 1

Célula	Número identificador
Líquidos 1	1

En la **Figura 1.40** se explica como se ha etiquetado numéricamente la célula líquidos 1.

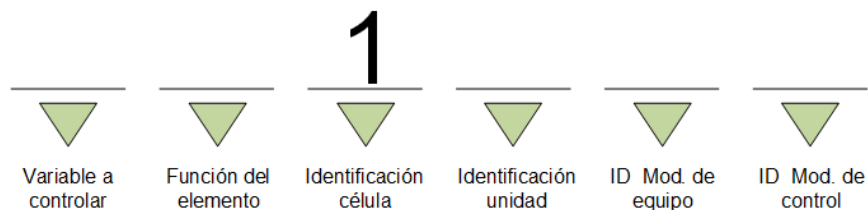


Figura 1.40: Ejemplo etiquetado numérico de la célula líquidos 1, según estándar ISA-5.1

Fuente: El autor, junio 2019.

- **Unidades.** En el proceso existen cuatro unidades, las cuales se identifican como se muestra en la **Tabla 1.10**.

Tabla 1.10: Etiquetado numérico de las unidades

Célula	Unidades	Número identificador
Líquidos 1	Tanque pre mezclado o auxiliar	1
	Tanque Fabricación	2
	Tanque Envasado 1	3
	Tanque Envasado 2	4

En la **figura 1.41** se expone como se ha etiquetado numéricamente la unidad premezclado.

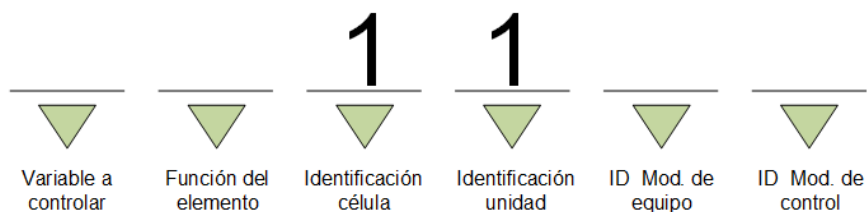


Figura 1.41: Ejemplo etiquetado numérico de la unidad tanque premezclado o auxiliar según estándar ISA-5.1.

Fuente: El autor, junio 2019.

- **Módulos de equipo de la unidad tanque pre mezclado o auxiliar.** Se encuentran inmersos 6 módulos de equipo (6 lazos de control) y se identifican como se muestra a continuación en la **Tabla 1.11**.

Tabla 1.11: Etiquetado numérico de los módulos de equipo

Unidad	Módulos de equipo	Número identificador
Tanque de premezclado	Agitador	0
	Abastecedor PW	1
	Enfriador	2
	calentador	3
	Trasegador	4
	Impulsión producto(Flushing)	5
	Homogeneizador por Recirculación	6

En la **figura 1.42** se ejemplifica como se ha etiquetado numéricamente el módulo de equipo agitador.

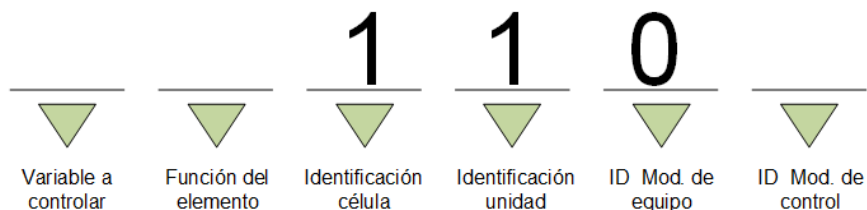


Figura 1.42: Ejemplo etiquetado numérico del módulo de equipo agitador según estándar ISA-5.1.

Fuente: El autor, junio 2019.

- **Módulos de control.** Cada módulo de equipo está conformado por módulos de control cuya nomenclatura se muestra en la **Tabla 1.12**.

Tabla 1.12: Etiquetado numérico de los módulos de control

Módulo de equipo	Módulos de control	Número identifi- cador
Agitador	Variador de frecuencia	0
	Motor	0
	Algoritmo de control agitador	0
Abastecedor PW	Tx nivel	0
	Válvula compartida	0
	Algoritmo de control abastecedor PW	0
Enfriador	Válvula corte ingreso agua fría	0
	Válvula control ON-OFF agua fría	0
	Algoritmo control enfriado	0
Calentador	Tx presión	0
	Tx temperatura	0
	Válvula corte presión vapor	0
	Válvula control ON-OFF vapor	0
	Válvula condensado	1
	Válvula corte vapor suministro general	2
	Algoritmo de control calentamiento	0
Válvula corte salida tanque	0	
Trasegador	Variador frecuencia	0
	Motobomba	0
	Válvula trasiego 1	1
	Válvula trasiego 2	2
	Válvula trasiego 3	3
	Algoritmo de control trasiego	0
Impulsador producto	Válvula impulso	0
	Algoritmo de control impulso producto	0
Homogenizador por recirculación	Válvula recirculación	0
	Variador frecuencia	0
	Motobomba	0
	Algoritmo de control recirculación	0

Nota. Algunos módulos de control tienen el mismo identificador, puesto que son instrumentos o equipos diferentes y no tienen el problema de repetir nomenclatura. En la **Figura 1.43** se ejemplifica como se ha etiquetado numéricamente el módulo de control motor.

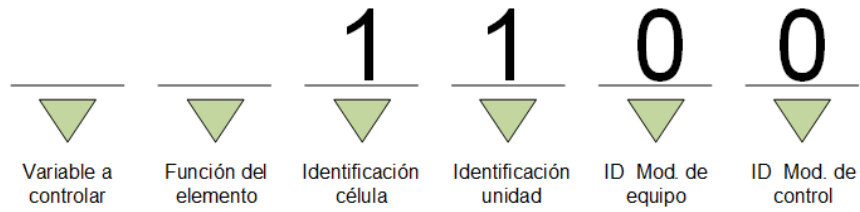


Figura 1.43: Ejemplo etiquetado numérico del módulo de control motor (agitador) según estándar ISA-5.1.

Fuente: El autor, junio 2019.

Se aclara que se sigue la misma metodología de etiquetado para la unidad fabricación, envasado 1 y 2. En las **Figuras 1.44, 1.45, 1.46, 1.47** se muestra los diagramas PI&D de las 4 unidades nombradas anteriormente.

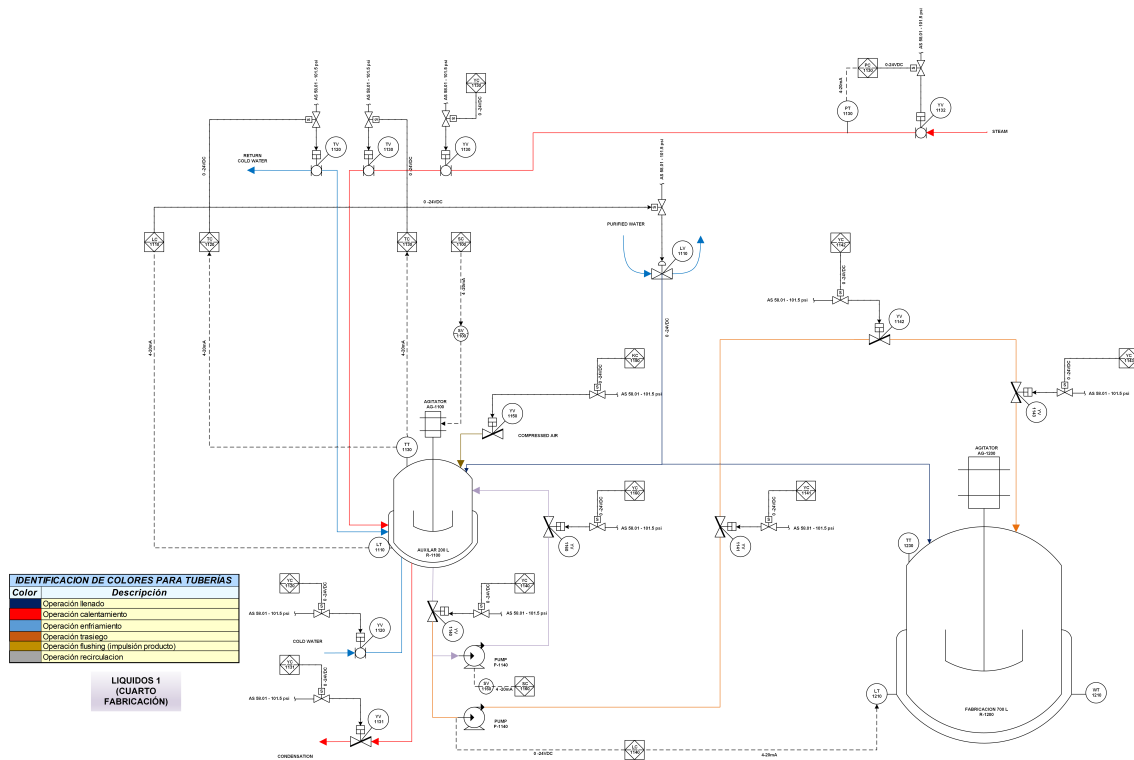


Figura 1.44: PI&D unidad tanque pre mezclado o auxiliar).

Fuente: El autor, junio 2019.

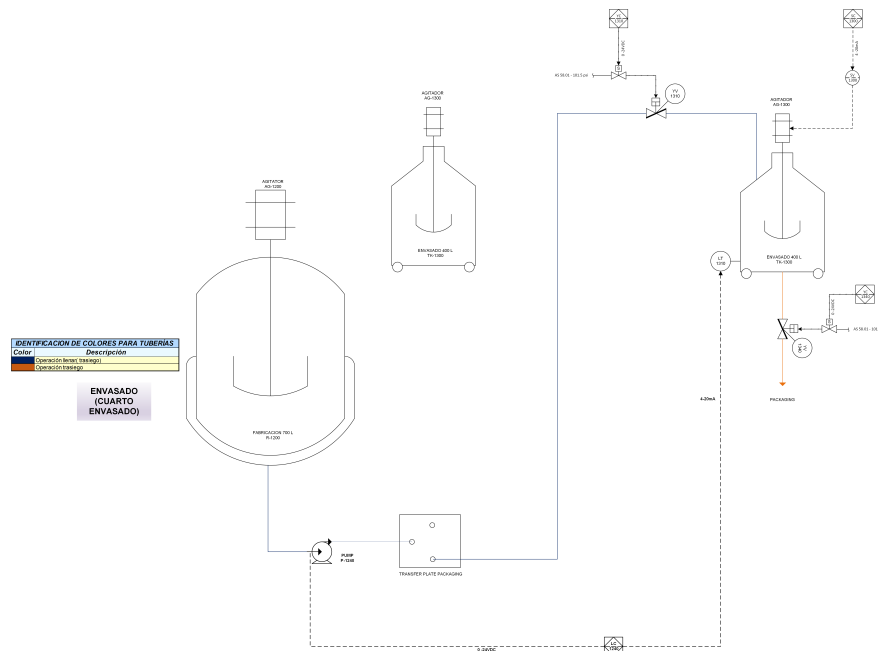


Figura 1.47: PI&D unidad tanque envasado 2.

Fuente: El autor, junio 2019.

1.2.8. Listado de instrumentos

Luego de ser aprobado el PI&D por parte del cliente, se realiza el listado donde se encuentra información de localización, tag relacionada con el PI&D, característica y descripción, número de entradas y salidas (analógicas y digitales), forma de operación, confirmación (abierto/cerrado, encendido/apagado) de cada instrumento. Para verificar lo anterior ir al **Anexo ??: “Listado instrumentos de control”**

1.2.9. Criterios de selección de elementos hardware.

Transmisores de proceso

Para la selección de los transmisores se tiene en cuenta los siguientes criterios:

- **Sanitario e higiénico:** cumplimiento de las regulaciones sanitarias que estipula el estándar 3-A SSI por normativa de la empresa.
- **Rango de medida:** se tiene en cuenta las características de los diferentes lotes a fabricar, para escoger el rango de medida acorde.

- **Exactitud:** el Grado de concordancia que proporciona el valor medido con respecto al valor real debe ser alto, ya que para un control fino de las diferentes variables el instrumento de medición debe tener un error mínimo.
- **Precisión:** el grado de dispersión entre una medida y otra debe ser reducida para lograr un control adecuado de las variables.
- **Mantenimiento:** para evitar paros en el proceso, es importante hacer un mantenimiento preventivo, fácil y práctico que demande poco tiempo en su realización.
- **Compatibilidad con los módulos del PLC:** acoplamiento entre la señal salida de los transmisores y las entradas de los módulos del PLC.

Válvulas

Para la selección de las válvulas se tienen en cuenta los siguientes criterios.

- **Sanitario e higiénico:** acatamiento del estándar 3-A SSI. Especialmente para válvulas que están en contacto directo con el proceso.
- **Tiempo de respuesta:** escogencia de válvulas versátiles, de acción rápida y que requieran un rango de vuelta reducido para el cambio de posición (abierta-cerrada).
- **Rango de presión:** Aceptación del rango de presión aceptado según las características físicas del proceso.
- **Inventario:** válvulas sobrantes de otros proyectos.

Motores (Agitadores y motobombas)

- **Inventario:** motores de procesos antiguos que se acomodan a las características del proceso y tiene la facilidad de acoplarse a la necesidad.
- **Velocidad:** idóneo para girar al rango de velocidad requerido en la elaboración de los productos.

Variadores

- **Carga del motor:** selección de un variador teniendo en cuenta el par del motor, siendo necesario considerar la dinámica de funcionamiento que conllevan las cargas constantes o variables, arranques y paradas frecuentes.
- **Marca:** empresa reconocida en el mercado que brinde respaldo y soporte.

Dispositivos de control

- **Controlador lógico programable(PLC):**
 - **Marca:** por solicitud del cliente se busca conservar el estándar y la normalización en todos los procesos existentes en la planta, implementando la tecnología de un solo proveedor (Allen Bradley) por facilidad en integridad, soporte y aprendizaje.
 - **Memoria:** controlador que permita la programación de todos los requerimientos del sistema de control y un poco más, en caso que se deseen cambios o ampliaciones futuras.
 - **Comunicación:** equipo que soporte conexión por protocolo Ethernet IP de tal manera que sea compatible con toda la red.

- **Módulos de entradas y salidas:**
 - **Compatibilidad:** acorde al PLC seleccionado.
 - **Capacidad en entradas y salidas:** según el número de entradas o salidas requeridas en el sistema de control.

- **Panel view:**
 - **Compatibilidad:** entre panel view y PLC
 - **Comunicación:** aceptación del protocolo Ethernet IP para adaptarse a toda la red.

1.2.10. Elementos Hardware seleccionados

Con base a los criterios expuestos con anterioridad y las características particulares del proceso se eligen los siguientes equipos e instrumentos (Para ampliar información técnica remitirse al **Anexo ??: “Elementos hardware seleccionados”**):

Transmisores de proceso.

Tabla 1.13: Comparación de tecnologías para elegir el transmisor de temperatura

Instrumento	Criterio/tecnología	Endress+Hauser iTHERM TM411	Endress+Hauser iTHERM TS111
Transmisor de temperatura	Sanitario	Si	No
	Rango de medida	-200 a 600°C	-200 a 600°C

	Exactitud	Tolerable 0,1 %	Tolerable 0,1 %
	Precisión	Alta	Alta
	Mantenimiento	Facilidad	Facilidad
	Compatibilidad	4-20mA	4-20mA

Tabla 1.14: Comparación de tecnologías para elegir el transmisor de presión hidrostática

Instrumento	Criterios/ tecnologías	Endress+Hauser Cerabar M PMP51	Endress+Hauser Deltabar FMD72	Endress+Hauser Deltapilot FMB50
Transmisor de presión hidrostática	Sanitario	Si	No	Si
	Rango de medida	0-300 mbar	0-400 mbar	0.001-0,01mbar
	Exactitud	0,15 %	0,15 %	0,20 %
	Precisión	Alta	Alta	Alta
	Mantenimiento	Facilidad	Facilidad	Facilidad
	Compatibilidad	4-20mA	4-20mA	4-20mA

Tabla 1.15: Comparación de tecnologías para elegir el módulo de carga.

Instrumento	Criterios/ tecnologías	Mettler toledo Multimount	HMB Z6AM
Celda de carga	Sanitario	Si	No
	Rango de medida	0-500kg	0-500kg
	Exactitud	0,10 %	0,10 %
	Precisión	Alta	Alta
	Mantenimiento	Facilidad	Facilidad
	Compatibilidad	4-20mA	4-20mA

Para la unidad tanque de premezclado se eligen dos transmisores: uno para medir temperatura (iTHERM TM411/ Endress+Hauser) y otro para nivel (referencia CERABAR M PMP51 /Endress+Hauser). Por otro lado en la unidad tanque de fabricación se escogen dos transmisores: el primero, para cuantificar temperatura (referencia TMR35/Endress+Hauser) y el segundo, para contabilizar nivel (CERABAR M PMP51/ Endress+Hauser). Adicionalmente se opta por una celda de carga que calcula el peso (referencia SWB805/MultiMount). En cuanto a las unidades envasado 1 y envasado 2 se designa un transmisor de nivel (referencia Deltapilot FMB50/ Endress+Hauser) por cada una de ellas.

Válvulas de proceso.

Tabla 1.16: Comparación de tecnologías para elegir las válvulas

Instrumento	Criterios /tecnologías	Alfa laval LKB	TVL CV-COS	Top linePattern Diaphragm Valve	Rotork intruments SM0120N-1HW00A2
Válvulas	Sanitario	Si	No	Si	no
	Tiempo de respuesta	bueno	bueno	bueno	bueno
	Rango de presión	Hasta 10 bar	Hasta 13 bar	Hasta 11 bar	Hasta 15 bar
	Inventario	no	no	si	si

En el proyecto se optó por cuatro tipos de válvulas:

- **Válvulas mariposa automática LKB higiénicas (alfa Laval):** Están en contacto directo con el proceso por tanto son higiénicas, dicho en otras palabras, su porcentaje de contaminación es bajo. Este tipo de actuadores se encuentran en todo el proceso (4 unidades).
- **Válvulas TOP-FLO T-Pattern Diaphragm Valves (Top line):** Válvula actuada neumáticamente por una electroválvula. Este instrumento se halla en el suministro de agua purificada.
- **Válvulas SM0120N-1HW00A2 (rotork instrument)** Ubicadas en el tren de vapor y tren de agua fría, tanto del tanque de premezclado como en el de fabricación.

Variadores y motores

Tabla 1.17: Comparación de tecnologías para elegir motores

Instrumento	Criterios/ tecnologías	Siemens 1LE0141-0EB86-4AA4	Siemens 1LE0141-1AB86-4AA4-Z	TechTop T3A90L1-2	ABB 3GQA133 302AXA
Motores	Inventario	Si	Si	Si	NO
	Par	9,16 lb*ft	9,05 lb*ft	7,5 lb* ft	22,90 lb*ft
	Velocidad	0-1720 r.p.m	0-1740 r.p.m	1750-3500r.p.m	0-1200 r.p.m

Tabla 1.18: Comparación de tecnologías para elegir variadores

Instrumento	Criterios/ tecnología	Yaswaga V1000	Schneider electric ATV212HU15N4
Variadores	Par	Compatible	Compatible
	Marca	Más garantías	Menos garantías

El proyecto se decide por un motor agitador (1LE0141-0EB86-4AA4/ Siemens) para cada uno de los tanques premezclado, envasado 1 y envasado 2, un motor (1LE0141-1AB86-4AA4-Z/ Siemens) para el tanque fabricación, una motobomba (T3A90L1-2/ TechTop) para los trasiegos (auxiliar a fabricación y fabricación a envasado) y un variador yaskawa V1000 que controle la velocidad de cada uno de ellos.

Dispositivos de control

Tabla 1.19: Comparación de tecnologías para elegir el PLC

Instrumento	Criterios/ tecnología	CompactLogix 1769-L33ER	Siemens Simatic S7-1200
PLC	Marca	Normalización	No aplica normalización
	Memoria	2MB	2MB
	Comunicación	Ethernet	Ethernet

Tabla 1.20: Comparación de tecnologías para elegir los módulos E/S

Instrumento	Criterios/ tecnologías	Allen Bradley	Siemens
Módulos E/S	Compatibilidad	Si	No
	Capacidad	E/S Suficiente	E/S suficiente

Tabla 1.21: Comparación de tecnologías para elegir las panel view

Instrumento	Criterios/ tecnología	Panel view 7 standard terminal	Siemens Simatic HMI
Panel view	Compatibilidad	Si	No aplica normalización
	Comunicación	Ethernet	Ethernet

- Controlador 1769-L33ER Allen Bradley, encargado de la lectura, registro y procesamiento de datos, para crear impulsos de control generados por la programación del mismo.
- Una pantalla para el Cuarto de fabricación (2711p-T10c21d8s/ Allen Bradley) y otra para el cuarto de envase (2711P-T7C21D8S/ Allen Bradley), con el fin de que los operarios interactúen con el sistema a través de estas.
- Dos Módulos de entradas digitales (1769-IQ32/ Allen Bradley), dos módulos de salidas digitales (1769-Ob32/ Allen Bradley), un módulo de entradas analógicas (1769-If16c/ Allen Bradley) y un módulo de salidas analógicas (1769-Of8c/ Allen Bradley). Estos dispositivos brindan una in-

terfaz física entre en controlador con las diferentes señales manejadas dentro del sistema (sensores y actuadores).

1.2.11. Elementos Software seleccionados

Tabla 1.22: Requerimientos software

Nombre	Característica	Descripción
Factory talk view studio	Tipo de producto	FT View Studio Machine edition Versión10.0: Software Desarrollo de pantallas en interfaz operador a nivel de máquina.
		FT View Studio Site edition Versión 10.0: software HMI de nivel de supervisión para monitorear y controlar aplicaciones de servidor distribuido / multiusuario.
Microsoft SQL server	Tipo de producto	sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS)
	Fabricante	Microsoft
Studio 5000	Tipo de producto	Software de diseño y configuración del PLC
	Fabricante	Allen Bradley
RSLogix emulate 5000	Tipo de producto	Software para trabajar con un PLC emulado(Versión24.0).
	Fabricante	Allen Bradley
RSInx Classic	Tipo de producto	Software para comunicaciones industriales de dispositivos de Rockwell Automation(Versión3.90.00 CPR 9 SR 9)
	Fabricante	Allen Bradley
Integrated Architecture Builder)	Tipo de producto	Software para diseñar y validar sistemas de control,generar propuestas y listas de materiales que brinden los detalles del sistema(Versión 9.7.72.
	Fabricante	Allen Bradley

Microsoft Visio 2013	Tipo de producto	Software de dibujo vectorial
	Fabricante	Microsoft

1.2.12. Listados de señales de instrumentos

Una vez elegidos los instrumentos, el PLC y sus respectivos módulos, se obtiene el listado donde se relacionan las señales de cada instrumento con las entradas y salidas de los módulos del PLC. Es vital mencionar que con ayuda de este documento se realizan las conexiones físicas y mapeo I/O en el controlador. Para ver el escrito remitirse al **Anexo ??: “Registro de especificación de señales entrada y salida”**.

1.2.13. Listados alarmas

Se propone una lista de alarmas relacionadas con acciones anormales en el proceso. Las especificaciones de este documento se encuentran en el **Anexo ??: “Registro alarmas”**, en el cual, se detalla una etiqueta (tag) que coincide con la programación en el PLC, HMI y supervisorio del SCADA. Igualmente, se describe el proceso o equipo al cual está relacionada y las acciones que se deben cumplir al presentarse.

1.2.14. Listados Interbloqueos (Interlocks)

Se estipula una lista de interbloqueos a los diferentes instrumentos (Válvulas, motores, e.t.c) con el fin de prevenir daños en el proceso. El **Anexo ??: “Registro Interbloqueo de equipos”** determina las diferentes condiciones que provocan bloqueos en los dispositivos.

1.3. Ingeniería de detalle

Es la etapa de diseño final, se desarrolla toda la documentación técnica específica que es indispensable para la fase de implementación [24], la cual comprende: Distribución física (1.48), final planos eléctricos, diagrama unifilar, protocolos de pruebas, diagramas de potencia, linealización de sensores transmisores y celda de carga. Cabe aclarar que esta etapa no es financiada por el cliente pero es necesario su realización para el éxito del proyecto.

Nota: Por privacidad de la empresa no es posible mostrar los soportes que conllevan a esta actividad.

1.3.1. Diagrama de distribución en planta

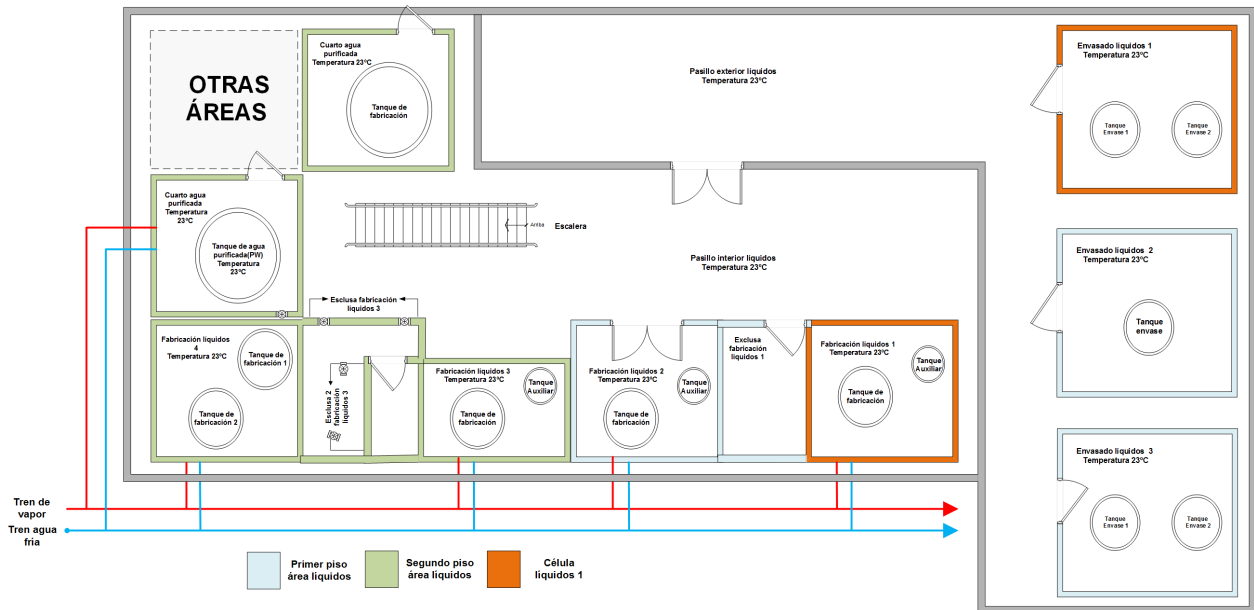


Figura 1.48: Distribución en planta área líquidos.

Fuente: El autor, junio 2019.

Nota: la sección demarcada con naranja es la parte de interés del proyecto debido a que son los cuartos de fabricación y envase de líquidos uno.

Capítulo 2

Implementación

2.1. Procura

En este punto de la implementación se realiza la adquisición de todos los equipos e instrumentos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto. Esta actividad la lleva a cabo la dependencia comercial de la empresa HAG ingeniería los cuales se encargan de estudiar las especificaciones detalladas por el área de ingeniería, adquirir y estudiar cotizaciones, generar las órdenes de compra, hacer seguimiento del pedido, recibir los productos en la fechas planificadas y finalmente registrar el éxito de la compra.

2.2. Construcción

Esta sección se divide en dos partes, la primera incorpora el montaje físico (construcción civil, instalación eléctrica y mecánica) y la segunda la creación de los programas en el PLC, HMI y SCADA. Sin embargo en el documento solo se detalla el apartado dos.

2.2.1. Programación y configuración PLC.

La programación está basada en el modelo de control procedimental del estándar ISA-88.01.

Estructura del programa

Para detallar información de desarrollo en el entorno que brinda rockwell, ir al **Anexo ??: “Programación y configuración PLC”**.

- Control de etiquetas(tags):** se crean y monitorean todas etiquetas de las variables (tipo booleanas, enteras, reales, temporizadas, cadenas de caracteres, e.t.c) para ejecutar una adecuada programación. En la **Figura 2.1** se evidencia algunas de las etiquetas creadas.

Name	Base Tag	Data Type	Description	External Access	Constant	Style
ADD_05		FBD_MATH		Read/Write	<input type="checkbox"/>	
Adicion_aditivo_aux		BOOL	Adicion de aditivo desde HMI	Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
Adicion_aditivo_fab		BOOL	Adicion de aditivo desde HMI	Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
Adicion_MP_aux		BOOL	Materia prima adicionada	Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
Adicion_MP_fab		BOOL	Materia prima adicionada	Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
Adicion_nitr_aux		BOOL	Nitrogeno adicionado	Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
Adicion_nitr_fab		BOOL	Nitrogeno adicionado	Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
AFI_bit		BOOL		Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
#Foro_Env1		STRING		Read/Write	<input checked="" type="checkbox"/>	
#Foro_Env2		STRING		Read/Write	<input type="checkbox"/>	
#AG_1100		P_VSD	Agitador aux	Read/Write	<input type="checkbox"/>	
#AG_1100_Intlk		P_Intlk	Agitador aux intlk	Read/Write	<input type="checkbox"/>	
#AG_1100_ResInh		P_ResInh		Read/Write	<input type="checkbox"/>	
#AG_1100_RunTime		P_RunTime	Agitador aux rtime	Read/Write	<input type="checkbox"/>	
#AG_1200		P_VSD	Agitador fab	Read/Write	<input type="checkbox"/>	
#AG_1200_Intlk		P_Intlk	Agitador fab intlk	Read/Write	<input type="checkbox"/>	
AG_1200_pcmd_Rem_start		BOOL		Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
AG_1200_pcmd_Rem_stop		BOOL		Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal
AG_1200_Rem_PSet_Speed...		REAL		Read/Write	<input type="checkbox"/>	Float
#AG_1200_ResInh		P_ResInh		Read/Write	<input type="checkbox"/>	
#AG_1200_RunTime		P_RunTime	Agitador fab rtime	Read/Write	<input type="checkbox"/>	
AG_1200A_pcmd_Rem_start		BOOL		Read/Write	<input type="checkbox"/>	Decimal

Figura 2.1: Ejemplo de creación etiquetas(tags)

Fuente:El autor, junio 2019.

- Tareas periódicas:** por recomendación del fabricante se deben utilizar sólo tareas periódicas por lo siguiente: perfecciona la facultad de prever recursos para la unidad central de procesamiento (CPU), suministra una precepción más cercana del trabajo en tiempo de ejecución del controlador y disminuye el número de tareas conmutadas, optimizando el rendimiento del sistema. Además, se deben crear un mínimo de tareas estableciendo el tiempo de ejecución y prioridad (entre más rápida se desea la ejecución de la tarea, mayor es la prioridad y se describe con un número inferior) [25].

Para el caso del proyecto se establecieron tres tareas periódicas, como se expone en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Configuración de tareas periódicas

Nombre tarea	Período(ms)	Prioridad	Temporizador de vigencia(ms)	Programa contenido
Mapeo I/O_200ms	200	6	600	Mapeo de entradas y salidas tanto analógicas como digitales
Equipos_200ms	200	7	600	Equipos utilizados:válvulas,motores,transmisores,PID
Control_200ms	200	8	600	Lógica de control para la unidades: Tanque auxiliar, tanque fabricación, tanque envasado.

Nota: Según sugerencias que brinda el proveedor(rockwell automation), se programan las subrutinas, considerando el siguiente apartado: para una ejecución continua o paralela de varias operaciones, utilizar lenguaje escalera(LAD); para secuencias repetitivas, emplear lenguaje diagrama función secuencial(SFC);y para cálculos en flujo de circuito usar diagrama bloques de funciones(FBD) [26]

Nota: Todos los programas contienen una rutina principal, en donde se hace el llamado de las diferentes subrutinas existentes en código.

- **Tarea Mapeo I/O_200ms** : Incluye dos programas,uno entradas y salidas digitales y otro para entradas y salidas analógicas.Para lo relacionado con las señales digitales se realiza en cuatro subrutinas, dos para las entradas y dos para las salidas. En cuanto a las analógicas, se ejecutan dos subrutinas, una para las entradas y la otra para las salidas. Esta actividad se efectúa como buena práctica de programación,ya que si en algún futuro ocurre un daño en la entrada o salida física del PLC, esta se redirecciona y no es necesario buscarla en todo el programa para reemplazarla. En la **Figura 2.2** se ejemplifica la programación de entradas digitales.

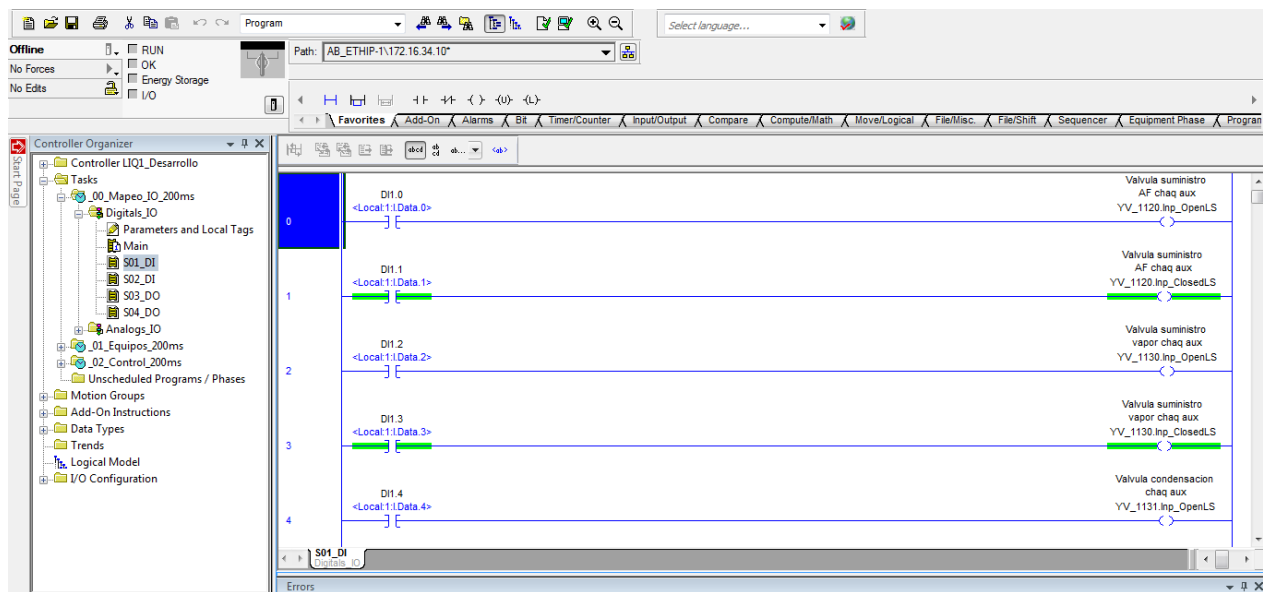


Figura 2.2: Ejemplo configuración entradas digitales

Fuente:El autor, junio 2019.

- Tarea Equipos_200ms:** Se ha conformado por cuatro programas que describen los diferentes equipos e instrumentos que intervienen en el proceso, entre ellos se encuentran: Transmisores, controladores PID'S, motores y válvulas. Cada uno de estos, se han organizado teniendo en cuenta las unidades del modelo físico, es decir, tanque auxiliar (unidad premezclado), tanque fabricación (unidad fabricación), tanque envasado1 (unidad envasado) y tanque envasado2 (unidad envasado). En la **Figura 2.3** se ilustra los transmisores de la unidad tanque auxiliar.

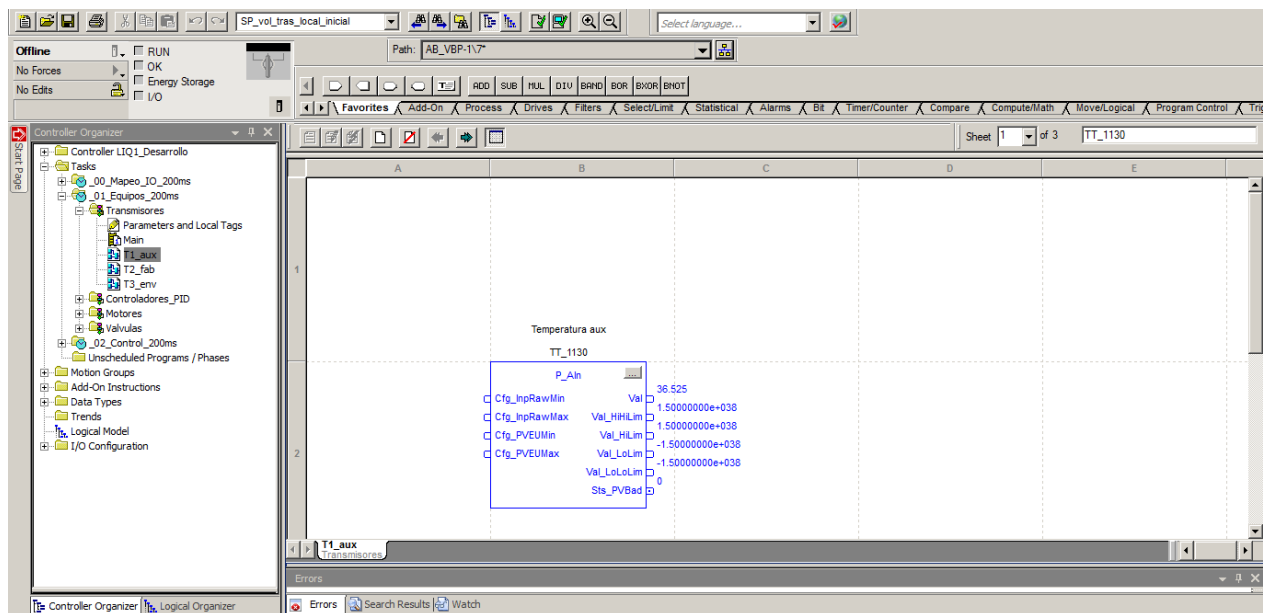


Figura 2.3: Ejemplo configuración de transmisores tanque auxiliar

Fuente:El autor, junio 2019.

Para el programa de los transmisores, se ha compuesto por tres subrutinas, las cuales son: subrutina T1_aux, que involucra un transmisor de temperatura (TT_1130), un transmisor de presión (PT_1130) para el tren de vapor y finalmente un transmisor de nivel (LT_1130). Para la subrutina T2_fab, se halla un transmisor de temperatura (TT_1230), un transmisor de nivel (LT_1210) y finalmente un transmisor de peso (WT_1210). Respecto a la rutina T3_env, se detectan dos transmisores de nivel (LT_1310 para el tanque 1 y LT_1410 para el tanque envasado 2).

En el programa de los controladores PID, se detecta una rutina PID_Aux para el tanque auxiliar (TC_1130) y otra PID_Fab para tanque de fabricación (TC_1230). En la **Figura 2.4**, se expone el controlador PID empleado para el control de temperatura del tanque auxiliar.

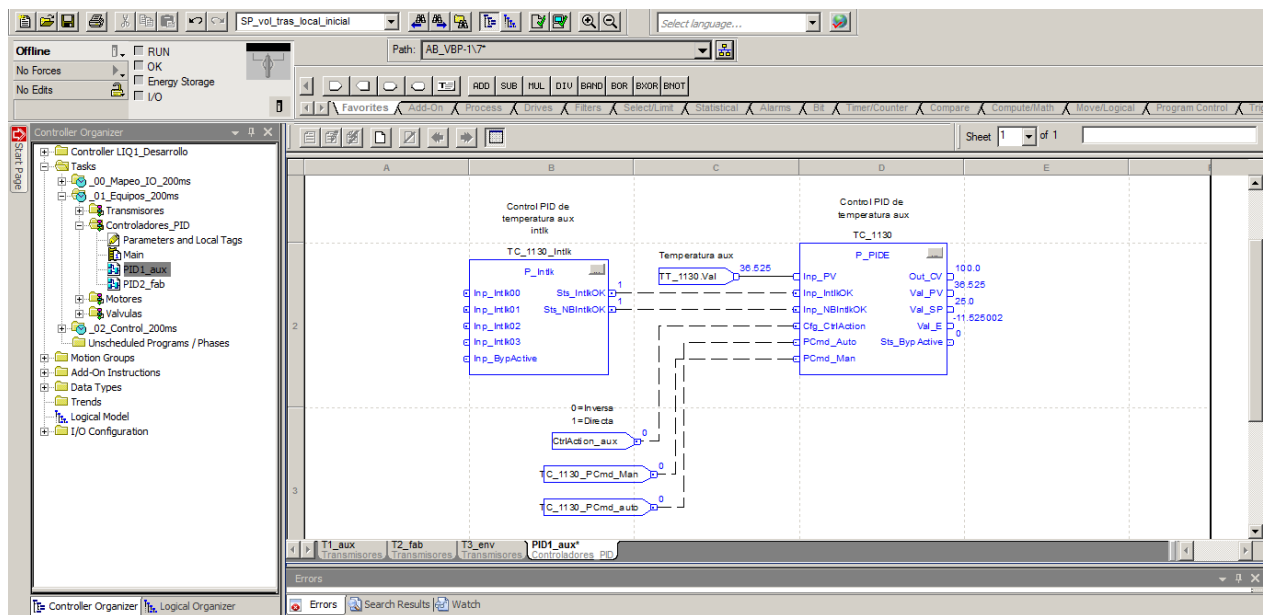


Figura 2.4: Ejemplo de configuración controlador PID en el tanque auxiliar

Fuente:El autor, junio 2019.

El programa de los motores, se compone de tres subrutinas: la subrutina M1_aux, que contiene un agitador mezclador (AG_1100) y una motobomba de impulso (P_1140). La subrutina M2_fab, que abarca un agitador mezclador (AG_1200) y una motobomba de impulso (P_1240). La subrutina M3_env, que incluye dos agitadores mezcladores (AG_1300, AG_1400). En la **Figura 2.5** se presenta los motores relacionados con el tanque auxiliar.

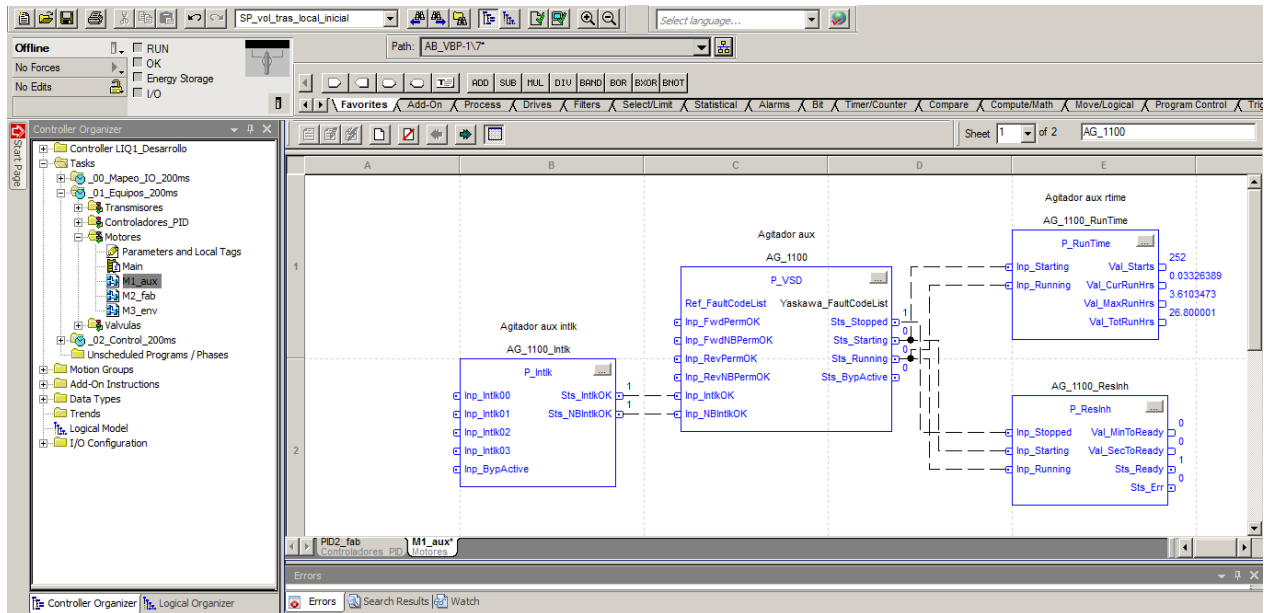


Figura 2.5: Ejemplo de configuración motores en el tanque auxiliar
Fuente:El autor, junio 2019.

El programa válvulas incorpora la subrutina V1_aux con 16 válvulas, la subrutina V2_fab, que envuelve 9 válvulas y la subrutina V3_env que engloba 4 válvulas. La **figura 2.6** muestra las válvulas relacionadas con el tanque auxiliar.

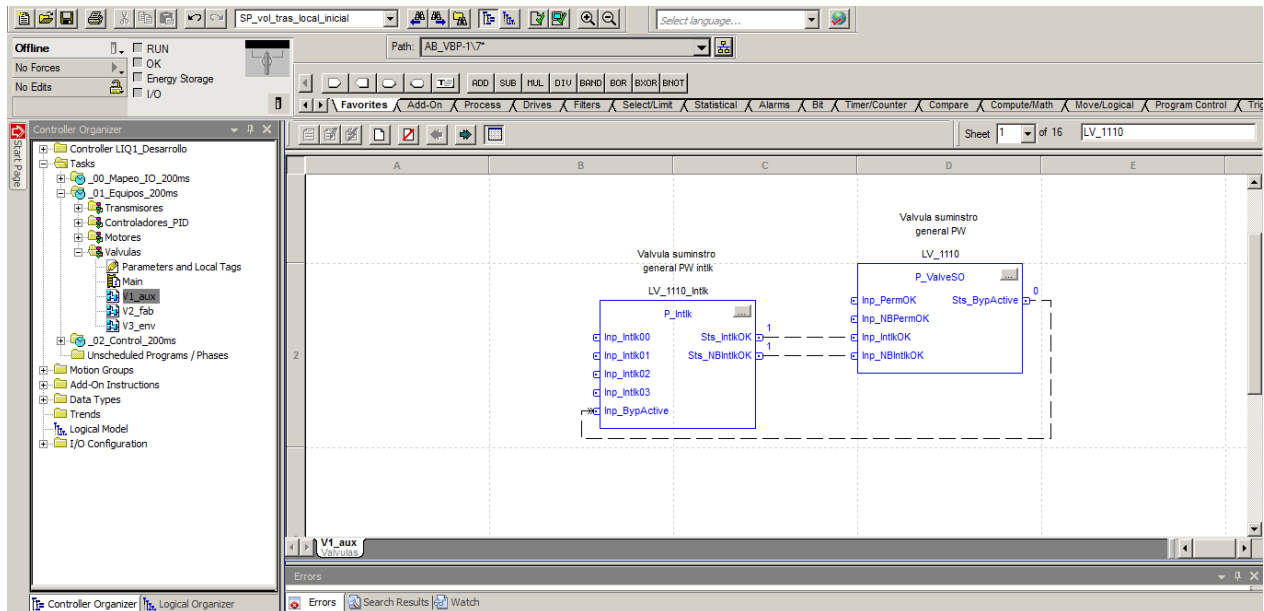


Figura 2.6: Ejemplo de configuración válvulas en el tanque auxiliar
Fuente:El autor, junio 2019.

- **Tarea Control_200ms** : Entraña cuatro programas, En primer lugar, se encuentra el progra-

ma principal , en el cual, se configuran las alarmas de seguridad. Posteriormente se hayan tres programas referentes a la lógica de control del tanque de auxiliar, tanque fabricación y tanques de envasado. En las **Figuras 2.7 a 2.9**, se refleja parte del contenido de la programación vinculada con el tanque auxiliar,tanque de fabricación y tanques de envasado

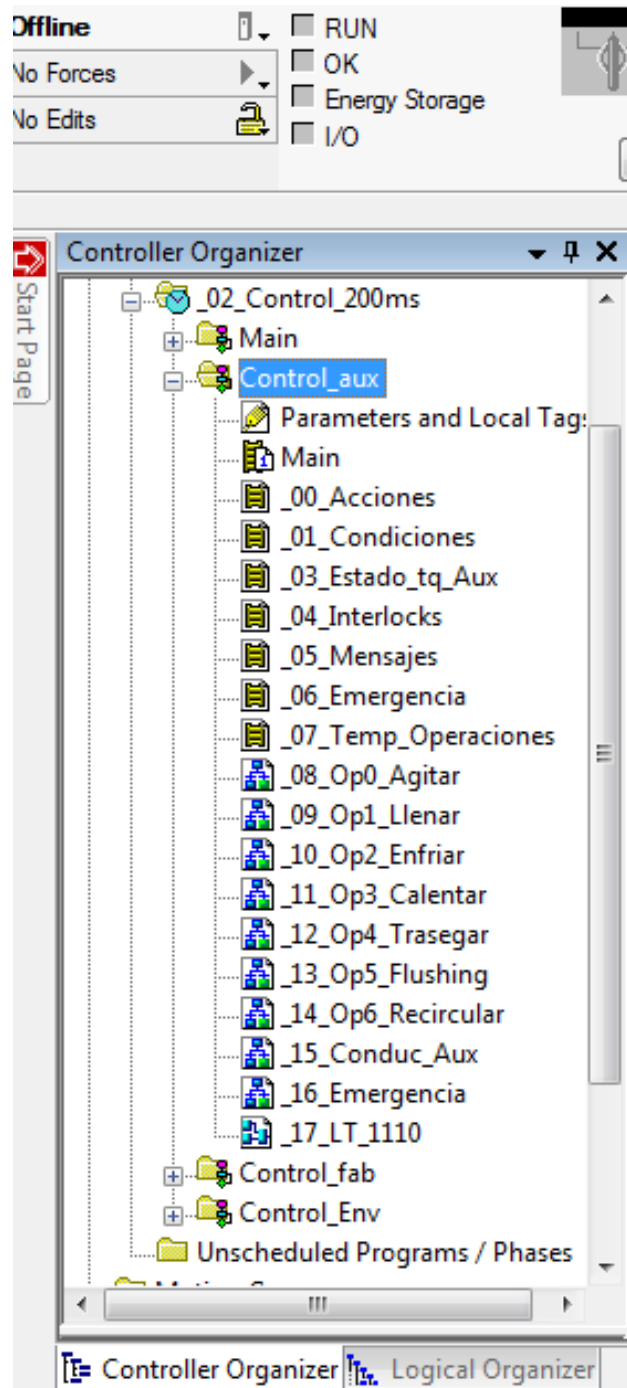


Figura 2.7: Ejemplo lógica de control tanque auxiliar

Fuente:El autor, junio 2019.

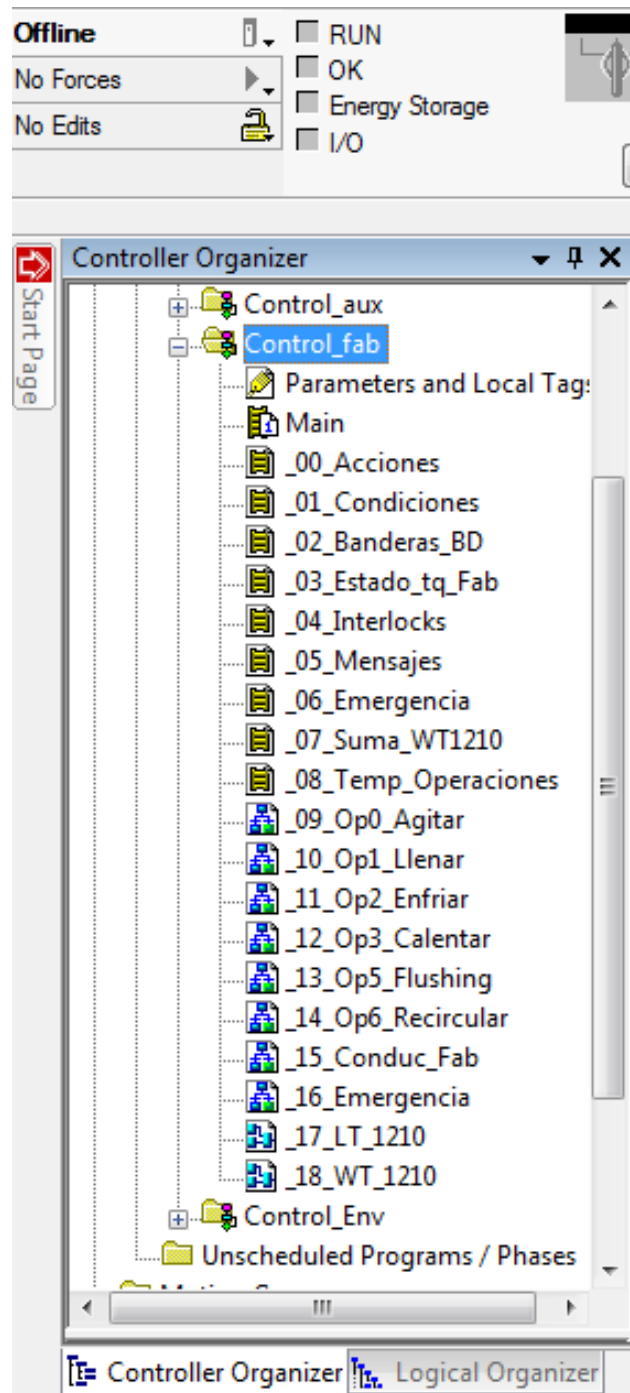


Figura 2.8: Ejemplo lógica de control tanque fabricación

Fuente:El autor, junio 2019.

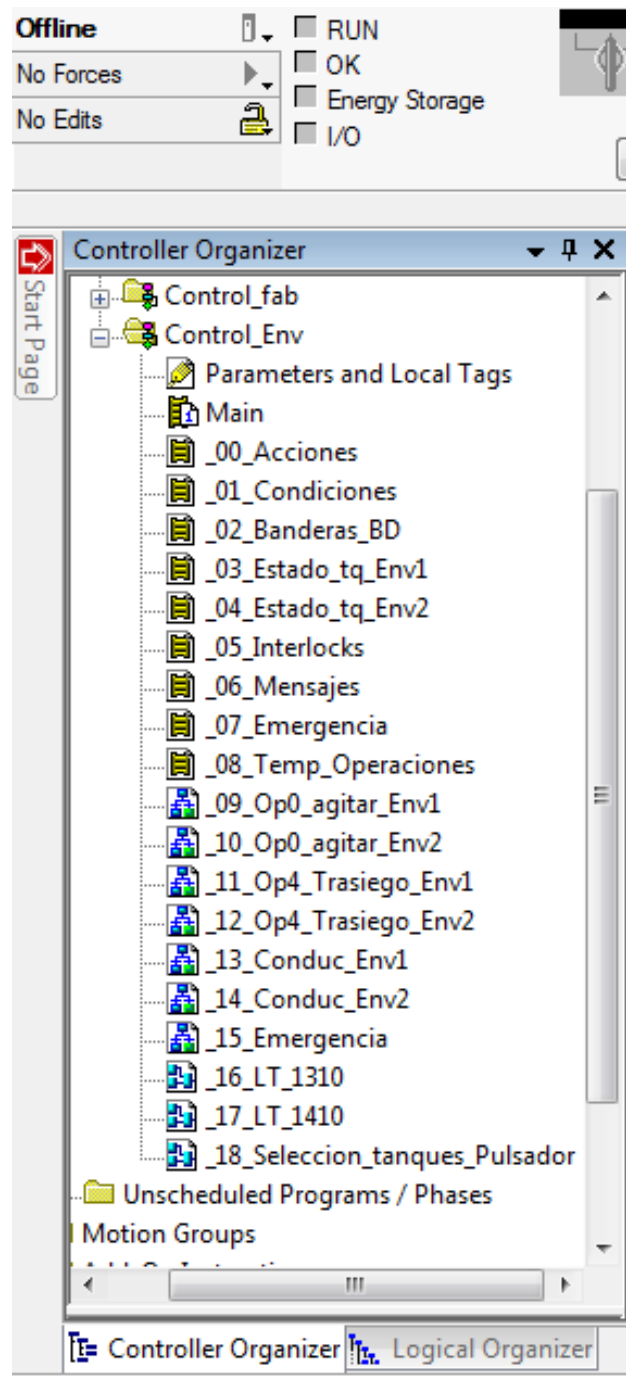


Figura 2.9: Ejemplo lógica de control tanques envasado

Fuente:El autor, junio 2019.

- **Instrucciones Add On PlantPax:** Es importante aclarar que se hace uso de la herramienta PlantPax, en razón de que todo el proyecto es un sistema de control distribuido. En la **Figura 2.10** se muestra las instrucciones Add On utilizadas en el proyecto.

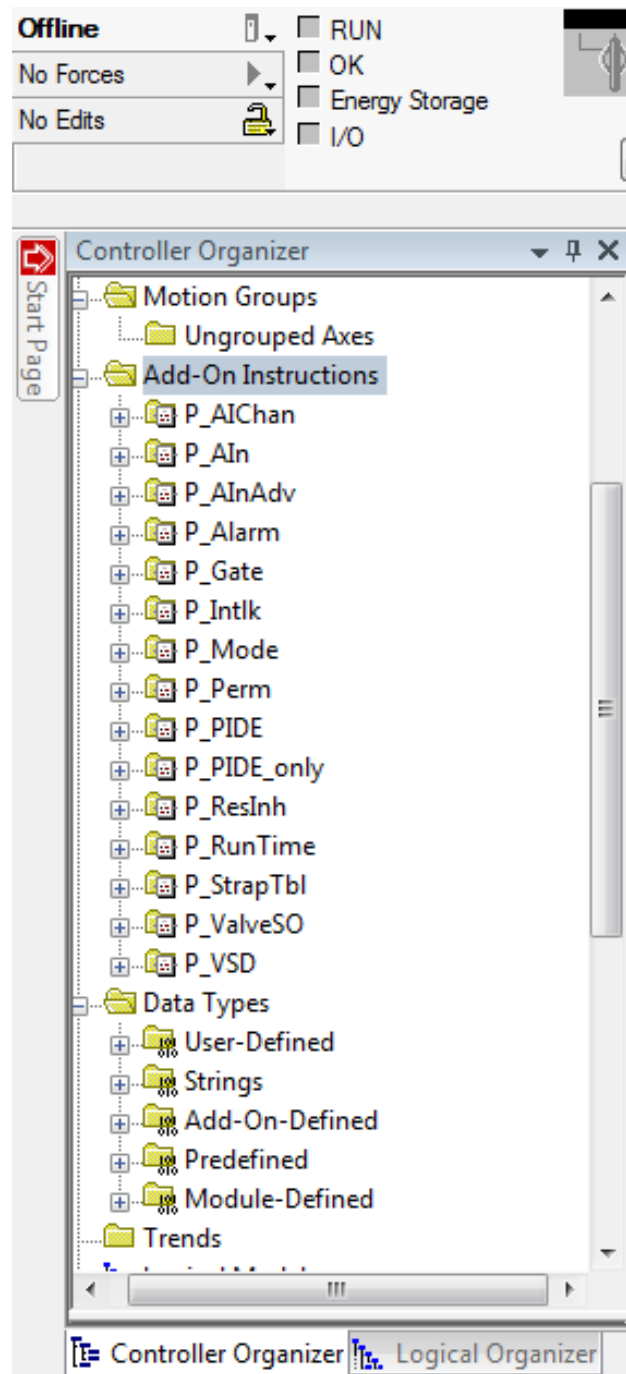


Figura 2.10: Instrucciones Add On

Fuente:El autor, junio 2019.

NOTA: Todos los objetos PlantPax se han nombrado en el programa, con base en el PI&D.

- **Módulos de entradas y salida s:**Se configura los módulos entradas y salidas selec-

cionados, como se corrobora en la **Figura 2.11** y la **Tabla 2.2**.

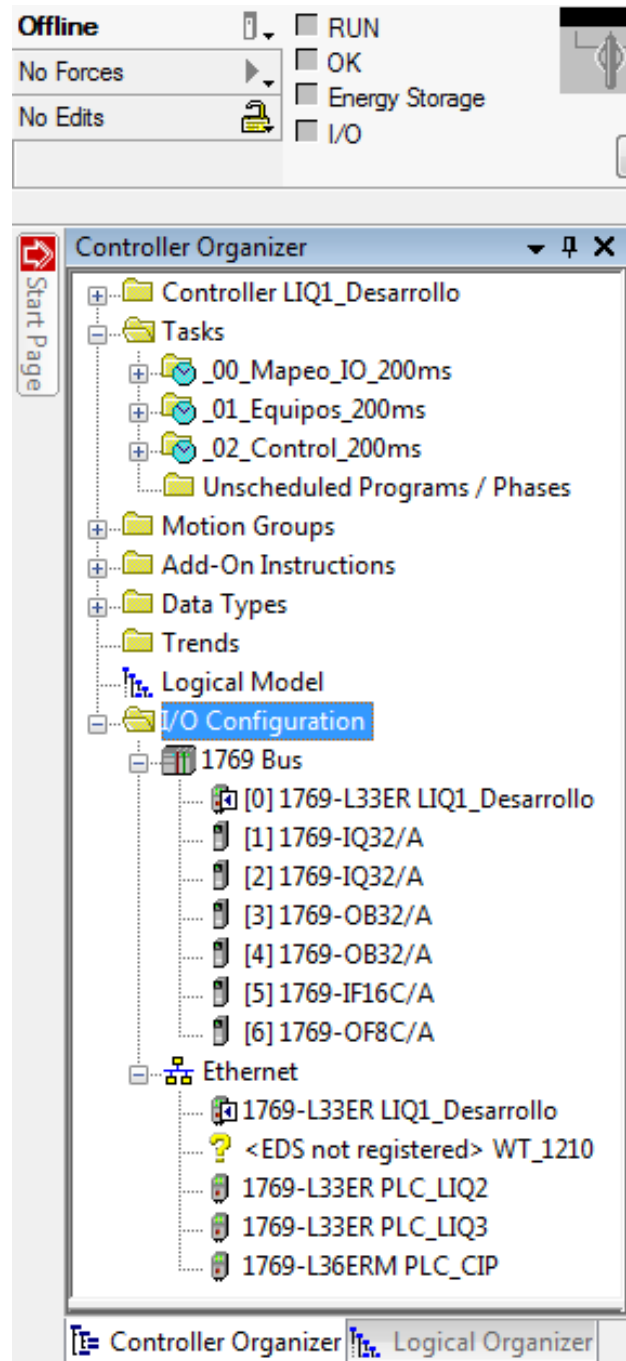


Figura 2.11: Configuración módulos de entradas y salidas en el PLC

Fuente:El autor, junio 2019.

Tabla 2.2: Módulos de entradas y salidas

Equipo	Cantidad	Digitales		Analógicas	
		Entradas	Salidas	Entradas	Salidas
1769-IQ32	2	32	X	X	X
1769-OB32	2	X	32	X	X
1769-IF16C	1	X	X	16	X
1769-OF8C	1	X	X	X	8
Total		64	64	16	8

- **Conexión ETthernet:**El PLC líquidos 1 se conecta en la red con tres PLC'S más correspondientes a Líquidos 2, líquidos 3, CIP (limpieza en sitio) y la celda de carga WT_1210 como se nota en la **Figura 2.12**.

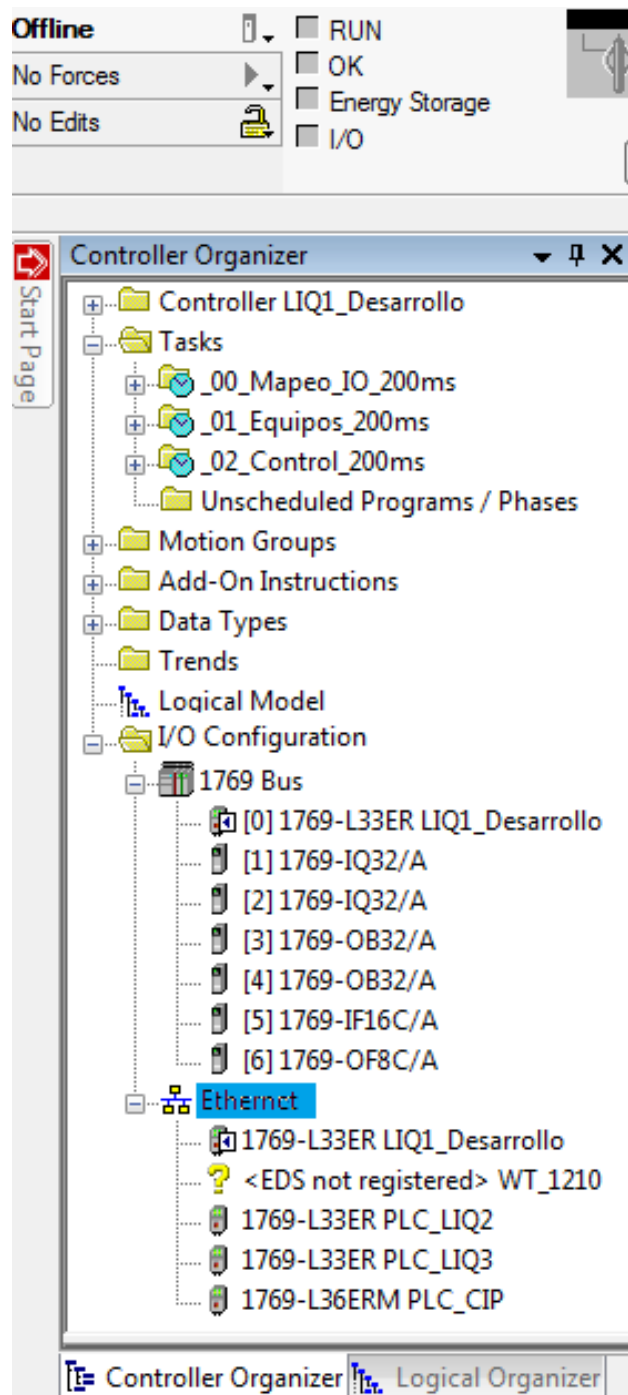


Figura 2.12: Configuración conexiones Ethernet en el PLC

Fuente:El autor, junio 2019.

2.2.2. Desarrollo HMI Y SCADA

HMI

La interfaz hombre máquina [27] se realiza con la ayuda de las librerías ya definidas que brinda Plantpax ,en la plataforma Machine edition, las cuales son: Images (.png files), Global objects (.ggfx file type), HMI faceplates (.gfx file type), Tags (FactoryTalk View ME only) (.csv file type), Macros (FactoryTalk View SE only) (.mcr file type).

Una vez importadas estos archivos se procede a la creación de las pantallas y ventanas emergentes (Pop ups) que caracterizan el proceso(Para detallar el diseño de las pantallas dirigirse al **Anexo ??: “Diseño Interfaz hombre máquina”**. En las **Tablas 2.3** a la **2.6** se nombra cada una de ellas,junto con el objetivo funcional y posible navegación.

Tabla 2.3: Pantallas HMI cuarto fabricación

Panel view del cuarto fabricación		
Pantalla	Objetivo funcional	Navegación
Inicio	Desplegar el nombre del cuarto de fabricación y realizar el Ingreso del usuario	General, CIP,tanque auxiliar, trasiego aux a fab,tanque fabricación, trasiego fab a env,estados
Ingreso datos	Permitir el ingreso de los datos del lote	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab a env, estados.
General	Mostrar el estado del proceso en el cuarto.	Inicio, CIP, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab. a env,estados
CIP	Mostrar el estado del proceso de limpieza en sitio(CIP)	Inicio, general, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab a env, estados.
Tanque Auxiliar	Mostrar el estado de la instrumentación del tanque auxiliar y activar las funciones de manufactura del tanque auxiliar (agitar, llenar, enfriar, calentar , flushing ,recircular, adiciones)	Inicio, general, CIP, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab. a env,estados

Trasiego aux a fab.	Mostrar el estado de la instrumentación del recorrido del tanque auxiliar al tanque de fabricación y manipular las variables del proceso de trasiego (velocidad de la bomba, seleccionar con o sin filtro, iniciar y detener el proceso).	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, tanque fabricación, trasiego fab a env, estados.
Tanque Fabricación	Mostrar el estado de la instrumentación del tanque de fabricación y activar las funciones de manufactura del tanque de (agitar, llenar, enfriar, calentar, flushing, recircular, adiciones)	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, trasiego fab a env, estados.
Trasiego fab a env.	Mostrar el estado de la instrumentación y el recorrido del tanque de fabricación a alguno de los tanques de envasado y manipular algunas variables del proceso de trasiego (seleccionar con o sin filtro, finalizar el proceso).	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, tanque fabricación, trasiego fab. a env, estados
Estados	Ingresar la información del lote, indicar el estado de la vigencia del CIP y Mostrar el estado general de los tanques del cuarto de fabricación.	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab a env.
Instrumentación-Control	Mostrar variables tanto de transmisores como controladores y configurar parámetros de los transmisores y controladores	Cerrar ventana
Histórico alarmas	Mostrar un alista cronológica de la activación de las alarmas.	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab a env, estados, listado.
Listado alarmas	Mostrar el listado completo de alarmas disponibles para esa aplicación y su estado.	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab. a env, estados, historico

En la Figura 2.13 se muestra como ejemplo la pantalla tanque auxiliar del cuarto fabricación.

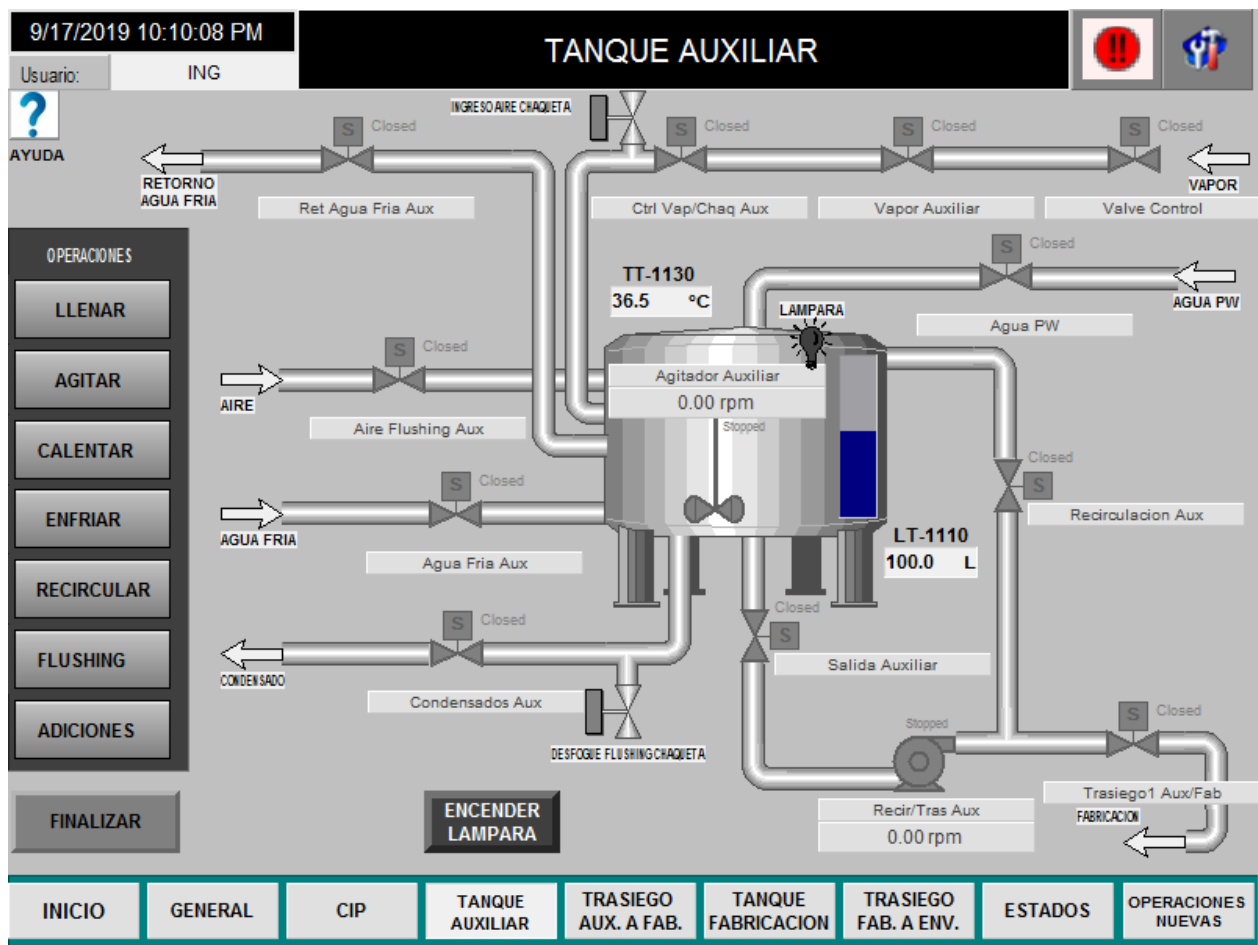


Figura 2.13: Pantalla tanque auxiliar

Fuente:El autor, junio 2019.

Tabla 2.4: Ventanas emergentes para HMI del cuarto fabricación.

Ventanas emergentes	Objetivo	Nevegación
Llenar	Ingresar datos de llenado (inicial o complementario), iniciar detener la función y contiene las confirmaciones del supervisor.	Cerrar ventana
Agitar	Ingresar datos de agitación (velocidad y tiempo), iniciar y detener la función.	Cerrar ventana
Calentar	Ingresar datos de calentamiento (temperatura), iniciar y detener la función.	Cerrar ventana
Enfriar	Ingresar datos de enfriamiento (temperatura), iniciar y detener la función.	Cerrar ventana

Recircular	Ingresar datos de recirculación (velocidad y tiempo), iniciar y detener la función.	Cerrar ventana
Adiciones	Seleccionar el tipo de adición.	Cerrar ventana
Flushing(Pantalla)	Abrir y cerrar a discreción del operador las válvulas de aire comprimido para hacer flushing.	Inicio, general, CIP, tanque auxiliar, trasiego aux a fab, tanque fabricación, trasiego fab a env, estados.

En la Figura 2.14, se expone la ventana emergente de la operación llenar.

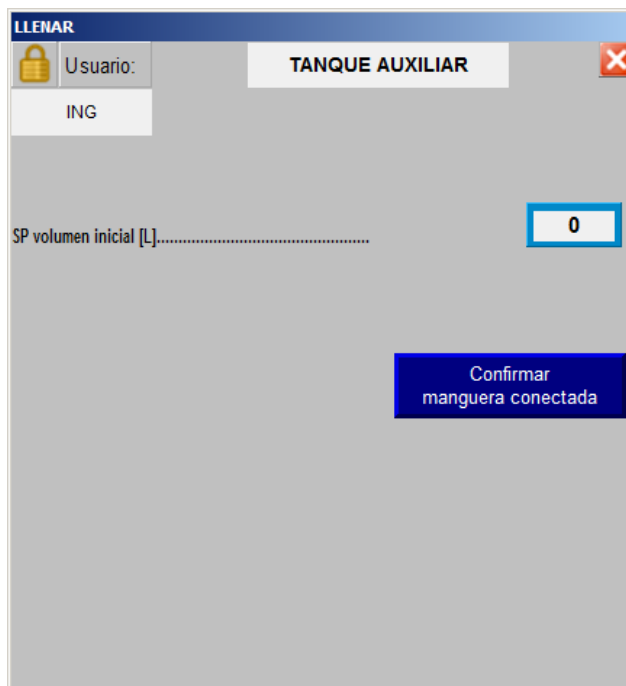


Figura 2.14: Ventana emergente operación llenar

Fuente:El autor, junio 2019.

Tabla 2.5: Pantallas HMI envase

Panel view cuarto envase		
Pantalla	Objetivo	Navegación
Inicio	Desplegar el nombre del cuarto de envasado y realizar ingreso de usuario	General, CIP, tanque envasado 1, tanque envasado 2.
Ingreso datos	Permitir el ingreso de los datos del lote	Inicio, general, tanque envasado 1, tanque envasado 2, estados

General	Mostrar el estado de la instrumentación de todo el cuarto de fabricación.	Inicio, CIP, tanque envasado 1, tanque envasado 2.
CIP	Mostrar el estado del proceso de limpieza CIP.	Inicio, general, tanque envasado 1, tanque envasado 2.
Selección tanque	Existe la posibilidad de escoger el tanque de fabricación líquidos1, líquidos2, líquidos3. El alcance del proyecto es seleccionar el tanque de fabricación líquidos1, la velocidad de trasiego y la cantidad de litros a trasegar.	Inicio, general, tanque envasado 1, tanque envasado 2, estados
Tanque Envasado 1	Mostrar las operaciones en el tanque de envasado 1 y manipular los botones iniciar, detener y finalizar trasiego, además de indicar la velocidad de trasiego.	Inicio, general, CIP, tanque envasado 2.
Tanque Envasado 2	Mostrar el estado de la instrumentación del tanque de envasado 2 y Manipular las variables del proceso de trasiego hacia el envasado (velocidad de la bomba, iniciar y detener el proceso, ingresar la velocidad del agitador).	Inicio, general, CIP, tanque envasado 1.
Instrumentación-Control	Mostrar el estado de las variables de proceso medidas por la instrumentación.	Cerrar ventana
Histórico alarmas	Mostrar una alista cronológica de la activación de las alarmas.	Inicio, general, CIP, tanque envasado 1, tanque envasado 2, listado.
Listado alarmas	Mostrar el listado completo de alarmas disponibles para esa aplicación y su estado.	Inicio, general, CIP, tanque envasado 1, tanque envasado 2, histórico.

En la **Figura 2.15** se expone la pantalla tanque envasado 1 del cuarto envase.

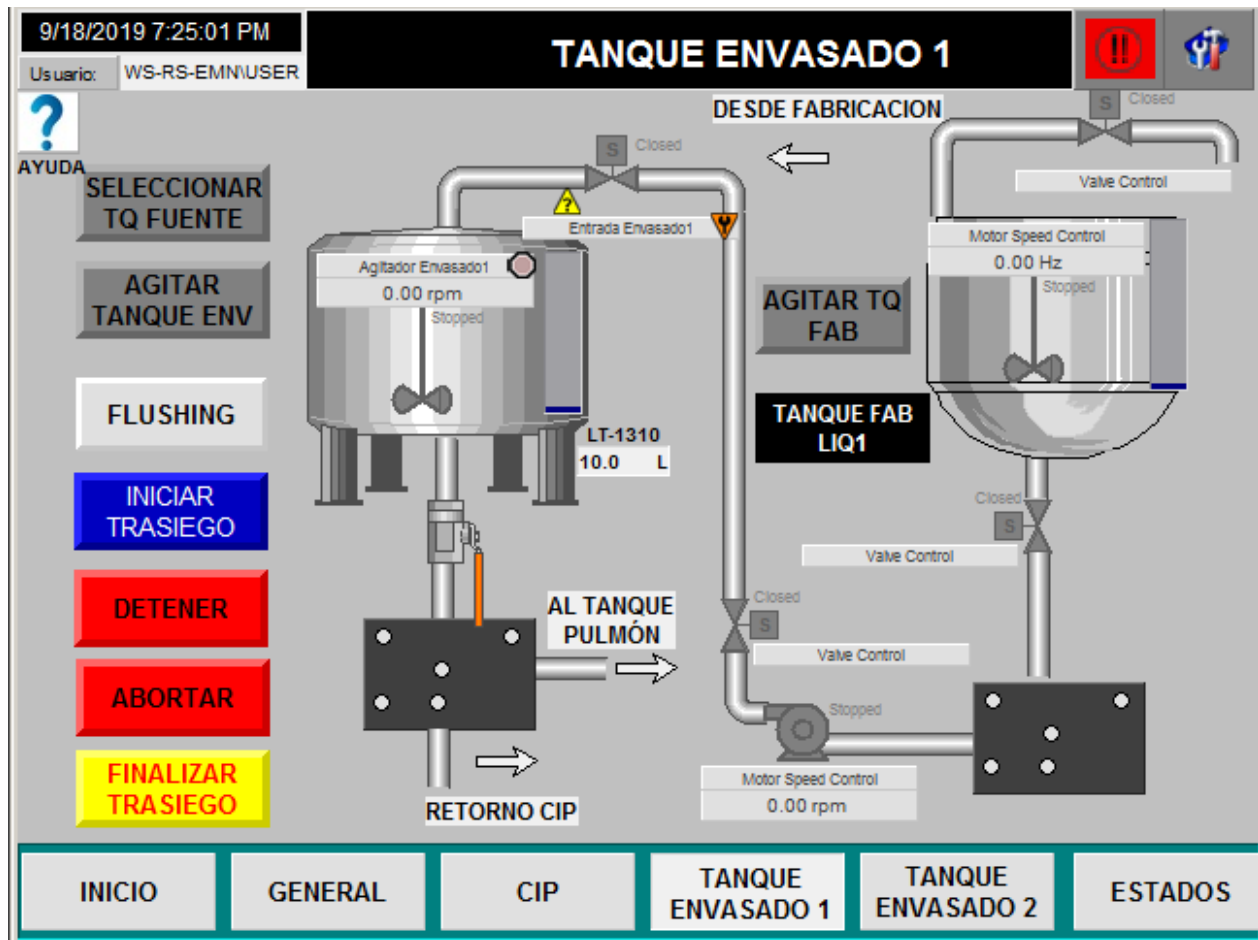


Figura 2.15: Pantalla tanque envasado 1

Fuente:El autor, junio 2019.

Tabla 2.6: Ventana emergente para HMI del cuarto envase

Ventanas emergentes	Objetivo	Navegación
Agitar	Ingresar datos de agitación (velocidad y tiempo), iniciar y detener la función.	Cerrar ventana

En la **Figura 2.16** se expone la ventana emergente de la operación agitar cuarto envase.

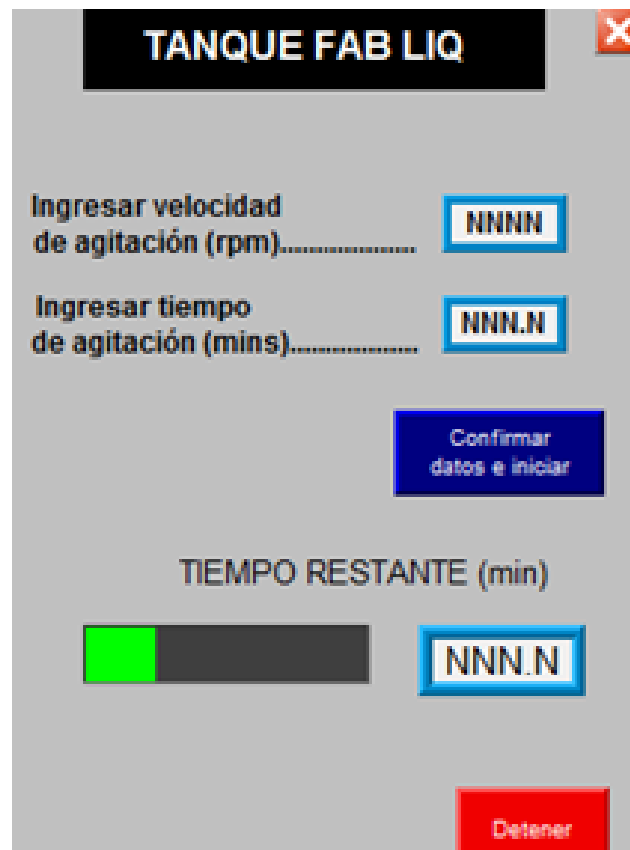


Figura 2.16: Ventana emergente operación agitar

Fuente:El autor, junio 2019.

Otro aspecto significativo, es la seguridad en la HMI, relacionada con el control de acceso de los diferentes usuarios, dado a que el sistema de automatización se considera cerrado (según definición CFR 21, parte 11, subparte A). Para el proyecto se tienen en cuenta cinco tipos de usuarios: administrador, supervisor, operario, mantenimiento e ingeniería. En el **Anexo ??: "Control de acceso para usuarios del sistema"**, se describen cada una de las características, derechos y obligaciones de los grupos de usuarios

SCADA

La realización del SCADA [28], se lleva a cabo en la plataforma Site edition con ayuda de las librerías que propone la herramienta PlantPax para esta opción. El diseño del supervisorio y reporte se encuentran en el **Anexo ??: "Diseño SCADA"**.

El Supervisorio incluye todas las células del área de líquidos, pero el alcance del proyecto se enfoca en líquidos 1 y envasado 1. En la **Tabla 2.7** se muestran las pantallas relacionadas con el SCADA.

Tabla 2.7: Pantallas SCADA.

Pantallas SCADA		
Pantalla	Objetivo	Navegación
Inicio	Mostrar logotipo de la empresa realizar ingreso de usuario	Líquidos 1, envasado 1, Líquidos 2, envasado 2, Líquidos 3, envasado 3, Líquidos 4, Líquidos 4, CIP
Líquidos 1	Supervisar y monitorear el proceso del cuarto fabricación líquidos 1.	Inicio, envasado 1, Líquidos 2, envasado 2, Líquidos 3, envasado 3, Líquidos 4, Líquidos 4, CIP
Envaso 1	Supervisar y monitorear el proceso del cuarto envasado líquidos 1.	Inicio, CIP, tanque envasado 1, tanque envasado 2.

En las Figuras 2.17, 2.18 se indican las pantallas del supervisorio (SCADA) tanto del cuarto de fabricación como del cuarto de envasado.

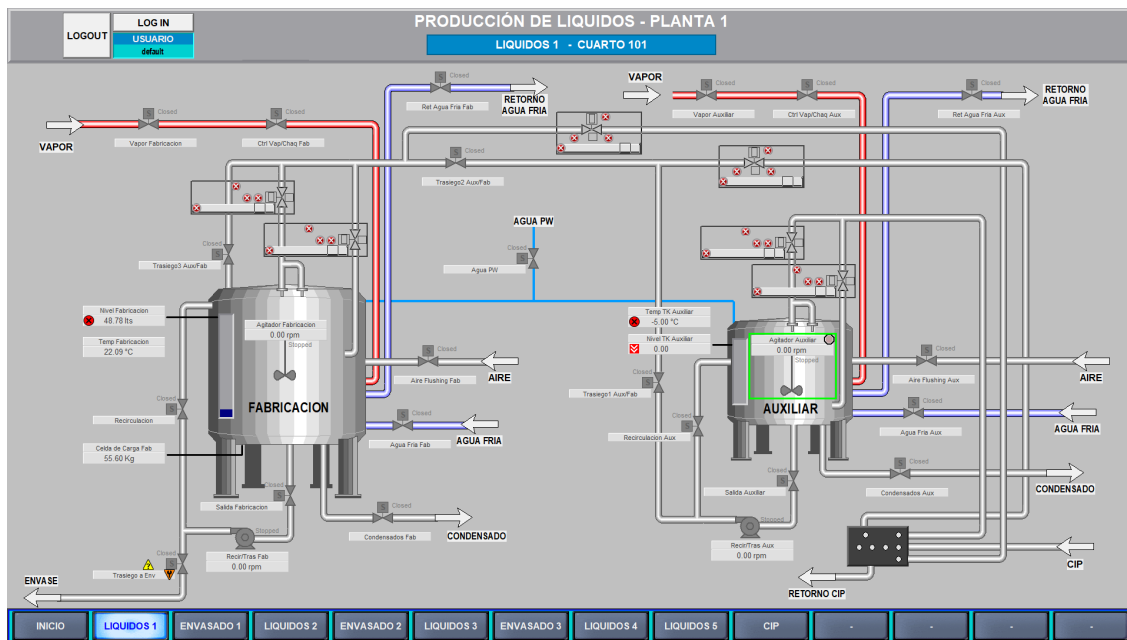


Figura 2.17: Pantalla supervisorio del cuarto fabricación

Fuente: El autor, junio 2019.

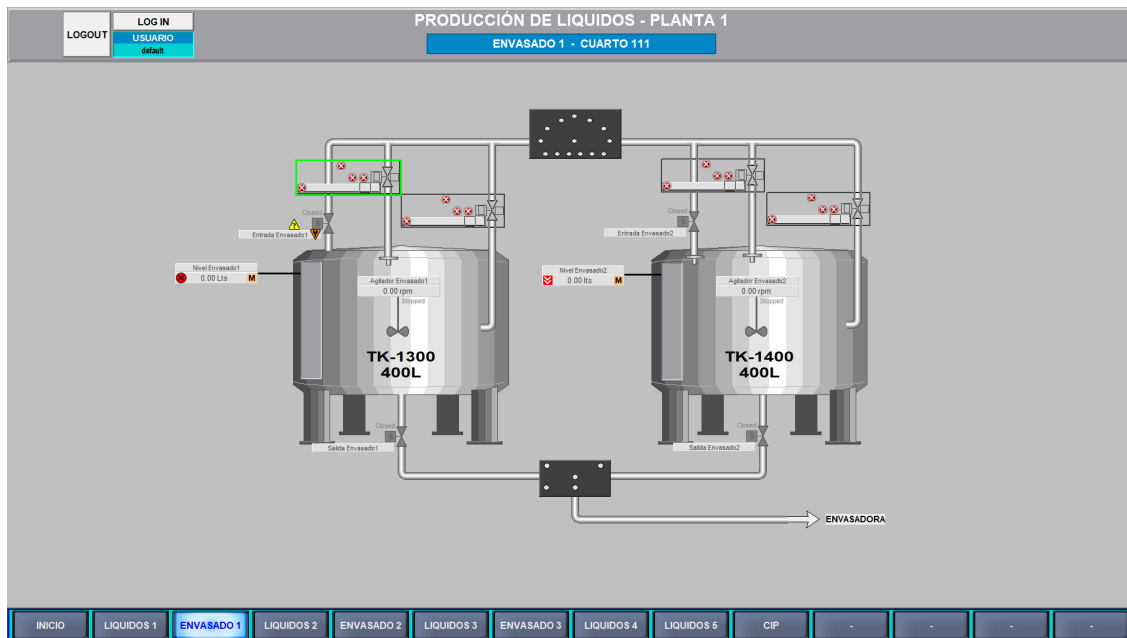


Figura 2.18: Pantalla supervisorio del cuarto envase

Fuente:El autor, junio 2019.

Adicionalmente el SCADA contiene una base de datos implementada en Microsoft SQL server, en la que se procesa y organiza la información creando un reporte de la fecha de inicio, fecha final y duración de cada una de las operaciones que se lleven cabo en el tanque auxiliar, tanque fabricación y tanques de envasado (**ver figura 2.19.**

Evento	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración
[E.Q.]Calentamiento_Aus	2019-05-14 09:39:57	2019-05-14 09:40:03	00:00:06
[E.Q.]Calentamiento_Aus	2019-05-14 09:39:57	2019-05-14 09:42:58	00:03:01
[E.Q.]Agitación_Aux	2019-05-14 09:39:57	2019-05-14 09:40:03	00:00:06
[E.Q.]Agitación_Aux	2019-05-14 09:40:05	2019-05-14 09:47:49	00:07:44
[E.Q.]Calentamiento_Aus	2019-05-14 09:40:05	2019-05-14 09:44:33	00:04:28
[E.Q.]Señalamiento_Aus	2019-05-14 09:45:28	2019-05-14 10:00:26	00:15:11
[E.Q.]Agitación_Aux	2019-05-14 09:48:22	2019-05-14 10:08:22	00:20:00
[E.Q.]Refrigeración_Aus	2019-05-14 09:57:17	2019-05-14 10:07:32	00:10:15
[E.Q.]Señalamiento_Aus	2019-05-14 10:01:25	2019-05-14 10:09:36	00:08:11
[E.Q.]Refrigeración_Aus	2019-05-14 10:07:56	2019-05-14 10:13:05	00:05:15
[E.Q.]Agitación_Aux	2019-05-14 10:08:59	2019-05-14 10:13:56	00:05:00
[E.Q.]Señalamiento_Aus	2019-05-14 10:09:44	2019-05-14 10:14:57	00:05:11
[E.Q.]Therigs_Aus	2019-05-14 10:14:55	2019-05-14 10:18:16	00:03:21
[E.Q.]Flashing_Aus	2019-05-14 10:19:15	2019-05-14 10:20:29	00:01:14

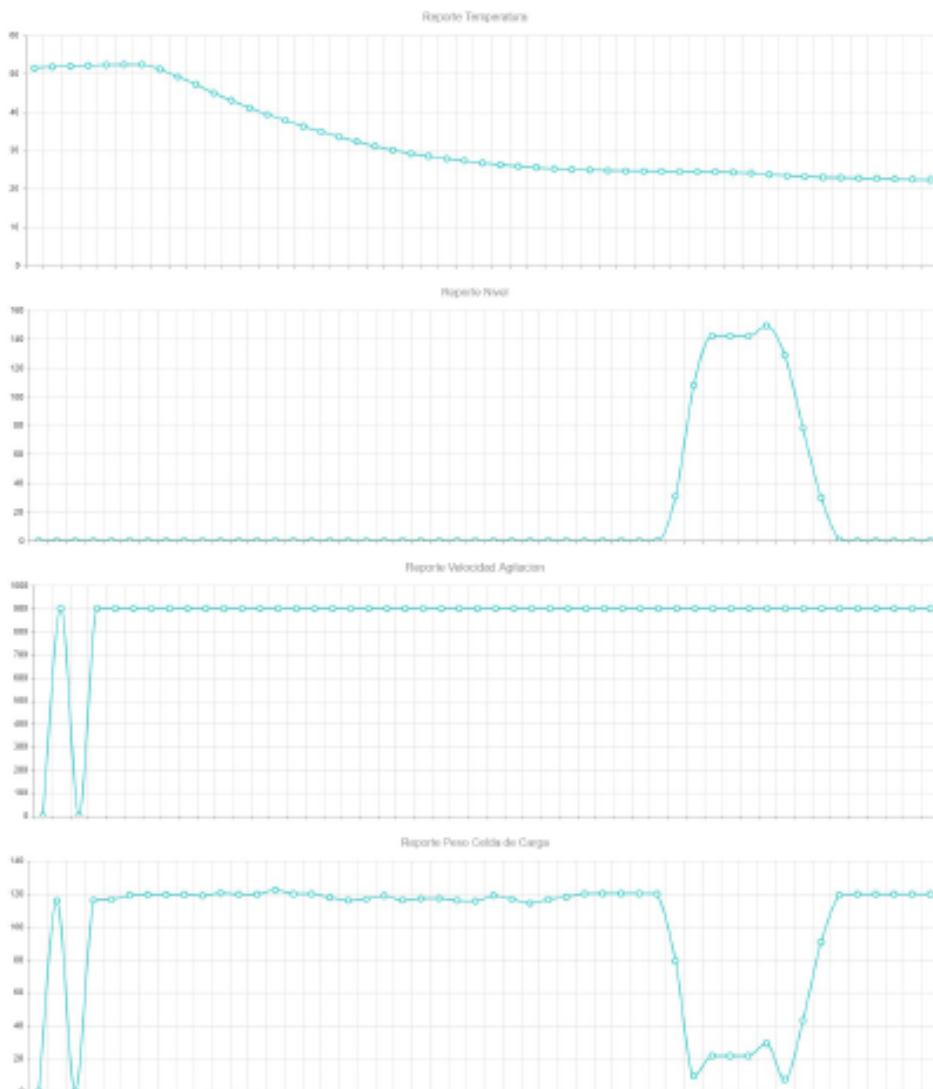


Figura 2.19: Diseño de reporte
Fuente:El autor, junio 2019.

2.3. Puesta en marcha

2.3.1. Validación del sistema de control

Los procedimientos para la validación se realizan con base en los protocolos: Calificación de Instalación (IQ), Calificación de Diseño (DQ), Calificación de Operación (OQ), Calificación de Rendimiento (PQ), los cuales son utilizados intensamente en corporaciones como la FDA y Health Canada.

El sistema IQ DQ OQ y PQ fue desarrollado en la documentación de buenas prácticas, especialmente de la FDA, con el propósito de promover la correcta revisión, calificación y validación de los sistemas de manufactura encargados de la producción y empaquetado de medicamentos y otros productos médicos. Cada una de las siglas representa una de las etapas dentro del proceso de validación:

- **Calificación de instalación (IQ)**

Aquí se establece que los procedimientos de instalación de los equipos utilizados fueron realizados de manera correcta y en el ambiente apropiado, según las recomendaciones del fabricante y el proveedor, por lo que estos están listos para el desarrollo adecuado de sus funciones [29].

En el caso del proyecto, la calificación de la instalación se basa en las recomendaciones que los fabricantes plasman en los manuales de los equipos y se creó la lista de chequeo disponible en el **Anexo ?? “Cumplimiento de recomendaciones del fabricante”**. Además, este ítem se complementa con el **Anexo ??: “Pruebas FAT/SAT de señales”**, las cuales garantizan el correcto conexionado de los equipos en el tablero de control.

- **Calificación de Diseño (DQ):** Se relaciona con todos los procedimientos desarrollados antes de la instalación de los equipos en el entorno de funcionamiento, DQ valida las funcionalidades de los equipos seleccionados y que estas se acojan a los requerimientos del cliente y el método de selección del mismo [29].

En el trabajo actual, el DQ se valida a través del contraste entre requerimientos suministrados por el cliente y resultados de las pruebas FAT Funcionales, debido a que estas pruebas el sistema demuestran que es capaz de realizar las funciones exigidas por la empresa, para esto se crea una lista de chequeo, similar a la de [30] que se diligencia durante el desarrollo de las pruebas FAT Funcionales. La lista de chequeo de verificación DQ corresponde al **Anexo ??: “Lista de chequeo RUS”**.

- **Calificación de Operación (OQ):** Este numeral se refiere a validar la capacidad del sistema de trabajar bajo las condiciones, parámetros y entornos especificados para los que fue seleccionado.

Para el proyecto, el OQ se certifica durante el proceso de aplicación de pruebas FAT Funcionales, para garantizar el cumplimiento de la calificación de operación. Las pruebas FAT/SAT funcionales se hallan en el **Anexo ??: “Pruebas FAT-SAT Funcionales”**.

- **Calificación de Rendimiento (PQ):** Este ítem es donde se ratifica que los equipos pueden funcionar de manera consistente a través de las rutinas que realiza, es decir presenta la confiabilidad de repetir procedimientos de manera precisa [29].

En materia de PQ, HAG Ingeniería y Automatización S.A.S, hace acompañamiento en 3 Batches de producción en la célula líquidos 1, a fin de demostrar la consistencia y confiabilidad del sistema durante la ejecución de las rutinas de fabricación.

2.3.2. Comparación de tiempos de manufactura entre operación manual y operación automatizada.

Para la realización de esta comparación se utiliza la información proporcionada por el cliente y los datos suministrados en la validación del sistema de control. Para ello se propuso colocar como valores deseados los siguientes: velocidad 900 r.p.m, nivel 10 L, tiempo 3 min, temperatura baja 25°C , temperatura alta 50°C. Las **Tablas 2.8 a 2.10** muestran los tiempos empleados en las operaciones manuales y las **Tablas 2.11 a 2.13** representan los tiempos de las operaciones automatizadas.

Tabla 2.8: Tiempos de operación manual tanque premezclado(auxiliar)

Operación	Operación y control	Tiempo
Agitar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que demore el operario en llevar a cabo el control de la velocidad con el potenciómetro y llegar al tiempo deseado.	5 min o más
Llenar	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el circuito de agua purificada y el tanque.	2 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demore en realizar el control manual y llegar al nivel deseado.	10 min o más
	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el suministro y el tanque.	3 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más

Enfriar	Tiempo que se demore en realizar el control manual y llegar a la temperatura deseada.	20 min o más
Calentar	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el suministro y el tanque.	3 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demore en realizar el control manual y llegar a la temperatura deseada.	20 min o más
Trasegar	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre los tanques y motobomba.	4 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demora en realizar el control manual y llegar al nivel de trasego deseado.	5 min o más
Impulsar producto	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo que tarda el operario en escurrir el producto que se queda sin ser trasegado tanto en las mangueras como en los tanques.	3 min o más
Recircular	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el tanque y la motobomba.	4 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demore en realizar el control manual y llegar a la velocidad deseada.	5 min o más
		114 min o más

Tabla 2.9: Tiempos de operación manual tanque fabricación

Operación	Operación y control	Tiempo
Agitar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que demora el operario en llevar a cabo el control de la velocidad con el potenciómetro y llegar al tiempo deseado.	5 min o más
	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el circuito de agua purificada y el tanque.	2 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más

Llenar	Tiempo que se demora en realizar el control manual y llegar al nivel deseado.	10 min o más
Enfriar	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el suministro y el tanque.	3 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demora en realizar el control manual y llegar a la temperatura deseada.	30 min o más
Calentar	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el suministro y el tanque.	3 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demora en realizar el control manual y llegar a la temperatura deseada.	30 min o más
Trasegar	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre los tanques y motobomba.	4 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demore en realizar el control manual y llegar al nivel de trasego deseado.	5 min o más
Impulsar producto	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo que tarda el operario en escurrir el producto que se queda sin ser trasegado tanto en las mangueras como en los tanques.	3 min o más
Recircular	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión entre el tanque y la motobomba.	4 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demore en realizar el control manual y llegar a la velocidad deseada.	5 min o más
		134 min o más

Tabla 2.10: Tiempos de operación tanques envasado

Operación	Operación y control	Tiempo
	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más

Agitar	Tiempo que demora el operario en llevar a cabo el control de la velocidad con el potenciómetro y llegar al tiempo deseado.	5 min o más
Trasegar	Tiempo que tarda el operario en realizar la conexión con la máquina empaquetadora.	2 min o más
	Tiempo que demora el operario en ir al sitio a ejecutar la tarea debido a que se encuentra en otras actividades.	5 min o más
	Tiempo que se demora en realizar la apertura y cierre manual de la válvula de trasiego.	5 min o más
		22 min o más

Tabla 2.11: Tiempo operación automática tanque premezclado(auxiliar)

Operación	Operación y control	Tiempo
Agitar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega a los valores deseados de velocidad y tiempo.	3 min
Llenar	Tiempo acondicionamiento	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en que llega al valor deseado de nivel.	5 min o menos.
Enfriar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega al valor deseado de temperatura.	15 min o menos
Calentar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega al valor deseado de temperatura.	15 min o menos
Trasegar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 o menos
	Tiempo que llega al valor deseado de nivel en el tanque receptor.	5 min o menos
Impulsar producto	Tiempo de acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega al valor deseado de tiempo	3 min

Recircular	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega al valor deseado de velocidad y tiempo.	3 min
		61 min o menos

Tabla 2.12: Tiempo operación automática tanque fabricación

Operación	Operación y control	Tiempo
Agitar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega a los valores deseados de velocidad y tiempo.	3 min
Llenar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en que llega al valor deseado de nivel.	5 min o menos.
Enfriar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega al valor deseado de temperatura.	20 min o menos
Calentar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view	1 min o menos
	Tiempo en el que llega al valor deseado de temperatura.	20 min o menos
Trasegar	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 o menos
	Tiempo que llega al valor deseado de nivel en el tanque receptor.	5 min o menos
Impulsar producto	Tiempo de acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos
	Tiempo en el que llega al valor deseado de tiempo.	3 min
	Tiempo acondicionamiento.	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view.	1 min o menos

Recircular	Tiempo en el que llega al valor deseado de velocidad y tiempo.	3 min
		71 min o menos

Tabla 2.13: Tiempo operación automática tanques envasado

Operación	Operación y control	Tiempo
Agitar	Tiempo acondicionamiento	0 min
	Tiempo en que el operario ingresa los valores deseados en la panel view	1 min o menos
	Tiempo en el que llega a los valores deseados de velocidad y tiempo.	3 min
Trasiego	Tiempo acondicionamiento	0 min
	Tiempo en que el operario abre o cierra la válvula desde la panel view	1 min o menos
		5 min o menos

Según la información anterior, se evidencia que los tiempos de elaboración de un lote en la manufactura manual desde el tanque auxiliar hasta hasta el tanque de envasado, suma 270 min, mientras que la producción automatizada pasando por los tres tanques, suma 137 min, lo que asegura que se disminuye los tiempo de producción posibilitando la elaboración de muchos más lotes.

2.3.3. Comparación de la intervención del operario en los dos procesos: manual y automatizado.

Tabla 2.14: Intervención del operario en un proceso manual y un proceso automático

Operaciones	Proceso manual	Proceso automatizado
Agitar	El operario enciende o apaga el motor a través de un interruptor.	El operario pone en marcha la tarea desde la panel view.
	El operario controla manualmente la velocidad con un potenciómetro.	
Llenar	El operario conecta las mangueras al tanque manualmente.	El operario pone en marcha la tarea desde la panel view.

	El operario controla en nivel abriendo y cerrando la válvula manualmente.	
Enfriar	El operario conecta el suministro de agua fría a la chaqueta del tanque.	El operario pone en marcha la tarea desde la panel view.
	El operario abre y cierra la válvula suministro de agua fría manualmente.	
Calentar	El operario conecta el suministro de vapor caliente a la chaqueta del tanque.	El operario pone en marcha la tarea desde la panel view.
	El operario abre y cierra la válvula suministro de vapor manualmente.	
Trasegar	El operario conecta las magueras, motobomba y tanques manualmente.	El operario pone en marcha la tarea desde la panel view.
	El operario enciende o apaga la motobomba con interruptor manualmente.	
Impulsar producto	El operario escurre manualmente el líquidos que se queda en las tuberías y al final del tanque.	El operario pone en marcha la tarea desde la panel view.
Recircular	El operario conecta las magueras, motobomba y tanque manualmente.	El operario pone en marcha la tarea desde la panel view .
	El operario enciende o apaga la motobomba con interruptor manualmente.	

A partir la **Tabla 2.14** se demuestra una reducción en la intervención manual de los operarios.

Capítulo 3

Conclusiones

- Se cumplió con los objetivos propuestos por el cliente(mejorar calidad de productos, evitar la intervención humana con sustancias peligrosas, optimizar la producción, trazabilidad de la manufactura).
- La empresa HAG ingeniería fortaleció el conocimiento en los estándares ISA-88.01 e ISA-5.1.
- Se generó una documentación sólida y organizada mediante el estándar ISA-88.01 e ISA-5.1.
- Se afianzaron los conocimientos adquiridos en la academia interactuando con nuevas técnicas de programación (PlantPax).
- Se incorporó a la universidad de Cauca con actividades productivas del norte de Cauca, permitiendo aplicar lo conocimiento adquiridos en el alma mater.

Bibliografía

- [1] F. A. Pérez and J. R. Juárez, "Impacto del uso de tecnología automatizada en la productividad de ciprofloxacino 500 mg tabletas recubiertas," *Ciencia e Investigación*, vol. 19, no. 1, pp. 43–46, 2016.
- [2] N. Shinde and M. Hedao, "Methodology for benchmarking of automation in construction industry," *Methodology*, 2017.
- [3] G. H. Choi and B. G. Loh, "Control of industrial safety based on dynamic characteristics of a safety budget-industrial accident rate model in republic of korea," *Safety and health at work*, vol. 8, no. 2, pp. 189–197, 2017.
- [4] G. Digo, N. Digo, I. Mozharovskii, and A. Torgashov, "Evaluation of nonlinear inferential models to estimate the products quality of industrial distillation process," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, no. 3, pp. 1284–1289, 2014.
- [5] A. Marshall, "La relación salarios-productividad: incentivos salariales en los convenios colectivos industriales," *Trabajo y sociedad*, no. 26, pp. 5–22, 2016.
- [6] A. O. Y. Montalván, O. F. Díaz, and V. E. Sentí, "Diagnóstico del nivel de automatización de los procesos de fabricación para el seguimiento y control en la industria farmacéutica de guayaquil [diagnosis of the level of automation of manufacturing processes for monitoring and control in the pharmaceutical industry of guayaquil]," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 15, no. 1, p. 101, 2016.
- [7] B. Ding, "Pharma industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 119, pp. 115–130, 2018.
- [8] R. M. Haleem, M. Y. Salem, F. A. Fatahallah, and L. E. Abdelfattah, "Quality in the pharmaceutical industry—a literature review," *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. 23, no. 5, pp. 463–469, 2015.
- [9] P. Nambisan, *An Introduction to Ethical, Safety and Intellectual Property Rights Issues in Biotechnology*. Academic Press, 2017.

- [10] V. C. Moreno, G. Reniers, E. Salzano, and V. Cozzani, "Analysis of physical and cyber security-related events in the chemical and process industry," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 116, pp. 621–631, 2018.
- [11] M. Micheli, "Elaboración de procesos seguros de importación y exportación aplicados a la industria farmacéutica, el caso de un laboratorio multinacional," Ph.D. dissertation, 2015.
- [12] M. Nematollahi, S.-M. Hosseini-Motlagh, and J. Heydari, "Economic and social collaborative decision-making on visit interval and service level in a two-echelon pharmaceutical supply chain," *Journal of cleaner production*, vol. 142, pp. 3956–3969, 2017.
- [13] T. D. Oesterreich and F. Teuteberg, "Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry," *Computers in industry*, vol. 83, pp. 121–139, 2016.
- [14] C. A. Vega Martínez *et al.*, "Propuesta de ingeniería conceptual para el proyecto de automatización de la planta de aplemezclas sas siguiendo estándares internacionales para la gestión de proyectos," 2015.
- [15] T. Vuletic, A. Duffy, L. Hay, C. McTeague, L. Pidgeon, and M. Grealy, "The challenges in computer supported conceptual engineering design," *Computers in Industry*, vol. 95, pp. 22–37, 2018.
- [16] T. J. Hilbers, L. M. Sprakel, L. B. van den Enk, B. Zaalberg, H. van den Berg, and L. G. van der Ham, "Green diesel from hydrotreated vegetable oil process design study," *Chemical Engineering & Technology*, vol. 38, no. 4, pp. 651–657, 2015.
- [17] E. Álvarez and J. Álvarez, "Propuesta de automatización de un digestor anaerobio tipo horizontal," Ph.D. dissertation, Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. México DF, México, 2008.
- [18] S. Lamniai, "Gestión del conocimiento: implantación de un sistema de lecciones aprendidas," Master's thesis, 2009.
- [19] W. Y. S. Quilindo, D. C. V. González, and J. F. F. Marulanda, "Procedimiento de modelado isa s88 para ejecución de órdenes de producción basadas en récipes," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 21, no. 2, pp. 107–129, 2011.
- [20] M. De Minicis, F. Giordano, F. Poli, and M. M. Schiraldi, "Recipe development process re-design with ansi/isa-88 batch control standard in the pharmaceutical industry," *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 6, no. Godište 2014, pp. 6–16, 2014.
- [21] P. CERTUCHE-MUÑOZ, R. CAMACHO-MUÑOZ, J. F. FLÓREZ-MARULANDA, and H. S. VILLADA-CASTILLO, "Standarization of a test biodegradation under anaerobic fermentation with isa s. 88," *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 2, pp. 65–74, 2016.

- [22] F. Chicaiza, C. A. García, E. X. Castellanos, C. Sánchez, C. Rosero, and M. García, "Arquitectura flexible basada en isa-88 para el diseño del diagrama de control de ejecución en aplicaciones distribuidas mediante iec-61499," *Enfoque UTE*, vol. 9, no. 1, pp. 149–165, 2018.
- [23] M. Vegetti, G. P. Henning *et al.*, "Isa-88 formalization. a step towards its integration with the isa-95 standard." in *FOMI@ FOIS*, 2014.
- [24] M. A. Cely Orduz, R. Plazas Pinto *et al.*, "Propuesta de diseño de automatización joule thomson para gas."
- [25] rockwellautomation, "Sistema de control distribuido plantpax," rockwellautomation, Tech. Rep., 2016.
- [26] —, "Guía de inicio rápido para controladores logix5000™," rockwellautomation, Tech. Rep., 2017.
- [27] Y. Liang and S. Yu, "Research on compatibility in man-machine interface design of products," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 439, no. 3. IOP Publishing, 2018, p. 032094.
- [28] K. Medrano, D. Altuve, K. Belloso, and C. Bran, "Development of scada using a rtu based on iot controller." in *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [29] J. Ermer and J. H. M. Miller, *Method validation in pharmaceutical analysis: A guide to best practice*. John Wiley & Sons, 2006.
- [30] A. D. Núñez Lara, "Propuesta de implementación de buenas prácticas de manufactura en el área de producción de sólidos de la planta piloto de tecnología farmacéutica de la facultad de ciencias químicas," 2013.