



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**Facultad de Ingeniería
y Ciencias**
Ingeniería Electrónica

TRABAJO DE GRADO

Diseño de un sistema de control para la automatización
del proceso de formulado y mezclado de jabones
artesanales

Juan Camilo Montoya
Sergio Alejandro Rodríguez

Director
M.Sc. Juan David Contreras Pérez

11 de junio de 2021

Santiago de Cali, 11 de junio de 2021

Dr. Luis Eduardo Tobon
Director
Carrera de Ingeniería Electrónica
Pontificia Universidad Javeriana – Cali
Ciudad

Cordial saludo.

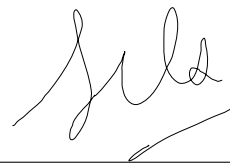
Nos permitimos presentar a su consideración el proyecto de grado titulado “Diseño de un sistema de control para la automatización del proceso de formulado y mezclado de jabones artesanales” con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el proyecto de grado y posteriormente optar al título de Ingeniero Electrónico.

Al firmar aquí, damos fe que entendemos y conocemos las directrices para la presentación de trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias aprobadas el 26 de Noviembre de 2009, donde se establecen los plazos y normas para el desarrollo del anteproyecto y del trabajo de grado.

Atentamente,



Juan Camilo Montoya
Código: 8911855



Sergio Alejandro Rodríguez
Código: 8751679

Santiago de Cali, 11 de junio de 2021

Dr. Luis Eduardo Tobon
Director
Carrera de Ingeniería Electrónica
Pontificia Universidad Javeriana – Cali
Ciudad

Cordial saludo.

Por medio de la presente me permito informarle que los estudiantes de Ingeniería Electrónica Juan Camilo Montoya (código: 8911855) y Sergio Alejandro Rodríguez (código: 8751679), trabajan bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado “Diseño de un sistema de control para la automatización del proceso de formulado y mezclado de jabones artesanales”.

Atentamente,



M.Sc. Juan David Contreras Pérez



Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería Electrónica

Fecha: 07/07/2021

Autores: Juan Camilo Montoya & Sergio Alejandro Rodríguez

Nombre del Proyecto de Grado:

**Diseño de un sistema de control para la automatización
del proceso de formulado y mezclado de jabones
artesanales**

Director: Juan David Contreras Perez

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

Firma de Director(a) del Proyecto de Grado

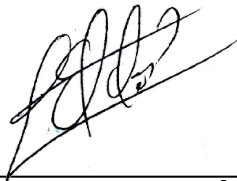
Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero Electrónico.



Dr. Camilo Rocha

Decano de la Facultad de Ingeniería



ING. Luis Eduardo Tobón Llano

Director Carrera Ingeniería Electronica.




ING. Juan David Contreras Perez

Director(a) Trabajo



ING. Alexander Martinez Alvarez

Jurado 1



ING. Juan Manuel Nogales Viedman

Jurado 2

Resumen

Con el propósito de impulsar pequeños negocios de jabones y otros productos similares, este proyecto propone el diseño, simulación y análisis un sistema de control para una máquina de formulado y producción de jabones que permita automatizar todo el proceso de saponificación y a la vez mantener la temperatura, consistencia y pH en rangos ideales para la producción. Este proceso se inicia al reconocer las diferentes variables que se deben controlar, y detallar los diferentes métodos que se pueden implementar para poder controlar dichas variables en el modelo virtual . Seguidamente se plantea un diseño de la arquitectura de control, seleccionando el controlador y todos los elementos de instrumentación industrial que permitan tanto actuar sobre las variables a controlar, como obtener una realimentación de estas. Posteriormente se desarrolla el software de control a partir de los lenguajes de la norma IEC 61131-3 a la vez que integra una interfaz hombre-máquina donde se desarrolla un sistema de formulación y recetas. Este sistema propuesto es evaluado y depurado en un entorno de simulación para poder facilitar posibles futuras aplicaciones del diseño a implementar. Adicionalmente, se plantea hacer un análisis de rentabilidad para comprobar que dicho sistema de control será efectivo al aumentar las ganancias de pequeñas empresas.

Palabras Clave: Lista de palabras clave.

1. Saponificación: Proceso químico de creación de jabón duro o suave por la interacción de un ácido y una grasa.[1]
2. Sobre-Engrasado: Se refiere a la técnica en la cual se usa menos soda cáustica de la requerida en la saponificación para tener un leve exceso de aceite el cual le dará una textura cremosa al jabón. El sobre-engrasado recomendado para un jabón promedio es de 10 %.
3. Extrusor: Elemento mecánico que ejerce presión sobre un elemento para deformarlo, apoyado por calor o propiedades del material.[2]
4. PLC: Controlador lógico programable, unidad de procesamiento central que se encarga de llevar a cabo un proceso industrial, realizando medición de sensores y activando secuencias o elementos físicos.[3]
5. HMI: Interfaz hombre máquina, donde el operario del sistema de automatización lleva control del sistema y sus variables mas relevantes, se le muestra información relevante y controla acciones predeterminadas.[4]

Abstract

With the goal of propelling small soap and beauty product businesses, this project proposes the design, simulation and analysis of a control and automation system of a soap machine that does the formulation and manufacturing process, keeping its temperature, consistency and pH on an ideal production range. The project begins recognizing the variables and the methods which can control and ensure their simulation on a virtual model. The next step is designing the control architecture, picking the components and instrumentation and checking their purpose like regulation or feedback loops for the project. The next progress is the software development following the IEC 61131-3 standard and managing the creation of the recipe and formulation system. The proposed system is evaluated and refined in a simulation environment, which provides options for future implementation applications. Finally, an economic analysis is made including the profit that small businesses could obtain from implementation.

Keywords

Saponification, Over baste, Extrusor, PLC, HMI.

Índice general

Índice de ecuaciones	13
1 Marco teórico	1
1.1 Creación de un jabón por saponificación	2
1.2 Sistema de control industrial	3
2 Objetivos	6
2.1 Objetivo General	6
2.2 Objetivos Específicos	6
3 Diseño del sistema de control	7
3.1 Selección de los componentes del sistema de control	7
3.1.1 Elementos necesarios para la construcción	7
3.1.2 Características requeridas de los elementos	9
3.2 Selección del controlador lógico y elementos de control adicionales (módulos)	10
3.2.1 Selección del controlador lógico	10
3.2.2 Selección de los módulos del controlador lógico	11
3.3 Desarrollo de la instrumentación	11
3.3.1 Diagrama eléctrico	11
3.3.2 Diagrama P&ID con lazos de control	16
4 Modelado de la máquina virtual	18
4.1 Vista preliminar del modelo de la maquina	18
4.2 Tiempo de calentamiento de la manta térmica	19
4.3 Tiempo que demora en calentar un aceite	20
4.4 Vertido de los fluidos viscosos	20
5 Desarrollo del Programa de Control	26
5.1 Selección de materia prima	28
5.2 Ingreso de la cantidad de materia prima	28
5.3 Selección de receta	28
5.4 Control de temperatura de la materia prima	29

5.5	Dosificación de la materia prima	29
5.6	Mezclado y reacción química	30
5.7	Vertido de la mezcla final	30
5.8	Ciclo de limpieza	31
6	Desarrollo del sistema para la supervisión y control de la máquina	32
6.1	Desarrollo de una interfaz de usuario	32
6.1.1	Métodos para desarrollar la interfaz de usuario	32
6.1.2	Diseño y elección de método	32
6.2	Programación de la interfaz	33
7	Resultado de pruebas de simulación del sistema de control en un ambiente ideal	36
7.1	Simulación	36
7.1.1	Método de simulación	36
7.1.2	Comparación con el ambiente real	50
8	Desarrollo del análisis de costos de producción y mantenimiento de la máquina y rentabilidad	51
8.1	Análisis de costos de producción y mantenimiento	51
8.1.1	Análisis de costos de producción	51
8.1.2	Análisis de costos de mantenimiento	52
8.2	Estimación de la máxima producción de la planta	53
8.3	Análisis de rentabilidad	53
9	Conclusiones	58
	Bibliografía	60
10	Anexos	62
A	Tabla de índices de saponificación, índice de yodo e INS	62
B	Tabla de elementos elegidos, conexión, referencia, cantidad, link online, precio por unidad, fecha de visita del sitio online y total (Fuente: Propia)	64
C	Tabla de elementos investigados y que se tuvieron en cuenta para la elección final (Fuente: Propia)	68
D	Tabla de elementos de control que se tuvieron en cuenta para la elección final (Fuente: Propia)	85
E	Programación de la interfaz de usuario	87
F	Tablas de conexión de servicios y costos energéticos en Cali y áreas aledañas.	93
G	Diagrama de flujo del funcionamiento del modelo de control	96
H	Código de control del modelo virtual en CODESYS	118

Índice de figuras

1.1	Ejemplo de un módulo entradas digitales PLC CLICK (Fuente: [5])	4
1.2	Ejemplo de un PLC(Fuente: [6])	4
1.3	Ejemplo de HMI (Fuente: [7])	5
1.4	Un ejemplo de protocolo de comunicación: Modbus (Fuente: [8])	5
3.1	Diagrama eléctrico del sistema propuesto.	15
3.2	Diagrama P&ID.	17
4.1	Vistas del esquema preliminar del modelo de la máquina.	19
4.2	Dimensiones del tanque de ingredientes (Fuente: [9])	21
5.1	Diagrama de estados del modelo de control	27
6.1	Primera ventana de la interfaz de usuario	33
6.2	Segunda ventana de la interfaz de usuario	34
7.1	Inicialización y encendido de la máquina	37
7.2	Inicialización y encendido de la maquina	38
7.3	Finalización del proceso de ingreso de ingredientes e inicio del proceso de selección de receta	39
7.4	Inicio del proceso de selección de receta y cheque de funciones de seguridad	40
7.5	Proceso de selección de cantidad de aceites	41
7.6	Finalización de la receta e inicio del proceso de control de los tanques de ingredientes	42
7.7	Inicio de el proceso de dosificación	43
7.8	Finalización de el proceso de dosificación y activación de el proceso de control del tanque de mezclado	44
7.9	Inicio de el proceso de control del tanque de mezclado	45
7.10	Finalización de proceso y selección de siguiente acción	46
7.11	Inicio de el proceso de limpieza	47
7.12	Finalización del ciclo de limpieza y retorno al inicio del proceso de la maquina	48
10.1	Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 1.	88
10.2	Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 2.	89
10.3	Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 3.	90

10.4	Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 4.	91
10.5	Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 5.	92
10.6	Tablas oficiales de precios respectivos a energía eléctrica EMCALI. (Fuente: [10], [11])	95

Índice de cuadros

3.1	Tabla de elementos de almacenamiento necesarios (Fuente: Propia)	7
3.2	Tabla de elementos de distribución necesarios (Fuente: Propia)	8
3.3	Tabla de elementos de control necesarios (Fuente: Propia)	8
3.4	Tabla de elementos de protección necesarios (Fuente: Propia)	8
3.5	Tabla de elementos necesarios elegidos(Fuente: Propia)	10
8.1	Tablas de análisis económico (Fuente: Propia)	57
10.1	Tabla de índices de saponificación, índice de yodo e INS (Fuente: [12])	64

Índice de ecuaciones

4.1 Ecuación fundamental de la calorimetría. [13]	19
4.2 Calentamiento de un elemento viscoso. [13]	20
4.3 Volumen de un cilindro cónico. [14]	22
4.4 Volumen de un cilindro recto. [14]	22
4.5 Valores y ecuaciones necesarias y volumen de la parte principal del contenedor.	22
4.6 Valores y ecuaciones necesarias y volumen de la parte inferior del contenedor.	22
4.7 Valores y ecuaciones necesarias y volumen de la válvula de salida del contenedor.	23
4.8 Proceso para hallar el volumen total del contenedor.	23
4.9 Altura de un fluido en el cilindro de salida teniendo en cuenta su radio y volumen.	23
4.10 Proceso para hallar la altura de un fluido en el cilindro inferior.	23
4.11 Proceso para hallar la altura de un fluido en el cilindro principal.	24
4.12 Componentes y ecuación de presión de una columna de líquido. [13]	24
4.13 Presión y flujo de los elementos viscosos. [13]	25
5.1 Ecuaciones para calcular el volumen de NaOH para la saponificación con un 10 % de sobreengrasado	29

Introducción

El proceso de crear jabones que además de limpiar aromaticen y que posean propiedades benéficas para la piel es un arte que tiene miles de años de historia. Los primeros jabones fueron producidos hace más de 3000 años y se hacían mezclando grasa animal y agua con cenizas, las cuales contienen pequeñas cantidades de lejía o potasa cáustica.[15][16]

Actualmente, el proceso en el cual las fabricas producen jabones consiste en mezclar todos los ingredientes del jabón en una gran mezcladora y acelerar el proceso de saponificación, el cual convierte los aceites y esencias en jabón. El jabón resultante se asemeja a la plastilina y este pasará por múltiples extrusores que le darán forma de escamas muy delgadas causando que se enfríe y se solidifique. Finalmente, estas escamas son mezcladas con el aceite aromático que se desee y se empuja por un ultimo extrusor que le dará forma de barra y se estampará con prensas su diseño final.

La forma artesanal de hacer jabón es un poco diferente, primero se deben medir los ingredientes a mano ya sea por volumen o por peso y después se mezclan lentamente para evitar salpicaduras causadas por la reacción química. La reacción química es altamente corrosiva en sus etapas iniciales ya que la soda cáustica aun no ha reaccionado por completo con los aceites, lo cual causa quemaduras en la piel [17]. Durante el proceso de mezclado hay que ser meticuloso, si el tiempo es muy poco o la velocidad es muy lenta la reacción química va a fallar causando que el jabón resultante sea corrosivo, si se mezcla por mucho tiempo o si la velocidad es muy alta esto puede generar burbujas afectando el resultado o puede hacer que se solidifique antes de envasarlo.

Actualmente, para un proceso artesanal, no existe en el mercado local una máquina comercial que pueda mezclar con gran precisión los jabones con cualquier receta y que se pueda poner en cualquier molde. Si esta existiera y se comprobase su efectividad, los riesgos de quemarse la piel con los químicos del jabón o de sobre-calentar la mezcla serían algo del pasado, obteniendo jabones con colores mas vívidos y conservando el arte de los jabones artesanales.

Este proyecto surgió tras haber reconocido lo ineficiente que es el método de producción de jabón en frío, ya que depende completamente de la experiencia personal para reconocer cuando el jabón esta bien formulado y cuando se ha efectuado de manera efectiva la reacción química de saponificación. Por eso es necesario implementar los métodos de automatización de procesos para realizar una saponificación ideal y remover por completo la necesidad de tener experiencia personal en el proceso de fabricación.

Las ventajas principales entre la máquina aquí propuesta y una industrial existente es el nivel de personalización y el estado en el que se extruye el jabón. El primero pone la experticia y receta propia del artesano disponible, cumpliendo requerimientos y medidas de cada ingrediente usado, mientras el estado en el que se concluye el proceso es más líquido que en un proceso industrial, garantizando que se puedan agregar colorantes, adiciones o formas distintas, lo cual aumenta el valor al ser un jabón con menor pH y mas detalle en sus ingredientes y creación.

Marco teórico

El proceso de producción del jabón artesanal se necesita controlar temperaturas en un rango de 27°C a 70°C con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ y que las proporciones de aceites y otros ingredientes (soda cáustica, agua destilada, miel, colorantes, exfoliantes y vitaminas) sean dosificados con precisión, de lo contrario se puede obtener un producto de baja calidad o que irrite la piel, ya que ingredientes como la soda cáustica debe permanecer entre el 10 % y 15 % de la mezcla[18].

Las mayores diferencias entre un jabón artesanal y uno hecho de manera industrial es el proceso de saponificación y el formado del jabón. Como se explicó en la introducción, los jabones hechos de manera industrial son hechos al mezclar los aceites con la solución de soda cáustica, para acelerar la reacción química entre estos se llega a temperaturas de hasta 104°C[19]. El jabón hecho de manera artesanal se hace con un proceso llamado saponificación en frío el cual consiste en mezclar delicadamente los aceites con la solución de soda cáustica hasta tener una consistencia espesa pero líquida la cual no supera los 54°C[18] y verterla en moldes de silicona o madera que permitan ser desmoldados. Este proceso de saponificación en frío desacelera la reacción química y genera jabones con colores vívidos a diferencia de los colores opacos del jabón industrial. Los jabones hechos con este método deben ser curados por periodos prolongados que varían de uno a seis meses dependiendo del contenido de agua y los aceites usados, este periodo de curado es la razón por la cual las fabricas optan por el proceso de saponificación caliente aunque sacrifican la vividez de los colores y la oportunidad de darle diseños complejos a los colores del jabón. Esta separación entre los tipos de saponificación y procesos de creación genera diferencias como la naturalidad de los ingredientes utilizados, tiempos de creación, huella ecológica y costos de fabricación y venta.

Como se puede observar, hay una gran diferencia entre estos tipos de jabones y esto se puede ver reflejado en el precio del mercado. Al observar diferentes proveedores se puede observar que el precio de un kilogramo de jabón industrial se puede obtener por un costo que varia entre \$8000 pesos y \$15000 pesos. El mismo kilogramo de jabón artesanal se tiene un precio entre \$70000 y \$120000. Estos rangos de precio se dan por los diferentes tipos de materiales usados en el jabón y por los tiempos de producción, donde un jabón artesanal requiere mucho más.

El proceso de la elaboración del jabón se puede lograr con sistemas industriales de control, ya que de manera humana, dependiendo de la experiencia del operador se pueden dar posibles fallas en el proceso por obtener resultados poco uniformes o pérdidas en un proceso que demanda mucho tiempo y dinero [20][21].

1.1. Creación de un jabón por saponificación

- **Saponificación:** Proceso por el que los triglicéridos se hacen reaccionar con hidróxido de sodio (soda cáustica) o de potasio (lejía) para producir glicerol y una sal de ácido graso, llamado “jabón”. Los triglicéridos son más a menudo grasas animales o aceites vegetales. Cuando se utiliza hidróxido de sodio, se produce un jabón duro. Utilizando los resultados de hidróxido de potasio en un jabón suave.[1]

Cada aceite o grasa necesita una cantidad específica de soda cáustica para reaccionar y a esta se le denomina índice de saponificación. El índice de saponificación de una grasa representa cuantos gramos de reactivo (KOH o NaOH) son necesarios para reaccionar con 1 gramo de aceite.

En la tabla de índices de saponificación, índice de yodo e INS (Anexo A) se puede observar los diferentes índices para una gran variedad de aceites representados como sap NaOH y sap KOH y el valor del yodo determina la tendencia al enranciamiento y el valor INS nos aproxima a las características finales de un jabón realizado con esa grasa. El valor de yodo o enranciamiento básicamente nos dice que tan propenso a dañarse es un jabón hecho con únicamente este material.

El valor de INS representa que las cualidades físicas del jabón, y este se obtiene restando el índice de saponificación y el índice de yodo y mientras mas alto sea mas duro será el jabón.[22]

Se puede observar en el Anexo A , que dependiendo del tipo de grasa que se use se va a necesitar una diferente cantidad de soda cáustica y el resultado de cada saponificación puede variar considerablemente ya que hay grasas que no son aptas para hacer jabón como lo es la Sacha Inchi la cual posee un INS de 6, haciendo que sea un jabón muy propenso a volverse rancio.

La planta va a tomar los valores de los índices de saponificación, densidad, viscosidad, calor específico y temperatura de fundición cuando se le ingrese una receta y de esta manera producirá un jabón perfecto.

- **Curado:** Proceso de secado o deshidratación de los jabones en los que pierden características peligrosas para el humano y reducen un 10% de su peso.

1.2. Sistema de control industrial

Dentro de los procesos industriales la herramienta por excelencia para la implementación del software de control es el PLC debido a que este es una herramienta de control industrial robusta que presta características que la industria requiere, cosa que los microcontroladores y otros sistemas de control no poseen. Un ejemplo de un modelo de PLC se presenta en la Figura 1.2.

Los PLC se programan mediante los lenguajes definidos en la norma IEC 61131 de los cuales se destacan texto estructurado y Ladder.

Entre algunos tipos de PLCs se pueden listar los modulares o expandibles, que pueden agregar partes adicionales según los requerimientos de la máquina. Normalmente un sistema de control industrial se compone de un PLC con entradas y salidas digitales y análogas, instrumentación (sensores y actuadores) e interfaz hombre maquina (HMI por sus siglas en ingles) la cual se comunica se comunica con el PLC por medio de un protocolo de comunicación, así como un diagrama de sus conexiones mediante instrumentación tal como el P&ID y el diagrama eléctrico. A continuación se da una breve descripción de estos términos.

- Entradas al PLC: Conexión del PLC con los sensores o fuentes de información externa (Internet, HMI), lo cual le permite ejecutar el programa de control. Un ejemplo de un modelo de entradas digitales se presenta en la Figura 1.1.
- Salidas del PLC: Conexión del PLC con los objetos (válvulas, actuadores) que controla según el programa de control asignado.
- HMI: Interfaz hombre máquina, que permite al operario de la maquina controlar el proceso o ver su estado de control. Un ejemplo de un modelo de HMI se presenta en la Figura ??.
- Protocolo de comunicación: Es el tipo de conexión que se tiene mediante el HMI y el PLC, facilitando la visualización del proceso al operador y el control de la máquina. Un ejemplo de un modelo de protocolo de comunicación se presenta en la Figura 1.4.
- P&ID: Diagrama que relaciona los lazos de control con los actuadores, sensores y unidades de procesamiento siguiendo la norma ANSI/ISA-S5.4 y S5.1.
- Diagrama eléctrico: Diagrama que relaciona los elementos según sus conexiones eléctricas y tiene en cuenta componentes de protección tales como fusibles, relés, switches, entre otros. Se sigue la norma IEC.

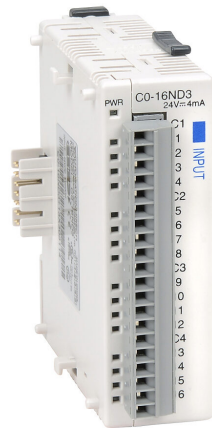


Figura 1.1: Ejemplo de un módulo entradas digitales PLC CLICK (Fuente: [5])

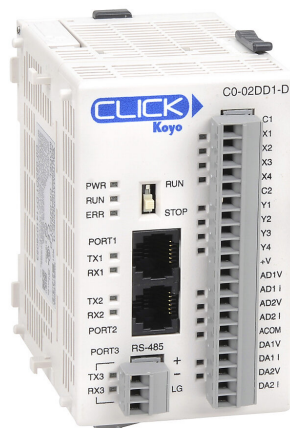


Figura 1.2: Ejemplo de un PLC(Fuente: [6])



Figura 1.3: Ejemplo de HMI (Fuente: [7])

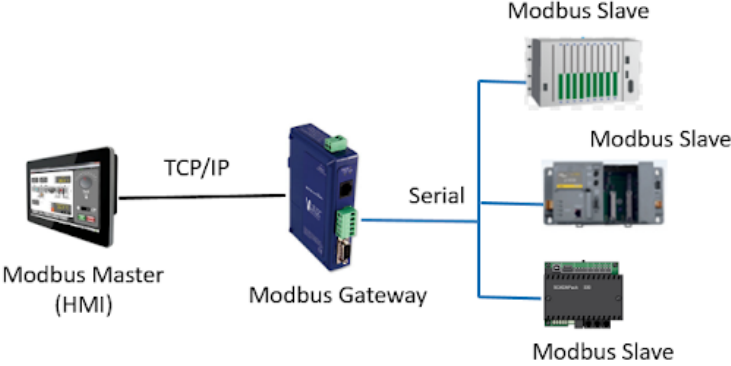


Figura 1.4: Un ejemplo de protocolo de comunicación: Modbus (Fuente: [8])

Objetivos

En este capítulo se listan los objetivos del proyecto, que le dan dirección a las acciones y demás capítulos presentados.

2.1. Objetivo General

Diseñar un modelo virtual y un sistema de control de una máquina que automatice el proceso de formulado y mezclado de jabones sólidos y líquidos a pequeña y mediana escala.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un modelo virtual de una máquina de formulado y mezclado de jabones.
- Evaluar la funcionalidad del sistema de control por métodos de simulación utilizando un controlador virtual.
- Realizar un análisis de retorno a la inversión que tenga en cuenta los requerimientos de los interesados en implementar el diseño presentado en el proyecto.
- Diseñar un sistema de control que obedezca a la automatización del proceso de mezclado de jabones o sustancias de recetas y variables similares.
- Planear el sistema de control para que sea compatible con elementos que tengan una buena relación costo-beneficio, aumentando el interés en interesados en implementar el diseño presentado en el proyecto.
- Evaluar el sistema de control y visualización en un entorno virtual.

Diseño del sistema de control

En este capítulo se selecciona todo el hardware necesario para lograr un control efectivo del proceso de fabricación de jabones, también se especifica la conexión y arquitectura de los elementos de instrumentación industrial, elementos de maniobra y elementos de control por medio de diagramas eléctricos y diagramas P&ID.

3.1. Selección de los componentes del sistema de control

En esta sección se describen los elementos y sus características necesarias para realizar el sistema de control.

3.1.1. Elementos necesarios para la construcción

A continuación se listan de manera más detallada los elementos necesarios para diseñar el sistema de control de la máquina.

De acuerdo a los volúmenes de cada sustancia se seleccionaron los siguientes elementos de almacenamiento:

Elemento	Unidades	Medida necesaria
Tanques de ingredientes	5	15-25 L
Tanques de mezclado	1	80-100 L
Moldes	10	800-1500 cm ³
Estantería	2	Min. 1x0.6x1 m
Estructura	1	N/A

Cuadro 3.1: Tabla de elementos de almacenamiento necesarios (Fuente: Propia)

Teniendo en cuenta la alta viscosidad de los fluidos, se deben seleccionar válvulas y tuberías de un diámetro suficiente para que las sustancias fluyan con suficiente velocidad. También se selecciona el cableado de acuerdo al tipo de señal o potencia a transmitir. Los elementos seleccionados se listan en el cuadro 3.2.

Elemento	Unidades	Medida necesaria
Válvula tanques de ingredientes	6	3/4"
Válvula tanque principal	1	1"
Tubo de fluido 3/4"	8	3/4"x 1m

Tubo de fluido 1"	1	1" x 1m
Cable RS232	4	RS232 x m
Cable trenzado	5	Trenzado x 1m
Manguera de agua	2	3/4" x 1m
Regleta de conexiones	2	2500W 220V
Conectores de agua y eléctricos	1	Codos/Soldadura/Otros

Cuadro 3.2: Tabla de elementos de distribución necesarios (Fuente: Propia)

Elementos de control, que llevan registro de las variables relevantes a el mantenimiento y buen desarrollo de la actividad (cuadro 3.3):

Elemento	Unidades	Características
Sensor de nivel	6	Ultrasónico
Sensor de temperatura	6	20-100°C
Manta térmica tanques ingredientes	5	200-400 W
Manta térmica tanque mezclado	1	500-1000W
Mezclador	1	0.3-0.5kW Trifásico
Relay de control válvulas	7	24VDC/250VAC
Variador de frecuencia	1	0.5-1kW RS485/RS232
Convertor 110/220VAC	1	110 a 220 VAC 3000-8000W
Unidad de control	1	Habilidad de control
Interfaz hombre máquina	1	Mostrar eventos y control

Cuadro 3.3: Tabla de elementos de control necesarios (Fuente: Propia)

Finalmente, para proteger los sistemas de control y la instrumentación de posibles fallas eléctricas, se selecciona los correspondientes fusibles y mini-breakers multiplicando la carga máxima de cada elemento a proteger por un factor de 1.25 y buscando el amperaje de activación más cercano a este valor. Los elementos seleccionados se presentan en el cuadro 3.4

Elemento	Unidades	Características
Fusibles de protección mantas térmicas	6	1000V térmica
Fusibles de protección válvulas	7	1000V térmica
Breaker primario y de mezcladora	2	10-20kA SCCR Termomagnética
Breaker sensores de nivel	1	220v 5-15 kA SCCR Termomagnética
Breaker de la unidad de control	1	220v 5-15 kA SCCR Termomagnética

Cuadro 3.4: Tabla de elementos de protección necesarios (Fuente: Propia)

3.1.2. Características requeridas de los elementos

A continuación se listan los elementos elegidos. En el Anexo[B] se encuentra la lista completa: precio, link y fecha de visita de la página, mientras en el Anexo[C] se muestra todas las opciones contempladas con características respectivas al elemento requerido.

Los siguientes elementos deben poseer características particulares:

- Tanques: Válvula de escape mas ancha de media pulgada (1/2") y forma cónica para facilitar la bajada del ingrediente.
- Válvulas: Deben ser del tamaño de la salida de los tanques, funcionamiento de baja presión y normalmente cerrado.
- Sensor de nivel: Ultrasónico, mide desde abajo o arriba del tanque, donde su principio matemático mide el tiempo que tarda en ir y volver una señal, usando como base la velocidad del sonido.
- Mezclador (motor), variador de frecuencia (VFD) y conversor eléctrico: El motor y VFD deben funcionar según el mismo voltaje de salida del conversor, 220 VAC por ser elementos de alto consumo.
- Unidad de control (UC): Debe tener el número de puertos correspondientes a entradas (12 totales: 6 análogas, 6 digitales) y salidas (14 totales: Digitales) requeridos para el proceso, o en su defecto los módulos disponibles para poder realizar las conexiones requeridas. Además, debe manejar la complejidad del proceso, tener una clara guía para conexión con la interfaz hombre máquina y poder ser programado con un lenguaje de programación recurrente en la industria.
- Interfaz hombre máquina (HMI): Debe tener suficiente poder de procesamiento para manejar las gráficas y cálculos correspondientes y manejar una clara guía para conexión con la UC.

Elemento	Características
Tanques de ingredientes	Hopcat 22L Conical Fermenter
Tanques de mezclado	SNEECEMAN 90L Conical Fermenter
Moldes	24.3 x 5.2 x 7 cm
Estantería	1.50 x 0.6 x 2.0 m
Válvula tanques de ingredientes	2W-200-20 24 VDC - 625 mA 3/4"
Válvula tanque principal	2W-250-25 24 VDC - 625 mA 1"
Tubo de fluido 3/4"	Tubo PVC 3/4"x 1m
Tubo de fluido 1"	Tubo PVC 1"x 1m
Cable RS232	Cable RS232 x 3m
Cable trenzado	Cable trenzado generico x 1m
Manguera de agua	Manguera de agua generica x 1m
Regleta de conexiones	Regleta VCT Electronics 2500W 220V
Conectores de agua y eléctricos	Codos/Soldadura/Otros
Sensor de nivel	F550 RS485 RS232 0-5V 4-20mA TCP
Sensor de temperatura	PT100 x 50mm
Manta térmica tanques ingredientes	DRUM - S120 300W
Manta térmica tanque mezclado	DRUM - S120 800W
Mezclador	Electric Motor Mixer 220/380 VAC 0.35 kW Trifasica
Relay de control válvulas	52001 Murrelektronik interface relay 24VDC/220VAC
Variador de frecuencia	GS23-20P5 230 VAC - 2.8A, USB-B, RS485, 0.1 - 600 Hz
Convertor 110/220VAC	Shimran AC-100, AC-5000W a 220 VAC
Unidad de control	C0-12DD1E-D
Interfaz hombre máquina	EA3-T4CL
Fusibles de protección mantas térmicas	SRD-30 1000V térmica
Fusibles de protección válvulas	WSPV-30 1000V térmica
Breaker primario y de mezcladora	FAZ-D20-3-NA 14kA SCCR Termomagnética
Breaker sensores de nivel	FAZ-B1-2-NA-L 10kA SCCR Termomagnética
Breaker de la unidad de control	FAZ-C3-1-NA-SP 10kA SCCR Termomagnética

Cuadro 3.5: Tabla de elementos necesarios elegidos(Fuente: Propia)

3.2. Selección del controlador lógico y elementos de control adicionales (módulos)

3.2.1. Selección del controlador lógico

Para la selección del controlador lógico se tuvo presente las características necesarias planteadas en la sección 3.1.2 (Características de los elementos) y se listan las características de la unidad de control elegido, un PLC de la marca CLICK y referencia C0-12DD1E-D:

- Entradas analógicas: 2.
- Entradas digitales: 4.
- Puerto Ethernet: Si, uno (1).
- Puerto RS485/RS232: Si, uno de cada uno(1 RS485, 1 RS232).
- Tamaño de memoria y procesamiento: 8000 pasos/16KB.

3.2.2. Selección de los módulos del controlador lógico

De acuerdo a la unidad de control elegida se seleccionan los módulos adicionales que permitan la conexión de los elementos que no entran a la unidad, estos son módulos de la misma marca y con referencias que se pueden ver en el Anexo[D].

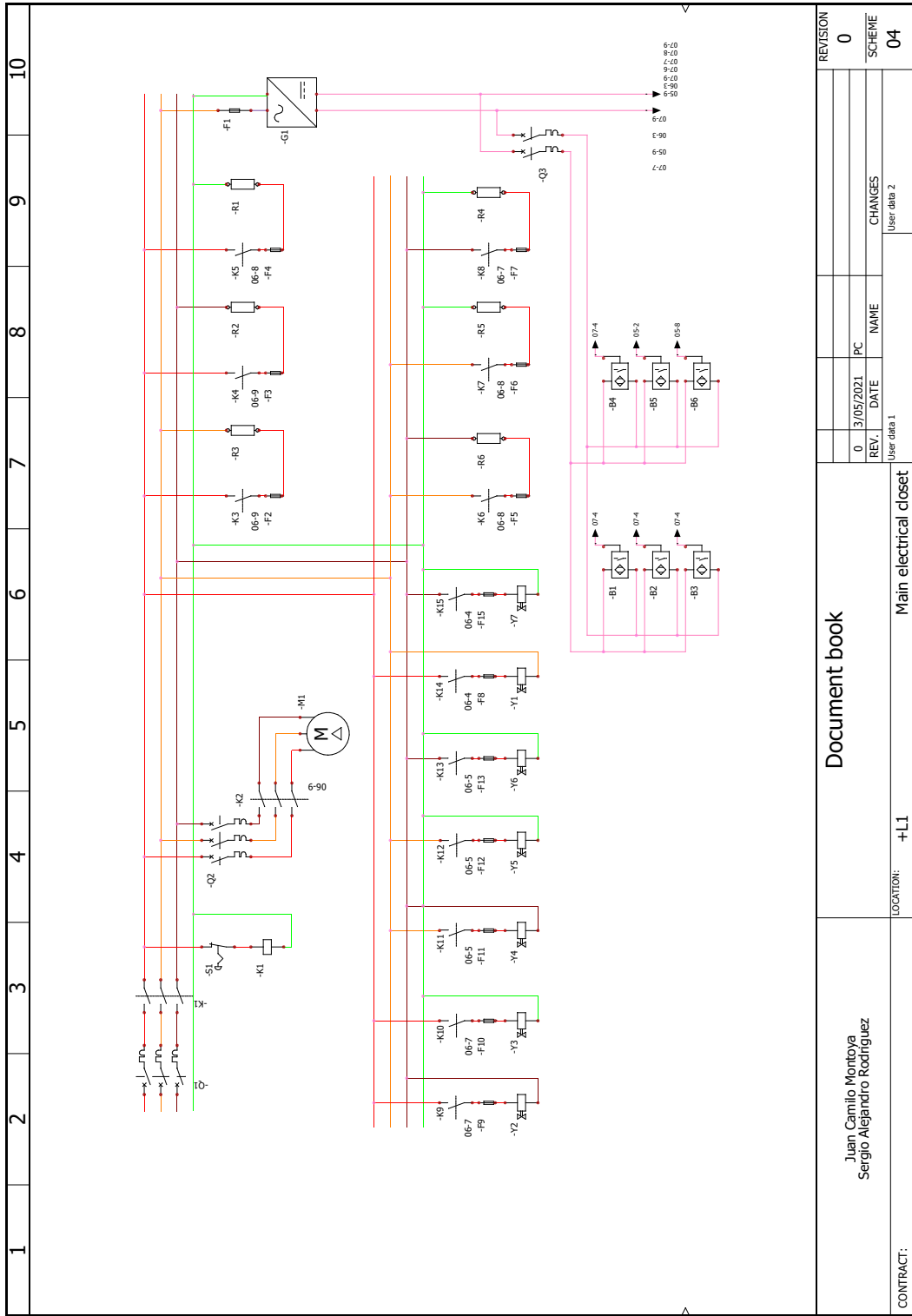
- Fuente del PLC : Marca CLICK, alimenta la unidad de control y los módulos, tiene salida 24VDC a 1.3A continuos.
- Módulo de entradas analógicas: Permite la medición de los sensores de nivel que no conectan en la unidad principal, tiene cuatro (4) canales.
- Módulo de termocuplas: Permite la medición de temperatura de los tanques por medio de termocuplas, tiene cuatro (4) entradas.
- Módulo de salidas de control: Permite el control de las válvulas y las mantas de calentamiento, tiene dieciséis (16) canales.
- Interfaz hombre máquina: Permite al usuario/operario tener el control del proceso, así como llevar control y monitoreo del sistema, tiene entrada RS485/RS232 y Ethernet.

3.3. Desarrollo de la instrumentación

A continuación se muestran los diagramas técnicos referentes a la máquina: Tanto el diagrama eléctrico como el P&ID y de señales, necesarios para el entendimiento y una eventual implementación.

3.3.1. Diagrama eléctrico

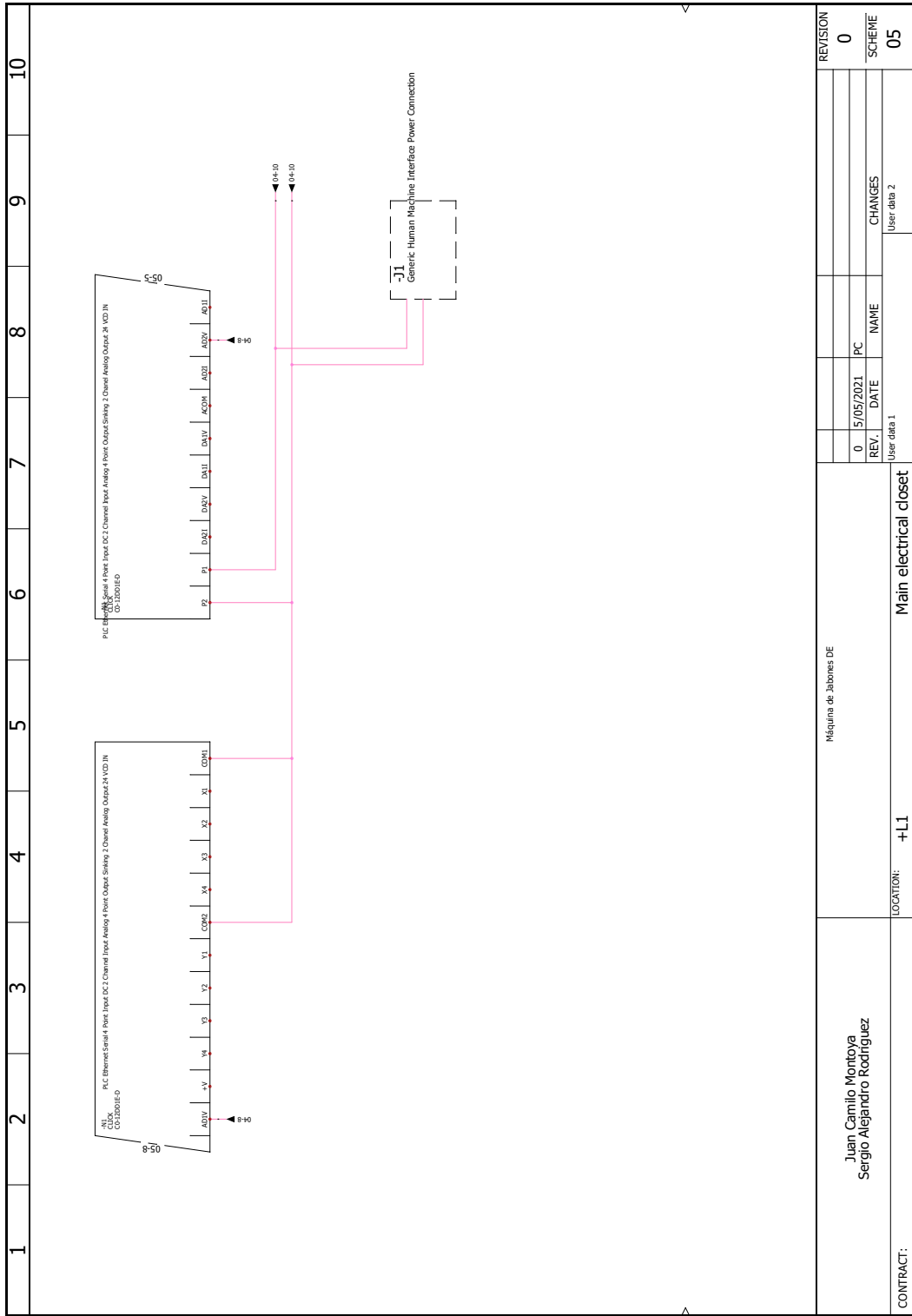
Las siguientes figuras muestran el diagrama eléctrico realizado con el software SolidWorks Electrical, Figuras (3.1a) (3.1b) (3.1c) (3.1d). Se usa la norma IEC para creación de diagramas eléctricos[23].



(a) Conexiones de sensores, motor, resistencias, válvulas y fuentes de poder.

SOLIDWORKS Electrical

Document book		Main electrical closet	
Juan Camilo Montoya Sergio Alejandro Rodriguez		LOCATION: +L1	CONTRACT:
Document created with version: 2020.0.3.7		SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.	
REVISION 0	SCHEME 04	CHANGES User data 2	User data 1
REV 0	DATE 3/05/2021	NAME PC	User data 1



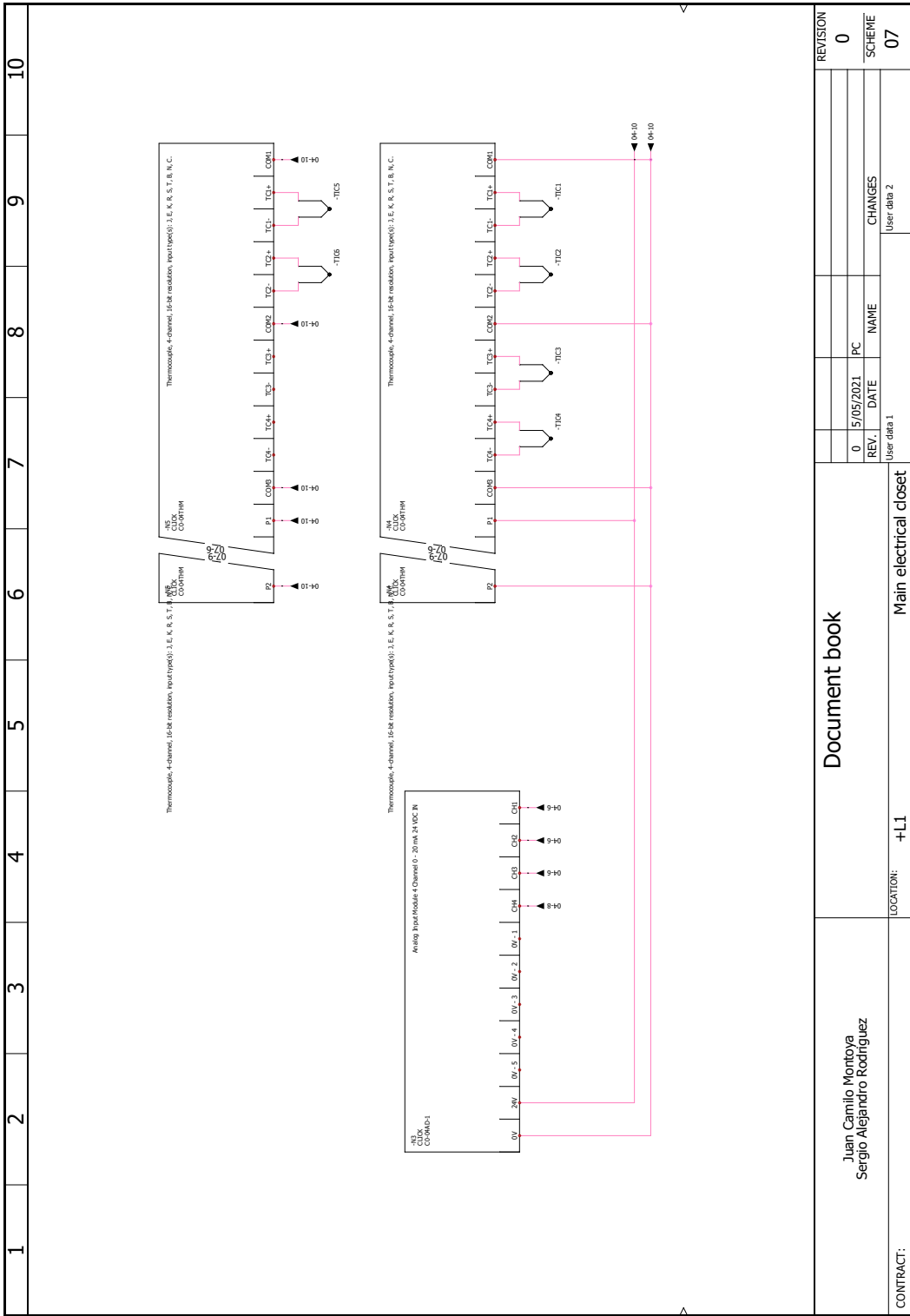
(b) Conexiones del PLC y el HMI.

SOLIDWORKS Electrical

Document created with version: 2020.0.3.7

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Juan Camilo Montoya Sergio Alejandro Rodriguez		Máquina de Jabones DE		REVISION 0	
CONTRACT: Main electrical closet		LOCATION: +L1		SCHEME 05	
REV: 0 DATE: 5/05/2021 USER: User data 1		NAME: PC CHANGES: User data 2			



(d) Conexiones de los módulos de entrada.

Figura 3.1: Diagrama eléctrico del sistema propuesto.

3.3.2. Diagrama P&ID con lazos de control

El diagrama P&ID muestra los lazos de control respectivos a los elementos tales como tanques y sensores, así como su conexión eléctrica y directa. En la Figura 3.2 se ve como el YIC, que es la unidad de control (PLC) se relaciona con los sensores (IT) y actuadores (T/CV)/C, las conexiones eléctricas (S) y físicas del sistema (P). Se usa la norma ANSI/ISA-S5.4 y S5.1 ([24]).

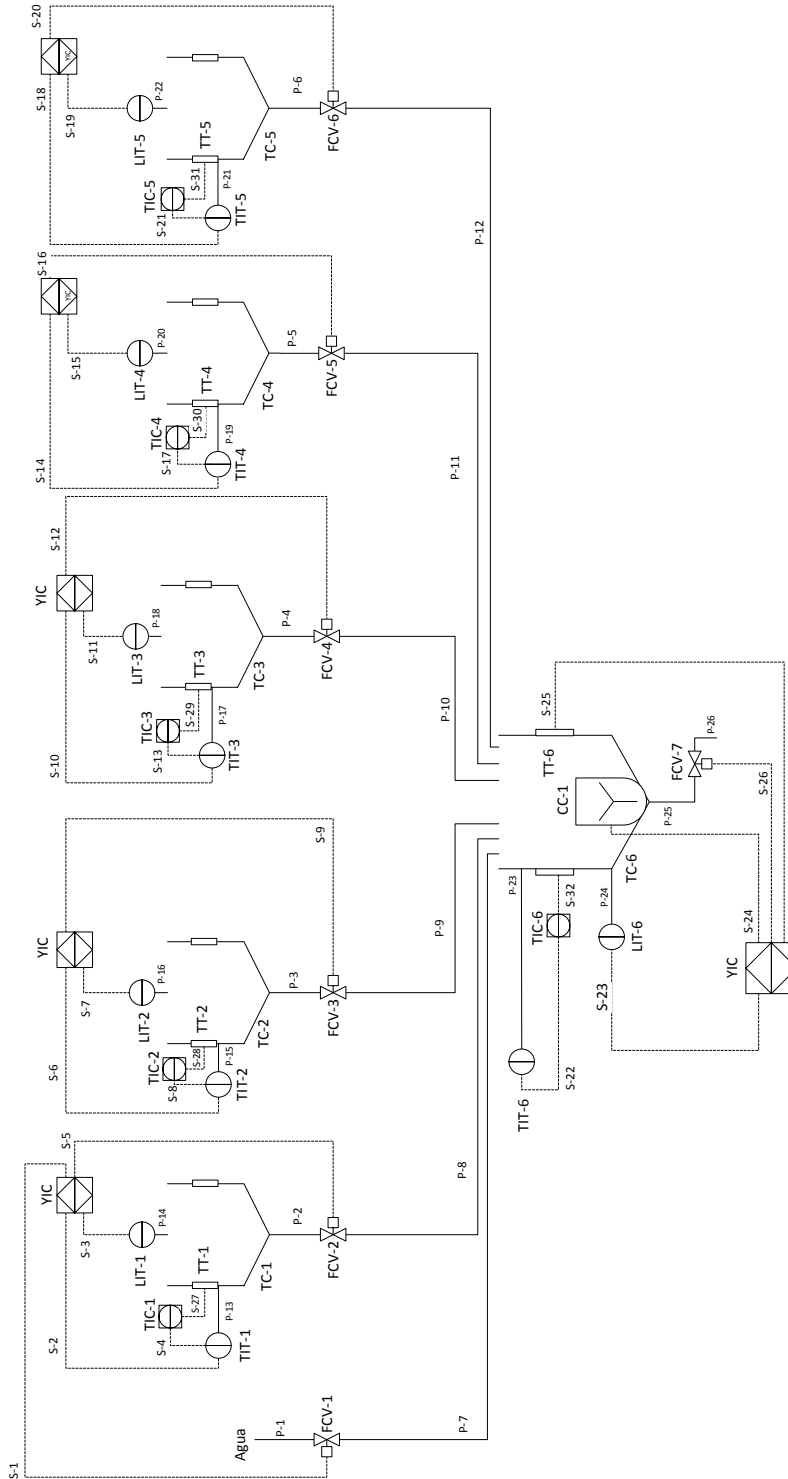


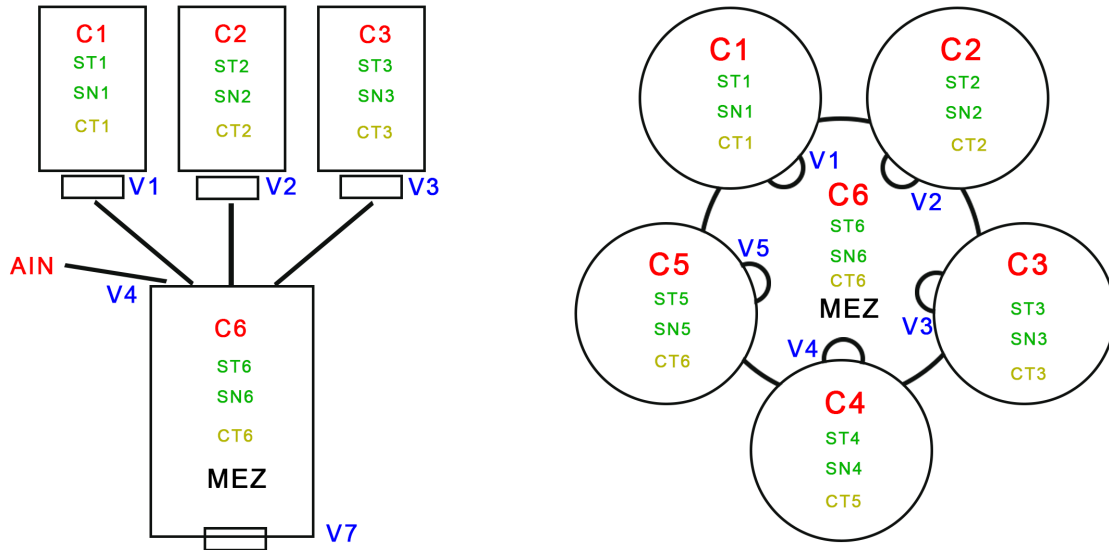
Figura 3.2: Diagrama P&ID.

Modelado de la máquina virtual

En este capítulo se realiza el modelo matemático de los procesos físicos y químicos que van asociados a las variables medidas en el equipo, tales como temperatura, volumen o flujo. Esto con el fin de simular la respuesta del sistema ante entradas de control y probar por completo el sistema a pesar de no contar con la máquina construida. Las ecuaciones resultantes serán usadas en la implementación de los bloques de simulación en el capítulo siguiente.

4.1. Vista preliminar del modelo de la máquina

Para iniciar el proceso de modelado virtual de la máquina propuesta se realiza un análisis de las partes requeridas, teniendo en cuenta el esquema preliminar que ilustra a grandes rasgos los elementos a tener en cuenta. Como se puede ver en las imágenes (4.1a) (4.1b), los elementos principales involucrados son: C (1, 2, 3, 4, 5) que corresponden a los contenedores de ingredientes y el C6 que es el contenedor de mezclado, ST (1, 2, 3, 4, 5, 6) como los sensores de temperatura, SN (1, 2, 3, 4, 5, 6) como los sensores de nivel, CT (1, 2, 3, 4, 5, 6) como los controladores y actuadores de temperatura, AIN como la entrada de agua, V (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) como las válvulas y MEZ como el mezclador. Teniendo en cuenta que los jabones tienen por ingredientes elementos viscosos se planea realizar el modelo de la máquina de tal forma que los contenedores de los ingredientes queden todos a un mismo nivel del tanque de mezclado, usando un arreglo pentagonal, con el cual es más probable conseguir iguales longitudes de tubos de conexión al tanque principal, y siendo posible tomar las dinámicas de los tanques como iguales.



(a) Esquema preliminar del modelo de la máquina desde vista lateral. (b) Esquema preliminar del modelo de la máquina desde vista superior.

Figura 4.1: Vistas del esquema preliminar del modelo de la máquina.

A continuación se muestran y modelan los procesos físicos que se llevan a cabo en la máquina:

4.2. Tiempo de calentamiento de la manta térmica

Para simular el comportamiento de las mantas térmicas, es decir, cuanto se demoran en pasar de una temperatura a otra, se debe tener en cuenta la ecuación fundamental de la calorimetría (4.1) como se describe a continuación:

- Q = Calor requerido (J)
- m = Masa del elemento (Kg)
- c = Calor específico del material (J/Kg^oC)
- t = Tiempo que demora calentar el elemento (s)
- P = Potencia usada para calentar el elemento (J/s)
- ΔT = Cambio de temperatura (°C)

$$\begin{aligned} Q &= mc\Delta T \\ t &= Q/P \end{aligned} \tag{4.1}$$

4.3. Tiempo que demora en calentar un aceite

Los diferentes ingredientes que se tienen en cuenta son elementos viscosos con diferentes propiedades y necesitan un tratamiento similar al visto en el tiempo de calentamiento de la manta térmica, se refiere a las ecuaciones del calentamiento de un elemento viscoso (4.2).

- Vin = Volumen inicial del tanque (ml)
- D = Densidad del material (kg/l)
- Ts = Temperatura de transición a estado liquido ($^{\circ}\text{C}$)
- Tin = Temperatura inicial (s)
- Tob = Tiempo objetivo (s)
- Tef = Tiempo teniendo en cuenta la eficiencia (s)
- $Eficiencia$ = Eficiencia del elemento calentador (%)
- P = Potencia usada para calentar el elemento (J/s)
- $PropTemp$ = Proporción en la que se transfiere el calor ($^{\circ}\text{C/s}$)
- $CVTemp$ = Valor actual de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

$$\begin{aligned}
 Q &= (Vin/1000) * D * c * (Ts - Tin) \\
 Tef &= (Q/(P(Eficiencia/100))) * 1000 \\
 PropTemp &= (Ts - Tin)/Tef \\
 CVTemp &= Tin + (PropTemp * Tef)
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

4.4. Vertido de los fluidos viscosos

Una vez cada tanque de ingredientes alcance la temperatura ideal para saponificar cada aceite se simula la activación de las válvulas y el flujo de cada fluido. Como cada fluido posee diferentes densidades y viscosidades, es necesario realizar una función que calcule el tiempo en el cual cada fluido va a demorarse en evacuar del tanque. El primer paso es calcular el volumen del tanque, lo cual se realiza con la geometría del tanque. Este consiste de 3 partes, un cilindro cónico para la parte superior e inferior y un cilindro que representa la salida del tanque en la válvula. Las dimensiones del tanque se pueden ver a continuación.



Figura 4.2: Dimensiones del tanque de ingredientes (Fuente: [9])

Para calcular el volumen del tanque se utilizaron las siguientes 2 ecuaciones, la ecuación de volumen de un cilindro cónico (4.3) y la de un cilindro recto (4.4).

$$V = \frac{\pi}{3}h(R_1^2 + R_2^2 + R_1 * R_2) \quad (4.3)$$

$$V = \pi * R^2 * h \quad (4.4)$$

Ahora se toman las medidas del tanque y se calculan los 3 volúmenes. Se encuentran los valores y ecuaciones necesarias y el volumen de la parte principal del contenedor (4.5)

$$\begin{aligned} R_1 &= 13cm \\ R_2 &= 10,5cm \\ h &= 42cm \\ V_1 &= \frac{\pi}{3}42(13^2 + 10,5^2 + 13 * 10,5) \\ V_1 &= 18285,64cm^3 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Ahora se calcula el volumen del cilindro cónico inferior cuyo radio superior es el radio inferior del cilindro anterior y su radio inferior es el radio del tubo de drenaje. La altura de este cilindro es de 6cm de acuerdo con las indicaciones de manufactura. Se encuentran los valores y ecuaciones necesarias y el volumen de la parte inferior del contenedor (4.6)

$$\begin{aligned} R_2 &= 10,5cm \\ R_3 &= 0,95cm \\ h &= 6cm \\ V_2 &= \frac{\pi}{3}6(10,5^2 + 0,95^2 + 10,5 * 0,95) \\ V_2 &= 755,56cm^3 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Finalmente, se calcula el volumen del tubo de drenaje en conjunto con la válvula de control de flujo. El diámetro de este cilindro es de 3/4z su longitud en conjunto es de 10 cm por ende los valores y ecuaciones necesarias y volumen de la válvula de salida del contenedor son (4.7).

$$\begin{aligned} R_3 &= 0,95cm \\ h &= 10cm \\ V_3 &= \pi * 0,95^2 * 10 \\ V_3 &= 57,005cm^3 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Ya teniendo el volumen de cada sección de manera individual, se puede realizar el proceso para hallar el volumen total del contenedor (4.8).

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 18285,64\text{cm}^3 \\
 V_2 &= 755,56\text{cm}^3 \\
 V_3 &= 57,005\text{cm}^3 \\
 V_{Total} &= V_1 + V_2 + V_3 \\
 V_{Total} &= 19098,21\text{cm}^3
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

El volumen real del tanque es levemente mayor a los 4 galones imperiales indicados por el fabricante, y al consultarlo con ellos, informaron que esto se da para que haya un espacio donde se acumulen los gases al fermentar licor, ya que ese es el uso principal de estos tanques.

Una vez se tenga el volumen interno del tanque es necesario calcular la altura del liquido con respecto al tanque, esto se hace por medio de 3 condicionales, los cuales representan cada una de las 3 figuras geométricas del tanque. Si el nivel del tanque es menor a 57 cm^3 se utiliza la ecuación de un cilindro despejando la altura, como se puede observar a continuación, en la altura de un fluido en el cilindro de salida teniendo en cuenta su radio y volumen (4.9).

$$\begin{aligned}
 R_3 &= 0,95\text{cm} \\
 V_3 &= \pi * 0,95^2 * h \\
 h_{Cilindro} &= \frac{V_3}{\pi * 0,95^2}
 \end{aligned}
 \tag{4.9}$$

Si el volumen es mayor a 57 cm^3 y menor a 755.56 cm^3 se utiliza la ecuación del cilindro cónico inferior en el proceso para hallar la altura de un fluido en el cilindro inferior (4.10).

$$\begin{aligned}
 R_2 &= 10,5\text{cm} \\
 R_3 &= 0,95\text{cm} \\
 V_2 &= \frac{\pi}{3}h(10,5^2 + 0,95^2 + 10,5 * 0,95) \\
 h_{C.Cnico1} &= \frac{3 * V_2}{\pi * (10,5^2 + 0,95^2 + 10,5 * 0,95)} + h_{Cilindro} \\
 h_{C.Cnico1} &= \frac{3 * V_2}{\pi * (10,5^2 + 0,95^2 + 10,5 * 0,95)} + 10\text{cm}
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

La altura del liquido en este tramo del tanque siempre sera como mínimo 10cm ya que hay que tomar en cuenta la altura del cilindro inferior. Finalmente, si el volumen es mayor a 755.56 cm^3 y

menor a 19098.21 cm^3 se utiliza la misma ecuación anterior reemplazando los parámetros anteriores con los nuevos, realizando el proceso para hallar la altura de un fluido en el cilindro principal (4.11).

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 13\text{cm} \\
 R_2 &= 10,5\text{cm} \\
 V_1 &= \frac{\pi}{3}h(10,5^2 + 0,95^2 + 10,5 * 0,95) \\
 h_{C.Nico_2} &= \frac{3 * V_1}{\pi * (13^2 + 10,5^2 + 13 * 10,5)} + h_{Cilindro} + h_{C.Nico_1} \\
 h_{C.Nico_2} &= \frac{3 * V_1}{\pi * (13^2 + 10,5^2 + 13 * 10,5)} + 10\text{cm} + 6\text{cm}
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Con la altura del liquido calculada se procede a calcular la presión que este liquido ejerce sobre si mismo. Esto se realiza con los componentes y la ecuación de presión de una columna de líquido (4.12).

$$\begin{aligned}
 \rho &= \text{Densidad} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right] \\
 g &= \text{Gravedad} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \\
 h &= \text{Altura}[\text{m}]P = \rho * g * h
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Para el vertido de los fluidos viscosos que componen la receta se tiene en cuenta que la forma en que abandonan el recipiente es no lineal, ya que, a medida que el ingrediente sale del contenedor la presión hidrostática va reduciendo proporcionalmente a la altura del liquido, afectando la manera en la que se debe calcular el tiempo requerido para obtener el volumen deseado. El cálculo entonces se hace por medio de una recurrencia, esta va repitiendo el procedimiento con el nuevo valor de presión, y por tanto de flujo, además de simular el comportamiento de vaciado, o cambio de altura del material. Los valores de altura y presión se calcular recurrentemente por medio de las ecuaciones de presión y flujo de los elementos viscosos (4.13).

A continuación, se muestran la ecuación de flujo que tiene otra implícita, la presión:

- Fl = Flujo ($\text{cm}^3/100\text{ms}$)
- P = Presión(J)
- G = Gravedad (N/m^2)
- Al = Altura del ingrediente (m)
- Dn = Densidad (Kg/J)

- Rv = Radio de la válvula (m) transfiere la temperatura
- Lv = Longitud de la válvula (m)
- Vs =Viscosidad (CP)

$$\begin{aligned} P &= Dn * 1000 * G * (Al/100) \\ Fl &= (P * \pi((Rv/100)^4)) / (8 * (Vs/1000) * (Lv/100)) \end{aligned} \quad (4.13)$$

Estos modelos matemáticos seran utilizados posteriormente en el software de simulación.

Desarrollo del Programa de Control

Debido a que el controlador seleccionado para esta aplicación es un PLC, el software de implementarse siguiendo los lineamiento de la norma IEC 61131-3, la cual establece el uso de 4 lenguajes de programación y el uso de unidades de programación como bloques funcionales y funciones para estructurar el programa. Para este proyecto, se utiliza el lenguaje Ladder para el programa principal y Texto Estructurado para los bloques funcionales donde se requieran implementar ecuaciones o funciones de asignación.

Para el desarrollo del programa de control, se aplico una metodología de programación basada en modelo, donde primeramente se realizó un modelo en diagrama de estados de UML (Fig 5.1), seguidamente se validó que el modelo respondiera a los requerimientos funcionales del proceso de fabricación y posteriormente se programa este comportamiento en Ladder. En este programa, cada estado representa una función a cumplir en el proceso de la simulación del modelo virtual. Para poder simular los diferentes sensores y la física involucrada en el modelo virtual se crearon bloques de funciones que se encargan de hacer dichos cálculos y simulación en paralelo con el código. Finalmente, se creo esclavo Modbus TCP en el PLC y se definieron las distintas variables globales y locales del sistema para entrada y salida en los registros de la conexión Modbus.

La dinámica entre estos estados esta representada por medio del diagrama de estados de la figura 5.1. El detalle de la dinámica interna de cada estado se presenta por medio de un diagrama de flujo que se encuentra en el anexo G .

- S1: Señaliza el inicio de los procesos de la maquina
- S2: Toma los IDs ingresados por el operario, lee de la base de datos el ingrediente correspondiente a cada ID.
- S3: Simula el comportamiento de adición de volumen a los tanque de ingredientes y funciona como protección para prevenir el ingreso de valores mayores a los permitidos en cada tanque.
- S4: Toma como entrada la cantidad de ingredientes deseados por la receta y calcula la cantidad ideal de solución de NaOH.
- S5: Controla la temperatura de cada tanque de ingredientes.
- S6: Controla las válvulas de cada tanque de ingredientes y simula el flujo de cada fluido en cada tanque.

- S7: Inicia el control de temperatura y saponificación del tanque de mezclado.
- S8: Controla la etapa de dosificación del jabón.
- S9: Se encarga de detener el mezclado antes de pasar al siguiente estado.
- S10: Espera la orden del operario para saber si continua a la etapa de limpieza o si repite el proceso del jabón con los mismos ingredientes.
- S11: Una vez se inicia la etapa de limpieza, este estado se encarga de controlar la válvula de suministro de agua para llenar el tanque.
- S12: Controla la temperatura, velocidad de mezclado y drenado del tanque lleno de agua jabonosa.
- S13: Finaliza el proceso de limpieza y redirige el sistema al estado “S2”.

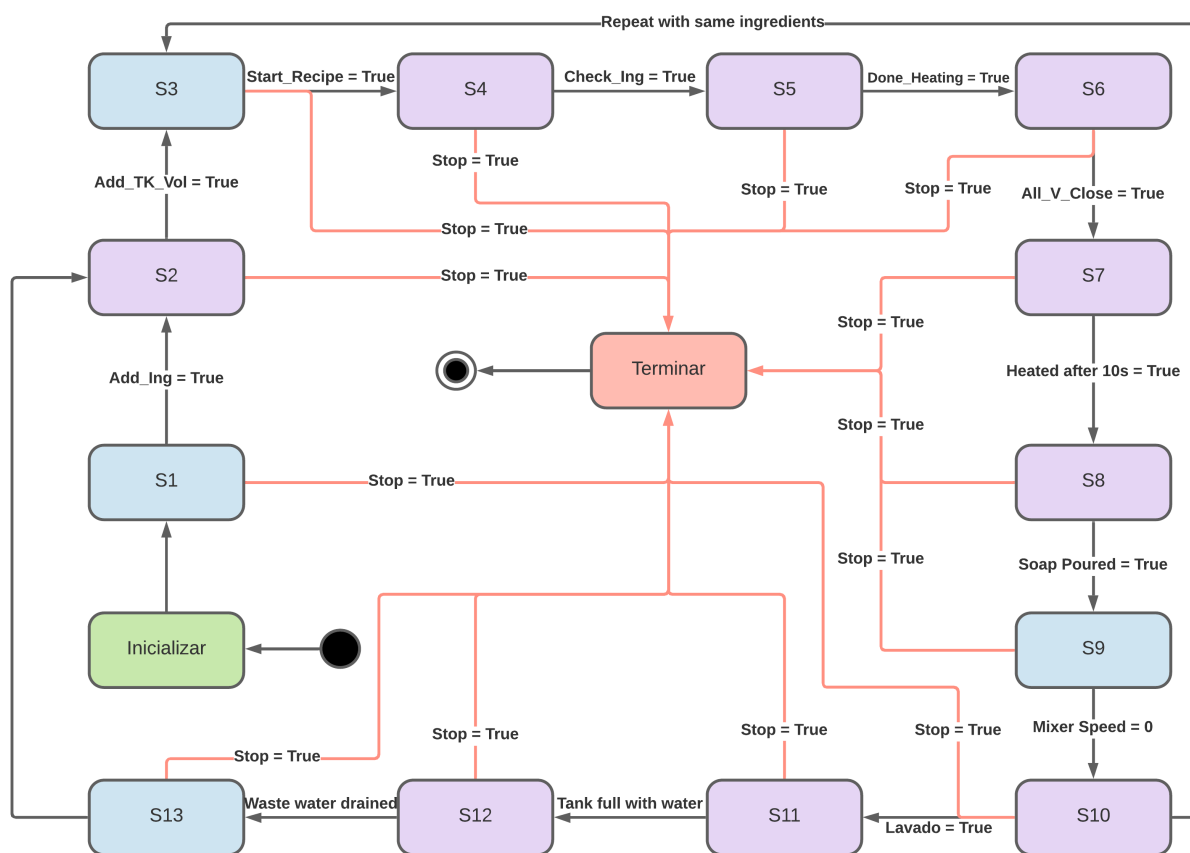


Figura 5.1: Diagrama de estados del modelo de control

Estos estados cumplen las siguientes funciones.

5.1. Selección de materia prima

El código recibe un ID único por cada ingrediente ingresado a la maquina, este lo consulta en la base de datos y extrae toda la información pertinente al ingrediente seleccionado.

Estos datos son:

- Nombre del ingrediente
- Temperatura ideal para saponificación
- Densidad
- Viscosidad
- Calor específico
- Índice de saponificación

Con esta información se puede realizar todos los cálculos para simular el comportamiento de dicho ingrediente en el sistema. Esta etapa del sistema se puede observar en el estado “S2” el cual se encuentra en las paginas 62 a 64 del anexo H .

5.2. Ingreso de la cantidad de materia prima

Una vez se ha seleccionado el tipo de materia prima en cada tanque, el operario ingresa la cantidad de materia prima en cada uno de estos. Cada tanque tiene un limite de 19 litros o 19000 mililitros. El nivel de la maquina se encuentra representado en mililitros para poder controlar con mayor precisión el proceso de la reacción química.

El código toma cada ingreso de materia prima como un incremento a su valor actual por medio del código ejecutado en el estado “S3” ubicado en las paginas 66 a 68 del anexo H .

5.3. Selección de receta

El operario selecciona una receta y envía la cantidad de aceite de cada ingrediente, utilizando esta información y los índices de saponificación de cada ingrediente [Anexo A] se calcula la cantidad

de solución de NaOH necesaria para saponificar los aceites utilizando las ecuaciones para calcular el volumen de NaOH para la saponificación con un 10 % de sobre-engrasado (5.1).

$$\begin{aligned}
 Sap_1 &= Vol_1 * Den_1 * SapInd_1 \\
 Sap_2 &= Vol_2 * Den_2 * SapInd_2 \\
 Sap_3 &= Vol_3 * Den_3 * SapInd_3 \\
 Sap_4 &= Vol_4 * Den_4 * SapInd_4 \\
 Vol_{NaOH} &= \frac{(Sap_1 + Sap_2 + Sap_3 + Sap_4) * 3 * 0,9}{Den_{NaOH}}
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

La ecuación 5.1 calcula la cantidad de NaOH puro que necesita cada aceite para completar la saponificación y finalmente se suman estos valores, se ajusta la concentración para que se puede hacer con una solución de 33 % NaOH, se le resta el 10 % para un sobre-engrasado y finalmente se divide entre la densidad de la solución para obtener el volumen de solución de NaOH deseado.

Una vez que se tenga calculado la cantidad de solución de NaOH este se transmite al HMI y se espera a que el operario inicie el proceso del dosificado y mezclado.

Las operaciones descritas anteriormente son ejecutadas en el estado “S4” del código principal por medio de bloques que ejecutan código en lenguaje estructurado, este estado se encuentra en la pagina 70 del anexo H .

5.4. Control de temperatura de la materia prima

Una vez el operario indique que desea iniciar el proceso de creación del jabón se activan las mantas térmicas de cada tanque de ingredientes y se simula el aumento gradual de la temperatura de cada tanque usando la ecuación de transferencia de temperatura en el tanque y en un fluido homogéneo como se describen en las secciones 4.2 y 4.3.

La implementación del comportamiento descrito anteriormente se encuentra en el bloque funcional “Heating” presentado en las paginas 33, 34 y 35 del anexo H . Adicionalmente, este bloque funcional es llamado múltiples veces (una para cada tanque) dentro del programa principal al activarse el estado “S5” como se ve en la pagina 74 del anexo H .

5.5. Dosificación de la materia prima

La etapa de dosificación de la materia prima utiliza las ecuaciones de la sección 4.4 para poder simular con gran precisión el cambio de presión y flujo del liquido mientras es dosificado al tanque de mezclado.

La implementación de este comportamiento se ve reflejada en el bloque funcional “Control_Tank” descrito en las páginas 31, 32 y 33 del anexo H . Este bloque funcional es utilizado repetidamente en el estado “S6” del código principal como se ve en las páginas 80 a 84 del anexo H y toma

como parámetros de entrada las propiedades físico-químicas del fluido a dosificar, las dimensiones del tanque, el volumen inicial del tanque y el volumen deseado por la receta. Este bloque funcional controla la apertura de las válvulas de cada tanque e indica el volumen de cada tanque mientras el fluido es dosificado.

5.6. Mezclado y reacción química

Para simular el mezclado y la reacción química se crea un bloque funcional simple cuyos parámetros de entrada son la velocidad inicial y final del motor y la aceleración deseada, este bloque toma estos parámetros y simula la tasa de cambio de velocidad del motor y el tiempo que este tarda. La implementación del bloque funcional encargado de modificar la velocidad del mezclado se ve reflejada en la pagina 39 del anexo H .

Finalmente, se simula la reacción química tomando en cuenta la teoría de la saponificación descrita en la Guía práctica para hacer jabón de Susan Cavitch [18], en donde describen el delicado proceso de hacer jabón y como la velocidad de mezclado y la temperatura afectan drásticamente el resultado.

Utilizando como referencia la temperatura del jabón, Susan Cavitch describe como la reacción de saponificación aumenta rápidamente la temperatura cuando se mezcla rápidamente con una batidora de mano, esta mezcla se considera lista cuando se puede ver que la consistencia del liquido deja una “traza” al mezclar y como la temperatura de dicha mezcla llega a un pico de 54°C. Para simular la saponificación se utiliza el bloque funcional “Heating” descrito anteriormente y un contador de 10 segundos que simula el tiempo que se demora el jabón en terminar la reacción una vez llega a su temperatura ideal.

Para la simulación, se toma la velocidad del mezclador como 100 RPM y se simula la transferencia de temperatura en la reacción química para que una vez llegue a 50°C se reduzca la velocidad de mezclado y se vierta el jabón. El comportamiento descrito anteriormente se puede visualizar en el estado “S7” del código principal, el cual se encuentra en la página 86 del anexo H .

5.7. Vertido de la mezcla final

Para simular el vertido de la mezcla final se utiliza las mismas ecuaciones de la dosificación de la materia prima [5.5], con la diferencia de que los parámetros de entrada al sistema son levemente diferentes ya que las dimensiones del tanque y las propiedades del jabón resultante son diferentes a las de la materia prima. La implementación de este estado es representado en el código como el estado “S8” como se ve en la pagina 98 del anexo H

5.8. Ciclo de limpieza

Finalmente, se programó un ciclo de limpieza el cual se encarga de controlar la apertura de la válvula de ingreso de agua y se asegura de llenar el tanque en su totalidad. Una vez el tanque este lleno se procede a activar el mezclador y la manta térmica hasta que el agua llegue a una temperatura de 70°C ya que el jabón se disuelve a una temperatura entre 55°C y 60°C [25]. Con el jabón disuelto, se procede a detener el mezclador y verter la solución de agua jabonosa en el drenaje simulando el flujo con las ecuaciones de la sección 5.5 y, finalmente, se reinicia la máquina a su estado inicial.

Este comportamiento es representado en los estados “S10”, “S11” y “S12” del código principal como se ven desde la página 88 a la página 96 del anexo H .

Desarrollo del sistema para la supervisión y control de la máquina

6.1. Desarrollo de una interfaz de usuario

La interfaz de usuario para el sistema presentado consistirá en una visualización virtual del proceso, donde destacan los valores correspondientes a las variables de control: Temperatura y nivel tanto para los tanques de ingredientes como el tanque de mezcla y una ventana para la composición de la receta, donde se indica la composición de los materiales y el porcentaje a usar. Deshabilitando en caso de no tener suficiente material, o pasar el nivel del tanque de mezclado.

6.1.1. Métodos para desarrollar la interfaz de usuario

Al desarrollar la interfaz de usuario se tienen en cuenta las siguientes características:

- **Diseño:** Tiene la función de mostrar el sistema virtualizado y simplificado, para darle mas enfoque a los valores numéricos y su influencia en el proceso.
- **Funcionalidades:** Tiene dos ventanas, una referente a visualizar el sistema, con una ilustración de ocupación de los tanques, temperatura y que ingrediente es; otra ventana donde se muestran los porcentajes de cada ingredientes requeridos para formar una receta, alertas de falta de material, sobrepaso de volumen posible o falta de reactivo.
- **Modo de uso:** Debe ser secuencial, para facilidad tanto de programación como de uso, y poder ver el proceso claramente, como si de un paso a paso se tratara.

6.1.2. Diseño y elección de método

Siguiendo estas características se desarrollan las dos siguientes ventanas principales:

- **Primera ventana de la interfaz de usuario:** Donde el operario ingresa el ingrediente desde un listado y la cantidad de material que se le va a sumar al respectivo tanque. Figura 6.1
- **Segunda ventana de la interfaz de usuario:** Donde el operario ingresa la cantidad de ingredientes que conforman la receta o elige una ya existente. En este punto se le calcula el porcentaje de ingrediente según la concentración de NaOH, lo cual puede mostrar alarmas y detener el proceso en caso de que no se cuenten con los ingredientes o haya mas de un 100% de composición de elementos. Figura 6.2

- Tercera ventana: En esta ventana se muestra la simulación del proceso según lo convenido en los modelos de la sección 1.2.2, donde se muestran los lazos de control: Aumento de la temperatura, paso de los ingredientes por la válvula, conservación de la temperatura en el tanque de mezclado, mezclado por el tiempo adecuado (Operación del motor de mezclado), paso de la mezcla o jabón final y limpieza del tanque principal o mezclado de la misma receta nuevamente. Figura 6.1

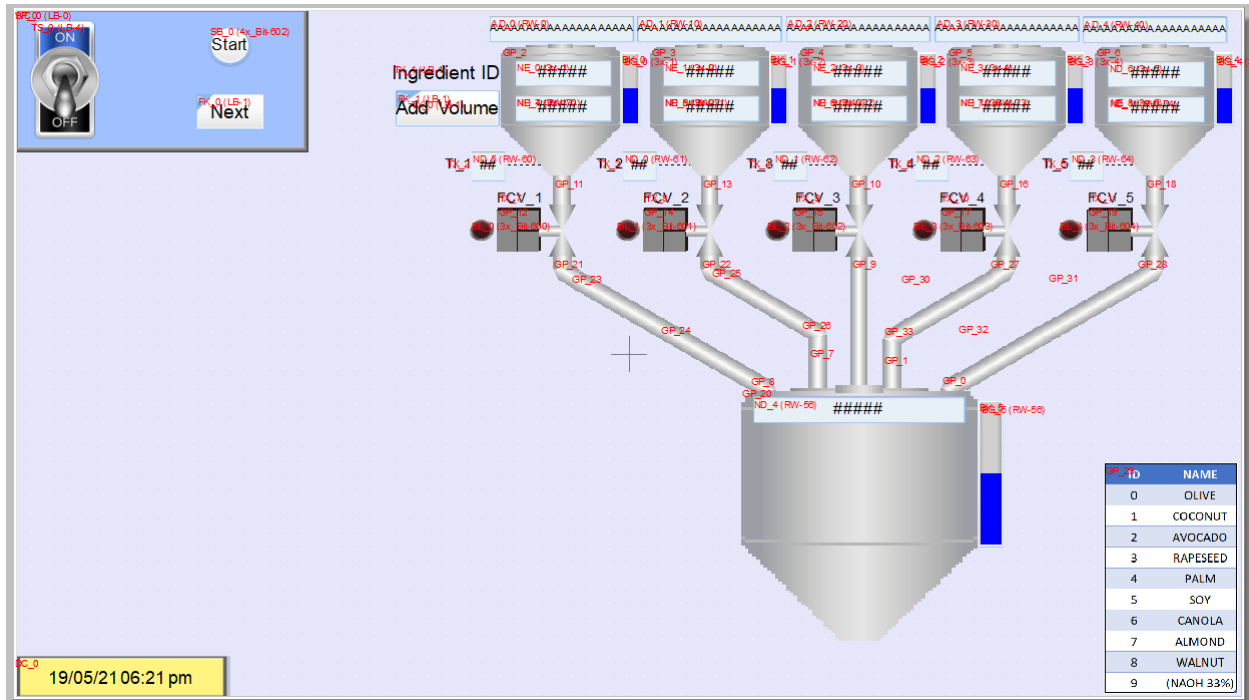


Figura 6.1: Primera ventana de la interfaz de usuario

6.2. Programación de la interfaz

A parte del apartado gráfico, que cobra importancia para el desarrollo del proceso, la programación que debe tener la interfaz también tiene un rol significativo, ya que marca como interactuarán los diferentes elementos visuales y puede llevar a cabo tareas ligeras de computación, aprovechando la capacidad de procesamiento del HMI.

En el software que se usó para diseñar y programar la interfaz de usuario, Easy Builder Pro, se cuenta con la posibilidad de programar las acciones de los objetos por medio de "macros", que son scripts cortos para realizar cálculos de pequeña magnitud o cambiar la forma como se muestran los

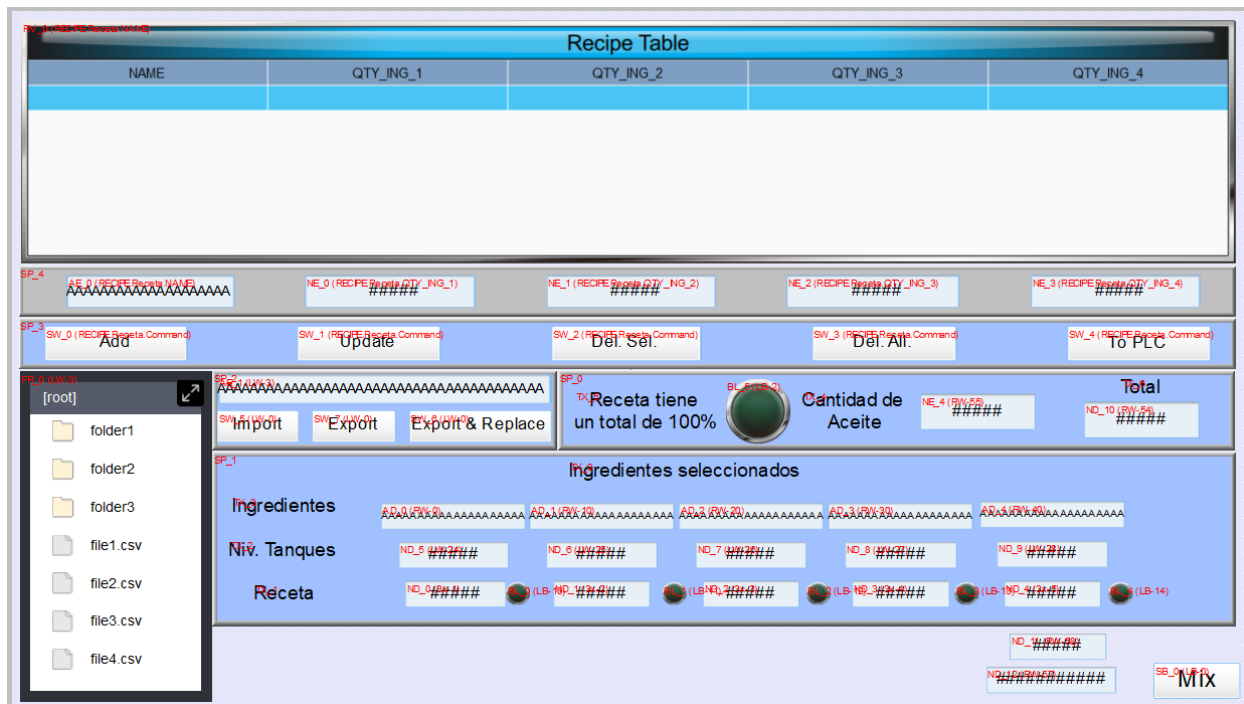


Figura 6.2: Segunda ventana de la interfaz de usuario

elementos de la interfaz. Además el software cuenta con la opción de recetas"la cual permite realizar una organización de los ingredientes requeridos para los procesos de manera ágil y con facilidad si se compara con un proceso de manejo de recetas creado desde cero.

A continuación se explican los macros y el sistema de recetas usado, y se muestra el anexo respectivo con el código completo.

- MK_TK: Se encarga de terminar el proceso de agregar liquido a los tanques de ingredientes y procede a pasar a la ventana de selección de receta. Figura (10.3c)
- ING_EQ: Se encarga de calcular el volumen requerido de cada fluido a partir de lo ingresado en la receta. Figura (10.3b)
- ING_1: Se encarga de decodificar el ID del ingrediente 1 y despliega el nombre del ingrediente. Figura (10.2a)
- ING_2: Se encarga de decodificar el ID del ingrediente 2 y despliega el nombre del ingrediente. Figura (10.2b)
- ING_3: Se encarga de decodificar el ID del ingrediente 3 y despliega el nombre del ingrediente. Figura (10.2c)

- ING_4: Se encarga de decodificar el ID del ingrediente 4 y despliega el nombre del ingrediente. Figura (10.2d)
- ING_5: Se encarga de decodificar el ID del ingrediente 5 y despliega el nombre del ingrediente. Figura (10.3a)
- RST_1: Habilita el proceso de ingreso de volumen a los tanques y deshabilita la opción de modificar el ID de los ingredientes. Figura (10.3d)
- ALRM: Este macro se encarga de comparar el volumen de los tanques de ingredientes y el volumen deseado por la receta, en caso de que el volumen deseado sea mayor al volumen existente se activa una alarma que muestra que ingrediente es insuficiente. Figuras (10.1a) (10.1b) (10.1c)
- Recipe_Check: Este macro chequea que el porcentaje total ingresado por la receta sume un 100 %. (10.3a)
- Begin: Habilita el proceso de inicio de maquina y cambia la ventana para visualizar el proceso de producción de jabón. Figura (10.1d)
- RST: Inicializa todas las variables locales de HMI y las variables de entrada de ID y volumen en cero. Figura (10.4d)
- RST_2: Limpia la variable de ingreso de volumen a los tanques de ingredientes y los inicializa en cero. Figura (10.4a)
- RST_3: Inicializa todas las variables locales de HMI y las variables de entrada de ID y volumen en cero y llama a la funcion del PLC para reiniciar la maquina. Figuras (10.4b) (10.4c)
- ON_OFF: Se encarga de comparar el estado del switch de prendido y apagado y con respecto a su estado, habilita la variable de Start o Stop en el PLC. Figura (10.3d)

Resultado de pruebas de simulación del sistema de control en un ambiente ideal

7.1. Simulación

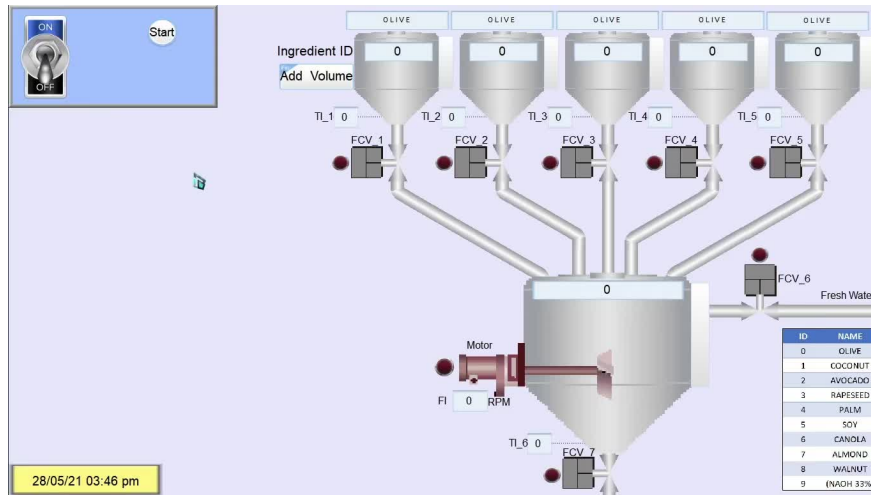
Para la simulación, se ejecutan el código del PLC y el HMI simultáneamente y se interconectan por una conexión Modbus, si el HMI no despliega un mensaje de error entonces significa que la conexión se realizó exitosamente. Para realizar una simulación exitosa es necesario simular diferentes casos en los cuales se incita a la generación de un error o una producción exitosa de jabón.

7.1.1. Método de simulación

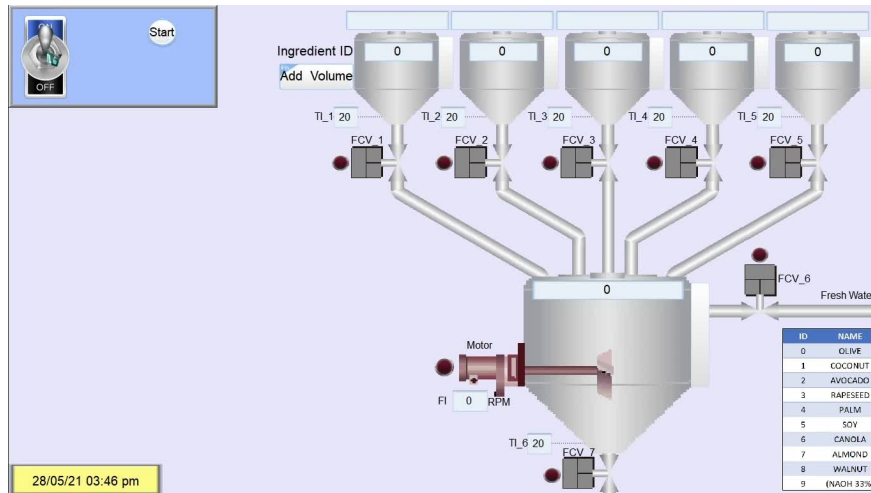
Para la simulación se van a realizar 3 casos posibles.

- Producción normal de jabón finalizando con ciclo de limpieza
- Receta invalida
- Ingredientes insuficientes para producir el jabón deseado

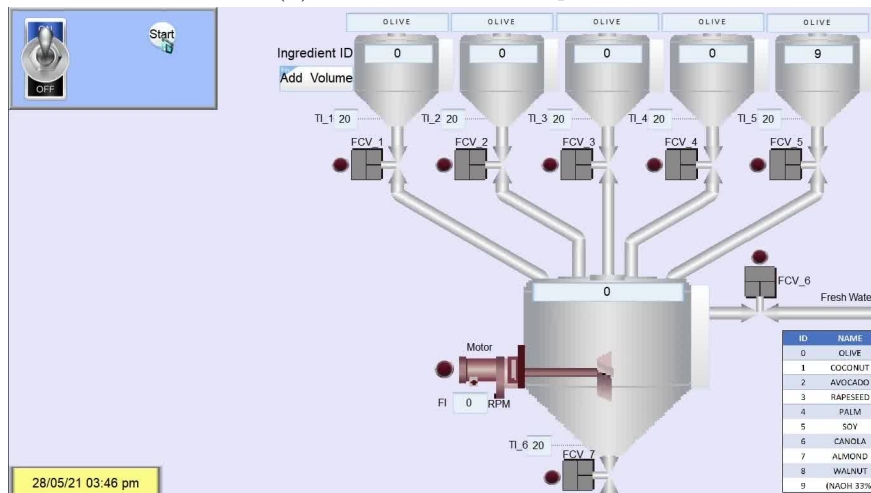
En el siguiente link se encuentra un vídeo que muestra el funcionamiento: <https://www.youtube.com/watch?v=d92VVUcd2Sk>, y a continuación se explicará el paso a paso del modelo virtual y los resultados de simulación.



(a) Inicialización del modelo de maquina virtual

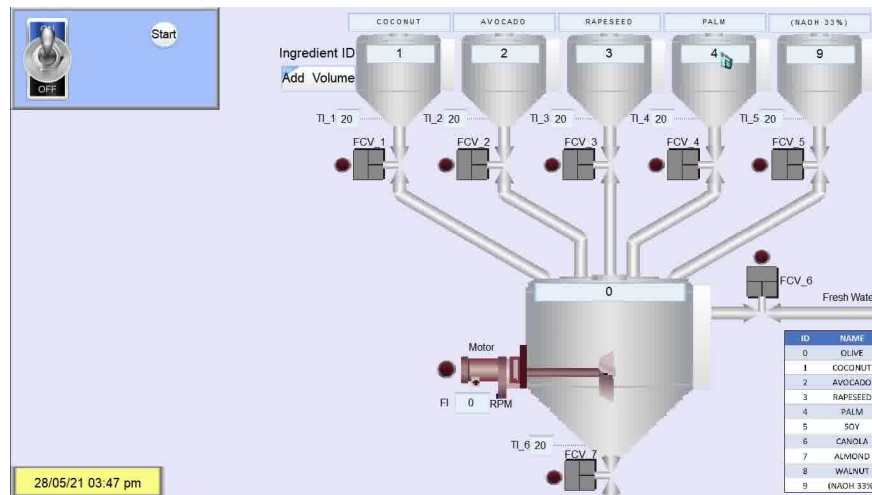


(b) Encendido de la maquina

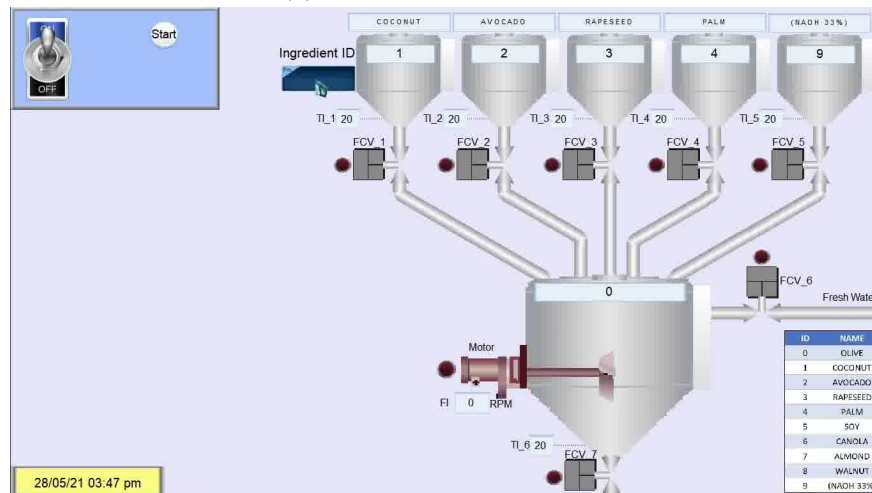


(c) Inicio de el proceso de selección de ingredientes

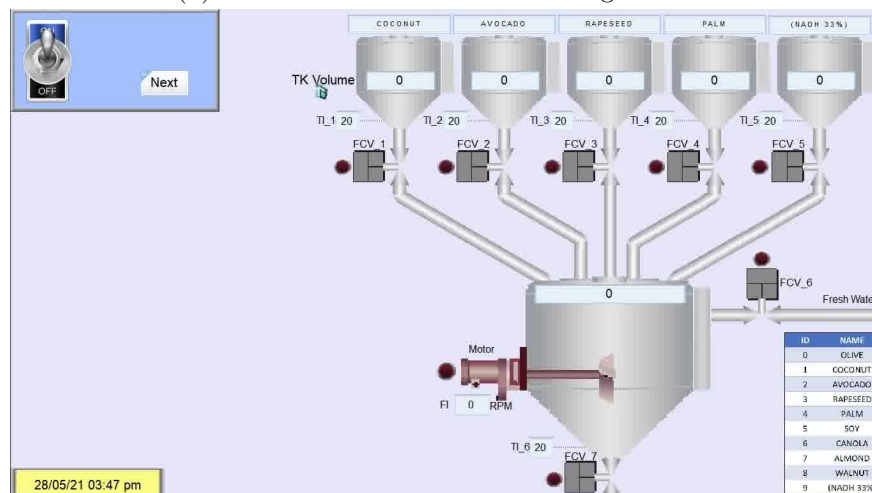
Figura 7.1: Inicialización y encendido de la máquina



(a) Selección de ingredientes

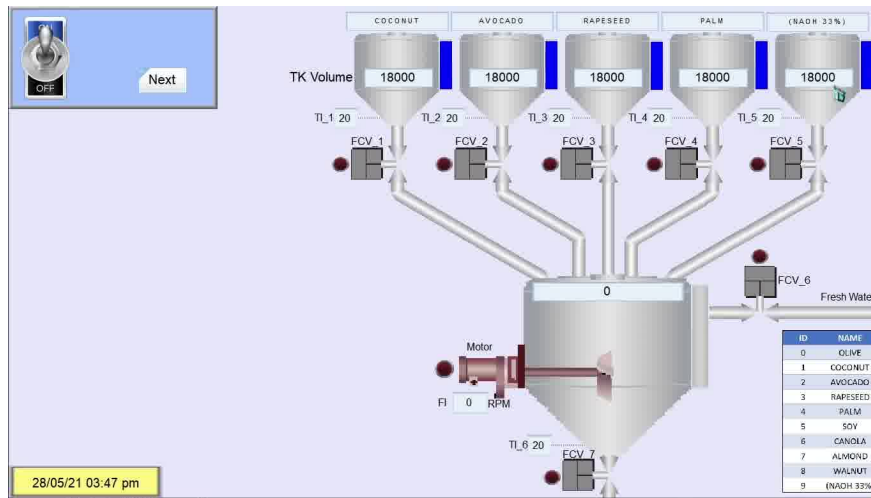


(b) Finalización de la selección de ingredientes

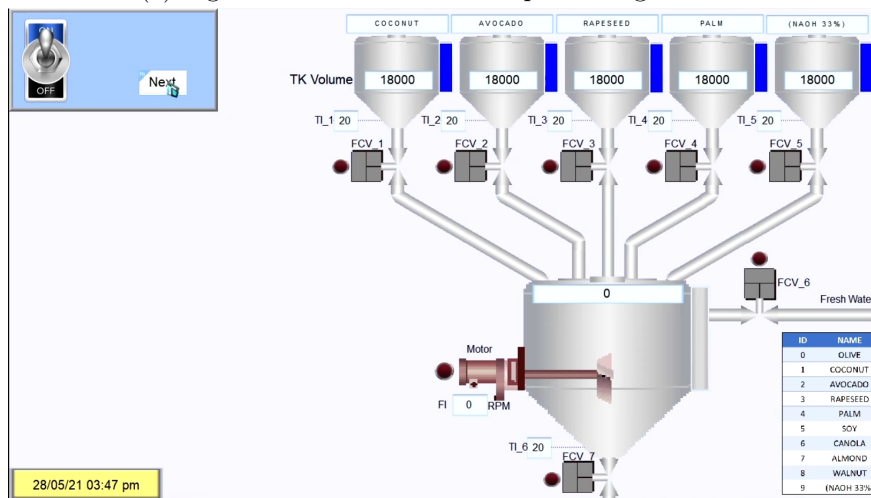


(c) Inicio de el proceso de adición de volumen de los tanque de ingredientes

Figura 7.2: Inicialización y encendido de la maquina



(a) Ingreso de volumen a los tanques de ingredientes



(b) Inicio del proceso de selección de receta

Recipe Table				
NAME	QTY_ING_1	QTY_ING_2	QTY_ING_3	QTY_ING_4
Soft Soap	60	10	15	15
NEW Soap	30	30	20	20
Medium Soap	25	25	25	25
Hard Soap	40	30	15	15

Medium Soap	25	25	25	25
-------------	----	----	----	----

Add Update Del. Sel. Del. All. To PLC

Import Export Export & Replace Receta tiene un total de 100% Cantidad de Aceite: 0 Total: 0

Ingredientes seleccionados					
Ingredientes	COCONUT	AVOCADO	RAPESEED	PALM	(NAGH 33%)
Niv. Tanques	18000	18000	18000	18000	18000
Receta	0	0	0	0	0

Mix

(c) Selección de receta

Figura 7.3: Finalización del proceso de ingreso de ingredientes e inicio del proceso de selección de receta

Recipe Table

NAME	QTY_ING_1	QTY_ING_2	QTY_ING_3	QTY_ING_4
Soft Soap	60	10	15	15
NEW Soap	30	30	20	20
Medium Soap	25	25	25	40
Hard Soap	40	30	15	15

Medium Soap: 25, 25, 25, 40

Buttons: Add, Update, Del. Sel., Del. All., To PLC

Receta tiene un total de 100% ● Cantidad de Aceite: 0 Total: 0

Import Export Export & Replace

Ingredientes seleccionados

Ingredientes	COCONUT	AVOCADO	RAPESEED	PALM	(NAOH 33%)
Niv. Tanques	18000	18000	18000	18000	18000
Receta	0	0	0	0	0

Mix

(a) Ingreso de receta no valida y verificación de reconocimiento de error

Recipe Table

NAME	QTY_ING_1	QTY_ING_2	QTY_ING_3	QTY_ING_4
Soft Soap	60	10	15	15
NEW Soap	30	30	20	20
Medium Soap	25	25	25	25
Hard Soap	40	30	15	15

Medium Soap: 25, 25, 25, 25

Buttons: Add, Update, Del. Sel., Del. All., To PLC

Receta tiene un total de 100% ● Cantidad de Aceite: 60000 Total: 76370

Import Export Export & Replace

Ingredientes seleccionados

Ingredientes	COCONUT	AVOCADO	RAPESEED	PALM	(NAOH 33%)
Niv. Tanques	18000	18000	18000	18000	18000
Receta	15000	15000	15000	15000	16370

Mix

(b) Selección de la cantidad de aceite deseada

Recipe Table

NAME	QTY_ING_1	QTY_ING_2	QTY_ING_3	QTY_ING_4
Soft Soap	60	10	15	15
NEW Soap	30	30	20	20
Medium Soap	25	25	25	25
Hard Soap	40	30	15	15

Medium Soap: 25, 25, 25, 25

Buttons: Add, Update, Del. Sel., Del. All., To PLC

Receta tiene un total de 100% ● Cantidad de Aceite: 60000 Total: 76370

Import Export Export & Replace

Ingredientes seleccionados

Ingredientes	COCONUT	AVOCADO	RAPESEED	PALM	(NAOH 33%)
Niv. Tanques	18000	18000	18000	18000	18000
Receta	15000	15000	15000	15000	16370

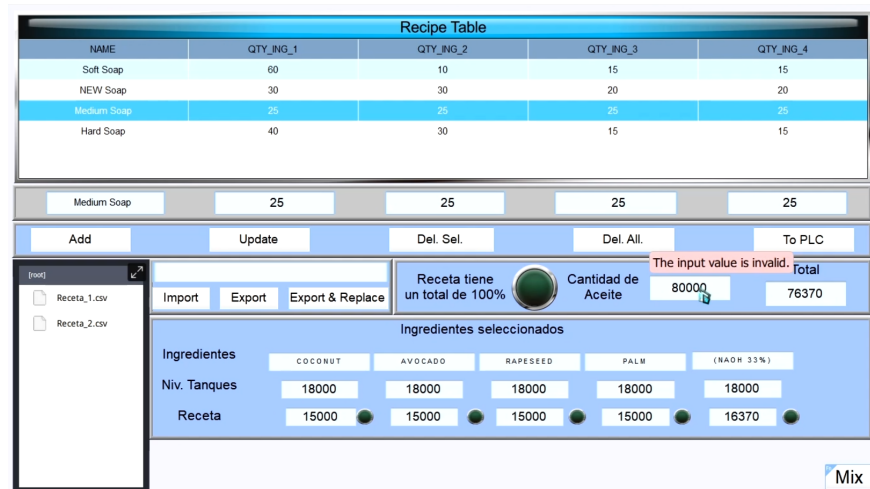
Mix

(c) Cambio de receta con volumen de aceites constante

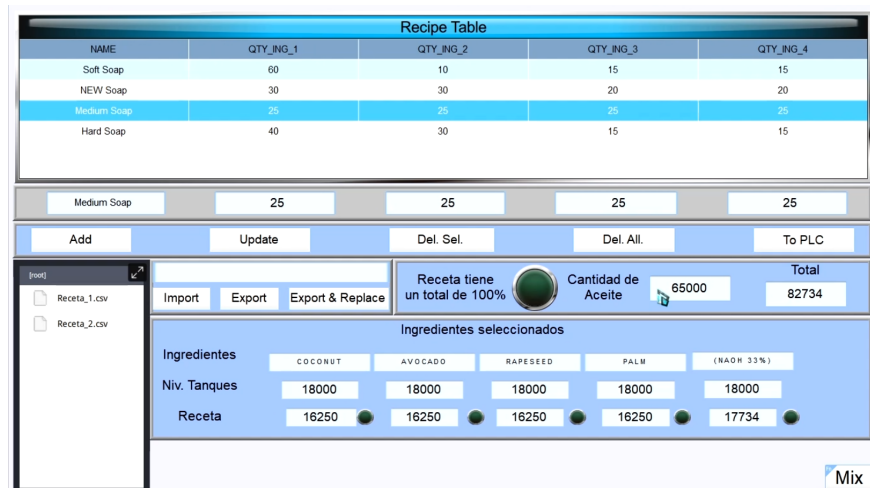
Figura 7.4: Inicio del proceso de selección de receta y cheque de funciones de seguridad



(a) Alarma de error al detectar cantidad insuficiente de ingredientes para dicha receta



(b) Ingreso de cantidad invalida de aceites para la receta y reconocimiento del error



(c) Receta y cantidad de aceites seleccionados para la simulación

Figura 7.5: Proceso de selección de cantidad de aceites

Recipe Table				
NAME	QTY_ING_1	QTY_ING_2	QTY_ING_3	QTY_ING_4
Soft Soap	60	10	15	15
NEW Soap	30	30	20	20
Medium Soap	25	25	25	25
Hard Soap	40	30	15	15

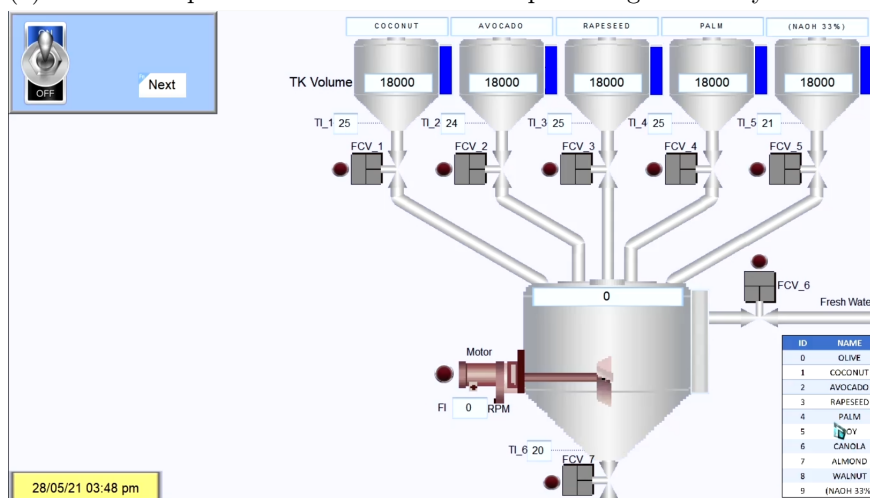
Medium Soap	25	25	25	25
-------------	----	----	----	----

Add	Update	Del. Sel.	Del. All.	To PLC
-----	--------	-----------	-----------	--------

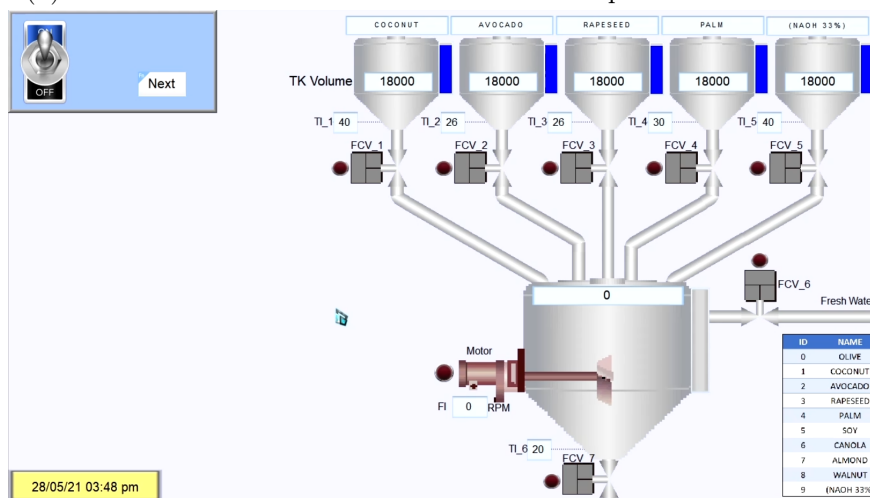
Import	Export	Export & Replace	Receta tiene un total de 100%	Cantidad de Aceite	65000	Total	82734
--------	--------	------------------	-------------------------------	--------------------	-------	-------	-------

Ingredientes seleccionados					
Ingredientes	COCONUT	AVOCADO	RAPESEED	PALM	(NAOH 33%)
Niv. Tanques	18000	18000	18000	18000	18000
Receta	16250	16250	16250	16250	17734

(a) Inicio de el proceso de control de los tanque de ingredientes y mezclado

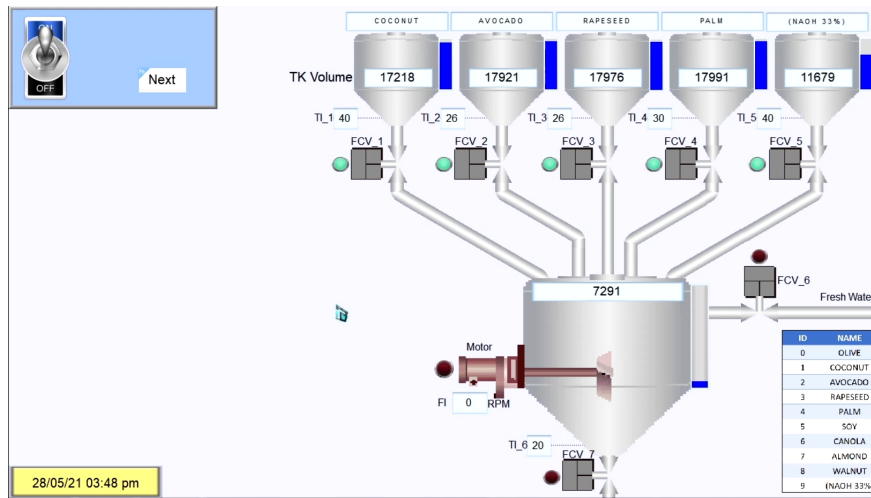


(b) Activación de las mantas térmicas e inicio del proceso de calefacción

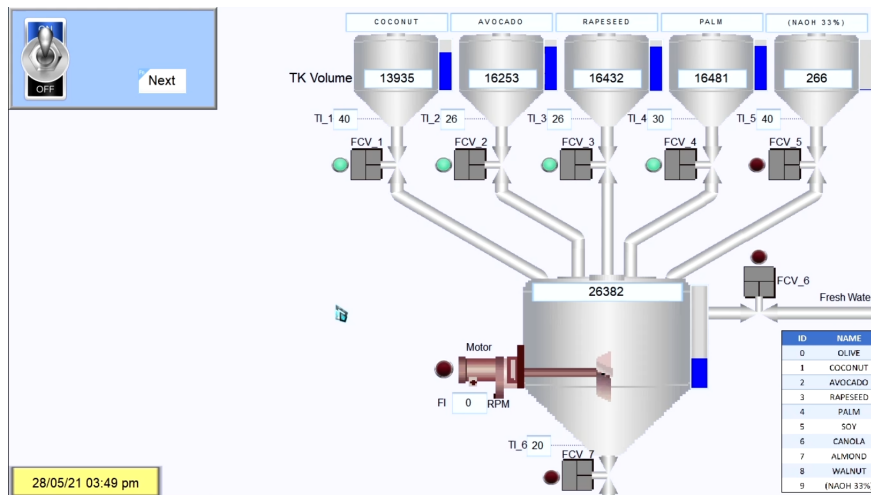


(c) Finalización del proceso de calefacción de los tanques de ingredientes

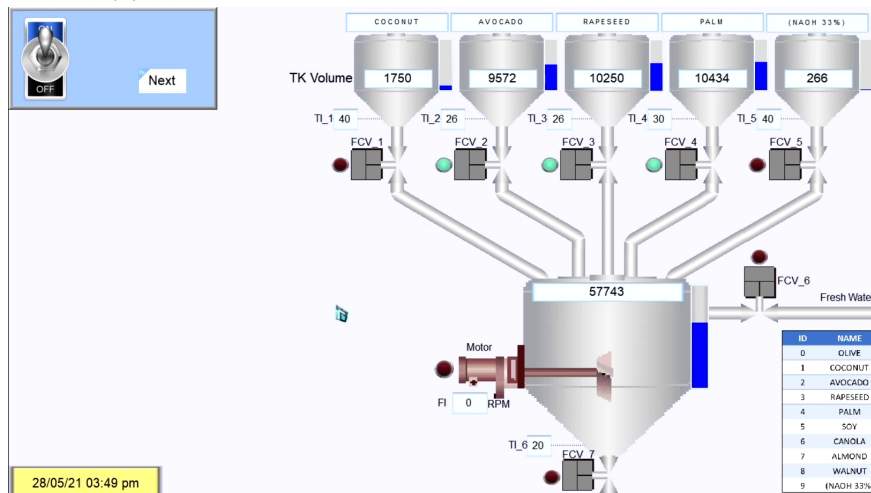
Figura 7.6: Finalización de la receta e inicio del proceso de control de los tanques de ingredientes



(a) Inicio de el proceso de dosificación de ingredientes con todas las válvulas abiertas.

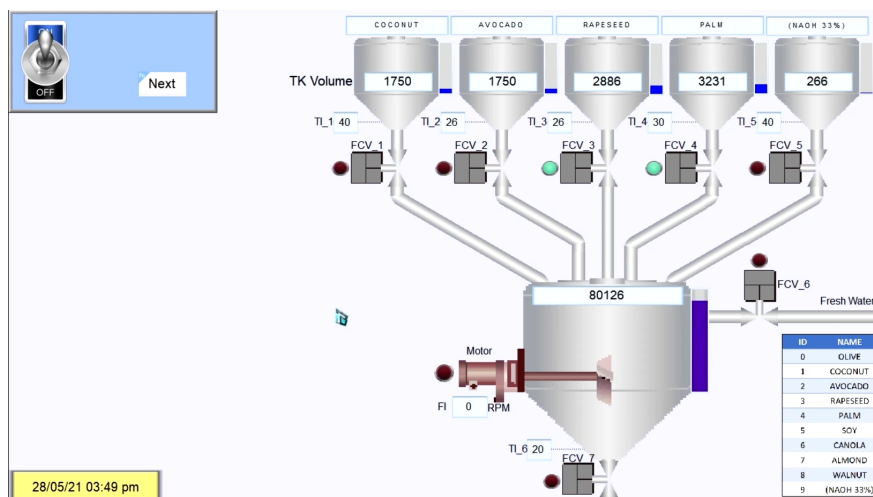


(b) Finalización de la dosificación de la solución de NaOH

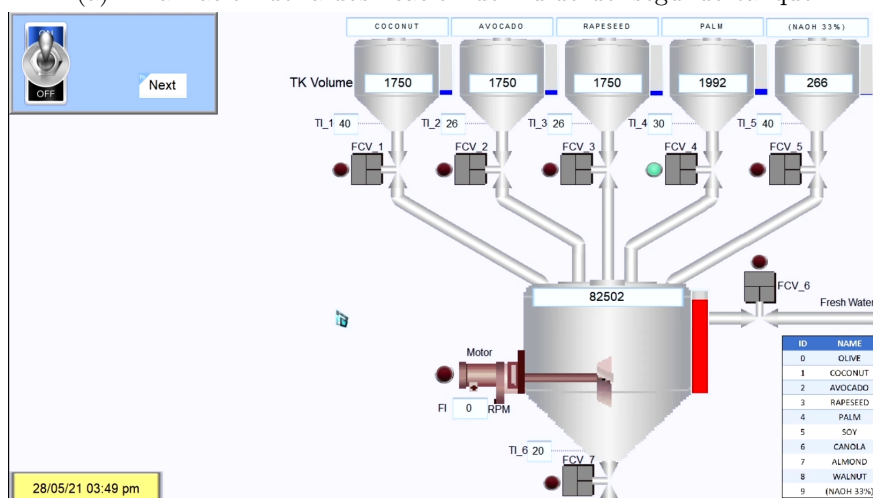


(c) Finalización de la dosificación del fluido del primer tanque

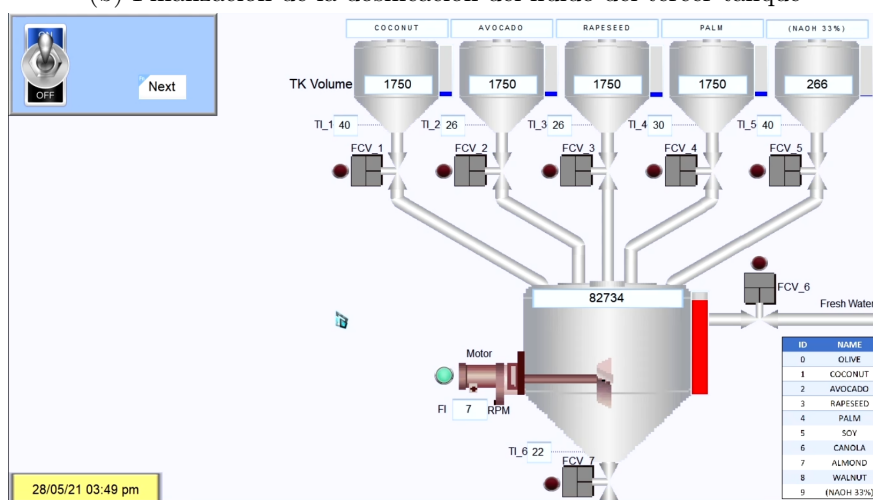
Figura 7.7: Inicio de el proceso de dosificación



(a) Finalización de la dosificación del fluido del segundo tanque

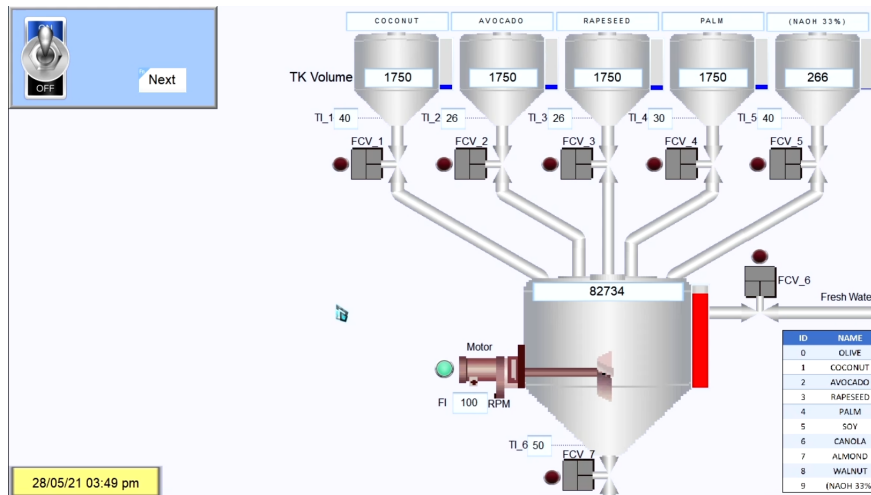


(b) Finalización de la dosificación del fluido del tercer tanque

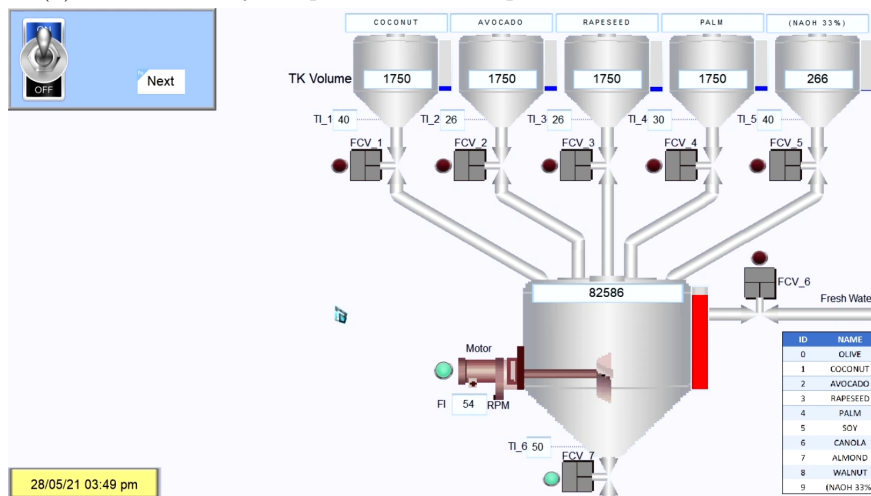


(c) Finalización de la dosificación del fluido del cuarto tanque y activación de el mezclador y manta térmica

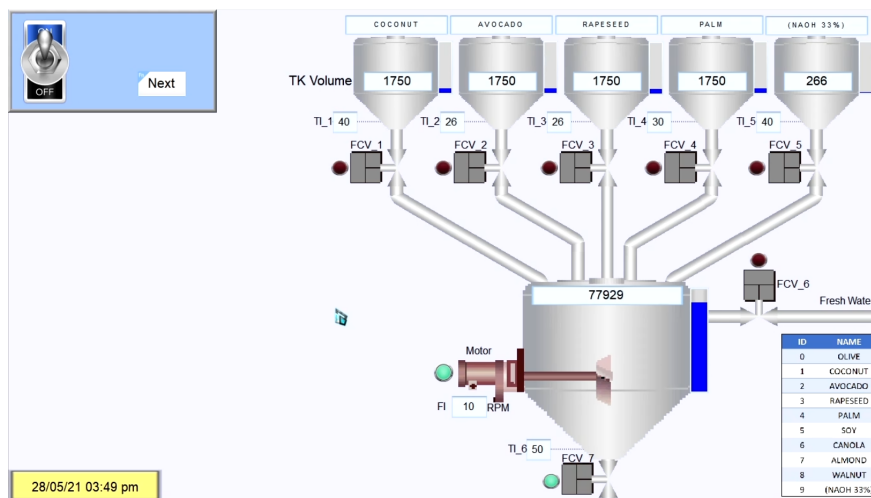
Figura 7.8: Finalización de el proceso de dosificación y activación de el proceso de control del tanque de mezclado



(a) El mezclador y temperatura del tanque alcanzan su valor máximo

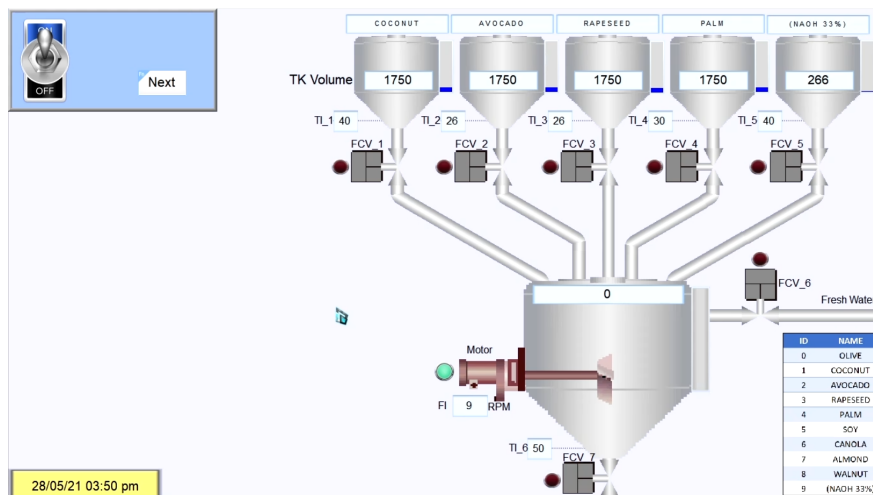


(b) Reducción de velocidad del mezclador e inicio de el proceso de dosificación

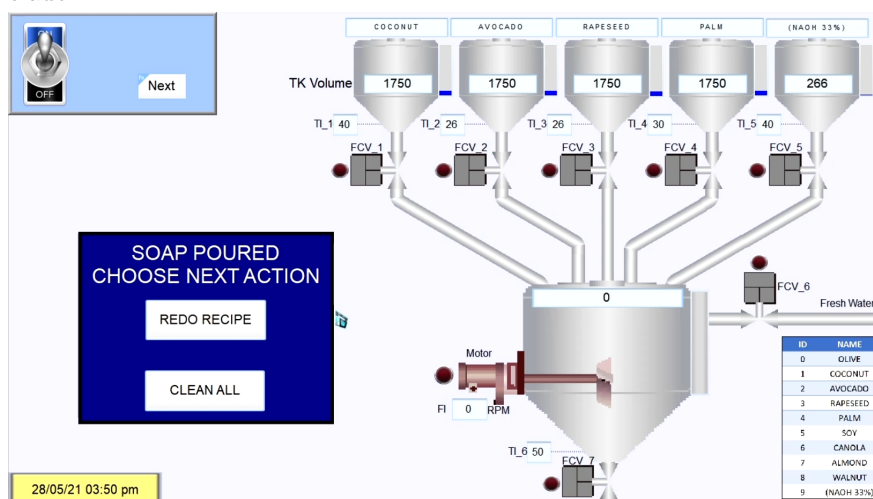


(c) Mezclador alcanza la velocidad deseada para continuar la dosificación del jabón

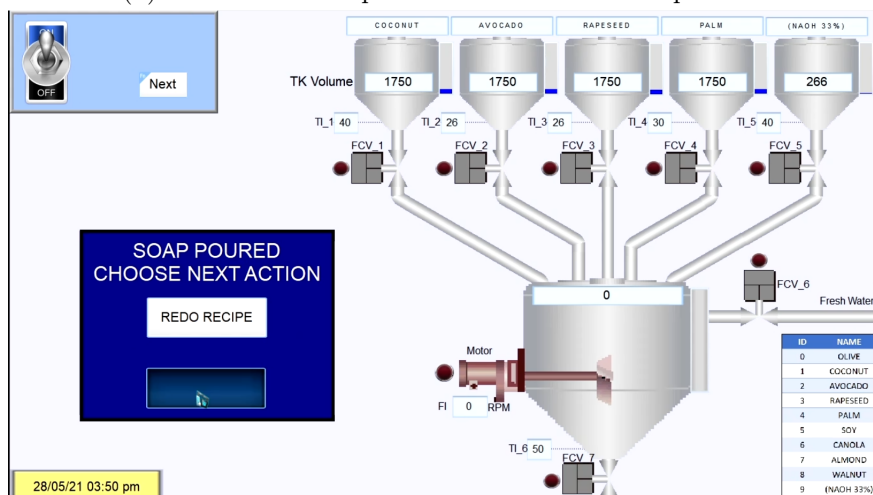
Figura 7.9: Inicio de el proceso de control del tanque de mezclado



(a) Finalización de el proceso de dosificación de jabón y apagado del mezclador

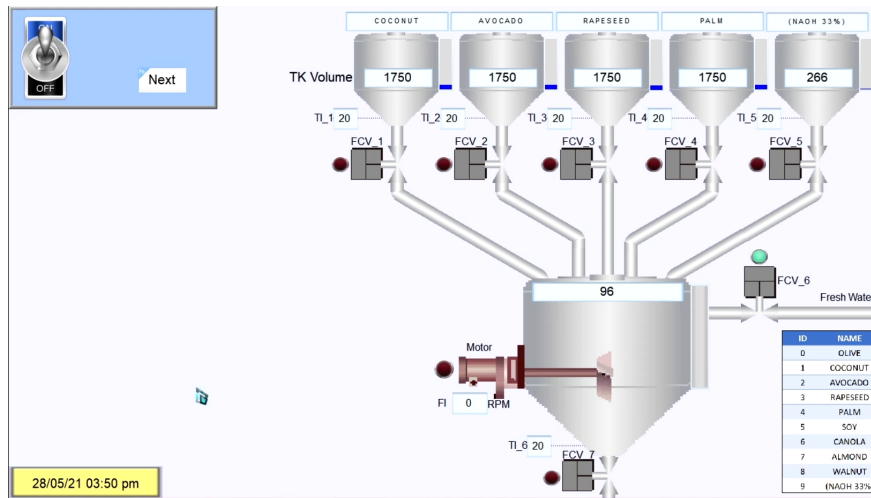


(b) Activación de la pantalla de finalización de proceso.

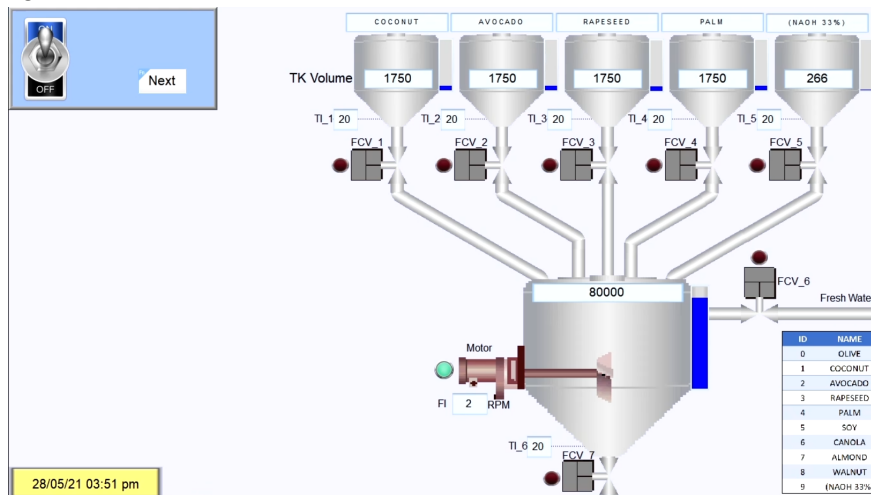


(c) Selección de acción de limpieza y reinicio de la maquina.

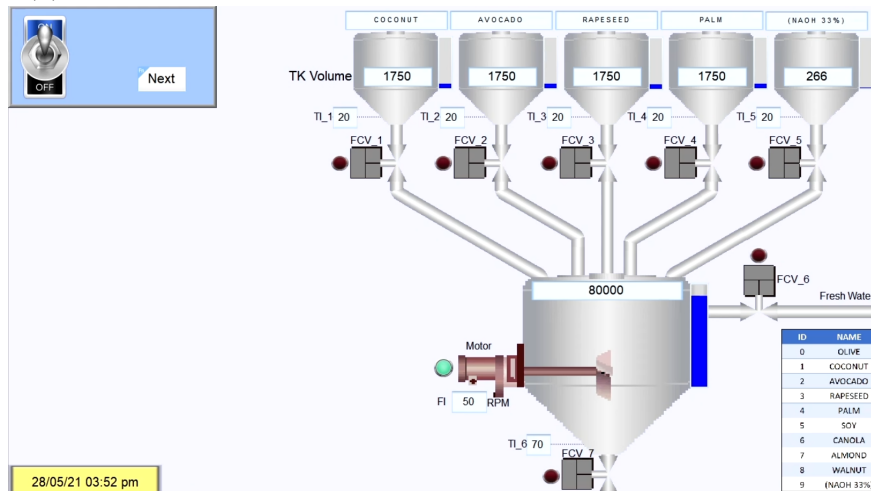
Figura 7.10: Finalización de proceso y selección de siguiente acción



(a) Inicio de el proceso de limpieza y apertura de la válvula de entrada de agua

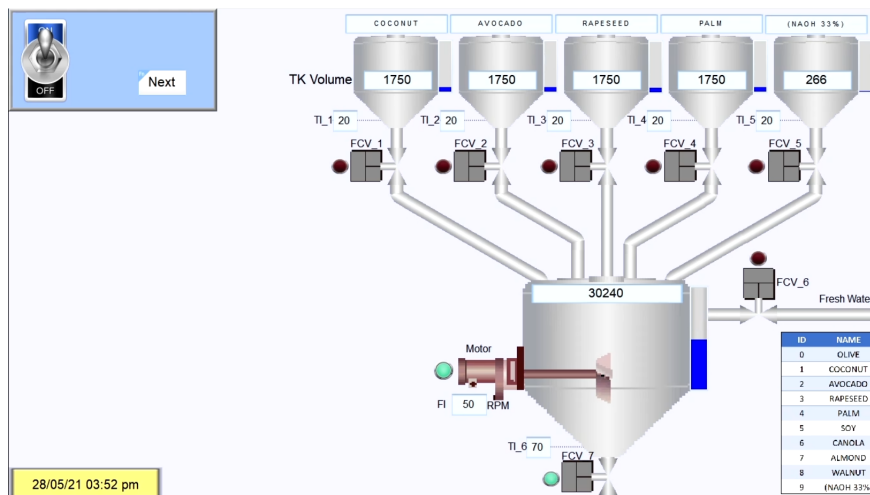


(b) Tanque lleno de agua y inicio de el proceso de mezclado y calentado

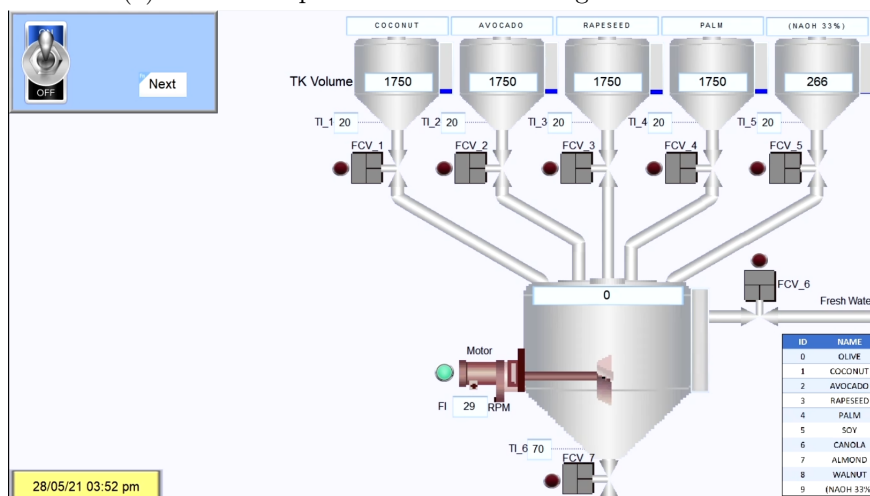


(c) Tanque alcanza la temperatura ideal para disolver los residuos y se mezcla a alta velocidad

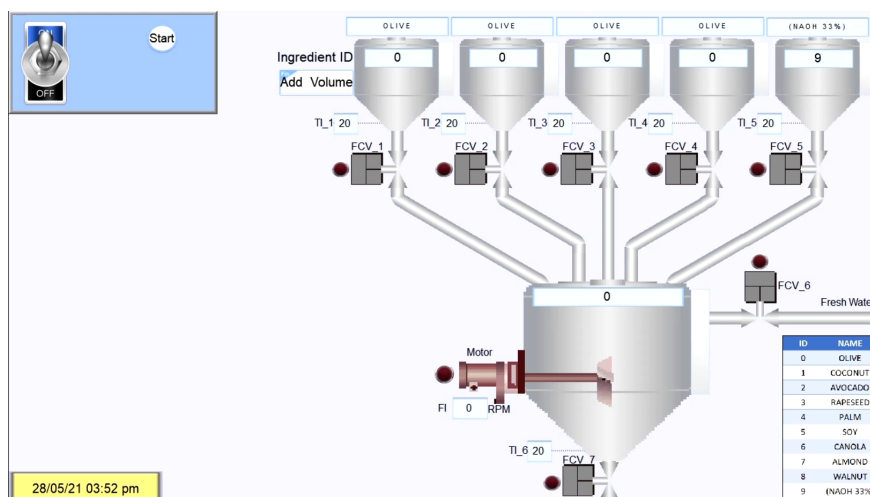
Figura 7.11: Inicio de el proceso de limpieza



(a) Se inicia el proceso de vertido del agua con residuos



(b) Finalización del vertimiento del agua y reducción de velocidad de mezclado



(c) Retorno al inicio del proceso de la maquina

Figura 7.12: Finalización del ciclo de limpieza y retorno al inicio del proceso de la maquina

La figura 7.1a representa la pantalla de inicio de el modelo virtual, en esta pantalla se pueden observar distintos elementos como los tanque, válvulas y botones. En esta pantalla solo esta habilitado el botón de encendido, cualquier interacción con otro elemento no genera respuesta alguna.

En la figura 7.1b se puede observar el cambio de la posición del interruptor de encendido, lo cual habilita la interacción con el botón de “Start” el cual da la indicación de iniciar el proceso de selección de ingredientes.

El proceso de selección de ingredientes se puede observar a partir de la figura 7.1c, esto se puede confirmar al observar el ID del quinto ingrediente el cual es constantemente 9 lo cual representa la solución de NaOH.

Se puede observar en la figura 7.2a como se modificaron los valores de identificación de cada ingrediente y el nombre se despliega en la parte superior de la pantalla.

Una vez se hayan seleccionado los ingredientes deseados, se oprime el botón de agregar volumen, como se puede observar en la figura 7.2b y se oculta la opción de agregar ingredientes mientras se habilita la opción de agregar volumen a cada tanque como se puede ver en la figura 7.2c. Cada tanque es llenado al mismo nivel con 18 litros de su respectivo ingrediente(7.3a y se continua el proceso al siguiente paso como se puede observar en la figura 7.3b.

Una vez se llega a la pantalla de selección y edición de recetas se selecciona la receta deseada, en este caso “Medium Soap” el cual se puede ver en la parte superior y media de la figura 7.3c.

Se puede observar que en la figura 7.4a se realizo una modificación a la receta en donde el porcentaje del ingrediente 4 aumento de 25 % a 40 % causando que el total de la receta sea 115 %, este error es reconocido por el macro de alarmas y activa la alarma que se puede observar en el centro de la pantalla.

Una vez el operario ingresa una receta valida se puede observar en la figura 7.4b como el operario ingresa un valor de 60000 ml en la cantidad de aceites y se despliegan los valores calculador de cada ingrediente para la receta en la parte inferior de la pantalla.

En la figura 7.4c se puede ver como el operario selecciona la primera receta sin modificar la cantidad de ingredientes deseados, esto causa la activación de la alarma desplegada en la figura 7.5a ya que no es posible hacer dicha receta con esa cantidad de ingredientes. Otro error que puede ocurrir es cuando se ingresa una cantidad imposible de aceites para una receta, si se ingresa un volumen mayor al posible se despliega un pequeño mensaje de error como el de la figura 7.5b. Finalmente se ingresa una receta y volumen válido de aceites y se continua al paso de control de tanques, como se puede observar en las figuras 7.5c y 7.6a.

Una vez inicia el proceso de control de los tanques, se activan las mantas térmicas y la temperatura de los aceites aumenta gradualmente, estos cambios se pueden visualizar en las figuras 7.6b y 7.6c. Una vez los ingredientes llegan a la temperatura ideal, se inicia el proceso de dosificado de los ingredientes y se abren las válvulas de cada tanque como se muestra en la figura 7.7a.

En las figuras 7.7b, 7.7c, 7.8a, 7.8b y 7.8c se puede visualizar como las válvulas se cierran en distintos tiempos para cada ingrediente, esto es dado por la diferencia de viscosidad y densidad de cada liquido suministrado y como se activa el mezclador y la manta térmica del tanque de mezclado una vez todos los ingredientes han sido vertidos en el tanque de mezclado.

Como se muestra en las figuras 7.9a, 7.9b, 7.9c y 7.10a, una vez se haya llegado a la velocidad máxima de mezclado y la máxima temperatura de saponificación se reduce la velocidad de mezclado y se inicia el proceso de dosificación del jabón.

Una vez se termina la producción de jabón se activa la pantalla de selección de acciones (figura 7.10b y 7.10c) la cual permite rehacer la misma receta anterior o realizar un ciclo de limpieza. El ciclo de limpieza consta de llenar el tanque en su totalidad con agua y calentar dicha agua a una temperatura de 70°C mientras se mezcla a alta velocidad para remover todos los residuos de jabón del tanque de mezclado (Figuras 7.11a, 7.11b y 7.11c).

Finalmente se drena el agua jabonosa, se detiene el mezclador y se vuelve la maquina a su estado inicial para volver a utilizarla como se puede observar en las figuras 7.12a, 7.12b y 7.12c.

7.1.2. Comparación con el ambiente real

En un ambiente real, la maquina sera expuesta a múltiples variables imprevistas lo cual introducirá pequeños porcentajes de error en la producción de jabones. Estas variables pueden llegar a ser la pureza de los ingredientes, las vibraciones del suelo o picos en la energía. En un ambiente real no será necesario realizar los distintos cálculos para obtener la velocidad de flujo o la tasa de transferencia de temperatura ya que esto se realiza para simular el comportamiento de los sensores de nivel y temperatura, respectivamente.

Desarrollo del análisis de costos de producción y mantenimiento de la máquina y rentabilidad

8.1. Análisis de costos de producción y mantenimiento

En la siguiente sección se trata el tema económico y el que más le interesa a inversionistas o empresas interesadas en implementar el sistema, teniendo en cuenta que el presente es una simulación donde se toman en cuenta aspectos de modelado, costos de productos reales y tiempos y cantidad de producción.

El costo total estimado del sistema es de \$37.524.499,95. Este precio incluye los siguientes elementos necesarios y detalles que se pueden ver en el anexo (B):

- Estructura de acero inoxidable: Estructura que permite la unión efectiva de todos los elementos, esta cuenta con un costo de materiales y mano de obra al 20 de mayo del 2021. Costo: COP \$ 11'500.000. En Cali, Colombia.
- Instalación de los componentes: Mano de obra referente a la programación de la unidad de control, interfaz de usuario, instalación de elementos de distribución, almacenamiento, control y protección. Costo: COP \$ 5'000.000. En Cali, Colombia.
- Instalación de los elementos físicos: Mano de obra referente al acoplamiento de los elementos, montura de los sistemas y conexión. Costo: COP \$1.298.937,00. En Cali, Colombia.

8.1.1. Análisis de costos de producción

En esta subsección se analiza el costo de cada lote o producción de jabón, teniendo en cuenta que desde el valor mínimo al tope de litros permitidos el procedimiento y el gasto de energía es mínimamente fluctuante, por lo que se toma en cuenta el caso de más gasto energético y de recursos, tales como los ingredientes o la soda cáustica necesaria para el proceso.

A continuación se lista una descripción de los gastos de instalación y conversión de red trifásica (única vez) en Cali, según la lista "Tarifas Conexión Energía 2021"[10] de EMCALI, la empresa publica de servicios de energía de la ciudad:

- Instalación o cambio medidor trifásico: COP \$114.818.
- Instalación servicio nuevo energía trifásico: COP \$107.740.

Según la tabla de costos para mercado regulado de EMCALI [10], para la ciudad de Cali, el kW/h de la instalación trifásica cuesta un promedio (Estrato 3, condiciones de uso normales) de COP \$589,7453, costo que se tomará para hacer la correspondencia de costos.

- Motor (Mezclador) y vareador de frecuencia: $2 * 0.37 \text{ kW/h} = 0.74 \text{ kW/h}$.
- PLC, módulos, HMI y sensores de nivel: La fuente les proporciona poder, por tanto: 0.125 kW/h.
- Mantas térmicas: Cinco (5) de 300W, uno (1) de 800W, por tanto: $0.8 \text{ kW/h} + 5 * 0.3 \text{ kW/h} = 2.3 \text{ kW/h}$.
- Válvulas de paso y relés de control: Seis (6) de 0.015 kW/h, una de 0.015 kW/h, se separan por tener diámetros diferentes pero igual requerimiento energético: $7 * 0.015 \text{ kW/h} = 0.105 \text{ kW/h}$.

Esto resulta en un total de tres punto veintisiete kilowatts hora (3.27 kW/h) que, al usarse por un ciclo que demora una (1) hora incluyendo vaciado en caso de ser un lote del volumen máximo y posterior limpieza, se obtiene un precio de COP \$1928.

Siguiendo la lógica del ejercicio, se cuentan las horas al día que tentativamente se estará produciendo jabón, contando con un operador de tiempo completo, es decir 8 horas al día. Esto nos da una suma de $\$1928 * 8 = \15424 al día.

Avanzando una temporalidad más, se encuentra que el costo por semana (5 días hábiles) es de $\$15424 * 5 = \77120 , y al mes es de $\$77120 * 5 = \358600 .

Otro tema importante del proceso es el lugar, que debe cumplir con ser ventilado para el proceso de curación, y suficiente para ubicar los jabones sin tocarse. Para esto se elige una alternativa de bodega en Cali, con un precio de COP \$900.000 mensuales, el cual ya tiene la red trifásica instalada, obviando los valores de instalación de contador y cambio de red.

Como último costo de operación, se tiene en cuenta el pago al operario, siendo un salario mínimo en Colombia de COP \$1'298.937.

8.1.2. Análisis de costos de mantenimiento

Con respecto al costo de mantenimiento se puede evidenciar que los elementos que mas tienen probabilidad de fallar son los que están en constante uso y contacto con otros elementos, como lo son: Válvulas, cables, corrección de problemas relacionados con el software o unión de los elementos, falla de la estructura. Para obtener un presupuesto mensual del costo de mantenimiento mensual, se suman todos los elementos descritos y se divide en años, teniendo una ventana de fallo de cinco años, y luego meses.

- Costo de cinco (5) años: COP \$5'000.000 por mano de obra en experto en sistemas industriales y corrección preventiva de elementos físicos.
- Costo en un (1) año: COP \$1'000.000.
- Costo al mes: COP \$83.333.
- Ahorro para imprevistos por fuera del mantenimiento al mes: COP \$5.000
- Total ahorro imprevistos por fuera del mantenimiento al año: COP \$60.000

8.2. Estimación de la máxima producción de la planta

El tiempo que demora la creación de un jabón está dividido en las siguientes partes del proceso:

- Adición de los ingredientes: Mínimo 2 minutos.
- Elección de la receta: Mínimo 2 minutos.
- Proceso de creación del jabón: 10 minutos para la capacidad máxima.
- Proceso de lavado: 8 minutos.
- Total: 22 minutos

Para empezar el proceso de producción se debe tener en cuenta que el jabón que sale de la máquina debe dejarse en curación por tres (3) semanas, después de este tiempo puede ser vendido constantemente según la máquina siga funcionando.

Pensando en un caso de uso se plantea que la máquina funcione seis (6) horas al día, cinco (5) días a la semana, se debe tener en cuenta que el jabón disminuye un 10% su total después del proceso de curación, es decir que se tiene una producción de 8.667.213,84 gramos de jabón al mes.

8.3. Análisis de rentabilidad

Para el análisis de rentabilidad se tendrá en cuenta el tiempo que ahorra la máquina. Para una receta donde se use la capacidad máxima del tanque de mezclado el sistema demoraría alrededor de 30 minutos según los ingredientes elegidos, produciendo 80L de jabón que se reducen a 72Kg por el proceso de curación, en contraste con una persona realizando el proceso independientemente, que demoraría seis (6) a diez (10) horas, una reducción del 92%.

Teniendo en cuenta que el operario tiene ahora cinco (5) horas libres, se puede complementar su labor con actividades como cortar los jabones que están listos, realizar los adornos o diseños respectivos, empacarlos, realizar actividades de marketing, atención al usuario, y demás que le dan un valor más alto comparado con un jabón común.

Como se puede ver en las tablas a continuación (8.1a), (8.1b) y (8.1c), en la que se pueden ver los casos de operación máxima y un único lote al día, la ganancia neta de la máquina es elevado, se puede pagar en menos de un año si se dedica parte de las utilidades netas a pagar la deuda, y se considera que el verdadero reto de implementarla es poder vender de manera continua la producción, dado que se producen 722 jabones por lote, y se deben vender para contar con un suministro continuo de jabones, teniendo en cuenta que el almacenamiento es finito.

Evaluación de una receta basada en coco (32.5L), Aceite de oliva (32.5L) y solución de soda cáustica (17.7L) para un total de 82.7 L de producto					
Ingredientes					
	Volumen (ml)	Unidades para receta el tanque	Link/Origen	Precio a 24/05/21	Costo por ingrediente
Coco	500	65	https://www.todoqui.com/quindio.com/	\$ 17.000,00	\$ 1.105.000,00
Aceite de Oliva	500	65	https://www.todoqui.com/quindio.com/	\$ 15.600,00	\$ 1.014.000,00
Soda caustica	500 gr	-	https://www.todoqui.com/quindio.com/	\$ 3.800,00	\$ -
Adua gestilada	500	-	https://www.todoqui.com/quindio.com/	\$ 3.400,00	\$ -
Solución de soda caustica	500	35,468	Se crea de Soda caustica + Agua destilada	\$ 3.533,33	\$ 125.320,27

Caso: Uso de máquina una vez al día	
Costo total receta de prueba	\$ 2.244.320,27
Costo por 20 días laborales	\$ 44.886.405,33
Resultado (ml)	82.734,00
Resultado en gramos (97% resultado en ml)	80.251,98
Resultado en gramos despues de curación (Menos el 10%)	72.226,78
Resultado en gramos despues de curación 20 días laborales	1.444.535,64

Caso: Uso de máquina seis veces al día	
Costo total receta de prueba	\$ 2.244.320,27
Costo por 20 días laborales	\$ 269.318.432,00
Resultado (ml)	82.734,00
Resultado en gramos (97% resultado en ml)	80.251,98
Resultado en gramos despues de curación (Menos el 10%)	72.226,78
Resultado en gramos despues de curación 20 días laborales	8.667.213,84

(a) Evaluación de una receta basada en coco (32.5L), Aceite de oliva (32.5L) y solución de soda cáustica (17,7L) para un total de 82.7 L de producto.

Proyecto: Máquina de Jabónes, caso uso de máquina 6 horas al día, 5 días a la semana (capacidad operativa máxima)					
Costos fijos		Costos variables mensuales		Precios	
Costo elementos	\$ 21.024.499,95	Ingredientes	\$ 2.669.318.432,00	Jabón (gr)	\$ 40,00
Costo de instalación	\$ 5.000.000,00	Energía	\$ 358.600,00	Unidades vendidas (gr)	8.667.213,84
Costo de la estructura	\$ 11.500.000,00	Mantenimiento	\$ 83.333,00	Dinero en ventas	\$ 346.688.553,60
Total costo implementación	\$ 37.524.499,95	Imprevistos	\$ 5.000,00	Ganancia meta	\$ 74.724.251,60
		Local + operario	\$ 2.198.937,00		
		Total costos variables mensuales	\$ 271.964.302,00		
Proyecto: Máquina de Jabónes, caso uso de máquina 1 lote completo al día (capacidad operativa de bajo presupuesto)					
Costos fijos		Costos variables mensuales		Precios	
Costo elementos	\$ 21.024.499,95	Ingredientes	\$ 44.886.405,33	Jabón (gr)	\$ 40,00
Costo de instalación	\$ 5.000.000,00	Energía	\$ 38.560,00	Unidades vendidas (gr)	1.444.535,64
Costo de la estructura	\$ 11.500.000,00	Mantenimiento	\$ 83.333,00	Dinero en ventas	\$ 57.781.425,60
Total costo implementación	\$ 37.524.499,95	Imprevistos	\$ 5.000,00		
		Local	\$ 900.000,00		
		Operario	\$ 1.298.937,00		
		Total costos variables mensuales	\$ 47.212.235,33		
Costo del préstamo mensual	3.842.453,00	Tasa %EA	10,23%	Duración	1 año
				Banco	Bancolombia
					Link a 2/06/2021
					https://www.elmejortrato.com.co/prestamos/creditos-personales/destacados
Análisis de costos, utilidad operativa operacional y utilidad neta, sin abonos a deuda					
	Cantidades	Precio Unitario	TOTAL	% Proporción	
Ventas	1.444.536	\$	57.781.426	100%	
- Costos de ventas		\$	47.212.235	81,71%	
= Utilidad Bruta		\$	10.569.190	18,29%	
Gastos administrativos (Marketing y ventas)		\$	1.298.937,00	2,25%	
		\$	-	0,0%	
= Utilidad Operativa, utilidad operacional (UAII)		\$	9.270.253	16,04%	
+ Otros ingresos no operativos		\$	-	0,00%	
- Gastos financieros o intereses de los créditos		\$	3.842.453	6,6%	
= Utilidad antes de impuestos		\$	5.427.800	9,39%	
- Impuesto de renta 31% (utilidad antes de impuestos)		\$	1.682.618	2,91%	
= Utilidad Neta		\$	3.745.182	6,48%	

(b) Resumen máxima capacidad operativa, una vez por día y análisis detallado de la última.

Análisis de costos, utilidad operativa operacional y utilidad neta, con abonos a deuda				
	Cantidades	Precio Unitario	TOTAL	% Proporción
Ventas	1.444.536	\$	57.781.426	100%
- Costos de ventas		\$	47.212.235	81,71%
= Utilidad Bruta		\$	10.569.190	18,29%
Gastos administrativos (Marketing y ventas)		\$	1.298.937,00	2,25%
		\$	-	0,0%
= Utilidad Operativa, utilidad operacional (UAI)		\$	9.270.253	16,04%
+ Otros ingresos no operativos		\$	-	0,00%
= Utilidad antes de impuestos		\$	9.270.253	16,04%
- Impuesto de renta 31% (utilidad antes de impuestos)		\$	2.873.779	4,97%
= Utilidad Neta antes de abonos a deuda		\$	6.396.475	11,07%
- Dinero destinado a pagar la deuda		\$	6.000.000	10,4%
= Utilidad Neta Final		\$	396.475	0,69%
Deuda total				\$ 46.109.436,00
Tiempo en meses en que se paga la deuda siguiendo un abono de \$6'000.000 a la deuda				7,68

(c) Deuda según las cuotas y pago cuando se dedica parte de la utilidad neta.

Cuadro 8.1: Tablas de análisis económico caso de máxima operación, caso de bajo presupuesto, utilidad operativa y utilidad neta.

Conclusiones

En este proyecto se desarrolló un modelo virtual y un sistema de control de una máquina que automatice el proceso de formulado y mezclado de jabones sólidos y líquidos a pequeña y mediana escala. El proyecto fue implementado por medio la plataforma de programación CODESYS y simulado extensivamente en la interfaz de usuario desarrollada en EasyBuilder Pro. Este proyecto se desarrolló de manera exitosa llegando a una solución rentable para ser implementado en la práctica.

Para poder desarrollar el código y la interfaz, fue necesario estudiar las capacidades de cada software y la estructura que cada lenguaje utiliza. El código principal se desarrolló en Ladder mientras que los códigos secundarios y bloques funcionales se desarrollaron en lenguaje estructurado. El lenguaje estructurado permitió mayor flexibilidad al desarrollar las diferentes ecuaciones utilizadas para simular el comportamiento de los fluidos y otros factores, mientras Ladder permitió realizar una estructura simple por estados compatible con cualquier PLC.

La interfaz fue realizada por medio de imágenes, botones, actuadores y macros que se ejecutan cuando se cumplen acciones muy específicas, gran parte de estos macros actúan como mecanismos de seguridad que al detectar un error o problema en las variables se activa para resolverlos de manera simple.

Para realizar el análisis económico se tienen en cuenta distintos aspectos que fueron agregados a medida en que se desarrollaba la sección, tales como son la investigación de valores actualizados de salarios mínimos, costos de arriendos o pagos de impuestos, búsqueda de maneras adecuadas para realizar el análisis, costos de energía actualizados y teniendo en cuenta el lugar, el uso y el tiempo. Al finalizar todo este análisis que tiene en cuenta valores reales de cuotas de préstamo en bancos, costo de ingredientes en la industria, temporalidad y dimensión de las posibles ganancias y costos, se obtiene una conclusión con respecto al retorno a la inversión y en menos de un año permite obtener el retorno completo del costo, el mayor reto del empresario es vender los jabones diligentemente aprovechando su valor comercial y compatibilidad para operar continuamente.

El proyecto tiene la capacidad de ser extendido con cierta facilidad, dado que la unidad de control, sensores y la mayoría de elementos de control pueden soportar unos tanques de ingredientes y mezclado mas grandes, los cuales, además de la estructura, los calentadores, las válvulas y el motor suman un 54 % del valor del proyecto, como se ve en la tabla de elementos elegidos Anexo [B].

Este proyecto demostró una mayor complejidad de la esperada, a causa de varios factores imprevistos. El factor de mayor dificultad fue el tiempo que tomó realizarlo de manera efectiva dadas las restricciones de horario que se presentaban constantemente. El segundo factor fue el desarrollo del código y la interfaz, la cual tienen un tiempo máximo de simulación de 10 minutos, lo cual agrega una mayor dificultad en el desarrollo ya que era necesario adaptarse a este tiempo. Una vez el código y la interfaz fueron completados fue cuando se reconoció un problema fundamental, la ejecución del código tenía múltiples problemas en casos no deseados y fue necesario depurar y corregir los códigos para resolver estos imprevistos y desarrollar mecanismos de seguridad que prevengan y resuelvan problemas en la simulación. Finalmente, se logró realizar el análisis de rentabilidad tomando numerosos factores sociales y económicos para ser lo más cercano a la realidad.

Una vez se pudo resolver todos los problemas asociados al código y la interfaz, se logró evaluar el sistema de control y visualización en un entorno virtual por medio de la creación de un ambiente ideal el cual permite simular el proceso de formulado, dosificado y mezclado de jabones sólidos y líquidos en múltiples escalas. Este ambiente toma en cuenta la mayoría de los factores asociados a el proceso de crear jabones, como lo son la densidad, viscosidad y propiedades térmicas de los fluidos, la temperatura del ambiente, la energía transferida a los fluidos por medio de la manta térmica y la variación de flujo de los fluidos en cada tanque, es posible visualizar el funcionamiento del sistema de control, sensores simulados y tiempos de ejecución satisfactoriamente.

Bibliografía

- [1] GREELANE.COM. (2019) Conocer la definición de saponificación. [Online]. Available: <https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnolog%C3%ADa-matem%C3%A1ticas/ciencia/definition-of-saponification-605959/>
- [2] W. V. Diaz. (2008) Diseño y validación de un modelo de extrusora de arcilla. [Online]. Available: <http://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/116#page=1>
- [3] J. Webb and R. Reis. (1994) Programmable logic controllers: Principles and applications. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Programmable-Logic-Controllers-%3A-Principles-and-Webb-Reis/67543ad0a139a3c4c5b975b4512dbc7adc9c5781?p2df>
- [4] D. J. Chapman, A. J. Dowling, and R. J. M. Adam. (2000) Us7555706b2. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US7555706B2/en>
- [5] AutomationDirect. C0-16nd3. [Online]. Available: [https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs_\(stackable_micro_brick\)/dc_i-z-o/c0-16nd3](https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs_(stackable_micro_brick)/dc_i-z-o/c0-16nd3)
- [6] AutomationDirect.com. C0-02dd1-d. [Online]. Available: [https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs_\(stackable_micro_brick\)/plc_units/c0-02dd1-d](https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs_(stackable_micro_brick)/plc_units/c0-02dd1-d)
- [7] R. Delgado. ¿qué es un sistema hmi? aplicaciones del mismo. [Online]. Available: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/que-es-un-sistema-hmi/>
- [8] D. C. Zou. Modbus-based industrial control system attack. [Online]. Available: <http://cyberforensic.net/labs/modbus-attack.html>
- [9] Hopcat. Hopcat ss 22l/4 gal conical fermenter - pro version. [Online]. Available: <https://www.hopcat.eu/product-page/hopcat-baby-ss-22l-4-gal-conical-fermenter-pro-version-august-pre-order>
- [10] EMCALI. Tarifas de conexión del servicio público domiciliario de energía eléctrica. [Online]. Available: <https://www.emcali.com.co/web/energia/tarifas-de-conexion-del-servicio-publico-domiciliario>
- [11] EMCALI. Tarifas mercado regulado 2021. [Online]. Available: <https://www.emcali.com.co/web/energia/mercado-regulado>
- [12] mendrulandia.es. Tabla de saponificación: Una tabla de valores para dominarlos a todos. [Online]. Available: https://www.mendrulandia.es/utilidades_jabones/tabla_sap

- [13] R. K. Rajput, *Engineering Thermodynamics*, 3rd ed. India: Laxmi Publications, 2007.
- [14] U. o. E. Camborne School of Mines. Perimeter, area and volume of regular shapes. [Online]. Available: https://projects.exeter.ac.uk/csm-survey/files/CSM09_Perimeter_area_volume.pdf
- [15] F. W. Gibbs, *The history of the manufacture of soap*, 1st ed. UK: University College, London, 1939.
- [16] R. L. Wilson, *SOAP THROUGH THE AGES*, 4th ed. UK: Unilever, 1955.
- [17] K. M. Dunn, *Scientific Soapmaking: The chemistry of the cold process*, 1st ed. USA: Clavícula Press, 2010.
- [18] S. Cavitch, *Guía práctica para hacer jabón*, 1st ed. España: Disfruto Y Hago, 2003.
- [19] M. Elmore. (2016) A hot process soap tutorial: How to hot process soap in a crockpot. [Online]. Available: <https://www.modernsoapmaking.com/hot-process-soap-in-a-crockpot-tutorial/#:~:text=In%20most%20cases%2C%20the%20soap,at%20this%20point%2C%20you%20can.>
- [20] D. D. Sheu. (2006) Overall input efficiency and total equipment efficiency. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4012102?arnumber=4012102&isnumber=4012084>
- [21] S. K. Subramaniam, S. H. Husin, and Y. Yusop. (2008) Machine efficiency and man power utilization on production lines.
- [22] E. C. de Tecnologías Asequibles de Agua y Saneamiento. (2014) Hoja informativa sobre el jabón: Fabricación de jabón. [Online]. Available: https://globalhandwashing.org/wp-content/uploads/2020/04/Soap-Making_Fact-Sheet_2014-08-22_es.pdf
- [23] I. E. Commission. Iec 60617 - graphical symbols for diagrams. [Online]. Available: <https://std.iec.ch/iec60617>
- [24] A. N. Standard, *ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification*, 5th ed. USA: American National Standard, 2009.
- [25] chemistrystore.com. Guidelines on the application and processing of melt and pour transparent glycerin soap base. [Online]. Available: https://www.chemistrystore.com/processing_soap_base2014.pdf

Anexos

Todos los documentos realizados durante el desarrollo de este proyecto y documentos pertinentes al desarrollo se pueden encontrar en esta sección.

A . Tabla de índices de saponificación, índice de yodo e INS

Grasa	sap NaOH	sap KOH	yodo	INS
Ácido Esteárico	0,134	0,188	0	188
Ácido Mirístico	0,165	0,232	0	232
Ácido oleico	0,135	0,190	86	104
Ácido Palmítico	0,148	0,208	0	208
Aguacate	0,138	0,193	86	107
Aguacate, manteca de	0,138	0,193	61	132
Albaricoque	0,136	0,191	103	88
Algodón semillas	0,138	0,194	111	83
Almendras	0,136	0,191	92	99
Argán	0,137	0,192	100	92
Arroz	0,138	0,193	103	90
Avellana	0,136	0,191	89	102
Babasú	0,169	0,237	18	219
Baobab	0,138	0,194	75	119
Bayas de laurel	0,152	0,213	75	138
Borago	0,137	0,192	153	39
Cacahuetes	0,135	0,190	92	98
Cacao, manteca de	0,138	0,194	39	155
Café tostado (aceite)	0,140	0,197	77	120
Calabaza (semillas)	0,137	0,192	112	80
Caléndula	0,136	0,191	99	92
Camelia	0,137	0,192	79	113
Camelina Seed	0,137	0,192	171	21
Cáñamo	0,137	0,192	167	25

Cártamo (Alto oleico)	0,136	0,191	92	99
Cártamo	0,137	0,192	144	48
Cera de Abeja	0,067	0,094	0	140
Cera de Carnaúba	0,059	0,083	0	120
Cerdo, manteca de	0,140	0,196	60	136
Cereza	0,137	0,192	115	77
Coco Fraccionado	0,251	0,352	0	352
Coco	0,177	0,248	9	239
Colofonia	0,115	0,161	5	80
Colza (Canola)	0,135	0,190	116	74
Comino negro (Nigela)	0,138	0,193	123	70
Copoazú, manteca de	0,135	0,189	40	149
Coroba (semilla)	0,168	0,235	19	216
Crisco	0,138	0,194	102	92
Emú	0,138	0,194	73	121
Estearina	0,140	0,197	1	196
Germen de Trigo	0,138	0,193	133	60
Girasol (alto oleico)	0,135	0,190	81	109
Girasol	0,136	0,191	133	58
Illipe, manteca de	0,137	0,192	33	159
Jojoba	0,092	0,129	4	43
Karanja	0,130	0,183	85	98
Karité, manteca de	0,135	0,190	52	138
Kokum, manteca de	0,135	0,190	37	153
Kukui	0,137	0,192	165	27
Lanolina	0,076	0,106	23	129
Linaza	0,137	0,192	177	15
Macadamia	0,139	0,195	77	118
Maíz	0,143	0,201	103	98
Mango	0,135	0,190	58	132
Mango, manteca de	0,135	0,190	48	142
Manteca vegetal (margarina)	0,139	0,195	98	97
Maracuyá	0,137	0,192	140	52
Marula	0,137	0,192	68	124
Melocotón (hueso)	0,136	0,191	98	93
Mostaza	0,124	0,174	110	64
Mowrah, manteca de	0,138	0,193	56	137
Murumuru, manteca de	0,170	0,238	9	229
Neem	0,138	0,193	62	131
Nuez del Brasil	0,138	0,193	94	99
Nuez	0,137	0,192	146	46

Oliva Hueso (Orujo)	0,137	0,192	82	110
Oliva Reciclado	0,137	0,192	81	111
Oliva Virgen	0,137	0,192	78	114
Onagra	0,137	0,192	163	29
Pacana	0,136	0,191	112	79
Palma (Oleina)	0,140	0,197	57	140
Palma	0,141	0,198	53	145
Palmiste o hueso de palma	0,169	0,237	19	218
Pato, grasa de	0,139	0,195	80	115
Pepino (semilla)	0,138	0,193	112	81
Pepita de Uva	0,137	0,192	136	56
Pistacho	0,137	0,192	97	95
Pollo, grasa de	0,139	0,195	81	114
Ricino	0,130	0,182	86	96
Rosa Mosqueta	0,137	0,192	175	17
Sacha Inchi	0,138	0,193	187	6
Sal, manteca de	0,134	0,188	40	148
Sebo de Buey	0,139	0,195	43	152
Sebo de Cordero	0,140	0,196	41	155
Sebo de Vaca	0,141	0,198	42	156
Semilla de Amapola	0,137	0,192	141	51
Semillas	0,136	0,191	99	92
Sésamo	0,136	0,191	108	83
Soja hidrogenado	0,137	0,192	75	117
Soja	0,137	0,192	132	60

Cuadro 10.1: Tabla de índices de saponificación, índice de yodo e INS (Fuente: [12])

B . Tabla de elementos elegidos, conexión, referencia, cantidad, link online, precio por unidad, fecha de visita del sitio online y total (Fuente: Propia)

Tipo de elemento	Conexión	Referencia	Cantidad	Link	Precio COP/Unidad	Fecha de toma de precio	Total	Porcentaje
Tanque de ingredientes	-	Hopcat SS 22L/4 Gal Conical Fermenter	5	https://www.hopcat.eu/product-page/hopcat-baby-ss-22l-4-gal-conical-fermenter-pro-version-august-pre-order	\$ 605.365,72	8/04/2021	\$ 3.026.828,60	8,066%
Tanque de mezclado	-	XM150L	1	https://es.aliexpress.com/item/4000185962334.html?spm=a2g0o.productlist_0.0.1a891805XDCpQn&algo_pvid=b9f027c7-2f50-429f-8428-964cd6e7803a&algo_expid=b9f027c7-2f50-429f-8428-964cd6e7803a-21&btsid=0bb0624516161120371425393e90af&ws_ab_test=searchweb0_0_searchweb201602_searchweb201603	\$ 1.100.181,97	8/04/2021	\$ 1.100.181,97	2,932%
Válvula de control tanques de ingredientes	Digital (24 VDC - 625 mA)	2W-200-20	6	https://es.aliexpress.com/item/4001201551572.html?spm=a2g0o.productlist_0.0.45f83725lCh6d&algo_pvid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42&algo_expid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42-6&btsid=0bb0622e16156135797971463e0e71&ws_ab_test=searchweb0_0_searchweb201602_searchweb201603	\$ 94.304,00	8/04/2021	\$ 565.824,00	1,508%
Válvula de control tanque de mezclado	Digital (24 VDC - 625 mA)	2W-250-25	1	https://es.aliexpress.com/item/4001201551572.html?spm=a2g0o.productlist_0.0.45f83725lCh6d&algo_pvid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42&algo_expid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42-6&btsid=0bb0622e16156135797971463e0e71&ws_ab_test=searchweb0_0_searchweb201602_searchweb201603	\$ 125.958,60	8/04/2021	\$ 125.958,60	0,336%
Unidad de Control	Discrete In: 4-point, DC, Analog Input: 2-channel, current/voltage, Discrete Output: 4-point, sinking, Analog Out: 2-channel, current/voltage.	CO-12DD1E-D	1	https://www.automationdirect.com/adcs/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs(stackable_micro_brick)/plc_units/co-12dd1e-d	\$ 693.274,70	8/04/2021	\$ 693.274,70	1,848%
Sensor de nivel	RS485, RS232, 0 - 5V, 4-20mA, TCP	F550	6	https://www.alibaba.com/product-detail/F550-ultrasonic-sensor-wireless-fuel-level_60552720031.html	\$ 240.556,74	8/04/2021	\$ 1.443.340,44	3,846%
Manta termica tanque ingrediente	230 VAC	DRUM - S120 300	5	http://www.frankberg.nl/drum-heaters.html	\$ 695.305,00	10/04/2021	\$ 3.476.525,00	9,265%
Manta termica tanque mezclado	230 VAC	DRUM - S120 800	1	http://www.frankberg.nl/drum-heaters.html	\$ 823.387,00	10/04/2021	\$ 823.387,00	2,194%
Sensor de temperatura	Resistivo	PT100 50 mm	6	https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-temperatura-pt100-50mm-detail.html	\$ 15.086,82	10/04/2021	\$ 90.520,92	0,241%
Mezcladora	220 / 380 VAC 0.35 kW Trifasica	Chemical Electric Motor Mixer With Agitator	1	https://www.alibaba.com/product-detail/Quality-Chemical-dosing-tank-mixing-shampoo_62316293170.html?spm=a2700.details.0.0.27bf5c68eGEdMp	\$ 412.845,00	10/04/2021	\$ 412.845,00	1,100%
Relay control	24 VAC/DC coil voltage, SPDT, 6A contact rating, 250 VAC/VDC load voltage	52001 Murrelektronik interface relay	7	https://www.automationdirect.com/adcs/shopping/catalog/relays_-z-timers/electro-mechanical_relays/slim_interface_relays/52001	\$ 36.498,00	30/04/2021	\$ 255.486,00	0,681%
Fusibles de protección mantas termicas	DC 1000V Thermal	SRD-30	6	https://www.alibaba.com/product-detail/SRD-30-Electric-Fuse-Holders-DC_1600142966578.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d.title.3_ef148d1M8TSTH	\$ 5.556,09	30/04/2021	\$ 33.336,54	0,089%
Fusibles de protección valvulas de control	DC 1000V Thermal	WSPV-30	7	https://www.alibaba.com/product-detail/SRD-30-Electric-Fuse-Holders-DC_1600142966578.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d.title.3_ef148d1M8TSTH	\$ 5.185,69	30/04/2021	\$ 36.299,83	0,097%

Breaker primario y motor	20A, 480Y / 277 VAC / 96 VDC, 3-pole, D curve, thermal magnetic, 14kA SCCR	FAZ-D20-3-NA	2	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/circuit_protection--z-fuses-z-disconnects/ul_489_miniature_circuit_breakers/eaton_480y-z_277vac_miniature_circuit_breakers_(faz-na_series)/3-pole_(0.5a-32a)/faz-d20-3-na	\$ 243.322,00	30/04/2021	\$ 486.644,00	1,297%
Breaker sensores de nivel	1A, 240 VAC / 96 VDC, 2-pole, B curve, thermal magnetic, 10kA SCCR	FAZ-B1-2-NA-L	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/circuit_protection--z-fuses-z-disconnects/ul_489_miniature_circuit_breakers/eaton_240vac_miniature_circuit_breakers_(faz-na_series)/2-pole_(0.5a-63a)/faz-b1-2-na-l	\$ 112.302,00	30/04/2021	\$ 112.302,00	0,299%
Breaker Fuente de PLC	3A, 277 VAC / 48 VDC, 1-pole, C curve, thermal magnetic, 10kA SCCR	FAZ-C3-1-NA-SP	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/circuit_protection--z-fuses-z-disconnects/ul_489_miniature_circuit_breakers/eaton_480y-z_277vac_miniature_circuit_breakers_(faz-na_series)/1-pole_(0.5a-32a)/faz-c3-1-na-sp	\$ 80.483,00	30/04/2021	\$ 80.483,00	0,214%
Fuente del PLC	100-240 VAC nominal input, 24 VDC nominal output, 1.3A continuous	C0-01AC	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/power_supplies/c0-01ac	\$ 159.095,35	30/04/2021	\$ 159.095,35	0,424%
Modulo de entradas analógicas	4-channel current 13-bit input signal range of 0-20 mA	C0-04AD-1	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z_o_modules/c0-04ad-1	\$ 363.111,00	30/04/2021	\$ 363.111,00	0,968%
Modulo de termocuplas	0-1.25 VDC, 0-39.0625 mVDC, +/- 39.0625 mVDC, +/- 78.125 mVDC, 0-156.25 mVDC, +/- 156.25 mVDC	C0-04THM	2	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z_o_modules/c0-04thm	\$ 617.664,00	30/04/2021	\$ 1.235.328,00	3,292%
Modulo de salidas de control	16-point, 5-27 VDC, sinking, 2 isolated common(s), 8 point(s) per common, 0.1A/point	C0-16TD1	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z_o_modules/c0-16td1	\$ 179.684,00	30/04/2021	\$ 179.684,00	0,479%
Human Machine Interface	Ethernet, RS485/RS232, USB 2.0 Tipo B	EA3-T4CL	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/hmi_(human_machine_interface)/c-more_micro_panels/operator_panels_(all_sizes)/ea3-t4cl	\$ 1.112.592,00	6/05/2021	\$ 1.112.592,00	2,965%
Variador de frecuencia	230 VAC - 2.8A, USB-B, RS485, 0.1-600 Hz	GS23-20P5	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/drives_-a-soft_starters/ac_variable_frequency_drives_(vfd)/general_purpose/gs23-20p5	\$ 615.968,00	6/05/2021	\$ 615.968,00	1,642%
Convertor 2 fases a 3 fases	5000 Watts, WPS 110V/120V to 220V/240V 13 A	Shimran AC-100, AC-5000	1	https://www.amazon.com/Simran-AC-500-Voltage-Converter-Transformer/dp/B004MPR44E?th=1	\$ 640.412,00	6/05/2021	\$ 640.412,00	1,707%
Regleta de conexiones	2500 Watts, 220 V/240 V, 13 A	Regleta VCT Electronics	2	https://www.amazon.com/-/es/corriente-WPS-estabilizador-universales-Electronics/dp/B000784H4K/ref=pd_bxgv_img_2/136-2123673-3439432?encoding=UTF8&pd_rd_i=B000784H4K&pd_rd_r=c55da1ef-aa38-fd65183ece34&pd_rd_w=xYVwS&pd_rd_wg=XTcfb&pf_rd_p=bd257e40-8799-42ac-88d0-f76e0faf3886&pf_rd_r=TF2TW7AMFF8DKJOVYAQW&psc=1&refRID=TF2TW7AMFF8DKJOVYAQW	\$ 95.147,00	6/05/2021	\$ 190.294,00	0,507%
Cable RS232	Conexión hembra hembra 3 metros	Cable RS232	4	https://es.aliexpress.com/item/32959523348.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.31ec63a9UG4xOv&algo_pvid=0525edda-1a5f-4567-be5a-c487218efa26&algo_expid=0525edda-1a5f-4567-be5a-c487218efa26-20&btsid=0b0a556b16205803194032602e1f3d&ws_ab_test=searchweb0_0_searchweb201602_searchweb201603	\$ 13.874,00	6/05/2021	\$ 55.496,00	0,148%
Cable trenzado	Conexión eléctrica	Cable trenzado generico	5		\$ 20.000,00	6/05/2021	\$ 100.000,00	0,266%

Manguera agua	Manguera bi 3/4 pulgada 1 metro	Manquera de agua generica	2	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/16271/Manguera-bi-3-4-pulgada-x-1-metro/16271	\$ 10.900,00	6/05/2021	\$ 21.800,00	0,058%	
Conectores de agua y electricos	Conectores de conversión, soldadura, borneras		1		\$ 50.000,00	6/05/2021	\$ 50.000,00	0,133%	
Tubo PVC 3/4"	Tubo de fluido 3/4"	Tubo PVC 3/4" 1 M	8	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/373399/Tubo-Preesion-1-M-Rde-21-3-4%22/373399	\$ 4.750,00	6/05/2021	\$ 38.000,00	0,101%	
Tubo PVC 1"	Tubo de fluido 1"	Tubo PVC 1" 1 M	1	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65879/Tubo-1x3m-Preesion-21-200-psi/65879	\$ 13.900,00	6/05/2021	\$ 13.900,00	0,037%	
Molde para jabón artesanal	Solido de madera y blando de plastico interno, 24.3 x 5.2 x 7 cm, 884.52 cm^3	D0019	5	https://www.alibaba.com/product-detail/Heavy-Duty-Storage-Rack-Steel-Shelf_62266990149.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.390e37cer3nl5s	\$ 70.752,00	24/05/2021	\$ 353.760,00	0,943%	
Estantería	Acero inoxidable, 2,00 x 0,86 x 0,3 m	Intedeck Colombia	1	https://estanteriasmetalicas.com.co/	\$ 277.700,00	24/05/2021	\$ 277.700,00	0,740%	
Estructura de acero	Acero inoxidable, soporta los elementos de almacenamiento, control y protección		1		\$ 11.500.000,00	24/05/2021	\$ 11.500.000,00	30,647%	
Gabinete para PLC	Acero galvanizado, 50 x 70 x 25 cm, calibre lamina 18'	Industrias rebra RB COF70	1	https://industriasrebra.com/tienda/productos-en-linea/cofres-2/	\$ 255.185,00	24/05/2021	\$ 255.185,00	0,680%	
Accesorios para el gabinete	Organizadores, regletas, conectores	Industrias rebra	1		\$ 300.000,00	25/05/2021	\$ 300.000,00	0,799%	
Gastos de envío	Elementos de otros países		1		\$ 1.000.000,00	26/05/2021	\$ 1.000.000,00	2,665%	
Instalación de sistema de control	Personal especializado en control de sistemas		1		\$ 5.000.000,00	27/05/2021	\$ 5.000.000,00	13,325%	
Instalación de sistema físico	Personal para juntar los elementos físicos		1		\$ 1.298.937,00	28/05/2021	\$ 1.298.937,00	3,462%	
Bodega	Costo de arriendo mensual de bodega	Bodega en Cali	1	https://www.fincaraiz.com.co/bodega-en-arriendo/cali/paseo_los_almendros-det-6344018.aspx	\$ 900.000,00	28/05/2021	\$ 900.000,00		
							Total	\$ 37.524.499,95	100%

C . Tabla de elementos investigados y que se tuvieron en cuenta para la elección final (Fuente: Propia)

Válvula									
	Diametro de paso	Voltaje	Presión	Temperatura del liquido	Tipo	Tipo de valvula	Rosca	Link	Precio a 18 Marzo 2021
Acarps 1	1-1/2" y 2"	AC110V/AC24V/DC24V/DC12V	0 - 7 Bar	De - 5 a 120°C	Normalmente cerrado	Estados	BSP, NPT hembra	https://es.aliexpress.com/item/4000177791217.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.47fe76b6f3Q9Zm&algo_pvid=a2cbd3ef-3827-4b4f-b5e4-0db2f8395aad&algo_expid=a2cbd3ef-3827-4b4f-b5e4-0db2f8395aad-34&btsid=0bb0623616154232395311836ea99c&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_searchweb201603	US \$53
Acarps 2	1 - 1/4" a 2"	220V CA, 110V CA, 24V CC, 24V CA, 12V CC	0-7 Bar	De - 5 a 80°C	Normalmente cerrado	Estados	BSP, G, NPT hembra	https://es.aliexpress.com/item/4001201551572.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.45f83725ILCh6d&algo_pvid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42&algo_expid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42-6&btsid=0bb0622e16156135797971463e0e71&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_searchweb201603	US \$23 - \$86
Hoenyzy	1/4 "3/8" 1/2 "3/4" 1"	AC220V AC110V DC24V DC 12V	0-10 Kg/cm	De - 5 a 80°C	Normalmente cerrado	Estados	BSP, NPT hembra	https://es.aliexpress.com/item/33009354768.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.45f83725ILCh6d&algo_pvid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42&algo_expid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42-11&btsid=0bb0622e16156135797971463e0e71&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_searchweb201603	US \$15 - \$34
Honqi	1/8 ", 1/4", 3/8 ", 1/2", 3/4 ", 1", 1-1/4 ", 1-1/2", 2"	220V CA/24V CA/24V CC/12V CC	0 - 7 Bar	De - 5 a 80°C	Normalmente cerrado / Normalmente abierto	Estados	BSP hembra	https://es.aliexpress.com/item/1005001999655013.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.45f83725ILCh6d&algo_pvid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42&algo_expid=cccc0000-bd32-4429-8e4e-37c6835e9f42-56&btsid=0bb0622e16156135797971463e0e71&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_searchweb201603	US \$21 - \$124
TF Water Store	1/2"	9 - 24 VDC	0 Mpa - 1Mpa	De 1 a 95°C	Memoria	Proporcional	BSP, NPT hembra	https://es.aliexpress.com/item/33040226500.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.280d6c4bafaTQd&algo_pvid=a5babb47-8462-416a-a723-68fc60a54ca2&algo_expid=a5babb47-8462-416a-a723-68fc60a54ca2-27&btsid=0b0a556a16161091651013445ea085&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_searchweb201603	US \$51.36 - 54.77

CWX Official Store	1/2"	9 - 24 VDC	0 Mpa - 1Mpa	De 1 a 90°C	Memoria	De Bola	BSP, NPT hembra	https://es.aliexpress.com/item/32812620201.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.280d6c4b-efaTQd&algo_pvid=a5babb47-8462-416a-a723-68fc60a54ca2&algo_expid=a5babb47-8462-416a-a723-68fc60a54ca2-37&btsid=0b0a556a16161091651013445ea085&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_searchweb201603	US \$11.50 - 24.00
--------------------	------	------------	--------------	-------------	---------	---------	-----------------	---	--------------------

Sensor de nivel								
	Tamaño	Voltaje	Maxima medición	Temperatura	Material	Conexión	Link	Precio a 18 Marzo 2021
Badodosecurity	30 cm	12 VDC	30 cm	De - 20 a 80°C	Metal	General, NC de alarma	https://es.aliexpress.com/item/32867341719.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.36ddf4901zpk8D&algo_pvid=cfd76f6e-d6f2-4055-8cac-4129b6b570c2&algo_expid=cfd76f6e-d6f2-4055-8cac-4129b6b570c2-26&btsid=0bb0624416156133746347145ea5dd&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_searchweb201603	US \$20
H&T Store	19x11x5cm	12 VDC	45 cm	De -10 a 75°C	Plastico	Conector a Relé	https://es.aliexpress.com/item/33012935622.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.383445d5uS2hdl&algo_pvid=03998b3b-aab2-49b5-83c5-a48b5300dedb&algo_expid=03998b3b-aab2-49b5-83c5-a48b5300dedb-18&btsid=0bb0622c16156131127038852e752d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_searchweb201603	US \$25
Vistronica	304.8 x 25.4 x 0.381 mm	10 VDC	81,28 cm	De -9 a 65°C	Plastico	Estandar/ Resistiva	https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-nivel-de-liquido-etape-12-detail.html	COP \$236.808,33

Dingtek F550	70x72x72 mm	10 - 32 VDC	200 cm	De -20 a 70°C	Plastico/Metal	Estandar/RS485	https://www.alibaba.com/product-detail/F550-ultrasonic-sensor-wireless-fuel-level_60552720031.html	COP \$382.676
--------------	-------------	-------------	--------	---------------	----------------	----------------	---	---------------

Sensor de temperatura								
	Tamaño	Voltaje	Medición	Valor termico	Material	Conección	Link	Precio a 18 Marzo 2021
Watchage222	10 mm 1/8	12V-24V	De -40 a 165°C	50k	Metal	Estandar/ Resistiva	https://es.aliexpress.com/item/4001216736459.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.564b3f77ddEsID&algo_pvid=3f2c7546-8573-4e4a-b50f-790b30bb8bb7&algo_expid=3f2c7546-8573-4e4a-b50f-790b30bb8bb7-28&btsid=0bb0623216156137441245718eb5ab&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602__searchweb201603	US \$2
CgC	1 m	12 VDC	De 0 a 600°C	50k	Metal	Estandar/ Resistiva	https://es.aliexpress.com/item/4000097994613.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38944cd7s6NdGx&algo_pvid=345ae5f7-9e2f-4a10-a66f-5a1f9545f692&algo_expid=345ae5f7-9e2f-4a10-a66f-5a1f9545f692-0&btsid=0bb0624316156138781063170eea9a&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602__searchweb201603	US \$2.75 - 11.62
Shenzhen Taida Century	6,5 mm	12 VDC	De 0 a 165°C	50k	Metal	Estandar/ Resistiva	https://es.aliexpress.com/item/1005002101188391.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38944cd7s6NdGx&algo_pvid=973a1e6b-ecdf-4f57-b614-7e66999ac783&algo_expid=973a1e6b-ecdf-4f57-b614-7e66999ac783-13&btsid=0bb0624316156140861751447eeb1e&ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602__searchweb201603	US \$2.50 - 12.50

Vistronica PT	50 x 5 mm	12V-24V	De 0 a 400°C	50k	Metal	Estandar/ Resistiva	https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-temperatura-pt100-50mm-detail.html	COP \$15.086,82
Vistronica DS	6 x 45 mm	3 - 5.5 VDC	De -55 a 125°C	50k	Metal y plastico	Digital 64 bits	https://www.vistronica.com/	COP \$10.617,41
Didacticas Electrónicas	30 cm x 1.5 m x 7 mm	12V-24V	De -50 a 420°C	50k	Metal	Estandar/ Resistiva	https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-termocupla-tipo-k-30cm-termo-k-ind-30-sensores-de-temperatura-sondas-termocuplas-termocupla-tipo-k-termopar-termopares-industrial-detail	COP \$ 41.650,00

Tanques							
	Capacidad	Material	Salida Inferior	Dimensiones	Link	Forma	Precio a 18 Marzo 2021
Hopcat S22	20 L / 4 Gal	Acero inoxidable	3/4	27x27x58cm	https://www.hopcat.eu/product-page/hopcat-baby-ss-22l-4-gal-conical-fermenter-pro-version-august-pre-order	Conico	EUR 140
Welonstar	35 L	Acero inoxidable	1/2	38x60x38cm	https://es.aliexpress.com/item/1005001437680356.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.735334d38cBLIJ&algo_pvid=8e421094-7de5-4928-8de3-057557dbf81f&algo_expid=8e421094-7de5-4928-8de3-057557dbf81f-48&btsid=0bb0623216161109138264286e3f6d&ws_abtest=searchweb0_0_searchweb20160_searchweb20160_3_	Conico	US \$246

Agape Brew	30 L	Acero inoxidable	1" Sin Brida	35x35x85cm	https://es.aliexpress.com/item/1005002101188391.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38944cd7s6NdGx&algo_pvid=973a1e6b-ecdf-4f57-b614-7e66999ac783&algo_expid=973a1e6b-ecdf-4f57-b614-7e66999ac783-13&btsid=0bb0624316156140861751447eeb1e&ws_abtest=searchweb0_0_searchweb201602_searchweb201603_3_	Conico	US \$90
Foshan Shunde	30 L	Acero inoxidable	1/2"	34x34x60cm	https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-temperatura-pt100-50mm-detail.html	Conico	US \$140
Yiwu Sneeceman	180 L	Acero inoxidable	1" Sin Brida	97x48x48cm	https://es.aliexpress.com/item/4000185962334.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1a891805XD CpQn&algo_pvid=b9f027c7-2f50-429f-8428-964cd6e7803a&algo_expid=b9f027c7-2f50-429f-8428-964cd6e7803a-21&btsid=0bb0624516161120371425393e90af&ws_abtest=searchweb0_0_searchweb201602_searchweb201603_	Conico	US \$303,16

Controlador Lógico									
	Tipo de controlador	Input Analógico	Input Digital	Output Relé	Máximo de programación	Ethernet	RS485	Link	Precio a 18 Marzo 2021
Raspberry PI zero	ARDUINO	0	20	0	600 bloques	NO	NO	https://es.aliexpress.com/item/1005001993063894.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.515c391bcFebGy&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a555516172232873262958eb2da&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1,searchweb201603	US \$19,72
Raspberry Pro	ARDUINO	0	20	0	8000 Bloques	SI	NO	https://es.aliexpress.com/item/4001360154479.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.515c391bcFebGy&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a555516172232873262958eb2da&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603	US \$90
Arduino Mega	ARDUINO	8	30	0	8000 Bloques	NO	NO	https://es.aliexpress.com/item/1005001993063894.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.515c391bcFebGy&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a555516172232873262958eb2da&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1,searchweb201603	US \$19,72
Controllino	PLC / ARDUINO	2	12	5	-	SI	NO	https://www.controllino.com/product/controllino-maxi-power-automation/	EUR 209
GCAN	PLC	1	1	1	600 bloques	SI	SI	https://es.aliexpress.com/item/4001053671059.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.48f26f740Vha5E&algo_pvid=null&algo_expid=null&btsid=0b0a5556e16161587644248863e8dec&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603	US \$238
LOGO!	PLC	4 (0 - 10v)	8	4	400 Bloques	SI	NO	https://es.aliexpress.com/item/1005002254089681.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.48f26f740Vha5E&algo_pvid=0f3b723a-ece9-4e11-b39f-ec8b298b7bf2&algo_expid=0f3b723a-ece9-4e11-b39f-ec8b298b7bf2-10&btsid=0b0a5556e16161587644248863e8dec&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1,searchweb201603	US \$100

Coolmay	PLC	16	12	8	32000 Bloques	NO	SI	https://es.aliexpress.com/item/4000215447419.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.48f26f740Vha5E&algo_pvid=0f3b723a-ece9-4e11-b39f-ec8b298b7bf2&algo_expid=0f3b723a-ece9-4e11-b39f-ec8b298b7bf2-28&btsid=0b0a556e16161587644248863e8dec&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_searchweb201603	US \$264
AB 2080-LC20-20QBB	PLC	4	12	1	32000 Bloques	SI	SI	https://www.alibaba.com/product-detail/Allen-Bradley-2080-LC20-20QBB-Micro820_1600194369590.html?spm=a27aq_industry_category_productlist.dt.160.1.45b23c28zcK8Nw	COP 443,507.39
C2-01CPU	PLC	0	0	0	8000 Bloques	SI	SI	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plus_plcs_(stackable_micro_modular)/cpus/c2-01cpu	US \$89
BX-DM1-10ER-D	PLC	0	6	4	64000 Bloques	SI	SI	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/domore_series_(brx_h2_t1h)_plcs_(micro_modular_-_stackable)/brx_series_plcs_(stackable_micro_brick)/10_point_micro_plc_units_(bx_10-z10e)/bx-dm1-10er-d	US \$253
D0-05DD	PLC	0	8	6	2000 Bloques	NO	SI	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/directlogic_series_plcs_(micro_to_small_brick_-_modular)/directlogic_05_(micro_brick_plc)/plc_units/d0-05dd	US \$134
C0-12DD1E-D	PLC	2	4	4	8000 Bloques	SI	SI	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/plc_units/c0-12dd1e-d	US \$191

Manta termica								
	Temperatura	Conexión	Material	Dimensiones	Watts	Conexión externa	Link	Precio a 10/04/21
DRUM - S120 300	20 - 120°C	230 VAC	Caucho de silicona	125x800 mm	300 W	Si	http://www.frankberg.nl/drum-heaters.html	US \$190
DRUM - S120 800	20 - 120°C	230 VAC	Caucho de silicona	125x1300 mm	800 W	Si	http://www.frankberg.nl/drum-heaters.html	US \$225

Mezcladora						
	Conexión	Diametro de las aspas	Velocidad (RPM)	Cantidad de aspas	Link	Precio a 10/04/21

Chemical Electric Motor Mixer For Industrial Dosing Tank With Agitator	220 / 380 VAC 0.35 kW Trifasica	200mm	40 - 88	3	https://www.alibaba.com/product-detail/Chemical-Electric-Motor-Mixer-For-Industrial_62181252319.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_titl_e.17b114faK2GipN	\$ 327.696,27
	220 / 380 VAC 0.35 kW Trifasica	200mm	1 - 130	3	https://www.alibaba.com/product-detail/Quality-Chemical-dosing-tank-mixing-shampoo_62316293170.html?spm=a2700.details.0.0.27bf5c68eGEfMq	\$ 412.845,00

Relés Valvulas y calentadores

	Señal de control	Señal a controlar	Cantidad de señales	Montura	Link	Precio a 10/04/21
52001	24 VDC/AC	Max 250VDC/AC 6A	1	35 mm DIN	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/relays_-z-timers/electromechanical_relays/slim_interface_relays/52001	\$ 35.680,00

Variador de frecuencia para el motor

	Conexión	Control	Output Frecuency		Link	Precio a 10/04/21
GS1-20P5	230 VAC - 2.5A	RS-485 / 4 - 20 mA	1 - 400 Hz	35 mm DIN	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/drives_-a-soft_starters/ac_variable_frequency_drives_(vfd)/micro_gs1-20p5	\$ 461.097,00

GS23-20P5	230 VAC - 2.8A	RS-485 / USB-B	0.1 - 600 Hz	35 mm DIN	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/drives-soft-starters/ac-variable-frequency-drives(vfd)/general-purpose/gs23-20p5	\$ 615.968,00
-----------	----------------	----------------	--------------	-----------	---	---------------

Transformador y accesorios			
	Potencia Max	Link	Precio a 10/04/21
Simran AC-5000	5000 Watts	https://www.amazon.com/Simran-AC-5000-Voltage-Converter-Transformer/dp/B004M4PR44?th=1	\$ 640.412,00
WPS 220V/240V 13 A	2500 Watts	https://www.amazon.com/-/es/corriente-WPS-estabilizador-universales-Electronics/dp/B000784H4K/ref=pd_bxgy_img_2/136-2123673-3439432?encoding=UTF8&pd_rd_i=B000784H4K&pd_rd_r=c55da1ef-aa38-4751-8613-fd65183ece34&pd_rd_w=xYWwS&pd_rd_wg=XTcfb&pf_rd_p=b257e40-8799-42ac-88d0-f76e0faf3886&pf_rd_r=TF2TW7AMFF8DKJ0VYAQW&psc=1&refRID=TF2TW7AMFF8DKJ0VYAQW	\$ 95.147,00

Fusibles y breakers						
	Tipo y ubicación	Estilo	Amperaje	Disipancia Max	Link	Precio a 10/04/21

WSPV-30	Fusible/Secundario	Fusible	30A	3,5W	https://www.alibaba.com/product-detail/SRD-30-Electric-Fuse-Holders-DC_1600142966578.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.3ef148d1M8TSTH	\$ 82.442,00
SRD-30	Fusible/Secundario	Fusible	32A	4W	https://www.alibaba.com/product-detail/WSPV-30-CE-10-38mm-dc_60619086148.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.3ef148d1M8TSTH	\$ 5.000,00
FAZ-D20-3-NA	Breaker/Primario	Tres polos	20A	480Y / 277 VAC / 96 VDC	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/circuit_protection_-z- fuses_-z- disconnects/ul_489_miniature_circuit_breakers/eaton_480v-z-277vac_miniature_circuit_breakers_(faz-na_series)/3-pole_(0.5a-32a)/faz-d20-3-na	\$ 241.222,00
FAZ-B1-2-NA-L	Breaker/Secundario	Dos polos	1A	240 VAC / 96 VDC	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/circuit_protection_-z- fuses_-z- disconnects/ul_489_miniature_circuit_breakers/eaton_480v-z-277vac_miniature_circuit_breakers_(faz-na_series)/3-pole_(0.5a-32a)/faz-d20-3-na	\$ 111.333,00

FAZ-C3-1-NA-SP	Breaker/Secundario	Un polo	3A	277 VAC / 48 VDC	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/circuit_protection_-z- fuses -z- disconnects/ul_489_miniature_circuit_breakers/eaton_480v-z-277vac_miniature_circuit_breakers(faz-na_series)/1-pole(0.5a-32a)/faz-c3-1-na-sp	\$ 79.789,00
----------------	--------------------	---------	----	------------------	---	--------------

HMI						
	Lenguaje de programación	Conexiones Ethernet	Conexiones USB	Conexiones Serial	Link	Precio a 06/05/21
EA3-T4CL	EA-MG-PGMSW	10/100 Mbps	2.0 Tipo B	RS485/RS232	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/hmi_(human_machine_interface)/cmore_micro_panels/operator_panels_(all_sizes)/ea3-t4cl	\$ 1.112.592,00

Cables y conexiones			
Descripción	Largo (Metros)	Link	Precio a 06/05/21

Cable RS232		3	https://es.aliexpress.com/item/32959523348.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.31ec63a9UG4xOv&algo_pvid=0525eda-1a5f-4567-be5a-c487218efa26&algo_expid=0525edda-1a5f-4567-be5a-c487218efa26-20&btsid=0b0a556b16205803194032602e1f3d&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0	\$ 13.874,00
Cable trenzado		10		\$ 20.000,00
Manguera	Manguera bi 3/4 pulgada	1	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/16271/Manguera-bi-3-4-pulgada-x-1-metro/16271	\$ 10.900,00

Modulo de salidas del PLC						
	Puntos	Tipo	Output (VDC)	Corriente por punto	Link	Precio a 10/04/21
CO-08TR	8	Relay	6 - 27 VDC	Hasta 1 A	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable-controllers/click-series-plcs/click-plcs-(stackable-micro-brick)/stackable-i-zo-modules/c0-08tr	\$ 159.188,00

CO-08TD1	8	Sinking	3.3 - 27 VDC	0,3 A	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable-controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z_o_modules/c0-08td1	\$ 139.403,00
CO-08TD2	8	Sourcing	12 - 24 VDC	0,3 A	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable-controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z_o_modules/c0-08td2	\$ 139.403,00
CO-04TRS-10	4	Relay	6 - 24 VDC	Hasta 10 A	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable-controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z_o_modules/c0-04trs-10	\$ 198.099,00
CO-16TD1	16	Sinking	5 - 27 VDC	0,1 A	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable-controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z_o_modules/c0-16td1	\$ 176.088,00

Modulo de entradas del PLC

	Puntos	Rango de señal	Link	Precio a 10/04/21
C0-04AD-1	4	0 - 20 mA	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z-o_modules/c0-04ad-1	\$ 354.971,00
C0-04THM	4	0-1.25 VDC, 0-39.0625 mVDC, +/-39.0625 mVDC, +/-78.125 mVDC, 0-156.25 mVDC, +/-156.25 mVDC	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z-o_modules/c0-04thm	\$ 617.664,00

Fuente de poder PLC

	Output (VDC)	Output (A)	Link	Precio a 10/04/21
C0-01AC	24	1,3	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/power_supplies/c0-01ac	\$ 155.528,00

Moldes

	Elementos	Medidas	Link	Precio a 24/05/21
--	-----------	---------	------	-------------------

D0019	Solido de madera y blando de plastico interno	24.3 x 5.2 x 7 cm	https://es.aliexpress.com/item/32833882962.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.359237ddaVEuat&algo_pvid=ff456a2a-5536-45fc-af01-8ac55078a13a&algo_expid=ff456a2a-5536-45fc-af01-8ac55078a13a-38&btsid=0bb0623f16218987028123383e9c24&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602,searchweb201603	\$ 70.752,00
-------	---	-------------------	---	--------------

Estantería				
	Elementos	Medidas	Link	Precio a 24/05/21
GCSJ	Acero inoxidable	1.50 x 0.6 x 2.0 m	https://www.alibaba.com/product-detail/Heavy-Duty-Storage-Rack-Steel-Shelf_62266990149.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.390e37cer3n15s	295,888

Ingredientes					
	Volumen (mL)	Unidades para receta el tanque	Link	Precio a 24/05/21	Costo por tanque
Coco	500	65	https://www.todoquimicosdelquindio.com/industrial	17000	\$ 1.105.000,00

Aceite de Oliva	500	65	https://www.todoquimicosdelquindio.com/industrial	15600	\$ 1.014.000,00
Soda caustica	500 gr	#¡VALOR!	https://www.todoquimicosdelquindio.com/industrial	3800	#¡VALOR!
Adua gestilada	500	65	https://www.todoquimicosdelquindio.com/industrial	3400	\$ 221.000,00
Solución de soda caustica	500	35,468	https://www.todoquimicosdelquindio.com/industrial	3533,333333	\$ 125.320,27

D . Tabla de elementos de control que se tuvieron en cuenta para la elección final (Fuente: Propia)

Elementos de control								
Tipo de elemento	Conexión	Referencia	Cantidad	Link	Precio COP/Unidad	Fecha de toma de precio	Total	Porcentaje
Unidad de Control	Discrete Input: 4-point, DC, Analog Input: 2-channel, current/voltage, Discrete Output: 4-point, sinking, Analog Output: 2-channel, current/voltage.	CO-12DD1E-D	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/plc_units/co-12dd1e-d	\$ 693.274,70	8/04/2021	\$ 693.274,70	2,240%
Fuente del PLC	100-240 VAC nominal input, 24 VDC nominal output, 1.3A continuous	CO-01AC	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/power_supplies/co-01ac	\$ 159.095,35	30/04/2021	\$ 159.095,35	0,514%
Modulo de entradas analógicas	4-channel, current, 13-bit, input current signal range(s) of 0-20 mA	CO-04AD-1	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z-o_modules/co-04ad-1	\$ 363.111,00	30/04/2021	\$ 363.111,00	1,173%
Modulo de termocuplas	0-1.25 VDC, 0-39.0625 mVDC, +/- 39.0625 mVDC, +/- 78.125 mVDC, 0-156.25 mVDC, +/- 156.25 mVDC	CO-04THM	2	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z-o_modules/co-04thm	\$ 617.664,00	30/04/2021	\$ 1.235.328,00	3,992%
Modulo de salidas de control	16-point, 5-27 VDC, sinking, 2 isolated common(s), 8 point(s) per common, 0.1A/point	CO-16TD1	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/programmable_controllers/click_series_plcs/click_plcs_(stackable_micro_brick)/stackable_i-z-o_modules/co-16td1	\$ 179.684,00	30/04/2021	\$ 179.684,00	0,581%
Human Machine Interface	Ethernet, RS485/RS232, USB 2.0 Tipo B	EA3-T4CL	1	https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/hmi_(human_machine_interface)/c-more_micro_panels/operator_panels_(all_sizes)/ea3-t4cl	\$ 1.112.592,00	6/05/2021	\$ 1.112.592,00	3,595%

E . Programación de la interfaz de usuario

Manejo de macros y sistema de recetas en Easy Builder Pro.

```

macro_command main()

//Este macro se encarga de comparar
//el volumen de los tanques de ingredientes
//y el volumen deseado por la receta,
//en caso de que el volumen deseado
//sea mayor al volumen existente
//se activa una alarma que muestra que
//ingrediente es insuficiente

unsigned short X_1,X_2,X_3,X_4,X_5
unsigned short Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5
unsigned short ON = 1, OFF = 0, total
unsigned short A1,A2,A3,A4,A5,Ready

GetData(X_1, "MODBUS TCP/IP", 3x, 7, 1)
GetData(X_2, "MODBUS TCP/IP", 3x, 8, 1)
GetData(X_3, "MODBUS TCP/IP", 3x, 9, 1)
GetData(X_4, "MODBUS TCP/IP", 3x, 10, 1)
GetData(X_5, "MODBUS TCP/IP", 3x, 11, 1)

GetData(Y_1, "MODBUS TCP/IP", 3x, 12, 1)
GetData(Y_2, "MODBUS TCP/IP", 3x, 13, 1)
GetData(Y_3, "MODBUS TCP/IP", 3x, 14, 1)
GetData(Y_4, "MODBUS TCP/IP", 3x, 15, 1)
GetData(Y_5, "MODBUS TCP/IP", 3x, 16, 1)

```

(a) Macro encargado de alarma de volumen parte 1

```

if X_4 < Y_4 then
  SetData(ON, "Local HMI", LB, 13, 1)
  A4 = 0
else
  SetData(OFF, "Local HMI", LB, 13, 1)
  A4 = 1
end if

if X_5 < Y_5 then
  SetData(ON, "Local HMI", LB, 14, 1)
  A5 = 0
else
  SetData(OFF, "Local HMI", LB, 14, 1)
  A5 = 1
end if

Ready = A1*A2*A3*A4*A5

SetData(Ready, "Local HMI", LB, 15, 1)

total = Y_1+Y_2+Y_3+Y_4+Y_5

SetData(total, "Local HMI", RW, 54, 1)

end macro_command

```

(c) Macro encargado de alarma de volumen parte 3

```

if X_1 < Y_1 then
  SetData(ON, "Local HMI", LB, 10, 1)
  A1 = 0
else
  SetData(OFF, "Local HMI", LB, 10, 1)
  A1 = 1
end if

if X_2 < Y_2 then
  SetData(ON, "Local HMI", LB, 11, 1)
  A2 = 0
else
  SetData(OFF, "Local HMI", LB, 11, 1)
  A2 = 1
end if

if X_3 < Y_3 then
  SetData(ON, "Local HMI", LB, 12, 1)
  A3 = 0
else
  SetData(OFF, "Local HMI", LB, 12, 1)
  A3 = 1
end if

```

(b) Macro encargado de alarma de volumen parte 2

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0,x

//Habilita el proceso de inicio de maquina
// y cambia la pantalla para visualizar el proceso
//de producción de jabón.

GetData(x, "Local HMI", LB, 15, 1)

if x == 1 then

  SetData(OFF, "Local HMI", LB, 0, 1)

  SetData(ON, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 605, 1)
  //Habilita el proceso de inicio de maquina
  DELAY(10)
  SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 605, 1)

  SetData(ON, "Local HMI", LB, 3, 1)

end if

end macro_command

```

(d) Macro encargado de habilitar el inicio del proceso

Figura 10.1: Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 1.

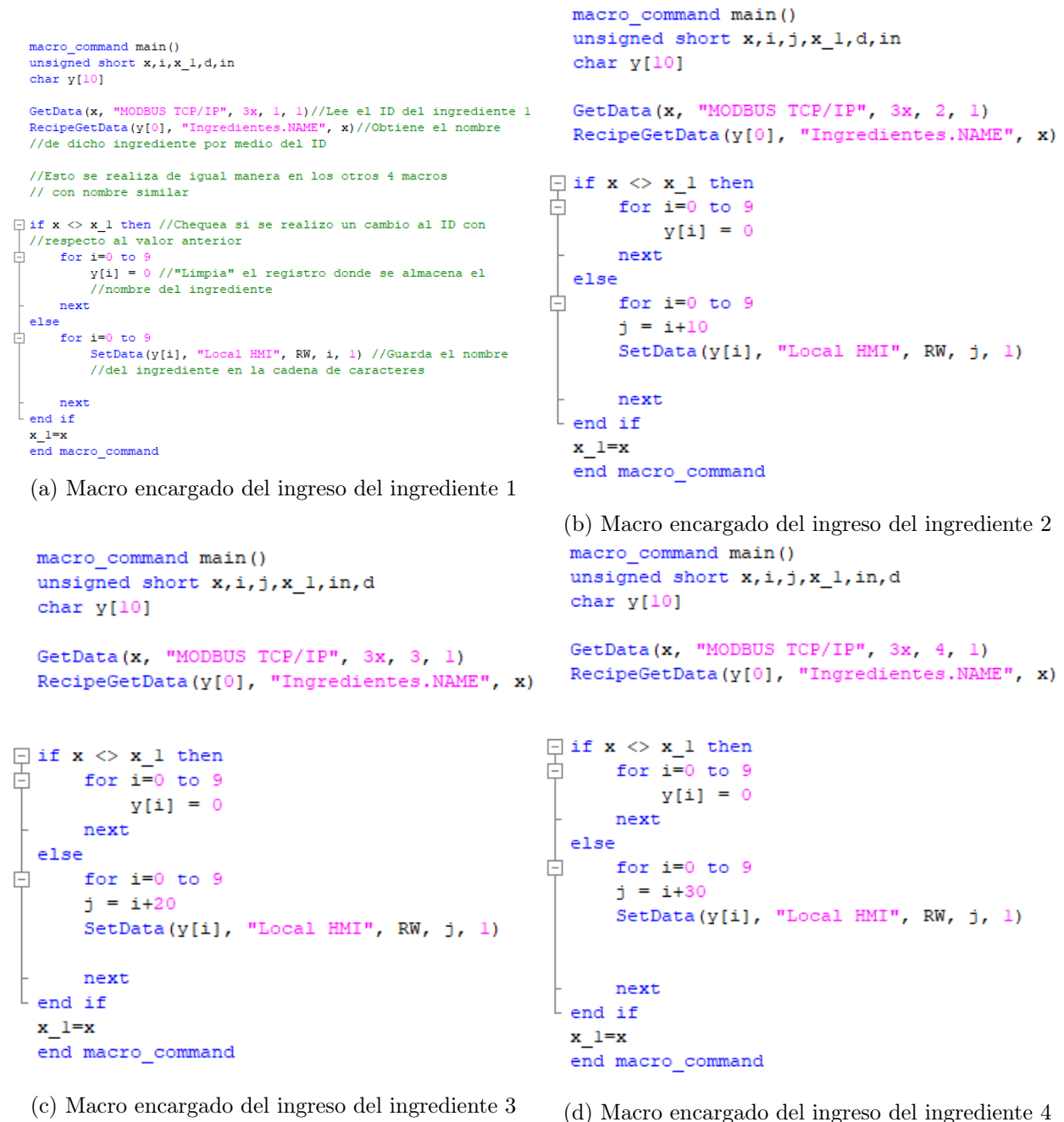


Figura 10.2: Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 2.

```

macro_command main()
unsigned short x,i,j,x_1,d
char y[10]

GetData(x, "MODBUS TCP/IP", 3x, 5, 1)
RecipeGetData(y[0], "Ingredientes.NAME", x)

if x <> x_1 then
  for i=0 to 9
    y[i] = 0
  next
else
  for i=0 to 9
    j = i+40
    SetData(y[i], "Local HMI", RW, j, 1)
  next
end if
x_1=x
end macro_command

```

(a) Macro encargado del ingreso del ingrediente 5

```

macro_command main()
unsigned short X_1,X_2,X_3,X_4,X_5, total
unsigned short Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5
unsigned short ON = 1, OFF = 0

GetData(X_1, "Local HMI", RW, 50, 1)//Porcentaje de ingrediente 1
GetData(X_2, "Local HMI", RW, 51, 1)//Porcentaje de ingrediente 2
GetData(X_3, "Local HMI", RW, 52, 1)//Porcentaje de ingrediente 3
GetData(X_4, "Local HMI", RW, 53, 1)//Porcentaje de ingrediente 4
GetData(total, "Local HMI", RW, 55, 1)//Volumen deseado de los aceites

Y_1 = ROUND(total/100)*X_1//Calcula la cantidad de los aceites
//requeridos por la receta
Y_2 = ROUND(total/100)*X_2
Y_3 = ROUND(total/100)*X_3
Y_4 = ROUND(total/100)*X_4

SetData(Y_1, "MODBUS TCP/IP", 4x, 12, 1)//Envia dicho volumen al PLC
SetData(Y_2, "MODBUS TCP/IP", 4x, 13, 1)
SetData(Y_3, "MODBUS TCP/IP", 4x, 14, 1)
SetData(Y_4, "MODBUS TCP/IP", 4x, 15, 1)

end macro_command

```

(b) Macro encargado de calcular el volumen de los aceites

(a) Macro encargado del ingreso del ingrediente 5

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0, enable

//Se encarga de comparar el estado del switch
//de prendido y apagado y con respecto a
//su estado, habilita la variable de Start o
//Stop en el PLC.

GetData(x, "Local HMI", LB, 5, 1)

if enable == 0 then
  SetData(ON, "Local HMI", LB, 0, 1)// Change Screen
  SetData(ON, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 604, 1) // Bit 4x 604
  //representa la variable de Start_Recipe
  DELAY(10)//Delay de 10ms
  SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 604, 1)
end if

end macro_command

```

(c) Macro encargado de cambio de pantallas

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0, x

//Se encarga de comparar el estado del switch
//de prendido y apagado y con respecto a
//su estado, habilita la variable de Start o
//Stop en el PLC.

GetData(x, "Local HMI", LB, 4,1)

if x == 0 then
  SetData(ON, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 600, 1)
  DELAY(15)
  SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 600, 1)
else
  SetData(ON, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 608, 1)
  DELAY(15)
  SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 608, 1)
end if

ASYNC_TRIG_MACRO("RST")

end macro_command

```

(d) Macro encargado de habilitar el inicio o detención del proceso

Figura 10.3: Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 3.

```

macro_command main()

//Este macro chequea que el porcentaje
//total ingresado por la receta sume un 100%

unsigned short X_1,X_2,X_3,X_4,X_5, total
unsigned short ON = 1, OFF = 0

GetData(X_1, "Local HMI", RW, 50, 1)
GetData(X_2, "Local HMI", RW, 51, 1)
GetData(X_3, "Local HMI", RW, 52, 1)
GetData(X_4, "Local HMI", RW, 53, 1)

total = X_1 + X_2 + X_3 + X_4

```

```

if total <> 100 then
  SetData(ON, "Local HMI", LB, 2, 1)
else
  SetData(OFF, "Local HMI", LB, 2, 1)
end if

end macro_command

```

(a) Macro encargado de revisar el contenido correcto de la receta

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0

//Limpia la variable de ingreso de volumen
//a los tanques de ingredientes y los inicializa en 0

SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 7, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 8, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 9, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 10, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 11, 1)

end macro_command

```

(c) Macro encargado de limpiar el ingreso de valores a los tanques de ingredientes

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0

SetData(ON, "Local HMI", LB, 1, 1)

SetData(ON, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 603, 1)
//Habilita el estado de ingreso de volumen a los tanques
DELAY(10)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 603, 1)

end macro_command

```

(b) Macro encargado de habilitar el estado de ingreso de volumen a los tanques

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0, i, TT = 20, x
char y[56]

//Inicializa todas las variables locales
//de HMI y las variables de entrada de ID
//y volumen en cero y llama a la funcion
//del PLC para reiniciar la maquina.

SetData(ON, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 607, 1)
DELAY(10)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x_Bit, 607, 1)

GetData(x, "MODBUS TCP/IP", 3x_Bit, 611, 1)

```

```

if x == 1 then
  for i=0 to 55
    y[i] = 0
    SetData(y[i], "Local HMI", RW, i, 1)
  next

```

(d) Macro encargado de limpiar las variables y reiniciar el proceso parte 1.

Figura 10.4: Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 4.

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0, i, TT = 20
char y[56]

//Inicializa todas las variables locales
//de HMI y las variables de entrada de ID
// y volumen en cero
for i=0 to 55
  y[i] = 0
  SetData(y[i], "Local HMI", RW, i, 1)
next

SetData(OFF, "Local HMI", LB, 1, 1)
SetData(OFF, "Local HMI", LB, 3, 1)
SetData(OFF, "Local HMI", LB, 5, 1)

SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 1, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 2, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 3, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 4, 1)

SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 7, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 8, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 9, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 10, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 11, 1)

SetData(OFF, "Local HMI", LB, 6, 1)

end if
end macro_command

```

(a) Macro encargado de limpiar las variables y reiniciar el proceso parte 2.

```

macro_command main()
unsigned short ON = 1, OFF = 0, i, TT = 20
char y[56]

//Inicializa todas las variables locales
//de HMI y las variables de entrada de ID
// y volumen en cero
for i=0 to 55
  y[i] = 0
  SetData(y[i], "Local HMI", RW, i, 1)
next

SetData(OFF, "Local HMI", LB, 1, 1)
SetData(OFF, "Local HMI", LB, 3, 1)
SetData(OFF, "Local HMI", LB, 5, 1)
SetData(OFF, "Local HMI", LB, 6, 1)

SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 1, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 2, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 3, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 4, 1)

SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 7, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 8, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 9, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 10, 1)
SetData(OFF, "MODBUS TCP/IP", 4x, 11, 1)

end macro_command


```

(b) Macro encargado de inicializar las variables en cero

Figura 10.5: Macros correspondientes a la interfaz de usuario parte 5.

F . Tablas de conexión de servicios y costos energéticos en Cali y áreas aledañas.

Tablas correspondientes a precios de la empresa de servicios públicos EMCALI con respecto a precios de instalación de servicios y energía eléctrica.

ACORDE CON LO ESTABLECIDO EN LA RESOLUCIÓN CREG 225 DE 1997, EMCALI E.I.C.E. E.S.P. PUBLICA LAS SIGUIENTES TARIFAS PARA LA VIGENCIA 2021 POR LOS SERVICIOS RELACIONADOS CON LA CONEXIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, REALIZADAS POR LAS UNIDADES DE MANTENIMIENTO, DE PROYECTOS MEDIA TENSIÓN, CONTROL ENERGÍA DE LA GERENCIA UNIDAD ESTRATÉGICA DEL NEGOCIO DE ENERGÍA							
ITEM	DESCRIPCIÓN UNIDAD DE MANTENIMIENTO	PRECIO 2021 (SIN IVA)	IVA	ITEM	DESCRIPCIÓN UNIDAD DE MANTENIMIENTO	PRECIO 2021 (SIN IVA)	IVA
47006	INSTALACION DE UN (1) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 34.5 KV - SEMANA-ZONA URBANA	547.114	S	47185	RETIRO E INSTALACION DE UN (1) JUEGO DE PROTECCIONES A 34.5 KV - SEMANA-ZONA RURAL	820.673	S
47003	RETIRO DE POSTE SECUNDARIO ORDINARIO	204.444	S	47188	RETIRO E INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES A 13.2 KV - SEMANA-ZONA URBANA	475.625	S
47004	INSTALACION DE UN (1) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 13.2 KV - SEMANA-ZONA URBANA	237.814	S	47191	RETIRO E INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES A 13.2 KV - SEMANA-ZONA RURAL	594.535	S
47007	INSTALACION DE UN (1) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 13.2 KV - SEMANA-ZONA RURAL	356.722	S	47194	RETIRO E INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES A 34.5 KV - SEMANA-ZONA URBANA	820.673	S
47010	INSTALACION DE UN (1) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 34.5 KV - SEMANA-ZONA RURAL	683.896	S	47197	RETIRO E INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES A 34.5 KV - SEMANA-ZONA RURAL	957.453	S
47013	INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 34.5 KV - SEMANA-ZONA URBANA	356.722	S	47200	RETIRO E INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES A 13.2 KV - SEMANA-ZONA URBANA	713.442	S
47016	INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 13.2 KV - SEMANA-ZONA RURAL	475.627	S	47203	RETIRO E INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES A 13.2 KV - SEMANA-ZONA RURAL	832.351	S
47019	INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 34.5 KV - SEMANA-ZONA URBANA	683.896	S	47206	RETIRO E INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES A 34.5 KV - SEMANA-ZONA URBANA	1.094.232	S
47023	INSTALACION DE DOS (2) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 34.5 KV - SEMANA-ZONA URBANA	820.673	S	47209	RETIRO E INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES A 34.5 KV - SEMANA-ZONA RURAL	1.231.010	S
47025	INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 13.2 KV - SEMANA-ZONA URBANA	475.625	S	47300	PRUEBA DE CABLE MONOPOLAR	439.061	S
47028	INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 13.2 KV - SEMANA-ZONA RURAL	594.535	S	47301	ELABORACION DE TERMINALES ELAST.	439.061	S
47031	INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 34.5 KV - SEMANA-ZONA URBANA	820.673	S	47302	ELABORACION DE TERMINALES Y CODOS.	878.121	S
47034	INSTALACION DE TRES (3) JUEGO DE PROTECCIONES Y/O UN ELEMENTO A 34.5 KV - SEMANA-ZONA RURAL	957.453	S	47305	APERTURA Y CIERRE DE PUENTES EN CALIENTE (MONOF O TRIFASICO)	475.625	S
47038	PARTICION DOBLE TERMINAL EN 34.5 KV	1.549.651	S	47307	CONVERSION CONJUNTO TERMINAL A SENCILLO CORRIDO	2.197.278	S
47039	RETIRO DE POSTE SECUNDARIO	518.522	S	47308	CONVERSION DOBLE TERMINAL A CORRIDO SENCILLO EN BANDERA	2.563.494	S
47040	RETIRO DE PUENTES	408.198	S	48000	RETIRO DE PROTECCIONES (DIA ORDINARIO) - URBANO	667.183	S
47066	HINCADA DE POSTE CON CONJUNTO, CON PROTECCIONES A 13.2 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	1.298.759	S	48002	RETIRO DE PROTECCIONES (DIA ORDINARIO) - RURAL	767.260	S
47069	HINCADA DE POSTE CON CONJUNTO, CON PROTECCIONES A 13.2 KV-ZONA RURAL-ORDINARIO	1.354.639	S	48004	INSTALACION DE UN (1) JUEGO DE PROTECCIONES O UN ELEMENTO A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - URBANO	405.053	S
47078	RETIRO E HINCADA DE POSTE NO CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 13.2 KV - ZONA URBANA-ORDINARIO	1.855.365	S	48006	INSTALACION DE UN (1) JUEGO DE PROTECCIONES O UN ELEMENTO A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - RURAL	465.812	S
47081	RETIRO E HINCADA DE POSTE NO CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 13.2 KV - ZONA RURAL-ORDINARIO	1.862.628	S	48012	INSTALACION DE TRES (3) JUEGOS DE PROTECCIONES O TRES ELEMENTOS A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - URBANO	606.987	S
47084	RETIRO E HINCADA DE POSTE NO CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 34.5 KV - ZONA URBANA-ORDINARIO	2.561.074	S	48020	HINCADA DE POSTE CON CONJUNTO SIN PROTECCIONES A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - URBANO	1.562.609	S
47087	RETIRO E HINCADA DE POSTE NO CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 34.5KV - ZONA RURAL-ORDINARIO	2.532.143	S	48022	HINCADA DE POSTE CON CONJUNTO SIN PROTECCIONES A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - RURAL	1.796.999	S
47090	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 13.2 KV - ZONA URBANA-ORDINARIO	2.226.440	S	48028	RETIRO E HINCADA DE POSTE SIN CONJUNTO A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - URBANO	1.565.512	S
47093	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 13.2 KV - ZONA RURAL-ORDINARIO	2.370.619	S	48030	RETIRO E HINCADA DE POSTE SIN CONJUNTO A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - RURAL	1.800.339	S
47096	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 34.5 KV - ZONA URBANA-ORDINARIO	2.987.917	S	48040	RETIRO DE POSTE SECUNDARIO (DIA ORDINARIO) - URBANO	686.169	S
47099	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, NO PROTECCIONES A 34.5KV - ZONA RURAL-ORDINARIO	2.921.701	S	48042	RETIRO DE POSTE SECUNDARIO (DIA ORDINARIO) - RURAL	789.099	S
47102	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, SI PROTECCIONES A 13.2 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	2.539.947	S	48048	APERTURA Y CIERRE DE PUENTES VERTICALES U HORIZONTALES A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - URBANO	932.941	S
47105	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, SI PROTECCIONES A 13.2 KV-ZONA RURAL-ORDINARIO	2.597.511	S	48052	INSTALACION DE CRUCETA A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - URBANO	529.402	S
47108	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, SI PROTECCIONES A 34.5 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	3.414.765	S	48054	INSTALACION DE CRUCETA A 34.5 KV (DIA ORDINARIO) - RURAL	608.811	S
47111	RETIRO E HINCADA DE POSTE SI CONJUNTO, SI PROTECCIONES A 34.5 KV-ZONA RURAL-ORDINARIO	3.311.263	S	48068	CONSTRUCCION DE TERMINALES (EXT 13.2 KV) (DIA ORDINARIO) - URBANO	506.243	S
47114	ELABORACION DE PUENTES VERTICALES Y HORIZONTALES A 13.2 - ZONA URBANA-ORDINARIO	475.625	S	48070	CONSTRUCCION DE TERMINALES (EXT 13.2 KV) (DIA ORDINARIO) - RURAL	616.357	S
47123	ELABORACION DE PUENTES VERTICALES Y HORIZONTALES A 34.5 - ZONA RURAL-ORDINARIO	820.673	S	48076	CONSTRUCCION DE TERMINALES (INT 13.2 KV) (DIA ORDINARIO) - URBANO	301.783	S
47126	APERTURA Y CIERRE DE PUENTES VERTICALES U HORIZONTALES A 13.2 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	356.722	S	48078	CONSTRUCCION DE TERMINALES (INT 13.2 KV) (DIA ORDINARIO) - RURAL	347.050	S
47129	APERTURA Y CIERRE DE PUENTES VERTICALES U HORIZONTALES A 34.5 KV - ZONA RURAL-ORDINARIO	475.627	S	48094	ENGANCHE DE LINEA (TEMPLADA Y REMATE DE LINEA) (DIA ORDINARIO) - URBANO	670.896	S
47138	CIERRE Y APERTURA DE PUENTES VERTICALES A 13.2 KV ZONA URBANA-ORDINARIO	237.814	S	48096	ENGANCHE DE LINEA (TEMPLADA Y REMATE DE LINEA) (DIA ORDINARIO) - RURAL	771.529	S
47141	CIERRE Y APERTURA DE PUENTES VERTICALES A 13.2 KV ZONA RURAL-ORDINARIO	356.722	S	48098	PRUEBA DE ACEPTACION DE CABLES MONOPOLARES AISLADOS (DIA ORDINARIO) - PROYECTOS - URBANO	535.962	S
47144	CIERRE Y APERTURA DE PUENTES VERTICALES A 34.5 KV ZONA URBANA-ORDINARIO	410.338	S	48100	PRUEBA DE ACEPTACION DE CABLES MONOPOLARES AISLADOS (DIA ORDINARIO) - PROYECTOS - RURAL	616.357	S
47147	CIERRE Y APERTURA DE PUENTES VERTICALES A 34.5 KV ZONA RURAL-ORDINARIO	547.114	S	48106	CONSTRUCCION DE CODOS PARA 200 AMP (DIA ORDINARIO) - URBANO	506.243	S
47148	CIERRE Y APERTURA DE PUENTES VERTICALES A 34.5 KV ZONA RURAL-SAB	547.114	S	48108	CONSTRUCCION DE CODOS PARA 200 AMP (DIA ORDINARIO) - RURAL	582.162	S
47150	INSTALACION DE PROTECCIONES DE LINEA A 13.2 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	534.787	S	48112	APERTURA Y CIERRE DE CORTA CIRCUITOS (DIA ORDINARIO) - URBANO	194.561	S
47153	INSTALACION DE PROTECCIONES DE LINEA A 13.2 KV-ZONA RURAL-ORDINARIO	668.481	S	48114	APERTURA Y CIERRE DE CORTA CIRCUITOS (DIA ORDINARIO) - RURAL	223.744	S
47156	INSTALACION DE PROTECCIONES DE LINEA A 34.5 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	922.746	S	48116	CONSTRUCCION DE TERMINALES (EXT 34.5 KV) (DIA ORDINARIO) - URBANO	708.291	S
47159	INSTALACION DE PROTECCIONES DE LINEA A 34.5 KV-ZONA RURAL-ORDINARIO	1.076.537	S	48118	CONSTRUCCION DE TERMINALES (EXT 34.5 KV) (DIA ORDINARIO) - RURAL	814.534	S
47162	INSTALACION DE CRUCETA Y RETIRO DE ANGULAR A 13.2 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	1.199.228	S	48124	CONSTRUCCION DE TERMINALES (INT 34.5 KV) (DIA ORDINARIO) - URBANO	401.596	S
47165	INSTALACION DE CRUCETA Y RETIRO DE ANGULAR A 13.2 KV-ZONA RURAL-ORDINARIO	1.349.130	S	48126	CONSTRUCCION DE TERMINALES (INT 34.5 KV) (DIA ORDINARIO) - RURAL	461.834	S
47168	INSTALACION DE CRUCETA Y RETIRO DE ANGULAR A 34.5 KV-ZONA URBANA-ORDINARIO	1.724.337	S	48518	REUBICACION DE MEDIDOR MONOFASICO BIFILAR	103.997	S

(a) Tarifas de Conexión del Servicio Público Domiciliario de Energía Eléctrica. [10]

TARIFAS DE ENERGÍA										
Mercado Regulado										
TARIFAS DE ENERGÍA DE EMCALI EICE E.S.P. PARA EL MERCADO REGULADO APLICABLES A CONSUMOS DEL MES : Calculada con CREG-119-07									abril-21	
SECTORES RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL Sin Contribución (CU en \$/kWh) - RESOLUCIONES CREG 119-2007, 097-2008, 116 y 167-2009, 152-2018, 180-2014, 191-2014, 079-2016 y LEY 1940-2018. CREG-028-2020 y CREG-148-2020. PAOMR=4,12% aplica desde Mayo 2020. Costo Base de Comercialización Cb= 6.692 \$/factura; Cv= 55,1713 \$/kwh . Con Opción Tarifaria CREG-012/058/152-20. Cprog: \$5,4243 \$/kwh aplica para Abril 2021 y está dentro de la componente de pérdidas PR.										
CALI, YUMBO Y PUERTO TEJADA										
TARIFAS PARA SECTOR RESIDENCIAL Y COMERCIAL (\$/kWh) - NIVEL DE TENSIÓN 1 (Estratos 5 y 6 con Contribución); CUv = G+T+D+Cv+PR+R Com. e Ind.										
Estratos	1		2		3		4	5 y 6		
(kWh/Mes)	1-CS	> CS	1-CS	> CS	1-CS	> CS		Todo consumo		
Sencilla 1 (A)	240,7175	589,7453	300,8968	589,7453	501,2835	589,7453	589,7453	707,6943	707,6943	
Sencilla 1 (C)	228,5650	558,5329	285,7063	558,5329	474,7530	558,5329	558,5329	670,2395	670,2395	
MONOMIAS HORARIAS Nivel 1 (A) Nivel 1 (C) Nivel 2 Nivel 3 CONSUMOS DE SUBSISTENCIA PARA APLICACIÓN DE SUBSIDIOS:										
SENCILLA	Todas Horas: 0-24	589,7453	558,5329	471,2096	417,9211	Municipio	CALI	YUMBO	PTO. TEJADA	
DOBLE HORARIA	Pico: 09-12, 18-21	594,4773	563,2650	474,8554	421,5559	A.S.N.M.	991	1000	968	
	Fuera de Pico	587,9073	556,6950	469,6676	416,3837	C.S. E.1-2-3	173	130	173	
HORARIA Y TRIPLE	Máx: 09-12, 18-21	594,4773	563,2650	474,8554	421,5559	C.S. Z. Subnor.	184	138	184	
	Med: 4-9,12-18,21-23	589,0402	557,8278	471,1358	417,8474					
	Min: 23-04	584,9619	553,7497	465,8506	412,5781					
COMPONENTES DEL COSTO UNITARIO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO (CUV) EN (\$/kWh) abril-21 CS:184 kWh Cali y Pto. Tejada(Subnormales)										
Nivel Tensión	Gm	Tm	PRnm	DIUN	Rm	Cvm	CUv (Costo Eficiente)	CUv (opcion tarifaria)	1-CS	> CS
1 (A)	233,8664	36,0825	42,8642	212,5434	21,2609	55,1763	601,7937	589,7453	188,4838	471,2096
1 (C)	233,8664	36,0825	42,8642	180,4587	21,2609	55,1763	569,7090	558,5329	CS:138 kWh Yumbo (Subnormales)	
2	233,8664	36,0825	22,3717	129,5543	21,2609	55,1763	498,3121	471,2096	1-CS	> CS
3	233,8664	36,0825	21,2623	74,0084	21,2609	55,1763	441,6568	417,9211	188,4838	471,2096
Resolución UPME-0355 de Julio 08 de 2004. CS = 173 kWh-mes para Municipios a una altura inferior a 1000 metros sobre el nivel del mar.										
Año 2008: CS: Consumo de Subsistencia: CS = 130 kWh-mes para Municipios a una altura igual o superior a 1000 metros sobre el nivel del mar.										
Resolución UPME-0013 de Enero de 2005, para ZONAS SUBNORMALES. CS = 184 kWh-mes para Municipios a una altura inferior a 1000 metros sobre el nivel del mar.										
Año 2008: CS: Consumo de Subsistencia: CS = 138 kWh-mes para Municipios a una altura igual o superior a 1000 metros sobre el nivel del mar.										
LA DIRECCION DE COMERCIALIZACION DE ENERGÍA LE OFRECE ASESORÍA TÉCNICA Y COMERCIAL EN FORMA PERSONALIZADA. Avenida 2 NORTE 7N-45 CALI, PISO 9o, Teléfonos 899 72 06 - 899 76 23 de Cali.										

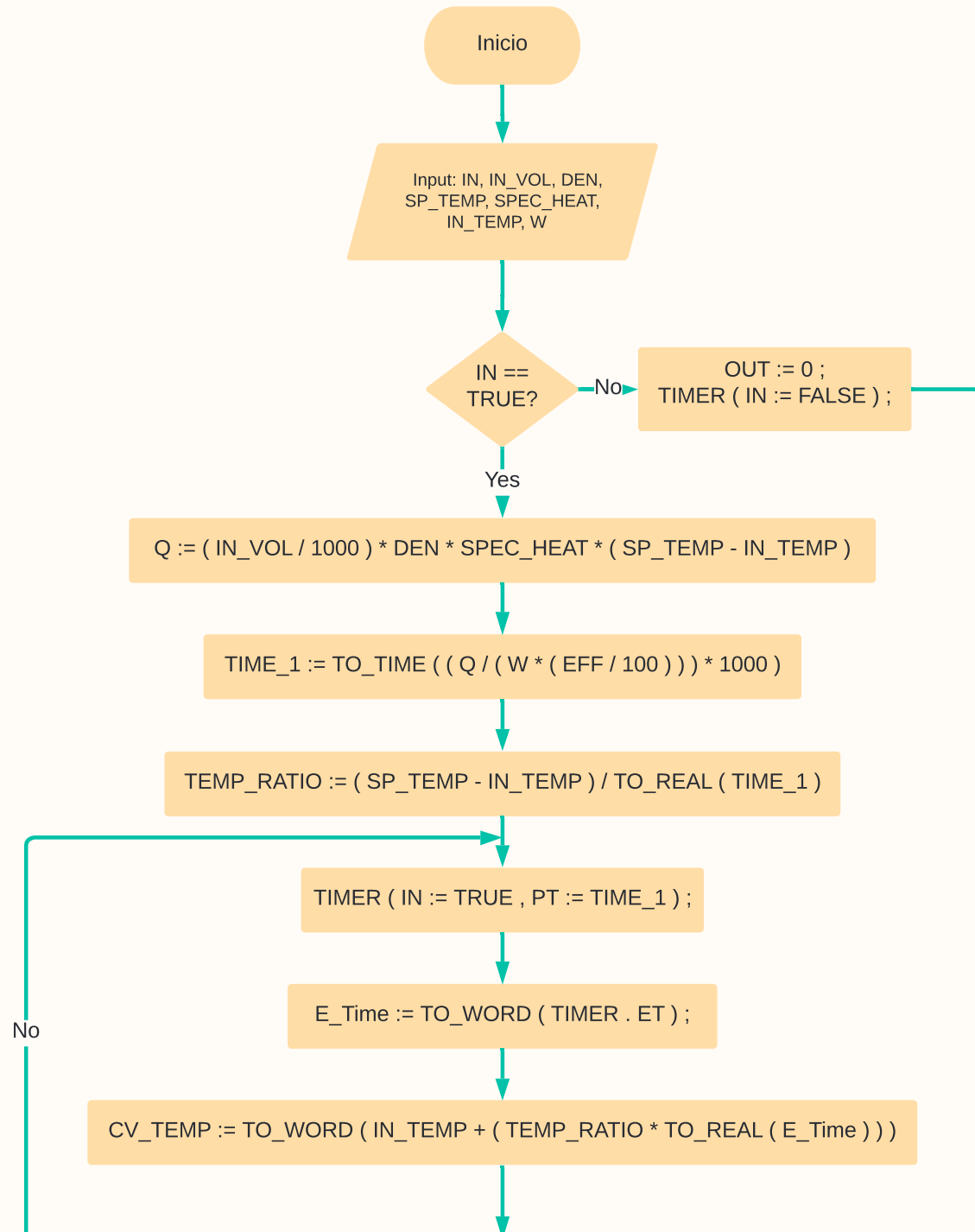
(b) Mercado Regulado 2021. [11]

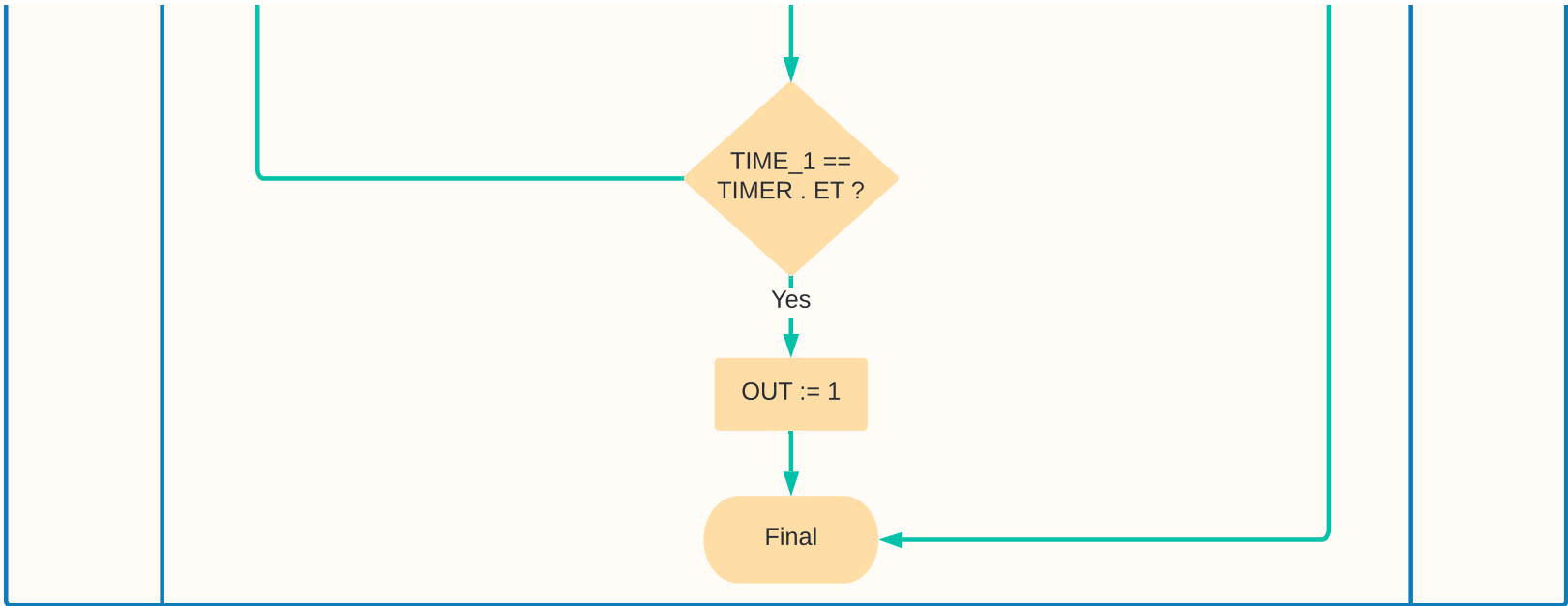
Figura 10.6: Tablas oficiales de precios respectivos a energía eléctrica EMCALI. (Fuente: [10], [11])

G . Diagrama de flujo del funcionamiento del modelo de control

Diagrama de flujo del funcionamiento, evidenciando procesos propios de la máquina y de simulación.

HEATING





CONTROL_TANK

Inicio

Input: IN, DEN, VIS, IN_VOL,
RECIPE, TK_Height,
TK_Radius1, TK_Radius2,
V_Rad, V_Len,
TK_Cone_Height

g : REAL := 9.8 ;
Press : REAL ;
LQ_Height : REAL ;
Pi : REAL := 3.14159265359 ;
Flow : REAL := 0 ;
Time_1 : TIME ;
Timer_1 : TON ;
POURED : REAL := 0 ;
Counter : REAL := 0 ;
Sim_Flow : REAL ;
V_CONE : REAL ;
V_TUBE : REAL ;

IN == TRUE?

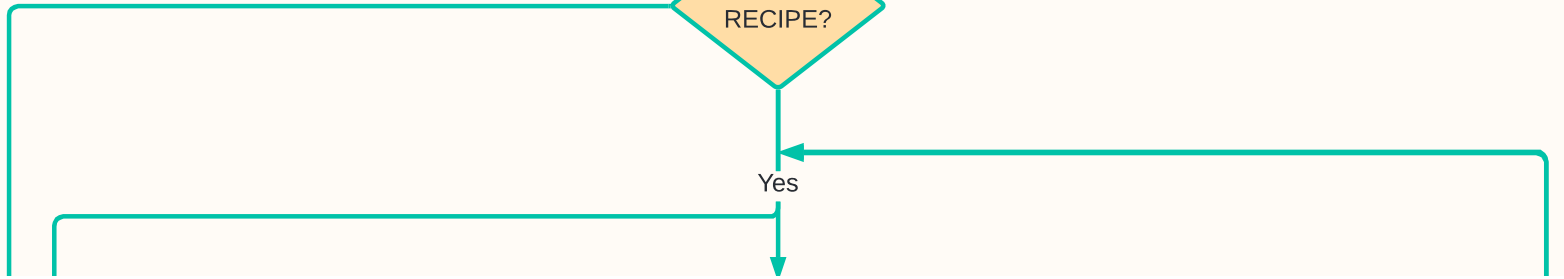
No

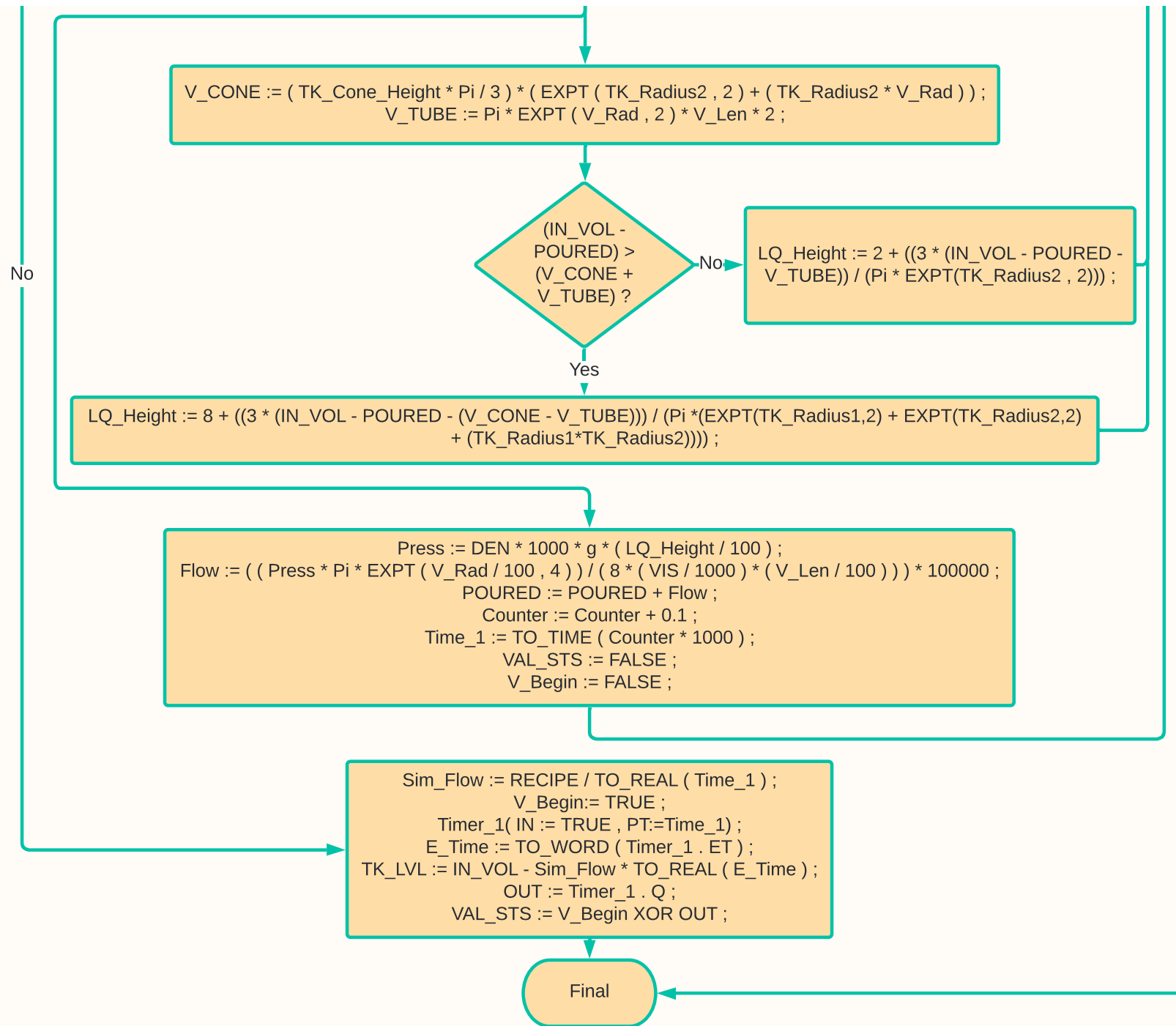
OUT := 0 ;
TK_LVL := IN_VOL ;
V_Begin := FALSE ;
Timer_1 (IN := FALSE) ;
VAL_STS := FALSE ;

Yes

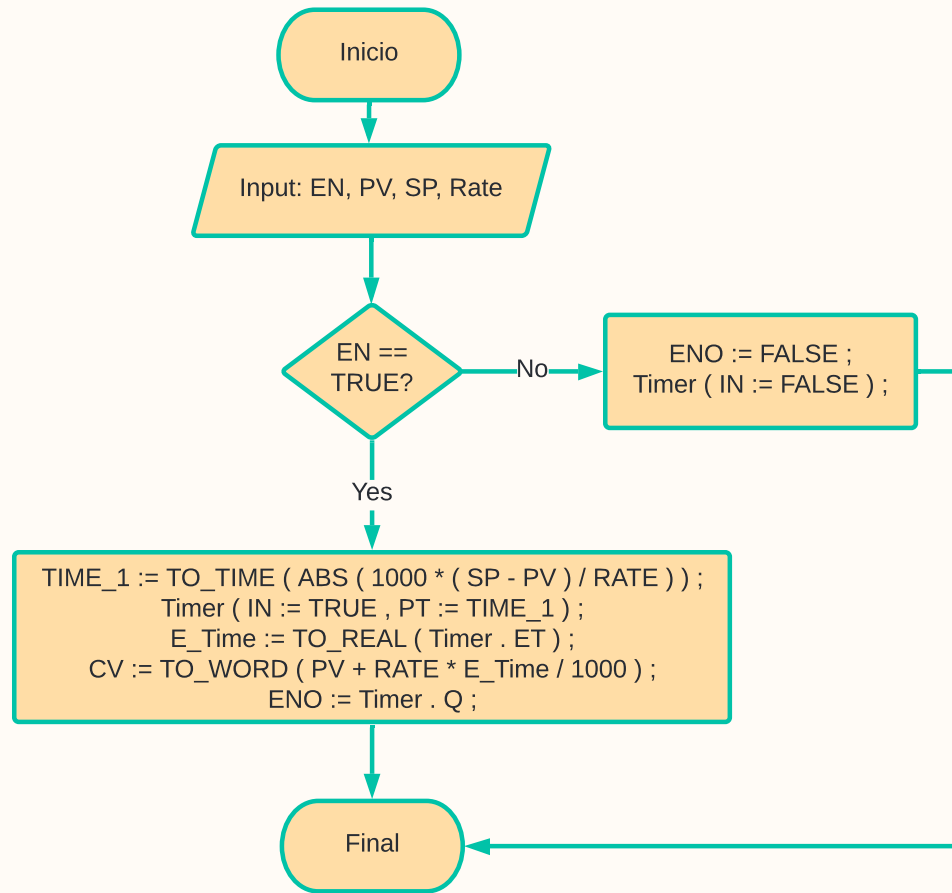
POURED < RECIPE?

Yes

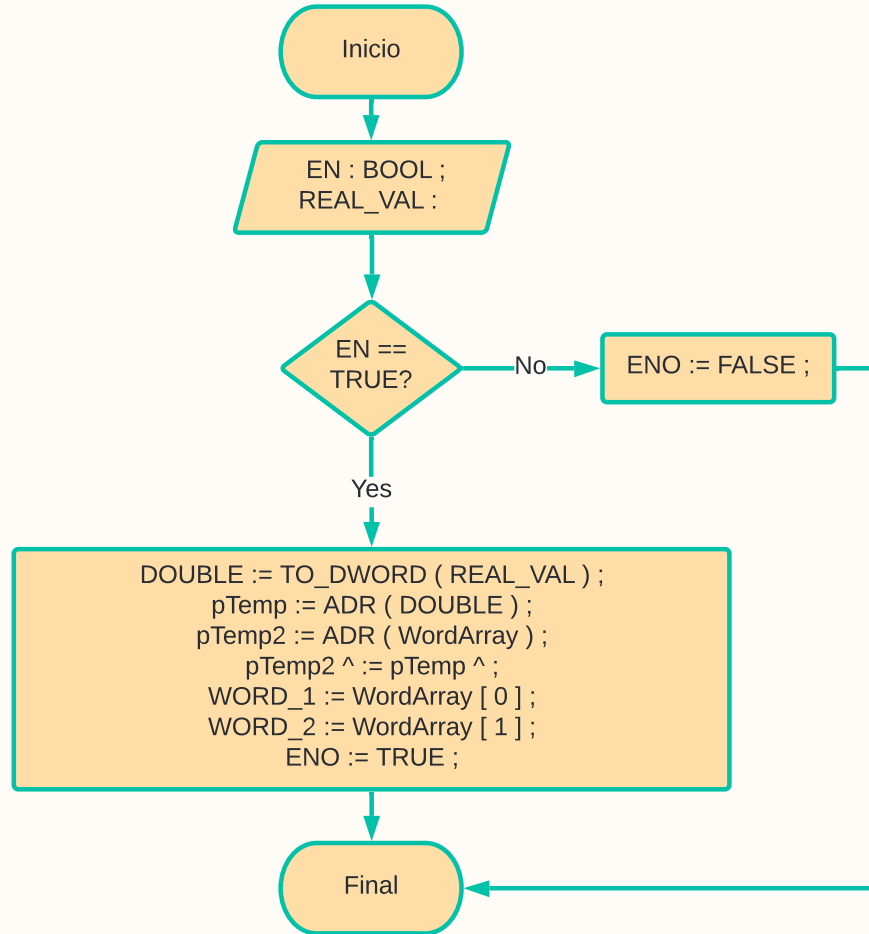




MIXER_SPEED_CONTROL

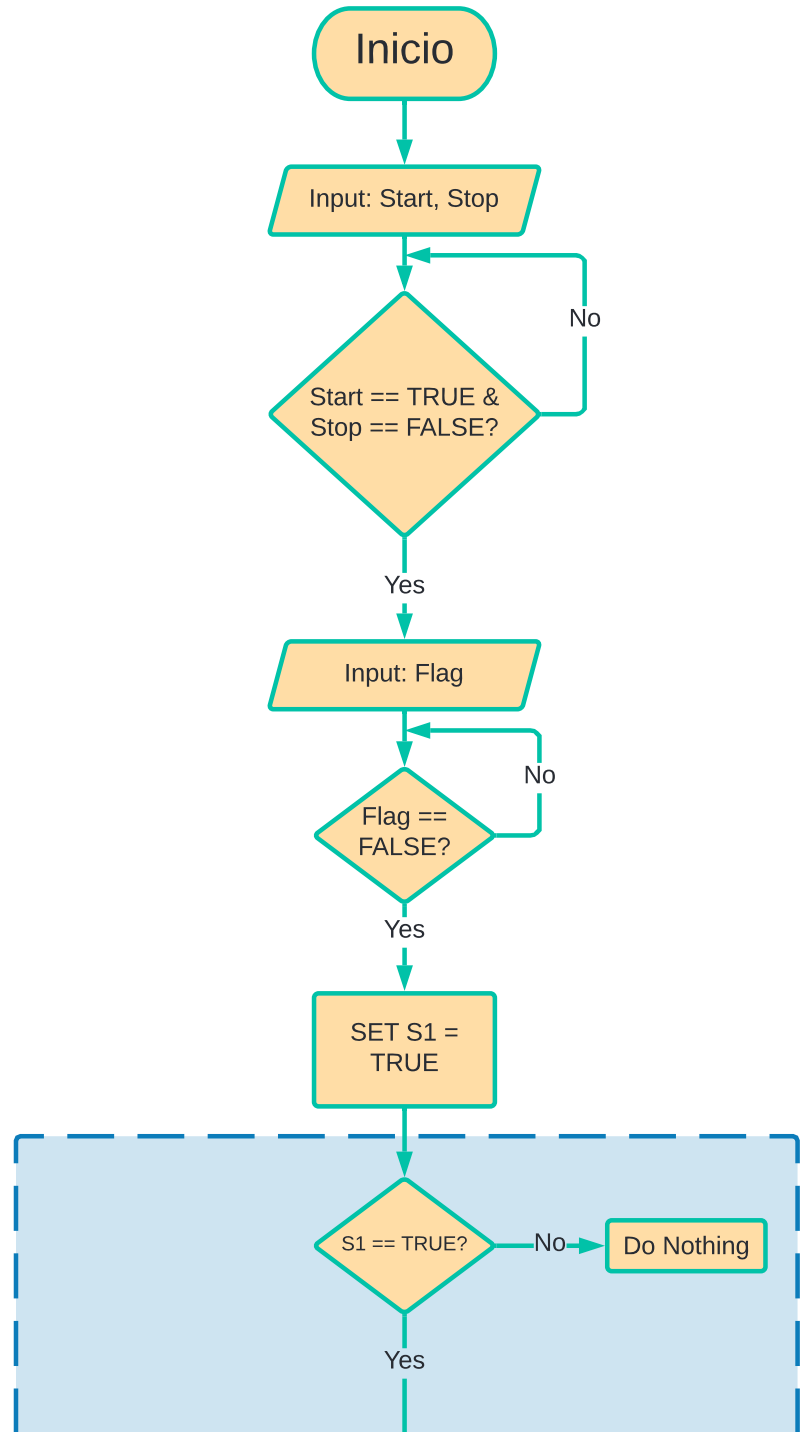


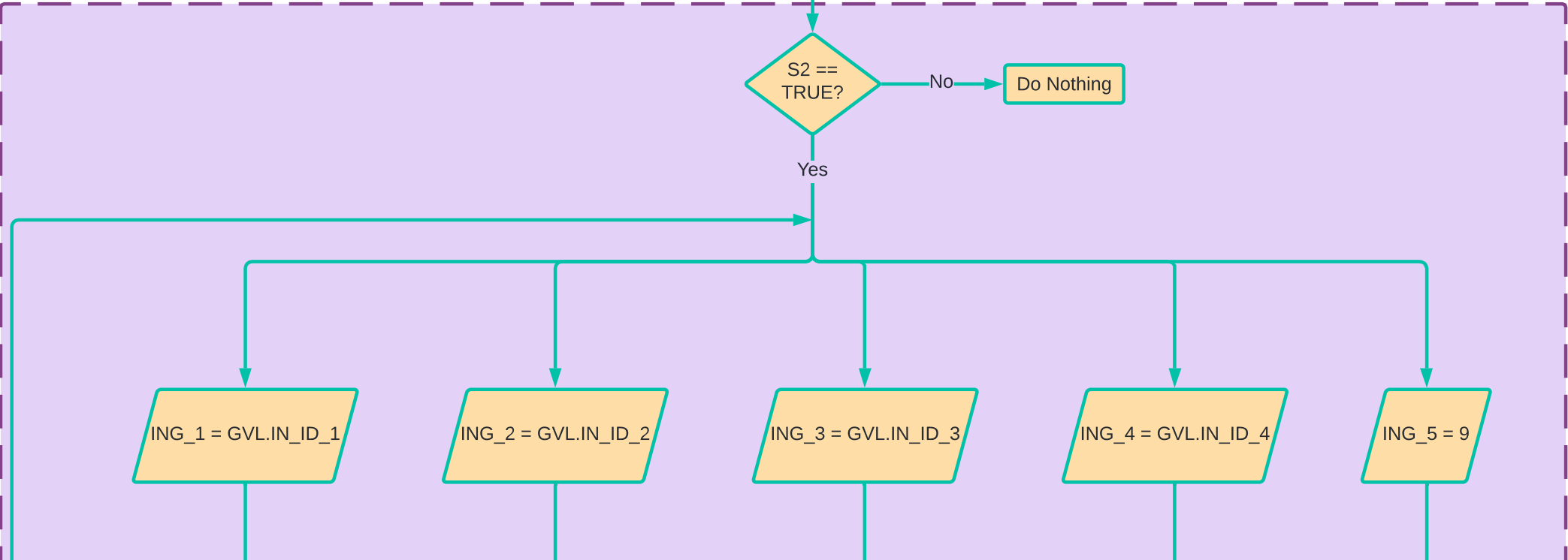
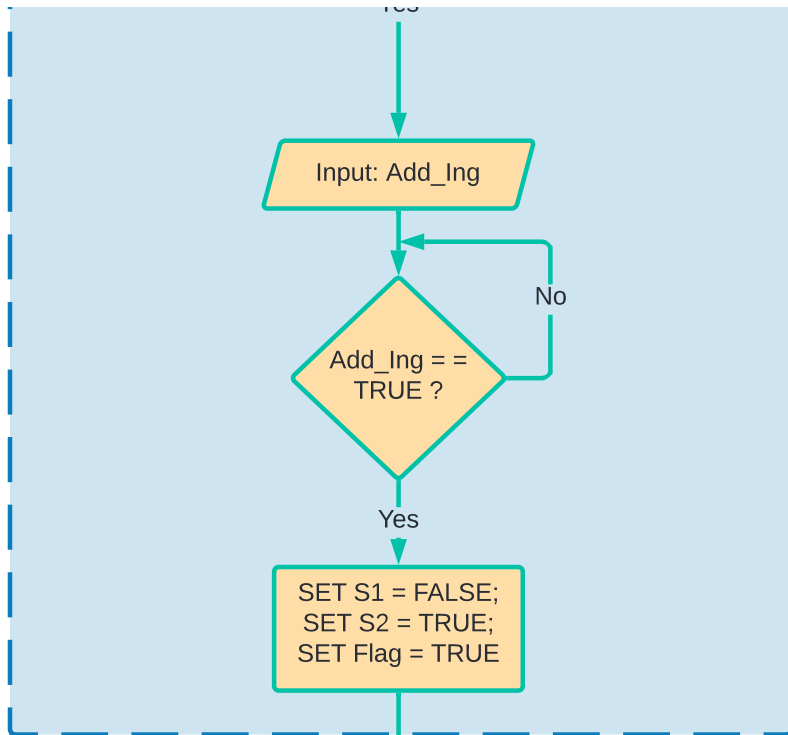
REAL_TO_2_WORDS

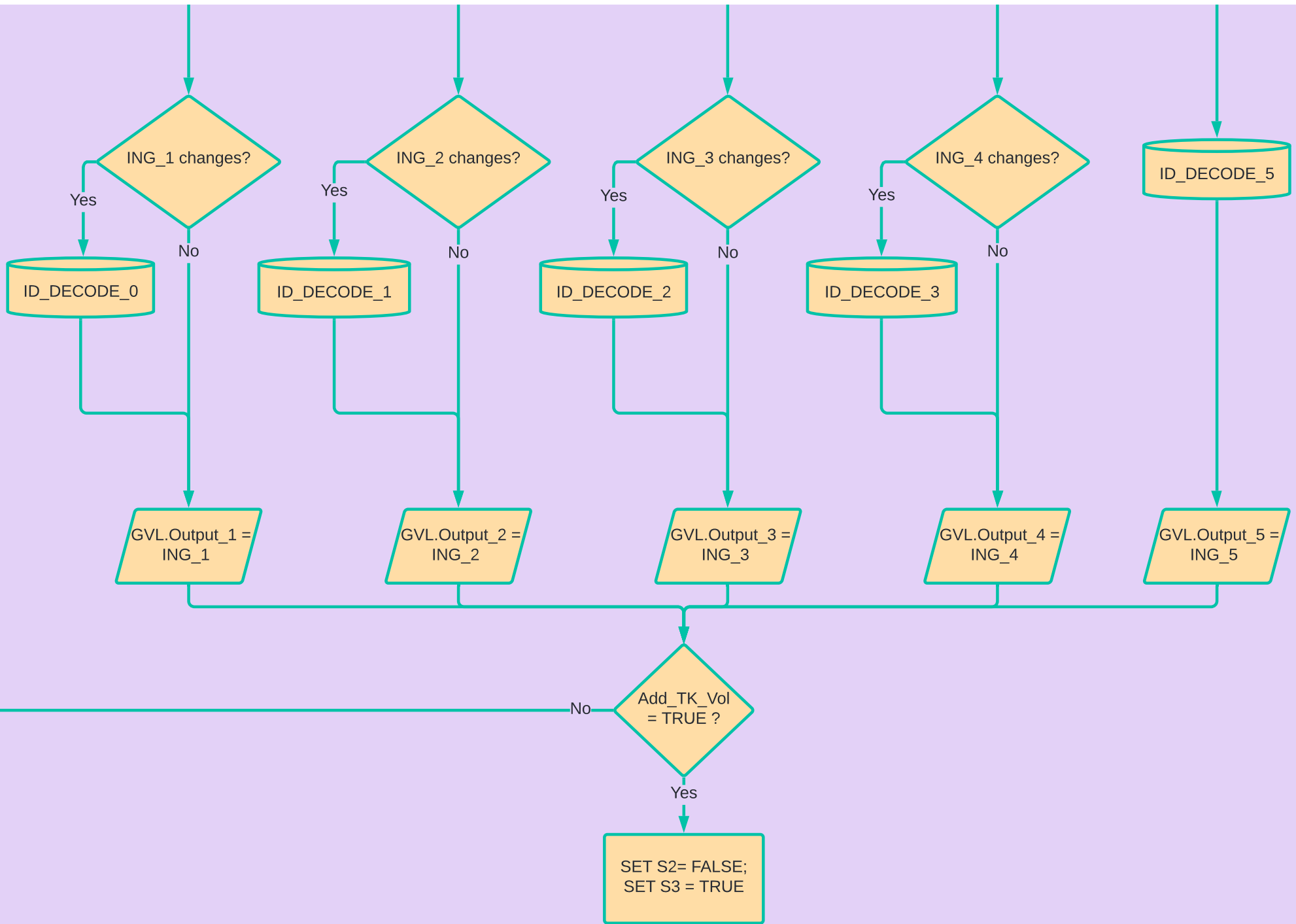


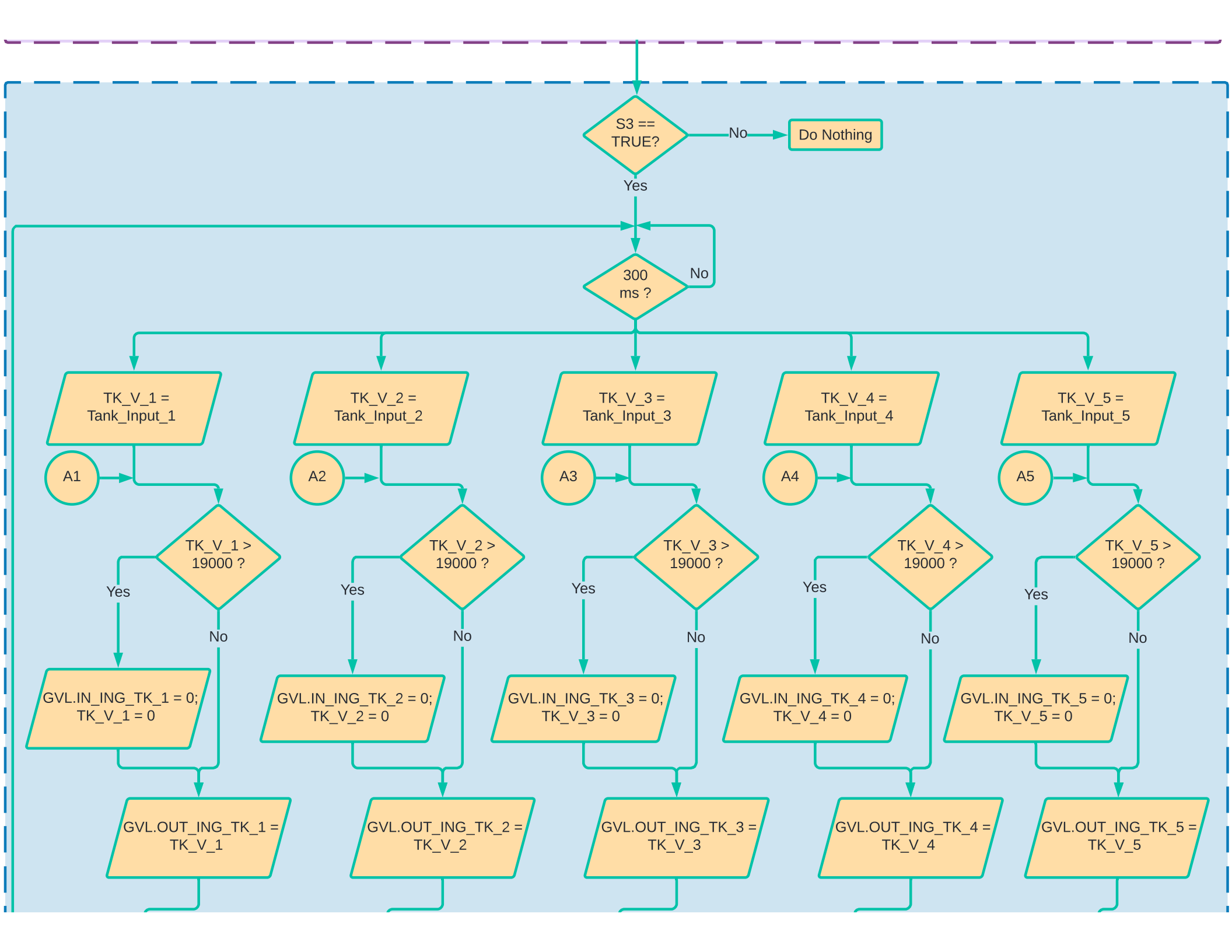
Estado Unico para Simulacion

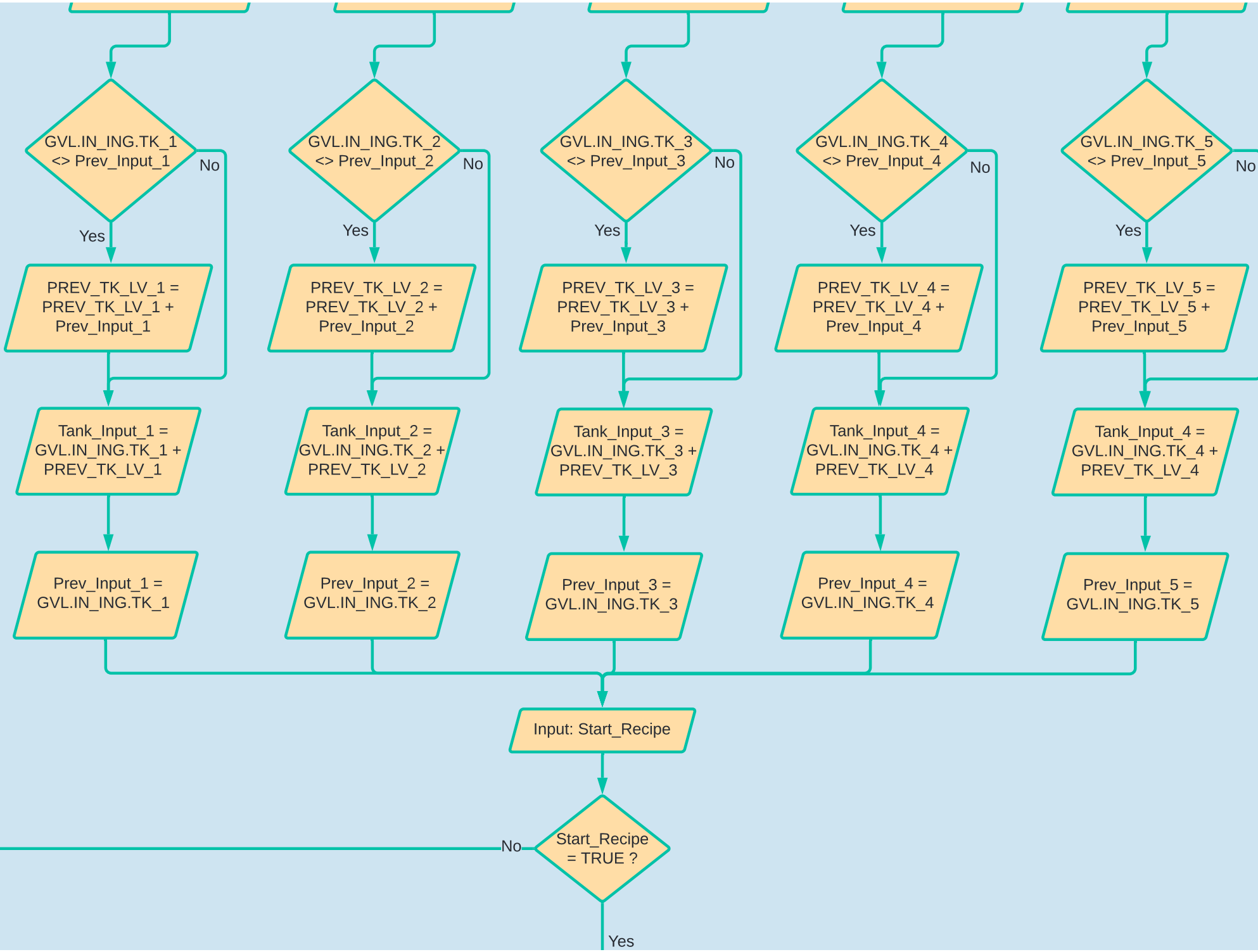
Estado Para Maquina











Yes

Clean Previous Variables

SET S3 = FALSE;
SET S4 = TRUE

S4 ==
TRUE?

No

Do Nothing

Yes

QTY_ING_1 =
GVL.IN_RECIPÉ_QTY_1

QTY_ING_2 =
GVL.IN_RECIPÉ_QTY_2

QTY_ING_3 =
GVL.IN_RECIPÉ_QTY_3

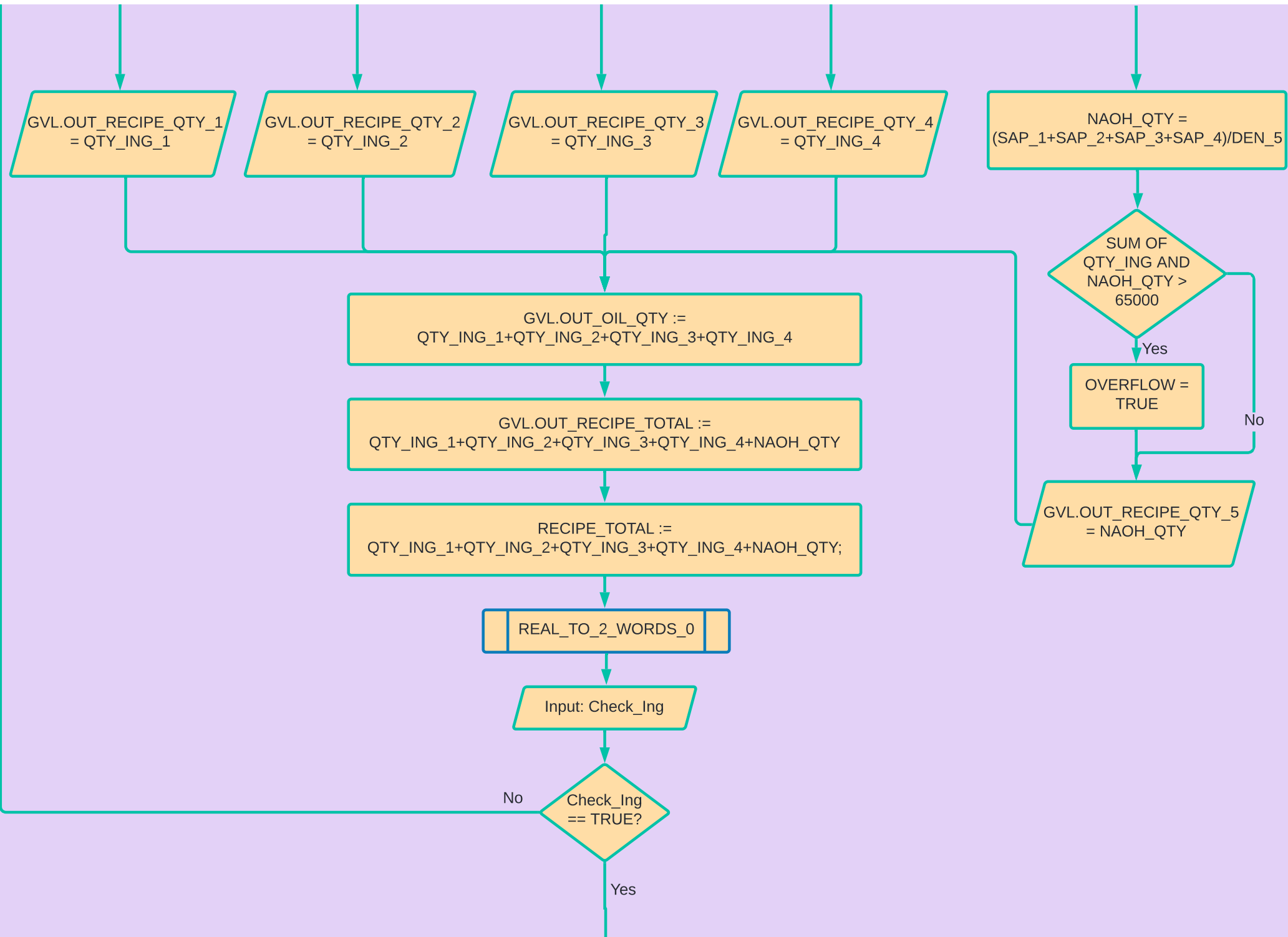
QTY_ING_4 =
GVL.IN_RECIPÉ_QTY_4

SAP_1 =
QTY_ING_1 * DEN_1 * SAP_IND_1 * 3

SAP_2 =
QTY_ING_2 * DEN_2 * SAP_IND_2 * 3

SAP_3 =
QTY_ING_3 * DEN_3 * SAP_IND_3 * 3

SAP_4 =
QTY_ING_4 * DEN_4 * SAP_IND_4 * 3



S4 = FALSE;
S5 = TRUE

S5 ==
TRUE?

No

Do Nothing

Yes

HEATING_0

HEATING_1

HEATING_2

HEATING_3

HEATING_4

Heated_1 = TRUE

Heated_2 = TRUE

Heated_3 = TRUE

Heated_4 = TRUE

Heated_5 = TRUE

GVL.OUT_ING_TEMP_1
= CV_TEMP_1

GVL.OUT_ING_TEMP_2
= CV_TEMP_2

GVL.OUT_ING_TEMP_3
= CV_TEMP_3

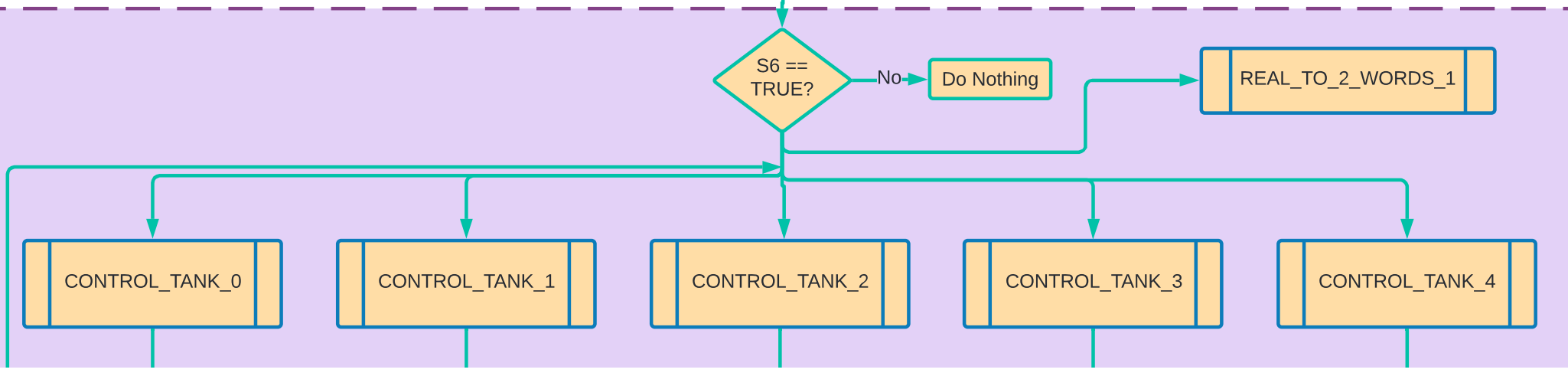
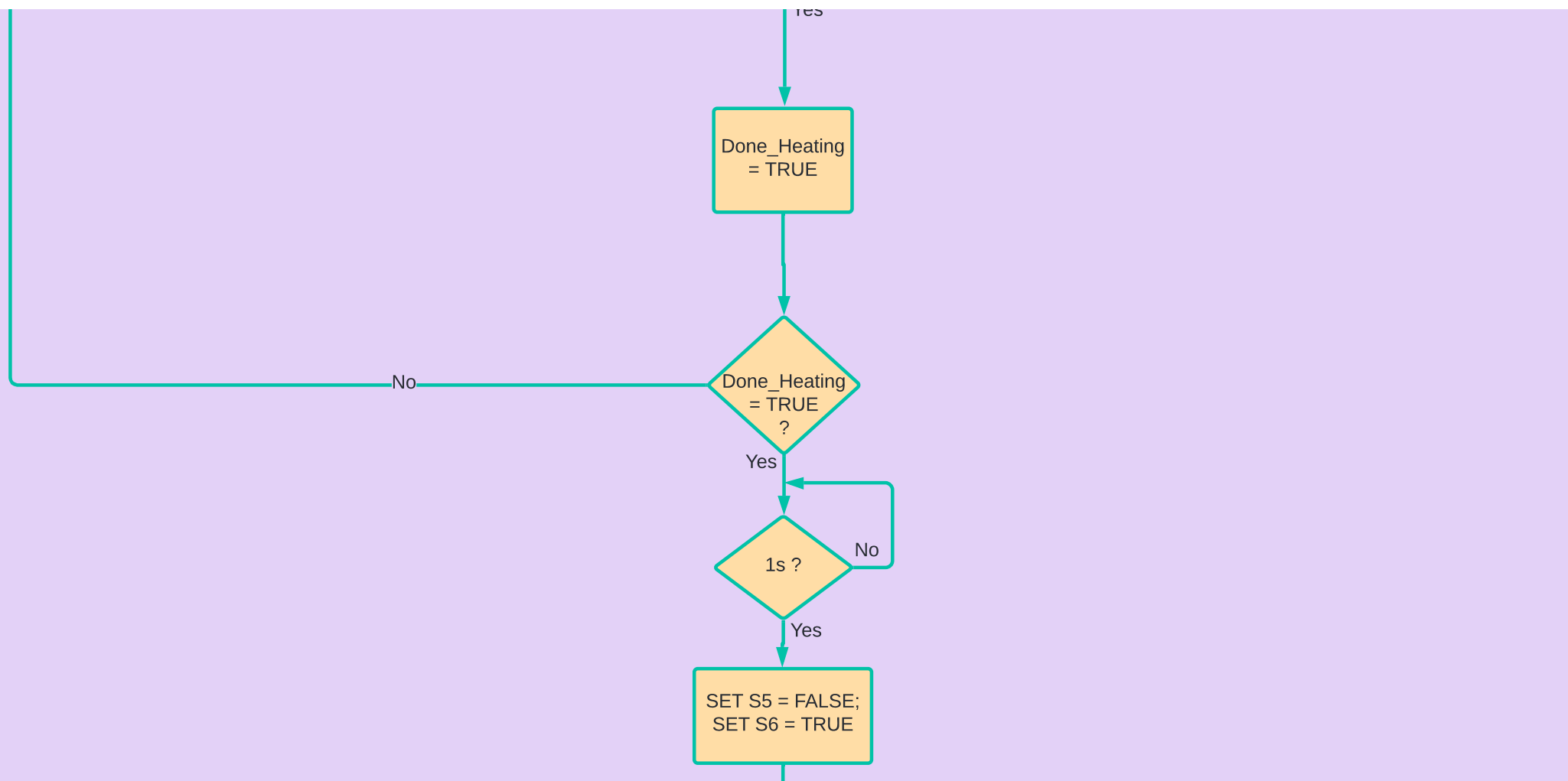
GVL.OUT_ING_TEMP_4
= CV_TEMP_4

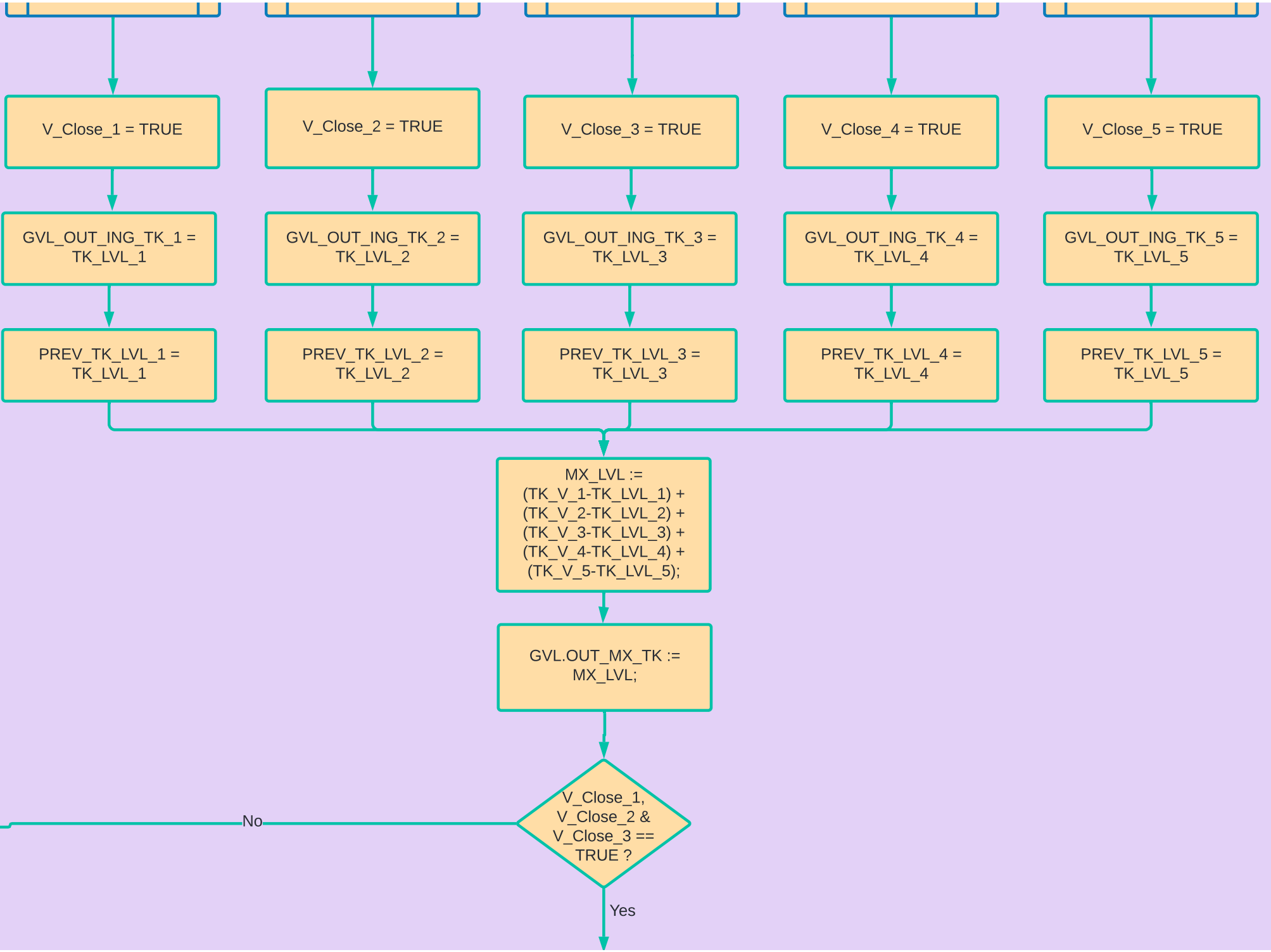
GVL.OUT_ING_TEMP_1
= CV_TEMP_1

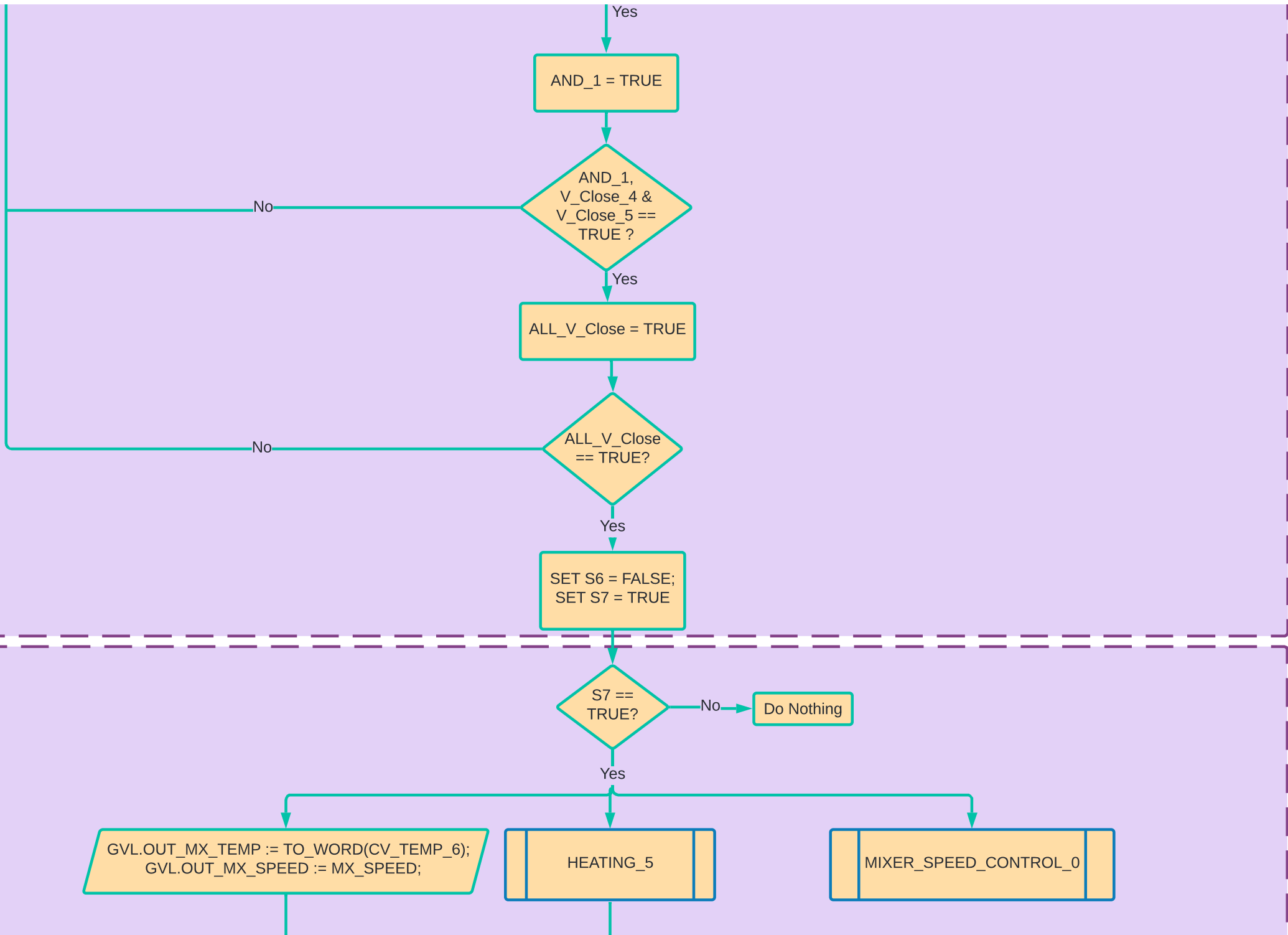
All
Heated
TRUE ?

No

Yes







GVL.KM = TRUE

10 s ?

SET S7 = FALSE;
SET S8 = TRUE

S8 == TRUE?

Do Nothing

REAL_TO_WORDS_1

GVL.OUT_MX_SPEED := MX_SPEED_2;
GVL.FCV7 := V7;

CONTROL_TANK_5

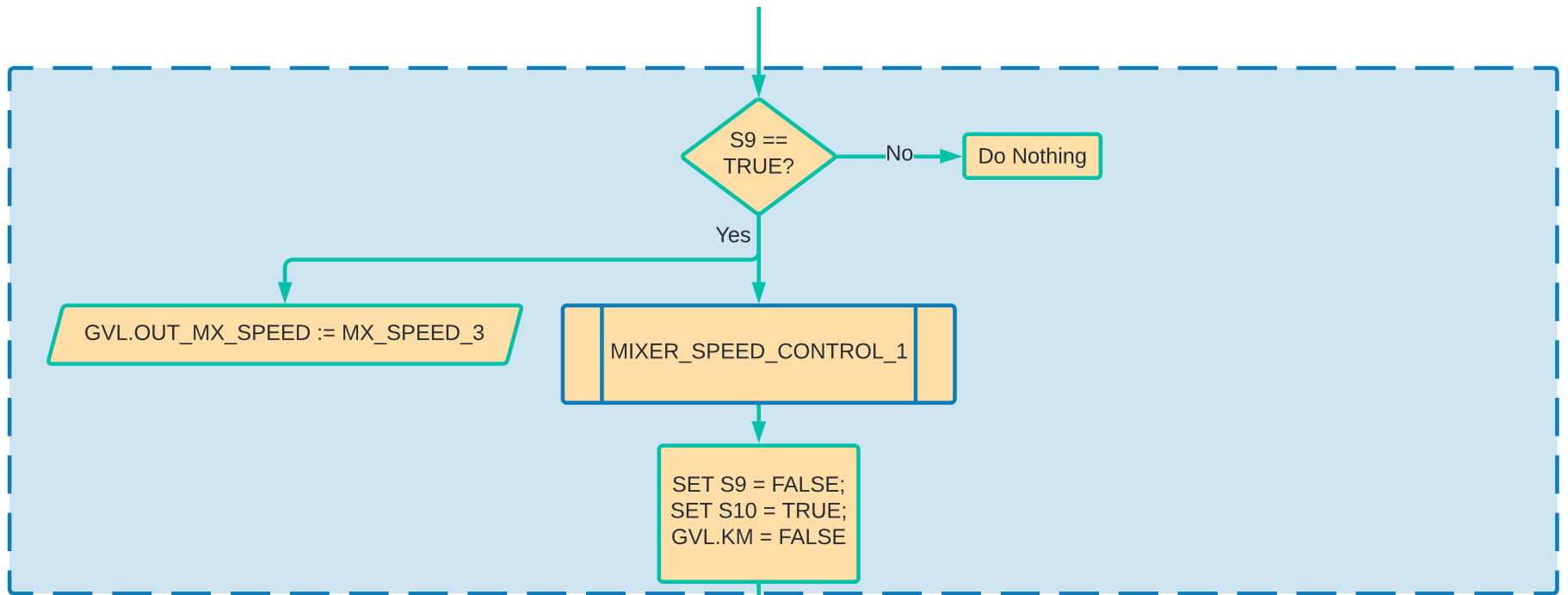
MIXER_SPEED_CONTROL_1

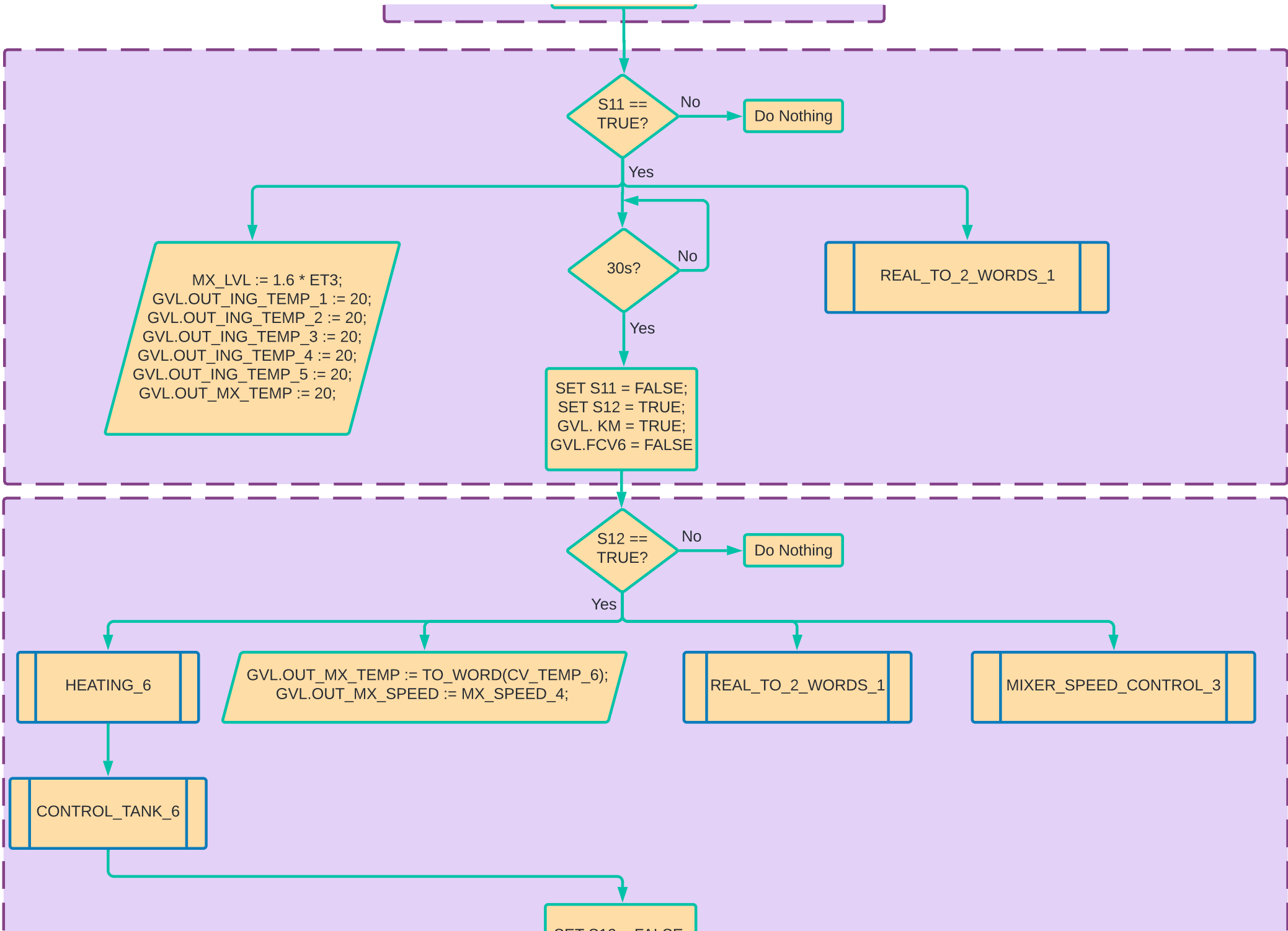
GVL.OUT_MX_TK_1 = TRUE

GVL.OUT_MX_TK_2 = TRUE

SET S8 = FALSE;
SET S9 = TRUE

MX_SPEED_2





SET S12 = FALSE;
SET S13 = TRUE

S13 ==
TRUE?

No

Do Nothing

Yes

MIXER_SPEED_CONTROL_4

GVL.OUT_MX_SPEED := MX_SPEED_5;

SET S13 = FALSE;
LAVADO_STS = TRUE;
GVL.KM = FALSE;
OFF_BUTTON = TRUE

Final

H . Código de control del modelo virtual en CODESYS

Códigos en ladder y texto estructurado encargados del control y simulación de el modelo virtual.

Project Documentation

File: NEW_FAST_PDG.project

Date: 5/26/2021

Profile: CODESYS V3.5 SP15 Patch 3

Table of contents

1 Device: CODESYS_Control_Win_V3	3
1.1 PLC Logic: Plc Logic	4
1.1.1 Application: Application	4
1.2 Device: Ethernet	104
1.2.1 Device: ModbusTCP_Slave_Device	106
2 : Project Settings	109

1 Device: CODESYS_Control_Win_V3

Users and Groups

Users:

Groups:

Access Rights

View

Modify

Execute

Add/remove children

Symbol Rights

Information

Name: CODESYS Control Win V3
Vendor: 3S - Smart Software Solutions GmbH
Categories: PLCs
Type: 4096

ID: 0000 0001
Version: 3.5.15.30
Order number: ???
Description: CODESYS V3 Soft-PLC for Windows with non realtime capabilities (CODESYS Control Win V3)

1.1 PLC Logic: Plc Logic

1.1.1 Application: Application

1.1.1.1 Global Variable List: GVL

```
1      {attribute 'qualified_only'}  
2      VAR_GLOBAL  
3          //Variables Globales  
4          //Actuadores  
5  
6          FCV1 : BOOL ;  
7          FCV2 : BOOL ;  
8          FCV3 : BOOL ;  
9          FCV4 : BOOL ;  
10         FCV5 : BOOL ;  
11         FCV6 : BOOL ;  
12         FCV7 : BOOL ;  
13         LT1 : WORD ;  
14         LT2 : WORD ;  
15         LT3 : WORD ;  
16         LT4 : WORD ;  
17         LT5 : WORD ;
```

1.1.1.1 Global Variable List: GVL

```
18      LT6 : WORD ;
19      TI1 : WORD ;
20      TI2 : WORD ;
21      TI3 : WORD ;
22      TI4 : WORD ;
23      TI5 : WORD ;
24      TI6 : WORD ;
25      TT1 : WORD ;
26      TT2 : WORD ;
27      TT3 : WORD ;
28      TT4 : WORD ;
29      TT5 : WORD ;
30      TT6 : WORD ;
31      KM : BOOL ;
32
33      //INPUT
34
35      IN_ID_1 : WORD ;
36      IN_ID_2 : WORD ;
37      IN_ID_3 : WORD ;
38      IN_ID_4 : WORD ;
39
40      IN_ING_TK_1 : WORD ;
41      IN_ING_TK_2 : WORD ;
42      IN_ING_TK_3 : WORD ;
43      IN_ING_TK_4 : WORD ;
44      IN_ING_TK_5 : WORD ;
45
46      IN_RECIPE_QTY_1 : WORD ;
47      IN_RECIPE_QTY_2 : WORD ;
48      IN_RECIPE_QTY_3 : WORD ;
49      IN_RECIPE_QTY_4 : WORD ;
```

1.1.1.1 Global Variable List: GVL

```
50
51      //OUTPUT
52
53      OUT_ID_1 : WORD ;
54      OUT_ID_2 : WORD ;
55      OUT_ID_3 : WORD ;
56      OUT_ID_4 : WORD ;
57      OUT_ID_5 : WORD ;
58
59      OUT_ING_TK_1 : WORD ;
60      OUT_ING_TK_2 : WORD ;
61      OUT_ING_TK_3 : WORD ;
62      OUT_ING_TK_4 : WORD ;
63      OUT_ING_TK_5 : WORD ;
64      OUT_MX_TK : WORD ;
65      OUT_MX_TK_1 : WORD ;
66      OUT_MX_TK_2 : WORD ;
67
68      OUT_RECIPE_QTY_1 : WORD ;
69      OUT_RECIPE_QTY_2 : WORD ;
70      OUT_RECIPE_QTY_3 : WORD ;
71      OUT_RECIPE_QTY_4 : WORD ;
72      OUT_RECIPE_QTY_5 : WORD ;
73
74      OUT_OIL_QTY : WORD ;
75      OUT_RECIPE_TOTAL : WORD ;
76      OUT_RECIPE_TOTAL_1 : WORD ;
77      OUT_RECIPE_TOTAL_2 : WORD ;
78
79      OUT_ING_TEMP_1 : WORD ;
80      OUT_ING_TEMP_2 : WORD ;
81      OUT_ING_TEMP_3 : WORD ;
```

1.1.1.1 Global Variable List: GVL

```
82         OUT_ING_TEMP_4 : WORD ;
83         OUT_ING_TEMP_5 : WORD ;
84         OUT_MX_TEMP : WORD ;
85
86         OUT_MX_SPEED : WORD ;
87     END_VAR
88
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
#Standard
#BreakpointLogging
  #CmpLog
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#IoStandard
  Base Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#3SLicense
  #CmpLog
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#CAA Types
  #SysCpuHandling
    #SysMem
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#Standard
#Component Manager
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
#CmpApp
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#CmpApp
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CmpCodeMeter
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
CmpErrors2 Interfaces, * (System)
SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CmpEventMgr
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#IoDrvEthernet
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#IoDrvBase
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

- Base Interfaces, * (System)
- SysTypes2 Interfaces, * (System)
- CmpErrors2 Interfaces, * (System)
- Base Interfaces, * (System)
- IoDriver Interfaces, * (System)
- SysTypes2 Interfaces, * (System)
- CmpErrors2 Interfaces, * (System)
- #IoStandard
 - Base Interfaces, * (System)
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - CmpErrors2 Interfaces, * (System)
- IoDriver Parameter Interfaces, * (System)
- Base Interfaces, * (System)
- IoDriver Interfaces, * (System)
- CmpErrors2 Interfaces, * (System)
- SysTypes2 Interfaces, * (System)
- #CAA Device Diagnosis
 - #CAA Behaviour Model
 - #CAA Types
 - #SysCpuHandling
 - #SysMem
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - CmpErrors2 Interfaces, * (System)
- #CAA TickUtil
 - #CAA Types
 - #SysCpuHandling
 - #SysMem
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - CmpErrors2 Interfaces, * (System)
- #CAA Tick
 - #CAA Types

```
#SysMem
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#IoStandard
  Base Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Types
  #SysCpuHandling
    #SysMem
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  IoDriver Interfaces, * (System)
  Base Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpAsyncMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CommFB
    #SysMem
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      IoDriver Profibus2 Interfaces, * (System)
#CAA Types
  #SysCpuHandling
    #SysMem
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
SysSocket Interfaces, * (System)
#SysSocket Implementation
  SysSocket Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#StringUtils
#Standard
#SysMem
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SysTimeRtc
  #SysTimeCore
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#Component Manager
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpApp
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    #CmpEventMgr
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#Standard
#CmpLog
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#Component Manager
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpApp
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    #CmpEventMgr
```

```
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#IoDriver Utility
#CAA Types
    #SysCpuHandling
    #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Behaviour Model
#CAA Types
    #SysCpuHandling
    #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA TickUtil
#CAA Types
    #SysCpuHandling
    #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Tick
#CAA Types
    #SysCpuHandling
    #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA FB Factory
#CAA Types
    #SysCpuHandling
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA MemBlockMan
#CAA Types
  #SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Callback
#CAA Types
  #SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA ResMan
#CAA Types
  #SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA ResMan
#CAA Types
  #SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#SysSem
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
SysTypes2 Interfaces, * (System)
#IoStandard
  Base Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#SysTask
#SysTime
  #SysTimeCore
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #SysTimeRtc
    #SysTimeCore
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
IoDrvEthernet Interfaces, * (3S - Smart Software Solutions GmbH)
#IoDrvModbusTCPSlave
#IoDrvBase
  #IoStandard
    Base Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  Base Interfaces, * (System)
  IoDriver Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#IoStandard
  Base Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#SysCpuHandling
#SysMem
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
```

```
#SysMem
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#ModbusTCP Slave
#Standard
#CAA Types
  #SysCpuHandling
    #SysMem
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #SysSocket
    SysSocket Interfaces, * (System)
    #SysSocket Implementation
      SysSocket Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SysTarget
#3SLicense
  #CmpLog
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CAA Types
    #SysCpuHandling
      #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
```

```
#Standard
#Component Manager
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpApp
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    #CmpEventMgr
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#CmpApp
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CmpCodeMeter
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#SysTarget
#3SLicense
  #CmpLog
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
```

```
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#Standard
#Component Manager
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpApp
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    #CmpEventMgr
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#CmpApp
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CmpCodeMeter
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
CmpErrors2 Interfaces, * (System)
SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CmpEventMgr
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
```

IoDriver Parameter Interfaces, * (System)
Base Interfaces, * (System)
IoDriver Interfaces, * (System)
#CAA Device Diagnosis
 #CAA Behaviour Model
 #CAA Types
 #SysCpuHandling
 #SysMem
 SysTypes2 Interfaces, * (System)
 SysTypes2 Interfaces, * (System)
 CmpErrors2 Interfaces, * (System)
 #CAA TickUtil
 #CAA Types
 #SysCpuHandling
 #SysMem
 SysTypes2 Interfaces, * (System)
 SysTypes2 Interfaces, * (System)
 CmpErrors2 Interfaces, * (System)
 #CAA Tick
 #CAA Types
 #SysCpuHandling
 #SysMem
 SysTypes2 Interfaces, * (System)
 SysTypes2 Interfaces, * (System)
 CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#IoStandard
 Base Interfaces, * (System)
 SysTypes2 Interfaces, * (System)
 CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Types
 #SysCpuHandling
 #SysMem
 SysTypes2 Interfaces, * (System)

```
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
IoDriver Interfaces, * (System)
Base Interfaces, * (System)
CmpErrors2 Interfaces, * (System)
SysTypes2 Interfaces, * (System)
#CmpAsyncMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#CommFB
    #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
        IoDriver Profibus2 Interfaces, * (System)
CmpErrors2 Interfaces, * (System)
SysTypes2 Interfaces, * (System)
#CAA Device Diagnosis
#CAA Behaviour Model
#CAA Types
    #SysCpuHandling
        #SysMem
            SysTypes2 Interfaces, * (System)
            SysTypes2 Interfaces, * (System)
            CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA TickUtil
#CAA Types
    #SysCpuHandling
        #SysMem
            SysTypes2 Interfaces, * (System)
            SysTypes2 Interfaces, * (System)
            CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Tick
    #CAA Types
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
#SysMem
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#IoStandard
  Base Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Types
  #SysCpuHandling
    #SysMem
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  IoDriver Interfaces, * (System)
  Base Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpAsyncMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CommFB
    #SysMem
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      IoDriver Profibus2 Interfaces, * (System)
#IecVarAccess
  #Component Manager
    #CmpEventMgr
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
    #CmpApp
```

```
#CmpEventMgr
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
SysTypes2 Interfaces, * (System)
#SymbolicVarsBase
#CmpApp
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#SysMem
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
Base Interfaces, * (System)
SysTypes2 Interfaces, * (System)
CmpErrors2 Interfaces, * (System)
lecVarAccess3 Interfaces, * (System)
#StringUtils
  #Standard
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #SysTimeRtc
    #SysTimeCore
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#Component Manager
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpApp
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
#Component Manager
  #CmpEventMgr
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
  #CmpApp
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    #CmpEventMgr
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  Collections Interfaces, * (System)
#CmplecVarAccess
  CmplecVarAccess Interfaces, * (System)
#CmplecVarAccess Implementation
  Base Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  lecVarAccess3 Interfaces, * (System)
  Collections Interfaces, * (System)
  CmplecVarAccess Interfaces, * (System)
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
Base Interfaces, * (System)
SysTypes2 Interfaces, * (System)
CmpErrors2 Interfaces, * (System)
lecVarAccess3 Interfaces, * (System)
Collections Interfaces, * (System)
#CmplecVarAccess
  CmplecVarAccess Interfaces, * (System)
#CmplecVarAccess Implementation
```

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

- SysTypes2 Interfaces, * (System)
- IecVarAccess3 Interfaces, * (System)
- Collections Interfaces, * (System)
- CmplecVarAccess Interfaces, * (System)
- SysFile, 3.5.15.0 (System)
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
- SysTypes2 Interfaces, 3.5.4.0 (System)
- Util, 3.5.15.0 (System)
 - #Standard
 - #SysMem
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - #CBML
 - #SysTimeRtc
 - #SysTimeCore
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - CmpErrors2 Interfaces, * (System)
- StringUtils, 3.5.15.0 (System)
 - #Standard
 - #SysMem
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - #SysTimeRtc
 - #SysTimeCore
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - CmpErrors2 Interfaces, * (System)
 - #Component Manager
 - #CmpEventManager
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)
 - CmpErrors2 Interfaces, * (System)
 - #CmpApp
 - SysTypes2 Interfaces, * (System)

1.1.1.2 Library Manager: Library Manager

```
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
Memory, 3.5.7.0 (3S - Smart Software Solutions GmbH)
#CAA Memory
#CAA Types
#SysCpuHandling
#SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
MemoryUtils, 3.5.15.0 (3S - Smart Software Solutions GmbH)
#Standard
#SysCpuHandling
#SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA MemBlockMan
#CAA Types
#SysCpuHandling
#SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Callback
#CAA Types
#SysCpuHandling
#SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
    CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA ResMan
```

```
#SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA ResMan
  #CAA Types
    #SysCpuHandling
      #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Types
  #SysCpuHandling
  #SysMem
    SysTypes2 Interfaces, * (System)
  SysTypes2 Interfaces, * (System)
  CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA Callback
  #CAA Types
    #SysCpuHandling
      #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#CAA ResMan
  #CAA Types
    #SysCpuHandling
      #SysMem
        SysTypes2 Interfaces, * (System)
      SysTypes2 Interfaces, * (System)
      CmpErrors2 Interfaces, * (System)
#SysMem
```

#OSCAT_BASIC
#Standard

1.1.1.3 POU: CLEAR_ALL

```
1  FUNCTION_BLOCK CLEAR_ALL
2  VAR_INPUT
3      EN : BOOL ;
4  END_VAR
5  VAR_OUTPUT
6      ENO : BOOL ;
7  END_VAR
8  VAR
9  END_VAR
10
```

```
1  IF EN = TRUE THEN //Funcion que limpia todas las variables globales
2      GVL . FCV1 := 0 ;
3      GVL . FCV2 := 0 ;
4      GVL . FCV3 := 0 ;
5      GVL . FCV4 := 0 ;
6      GVL . FCV5 := 0 ;
7      GVL . FCV6 := 0 ;
8      GVL . FCV7 := 0 ;
9      GVL . LT1 := 0 ;
10     GVL . LT2 := 0 ;
11     GVL . LT3 := 0 ;
12     GVL . LT4 := 0 ;
13     GVL . LT5 := 0 ;
14     GVL . LT6 := 0 ;
15     GVL . TI1 := 0 ;
16     GVL . TI2 := 0 ;
```

1.1.1.3 POU: CLEAR_ALL

```
17      GVL . TI3 := 0 ;
18      GVL . TI4 := 0 ;
19      GVL . TI5 := 0 ;
20      GVL . TI6 := 0 ;
21      GVL . TT1 := 0 ;
22      GVL . TT2 := 0 ;
23      GVL . TT3 := 0 ;
24      GVL . TT4 := 0 ;
25      GVL . TT5 := 0 ;
26      GVL . TT6 := 0 ;
27      GVL . KM := 0 ;
28
29      GVL . IN_ID_1 := 0 ;
30      GVL . IN_ID_2 := 0 ;
31      GVL . IN_ID_3 := 0 ;
32      GVL . IN_ID_4 := 0 ;
33
34      GVL . IN_ING_TK_1 := 0 ;
35      GVL . IN_ING_TK_2 := 0 ;
36      GVL . IN_ING_TK_3 := 0 ;
37      GVL . IN_ING_TK_4 := 0 ;
38      GVL . IN_ING_TK_5 := 0 ;
39
40      GVL . IN_RECIPE_QTY_1 := 0 ;
41      GVL . IN_RECIPE_QTY_2 := 0 ;
42      GVL . IN_RECIPE_QTY_3 := 0 ;
43      GVL . IN_RECIPE_QTY_4 := 0 ;
44
45      GVL . OUT_ID_1 := 0 ;
46      GVL . OUT_ID_2 := 0 ;
47      GVL . OUT_ID_3 := 0 ;
48      GVL . OUT_ID_4 := 0 ;
```

1.1.1.3 POU: CLEAR_ALL

```
49      GVL . OUT_ID_5      := 0 ;
50
51      GVL . OUT_ING_TK_1  := 0 ;
52      GVL . OUT_ING_TK_2  := 0 ;
53      GVL . OUT_ING_TK_3  := 0 ;
54      GVL . OUT_ING_TK_4  := 0 ;
55      GVL . OUT_ING_TK_5  := 0 ;
56
57      GVL . OUT_MX_TK      := 0 ;
58      GVL . OUT_MX_TK_1   := 0 ;
59      GVL . OUT_MX_TK_2   := 0 ;
60
61      GVL . OUT_RECIPE_QTY_1 := 0 ;
62      GVL . OUT_RECIPE_QTY_2 := 0 ;
63      GVL . OUT_RECIPE_QTY_3 := 0 ;
64      GVL . OUT_RECIPE_QTY_4 := 0 ;
65      GVL . OUT_RECIPE_QTY_5 := 0 ;
66
67      GVL . OUT_OIL_QTY    := 0 ;
68      GVL . OUT_RECIPE_TOTAL := 0 ;
69      GVL . OUT_RECIPE_TOTAL_1 := 0 ;
70      GVL . OUT_RECIPE_TOTAL_2 := 0 ;
71
72      GVL . OUT_MX_SPEED   := 0 ;
73
74      GVL . IN_ING_TK_1    := 0 ;
75      GVL . IN_ING_TK_2    := 0 ;
76      GVL . IN_ING_TK_3    := 0 ;
77      GVL . IN_ING_TK_4    := 0 ;
78      GVL . IN_ING_TK_5    := 0 ;
79      GVL . OUT_MX_TK      := 0 ;
80
```

1.1.1.3 POU: CLEAR_ALL

```
81      GVL . OUT_ING_TEMP_1 := 20 ;
82      GVL . OUT_ING_TEMP_2 := 20 ;
83      GVL . OUT_ING_TEMP_3 := 20 ;
84      GVL . OUT_ING_TEMP_4 := 20 ;
85      GVL . OUT_ING_TEMP_5 := 20 ;
86      GVL . OUT_MX_TEMP := 20 ;
87
88      //
89      //      PLC_PRG.TK_LVL_1 := 0 ;
90      //      PLC_PRG.TK_LVL_2 := 0 ;
91      //      PLC_PRG.TK_LVL_3 := 0 ;
92      //      PLC_PRG.TK_LVL_4 := 0 ;
93      //      PLC_PRG.TK_LVL_5 := 0 ;
94      //      PLC_PRG.TK_LVL_6 := 0 ;
95      //
96      //      PLC_PRG.MX_LVL := 0 ;
97      //
98      //      PLC_PRG.ING_1 := 0 ;
99      //      PLC_PRG.ING_2 := 0 ;
100     //      PLC_PRG.ING_3 := 0 ;
101     //      PLC_PRG.ING_4 := 0 ;
102     //
103     //      PLC_PRG.TK_V_1 := 0 ;
104     //      PLC_PRG.TK_V_2 := 0 ;
105     //      PLC_PRG.TK_V_3 := 0 ;
106     //      PLC_PRG.TK_V_4 := 0 ;
107     //      PLC_PRG.TK_V_5 := 0 ;
108     //
109     //      PLC_PRG.QTY_ING_1 := 0 ;
110     //      PLC_PRG.QTY_ING_2 := 0 ;
111     //      PLC_PRG.QTY_ING_3 := 0 ;
112     //      PLC_PRG.QTY_ING_4 := 0 ;
```

1.1.1.3 POU: CLEAR_ALL

```
113 //
114 // PLC_PRG.SAP_1 := 0;
115 // PLC_PRG.SAP_2 := 0;
116 // PLC_PRG.SAP_3 := 0;
117 // PLC_PRG.SAP_4 := 0;
118 //
119 // PLC_PRG.NAOH_QTY := 0;
120 //
121 // PLC_PRG.CV_TEMP_1 := 0;
122 // PLC_PRG.CV_TEMP_2 := 0;
123 // PLC_PRG.CV_TEMP_3 := 0;
124 // PLC_PRG.CV_TEMP_4 := 0;
125 // PLC_PRG.CV_TEMP_5 := 0;
126 // PLC_PRG.CV_TEMP_6 := 0;
127 //
128 // PLC_PRG.Tank_Input_1 := 0;
129 // PLC_PRG.Tank_Input_2 := 0;
130 // PLC_PRG.Tank_Input_3 := 0;
131 // PLC_PRG.Tank_Input_4 := 0;
132 // PLC_PRG.Tank_Input_5 := 0;
133 //
134 // PLC_PRG.Prev_Input_1 := 0;
135 // PLC_PRG.Prev_Input_2 := 0;
136 // PLC_PRG.Prev_Input_3 := 0;
137 // PLC_PRG.Prev_Input_4 := 0;
138 // PLC_PRG.Prev_Input_5 := 0;
139 //
140 // PLC_PRG.MX_SPEED_OFFSET := 0;
141
142 ENO := TRUE ;
143
144 ELSE
```

1.1.1.3 POU: CLEAR_ALL

```
145     ENO := FALSE ;
146     END_IF
147
```

1.1.1.4 POU: CONTROL_TANK

```
1  FUNCTION_BLOCK CONTROL_TANK
2  VAR_INPUT
3      IN : BOOL ;
4      DEN : REAL ; //Density
5      VIS : REAL ; //Viscocidad
6      IN_VOL : REAL ; //Volumen inicial del tanque
7      RECIPE : REAL ; //Cantidad deseada por la receta
8      TK_Height : REAL ; //cm
9      TK_Radius1 : REAL ; //cm
10     TK_Radius2 : REAL ; //cm
11     V_Rad : REAL ; //cm
12     V_Len : REAL ; //cm
13     TK_Cone_Height : REAL ;
14 END_VAR
15 VAR_OUTPUT
16     OUT : BOOL ;
17     V_Begin : BOOL ;
18     TK_LVL : REAL ;
19     E_Time : WORD ;
20     VAL_STS : BOOL ;
21 END_VAR
22 VAR
23     g : REAL := 9.8 ;
24     Press : REAL ;
25     LQ_Height : REAL ;
26     Pi : REAL := 3.14159265359 ;
```

1.1.1.4 POU: CONTROL_TANK

```
27     Flow : REAL := 0 ;
28     Time_1 : TIME ;
29     Timer_1 : TON ;
30     POURED : REAL := 0 ;
31     Counter : REAL := 0 ;
32     Sim_Flow : REAL ;
33     Array_Test : ARRAY [ 0 .. 1 ] OF REAL := [ 42 , 50 ] ;
34     V_CONE : REAL ;
35     V_TUBE : REAL ;
36 END_VAR
37

1  IF IN = 1 THEN
2
3     IF OSCAT_BASIC . ROUND ( POURED , 0 ) < OSCAT_BASIC . ROUND ( RECIPE , 0 ) THEN           //Se redondean los valores para
4     evitar errores por decimales
5     V_CONE := ( TK_Cone_Height * Pi / 3 ) * ( EXPT ( TK_Radius2 , 2 ) + ( TK_Radius2 * V_Rad ) ) ; //Calculo del volumen del
6     "cono"
7     V_TUBE := Pi * EXPT ( V_Rad , 2 ) * V_Len * 2 ; //Calculo del volumen del tubo
8     IF IN_VOL - POURED > ( V_CONE + V_TUBE ) THEN
9     LQ_Height := 8 + ( ( 3 * ( IN_VOL - POURED - ( V_CONE - V_TUBE ) ) ) / ( Pi * ( EXPT ( TK_Radius1 , 2 ) + EXPT ( TK_Radius2 , 2
10    ) + ( TK_Radius1 * TK_Radius2 ) ) ) ) ; //Calculo de la altura del liquido en el tanque si el volumen es mayor al volumen del
11    cono y tubo
12    ELSE
13    LQ_Height := 2 + ( ( 3 * ( IN_VOL - POURED - V_TUBE ) ) / ( Pi * EXPT ( TK_Radius2 , 2 ) ) ) ; //calculo de la altura del
14    liquido en el tanque si el volumen es menor a la suma del volumen del cono y tubo
15    END_IF
16    Press := DEN * 1000 * g * ( LQ_Height / 100 ) ; //Calculo de la presion con respecto a la altura en Pascals -> Kg/(m*s^2)
17
18    Flow := ( ( Press * Pi * EXPT ( V_Rad / 100 , 4 ) ) / ( 8 * ( VIS / 1000 ) * ( V_Len / 100 ) ) ) * 100000 ; //Calculo del flujo del
19    liquido con respecto a la presion y viscosidad en (cm^3/0.1s)
20    POURED := POURED + Flow ;
```

1.1.1.4 POU: CONTROL_TANK

```
14
15     Counter := Counter + 0.1; //Este contador corresponde a cada 0.1 segundos que toma el liquido en fluir
16     Time_1 := TO_TIME (Counter * 1000); //Se convierte el valor del contado a un variable de tiempo
17     VAL_STS := FALSE; //Se inicializan lops valores de la valvula como 0
18     V_Begin := FALSE;
19     ELSE
20         Sim_Flow := RECIPE / TO_REAL (Time_1); //Se calcula la tasa de flujo del liquido
21         V_Begin := TRUE; //Se inicia la apertura de la valvula
22         Timer_1 ( IN := TRUE, PT := Time_1); // Se inicia el conteo de tiempo
23         E_Time := TO_WORD (Timer_1.ET);
24         TK_LVL := IN_VOL - Sim_Flow * TO_REAL (E_Time); //Se muestra el volumen actual del tanque
25         OUT := Timer_1.Q; //Representa la finalizacion del proceso
26         VAL_STS := V_Begin XOR OUT; //Se encarga de activar o desactivar la valvula
27     END_IF
28
29     ELSE //Variables en modo Standby
30         OUT := 0;
31         TK_LVL := IN_VOL;
32         V_Begin := FALSE;
33         Timer_1 ( IN := FALSE);
34         VAL_STS := FALSE;
35     END_IF
36
```

1.1.1.5 POU: HEATING

```
1     FUNCTION_BLOCK HEATING
2     VAR_INPUT
3         IN : BOOL;
4         IN_VOL : REAL; //Volumen inicial del tanque
5         DEN : REAL; //Density
6         SP_TEMP : REAL; //Temp Set Point
```

1.1.1.5 POU: HEATING

```
7       SPEC_HEAT : REAL ; // Calor especifico
8       IN_TEMP  : REAL ; //Temperatura inicial
9       W : REAL ;
10      EFF : REAL ;
11      END_VAR
12      VAR_OUTPUT
13      OUT : BOOL ;
14      CV_TEMP : WORD ; //Valor actual de temperatura
15      E_TIME : WORD ; //Tiempo transcurrido
16      END_VAR
17      VAR
18      TIME_1 : TIME ;
19      TIMER : TON ;
20      Q : REAL ; //Heat (Joules)  $Q = Mass \times Spec\_Heat \times DTemp$ 
21      TEMP_RATIO : REAL ;
22      END_TEMP : WORD ;
23      END_VAR
24
```

```
1      IF IN = 1 THEN
2          Q := ( IN_VOL / 1000 ) * DEN * SPEC_HEAT * ( SP_TEMP - IN_TEMP ) ; //Se calcula la cantidad de energia necesaria para calentar
           dicho fluido de una temperatura inicial a una final
3          TIME_1 := TO_TIME ( ( Q / ( W * ( EFF / 100 ) ) ) * 1000 ) ; //Se calcula el tiempo teorico en el cual dicha energia puede ser
           suministrada por la manta termica
4          TEMP_RATIO := ( SP_TEMP - IN_TEMP ) / TO_REAL ( TIME_1 ) ; //Se calcula la tasa de transferencia de temperatura
5
6          TIMER ( IN := TRUE , PT := TIME_1 ) ;
7          E_Time := TO_WORD ( TIMER . ET ) ;
8          CV_TEMP := TO_WORD ( IN_TEMP + ( TEMP_RATIO * TO_REAL ( E_Time ) ) ) ;
9
10         IF TIME_1 = TIMER . ET THEN
11             OUT := 1 ;
```

1.1.1.5 POU: HEATING

```
12     END_IF
13
14     ELSE
15         OUT := 0 ;
16         TIMER ( IN := FALSE ) ;
17     END_IF
18
```

1.1.1.6 POU: ID_DECODE

```
1     FUNCTION_BLOCK ID_DECODE
2     VAR_INPUT
3         EN : BOOL ;
4         ID : INT ;
5     END_VAR
6     VAR_OUTPUT
7         ENO : BOOL ;
8         NAME : WSTRING ;
9         SP_TEMP : REAL ; //Temp Set Point
10        DEN : REAL ; //Density
11        VIS : REAL ; //Viscosidad
12        SPEC_HEAT : REAL ; // Calor especifico
13        SAP_IND : REAL ; //Indice de saponificacion
14    END_VAR
15    VAR
16    END_VAR
17
```

```
1     IF EN = 1 THEN //Bloque funcional encargado de almacenar las propiedades de cada aingrediente
2
3         CASE ( ID ) OF
4             0 :
```

1.1.1.6 POU:ID_DECODE

```
5      NAME := "OLIVE" ; //Nombre
6      SP_TEMP := 30 ; //Temperatura ideal para saponificacion
7      DEN := 0.907 ; //Densidad
8      VIS := 56.2 ; //Viscocidad
9      SPEC_HEAT := 1.97 ; //Calor Especific
10     SAP_IND := 0.137 ; //Indice de saponificacion
11
12     1 :
13         NAME := "COCONUT" ;
14         SP_TEMP := 40 ;
15         DEN := 0.913 ;
16         VIS := 27.5 ;
17         SPEC_HEAT := 1.7 ;
18         SAP_IND := 0.177 ;
19
20     2 :
21         NAME := "AVOCADO" ;
22         SP_TEMP := 26 ;
23         DEN := 0.9671 ;
24         VIS := 57.6 ;
25         SPEC_HEAT := 2.2091 ;
26         SAP_IND := 0.138 ;
27
28     3 :
29         NAME := "RAPESEED" ;
30         SP_TEMP := 26 ;
31         DEN := 0.92 ;
32         VIS := 59.2 ;
33         SPEC_HEAT := 1.833 ;
34         SAP_IND := 0.135 ;
35
36     4 :
```

1.1.1.6 POU: ID_DECODE

```
37         NAME := "PALM" ;
38         SP_TEMP := 30 ;
39         DEN := 0.885 ;
40         VIS := 57.85 ;
41         SPEC_HEAT := 1.875 ;
42         SAP_IND := 0.141 ;
43
44     5 :
45         NAME := "SOY" ;
46         SP_TEMP := 30 ;
47         DEN := 0.917 ;
48         VIS := 40.5 ;
49         SPEC_HEAT := 2.269 ;
50         SAP_IND := 0.137 ;
51
52     6 :
53         NAME := "CANOLA" ;
54         SP_TEMP := 30 ;
55         DEN := 0.995 ;
56         VIS := 46.2 ;
57         SPEC_HEAT := 2.223 ;
58         SAP_IND := 0.135 ;
59
60     7 :
61         NAME := "ALMOND" ;
62         SP_TEMP := 37.8 ;
63         DEN := 0.911 ;
64         VIS := 34.2 ;
65         SPEC_HEAT := 2.368 ;
66         SAP_IND := 0.136 ;
67
68     8 :
```

1.1.1.6 POU: ID_DECODE

```
69         NAME := "WALNUT" ;
70         SP_TEMP := 26 ;
71         DEN := 0.925 ;
72         VIS := 42.9 ;
73         SPEC_HEAT := 2.046 ;
74         SAP_IND := 0.137 ;
75
76     9 :
77         NAME := "(NAOH 33%)" ;
78         SP_TEMP := 40 ;
79         DEN := 1.346 ;
80         VIS := 7.5 ;
81         SPEC_HEAT := 3.9 ;
82         SAP_IND := 0 ;
83
84     ELSE
85         NAME := "UNKNOWN" ;
86         SP_TEMP := 0 ;
87         DEN := 0 ;
88         VIS := 0 ;
89         SPEC_HEAT := 0 ;
90
91     END_CASE
92     ENO := 1 ;
93
94 ELSE
95     ENO := 0 ;
96 END_IF
97
```


1.1.1.8 POU: PLC_PRG

```
1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3      Start : BOOL ;
4      Stop : BOOL ;
5      ON : BOOL ;
6      T0 : BOOL ;
7      S1 : BOOL ;
8      S2 : BOOL ;
9      S3 : BOOL ;
10     S4 : BOOL ;
11     S5 : BOOL ;
12     S6 : BOOL ;
13     S7 : BOOL ;
14     S8 : BOOL ;
15     S9 : BOOL ;
16     S10 : BOOL ;
17     S11 : BOOL ;
18     S12 : BOOL ;
19     S13 : BOOL ;
20     S14 : BOOL ;
21     S15 : BOOL ;
22     S16 : BOOL ;
23     S17 : BOOL ;
24     S18 : BOOL ;
25     S19 : BOOL ;
26     OFF_BUTTON : BOOL ;
27     Start_Recipe : BOOL ;
28     Flag : BOOL ;
29     Recipe : BOOL ;
```

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

```
30     QTY_ING_1 : REAL ;
31     QTY_ING_2 : REAL ;
32     QTY_ING_3 : REAL ;
33     QTY_ING_4 : REAL ;
34     QTY_ING_5 : REAL ;
35     ING_1 : INT ;
36     ING_2 : INT ;
37     ING_3 : INT ;
38     ING_4 : INT ;
39     ING_5 : INT ;
40     Check_Ing : BOOL ;
41     ING_OK : BOOL ;
42     ING_NOK : BOOL ;
43     Add_Ing : BOOL ;
44     Add_TK_Vol : BOOL ;
45     TK_V_1 : REAL ;
46     TK_V_2 : REAL ;
47     TK_V_3 : REAL ;
48     TK_V_4 : REAL ;
49     TK_V_5 : REAL ;
50     ID_DECODE_0 : ID_DECODE ;
51     ID_DECODE_1 : ID_DECODE ;
52     ID_DECODE_2 : ID_DECODE ;
53     ID_DECODE_3 : ID_DECODE ;
54     ID_DECODE_4 : ID_DECODE ;
55     NAME_1 : WSTRING ;
56     SP_TEMP_1 : REAL ;
57     DEN_1 : REAL ;
58     VIS_1 : REAL ;
59     SPEC_HEAT_1 : REAL ;
60     NAME_2 : WSTRING ;
61     SP_TEMP_2 : REAL ;
```

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

```
62     DEN_2 : REAL ;
63     VIS_2 : REAL ;
64     SPEC_HEAT_2 : REAL ;
65     NAME_3 : WSTRING ;
66     SP_TEMP_3 : REAL ;
67     DEN_3 : REAL ;
68     VIS_3 : REAL ;
69     SPEC_HEAT_3 : REAL ;
70     NAME_4 : WSTRING ;
71     SP_TEMP_4 : REAL ;
72     DEN_4 : REAL ;
73     VIS_4 : REAL ;
74     SPEC_HEAT_4 : REAL ;
75     NAME_5 : WSTRING ;
76     SP_TEMP_5 : REAL ;
77     DEN_5 : REAL ;
78     VIS_5 : REAL ;
79     SPEC_HEAT_5 : REAL ;
80     CONTROL_TANK_0 : CONTROL_TANK ;
81     Count_1 : WORD ;
82     CONTROL_TANK_1 : CONTROL_TANK ;
83     Count_2 : WORD ;
84     CONTROL_TANK_2 : CONTROL_TANK ;
85     Count_3 : WORD ;
86     CONTROL_TANK_3 : CONTROL_TANK ;
87     Count_4 : WORD ;
88     CONTROL_TANK_4 : CONTROL_TANK ;
89     Count_5 : WORD ;
90     V_Begin_1 : BOOL ;
91     V_Begin_2 : BOOL ;
92     V_Begin_3 : BOOL ;
93     V_Begin_4 : BOOL ;
```

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

```
94      V_Begin_5 : BOOL ;
95      V_Close_1 : BOOL ;
96      V_Close_2 : BOOL ;
97      V_Close_3 : BOOL ;
98      V_Close_4 : BOOL ;
99      V_Close_5 : BOOL ;
100     AND_1 : BOOL ;
101     ALL_V_Close : BOOL ;
102     TK_LVL_1 : REAL ;
103     TK_LVL_2 : REAL ;
104     TK_LVL_3 : REAL ;
105     TK_LVL_4 : REAL ;
106     TK_LVL_5 : REAL ;
107     HEATING_0 : HEATING ;
108     CV_TEMP_1 : WORD ;
109     H_TEMP_1 : WORD ;
110     HEATING_1 : HEATING ;
111     HEATING_2 : HEATING ;
112     HEATING_3 : HEATING ;
113     HEATING_4 : HEATING ;
114     CV_TEMP_2 : WORD ;
115     H_TEMP_2 : WORD ;
116     CV_TEMP_3 : WORD ;
117     H_TEMP_3 : WORD ;
118     CV_TEMP_4 : WORD ;
119     H_TEMP_4 : WORD ;
120     CV_TEMP_5 : WORD ;
121     H_TEMP_5 : WORD ;
122     Heated_1 : BOOL ;
123     Heated_2 : BOOL ;
124     Heated_3 : BOOL ;
125     Heated_4 : BOOL ;
```

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

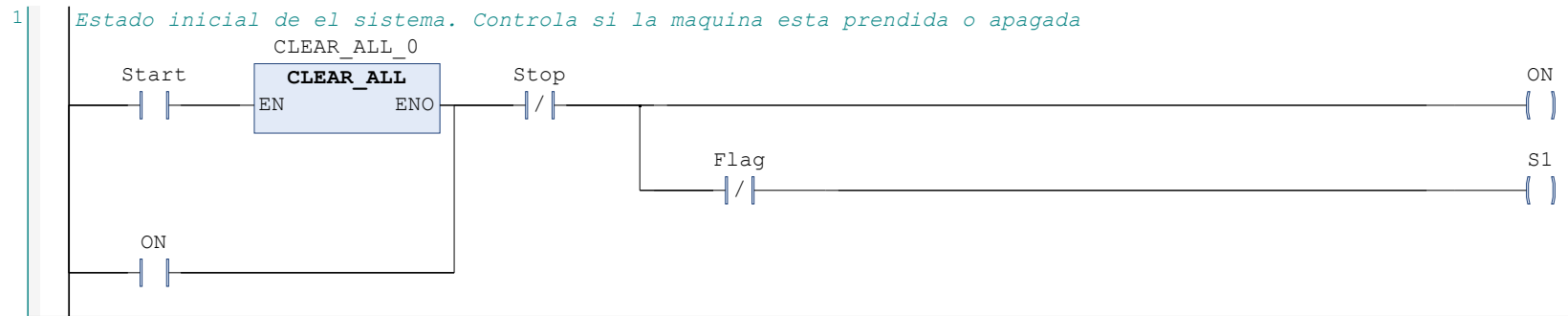
```
126      Heated_5 : BOOL ;
127      Done_Heating : BOOL ;
128      SAP_IND_1 : REAL ;
129      SAP_IND_2 : REAL ;
130      SAP_IND_3 : REAL ;
131      SAP_IND_4 : REAL ;
132      SAP_IND_5 : REAL ;
133      SAP_1 : REAL ;
134      SAP_2 : REAL ;
135      SAP_3 : REAL ;
136      SAP_4 : REAL ;
137      NAOH_QTY : REAL ;
138      OVERFLOW : BOOL ;
139      MX_LVL : REAL ;
140      TON_0 : TON ;
141      ET : TIME ;
142      TON_1 : TON ;
143      MX_SPEED : WORD ;
144      PREV_TK_LV_1 : REAL ;
145      PREV_TK_LV_2 : REAL ;
146      PREV_TK_LV_3 : REAL ;
147      PREV_TK_LV_4 : REAL ;
148      PREV_TK_LV_5 : REAL ;
149      Tank_Input_1 : REAL ;
150      Tank_Input_2 : REAL ;
151      Tank_Input_3 : REAL ;
152      Tank_Input_4 : REAL ;
153      Tank_Input_5 : REAL ;
154      Prev_Input_1 : REAL ;
155      Prev_Input_2 : REAL ;
156      Prev_Input_3 : REAL ;
157      Prev_Input_4 : REAL ;
```

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

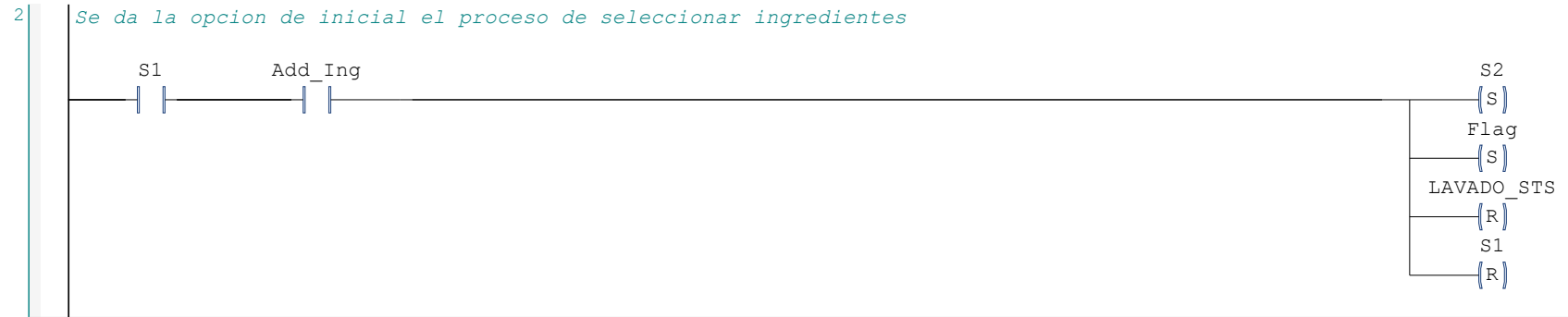
```
158     Prev_Input_5 : REAL ;
159     TON_2 : TON ;
160     RESTART : BOOL ;
161     HEATING_5 : HEATING ;
162     CV_TEMP_6 : WORD ;
163     H_TEMP_6 : WORD ;
164     MX_SPEED_OFFSET : WORD ;
165     CONTROL_TANK_5 : CONTROL_TANK ;
166     V_Begin_6 : BOOL ;
167     Count_6 : WORD ;
168     TK_LVL_6 : REAL ;
169     ET2 : TIME ;
170     RECIPE_TOTAL : REAL ;
171     REAL_TO_2_WORDS_0 : REAL_TO_2_WORDS ;
172     REAL_TO_2_WORDS_1 : REAL_TO_2_WORDS ;
173     CLEAR_ALL_0 : CLEAR_ALL ;
174     OFF_BUTTON_2 : BOOL ;
175     Lavado : BOOL ;
176     TON_3 : TON ;
177     ET3 : TIME ;
178     CONTROL_TANK_6 : CONTROL_TANK ;
179     Count_7 : WORD ;
180     TON_4 : TON ;
181     ET4 : TIME ;
182     TK_LVL_7 : REAL ;
183     TON_5 : TON ;
184     SPEED_OFFSET : WORD ;
185     MIXER_SPEED_CONTROL_0 : MIXER_SPEED_CONTROL ;
186     HEATING_6 : HEATING ;
187     MIXER_SPEED_CONTROL_1 : MIXER_SPEED_CONTROL ;
188     MIXER_SPEED_CONTROL_2 : MIXER_SPEED_CONTROL ;
189     MIXER_SPEED_CONTROL_3 : MIXER_SPEED_CONTROL ;
```

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

```
190     MIXER_SPEED_CONTROL_4 : MIXER_SPEED_CONTROL ;
191     MX_SPEED_2 : WORD ;
192     MX_SPEED_3 : WORD ;
193     MX_SPEED_4 : WORD ;
194     MX_SPEED_5 : WORD ;
195     LAVADO_STS : BOOL ;
196     V7 : BOOL ;
197     CLEAR_ALL_1 : CLEAR_ALL ;
198     CLEAR_ALL_2 : CLEAR_ALL ;
199     CLEAR_ALL_3 : CLEAR_ALL ;
200     END_VAR
201
202
203
```



1.1.1.8 POU: PLC_PRG



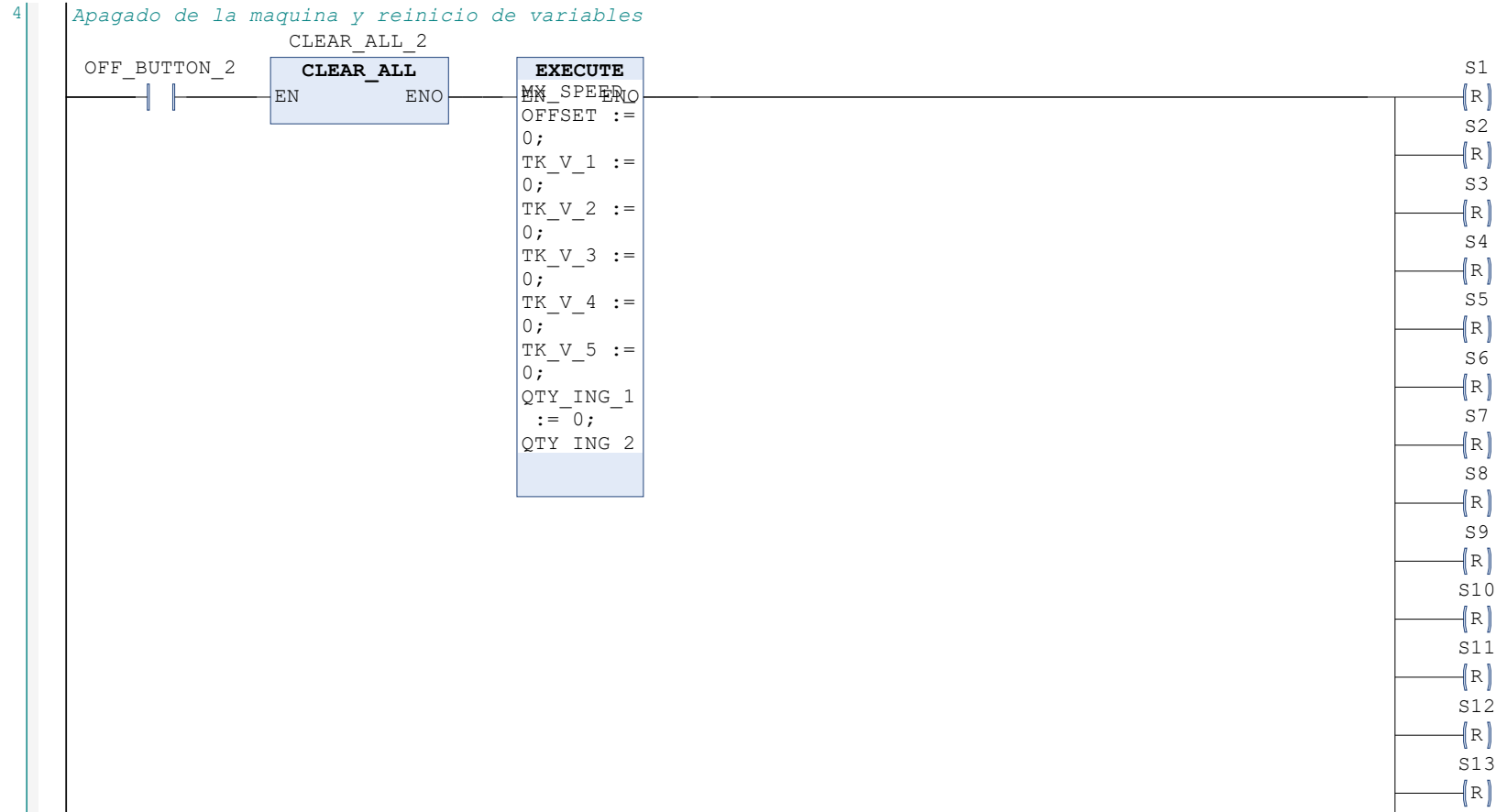
1.1.1.8 POU: PLC_PRG

1.1.1.8 POU: PLC_PRG



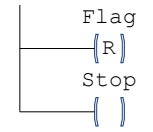
OFF_BUTTON
(R)

1.1.1.8 POU: PLC_PRG



1.1.1.8 POU: PLC_PRG

1.1.1.8 POU: PLC_PRG



1.1.1.8 POU: PLC_PRG

6

RESTART WITH SAME INGREDIENTS

RESTART

```
EXECUTE  
ENL.IN_IN  
G_TK_1 :=  
0;  
GVL.IN_IN  
G_TK_2 :=  
0;  
GVL.IN_IN  
G_TK_3 :=  
0;  
GVL.IN_IN  
G_TK_4 :=
```

- S1 (R)
- S2 (R)
- S3 (S)
- S4 (R)
- S5 (R)
- S6 (R)
- S7 (R)
- S8 (R)
- S9 (R)
- S10 (R)
- S11 (R)
- S12 (R)
- S13 (R)

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

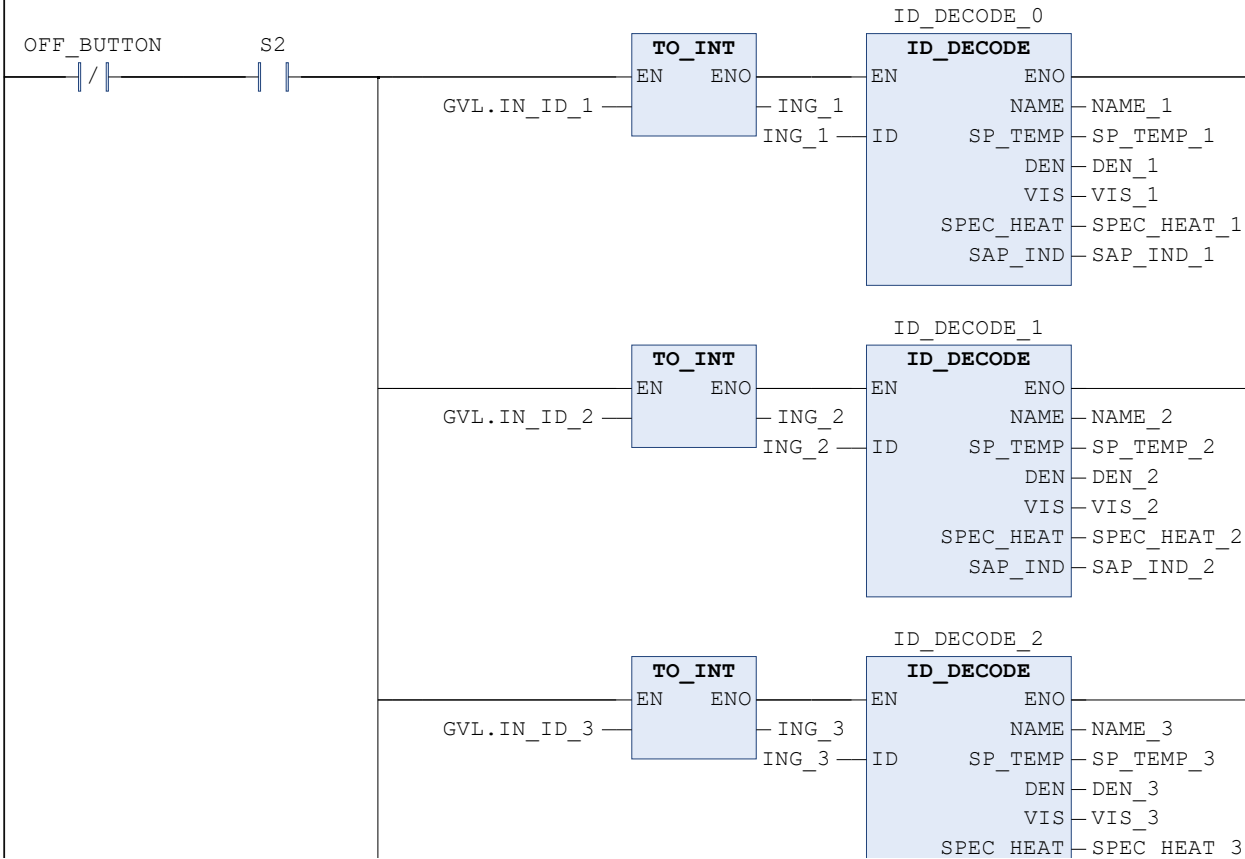


Flag
(R)

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

7

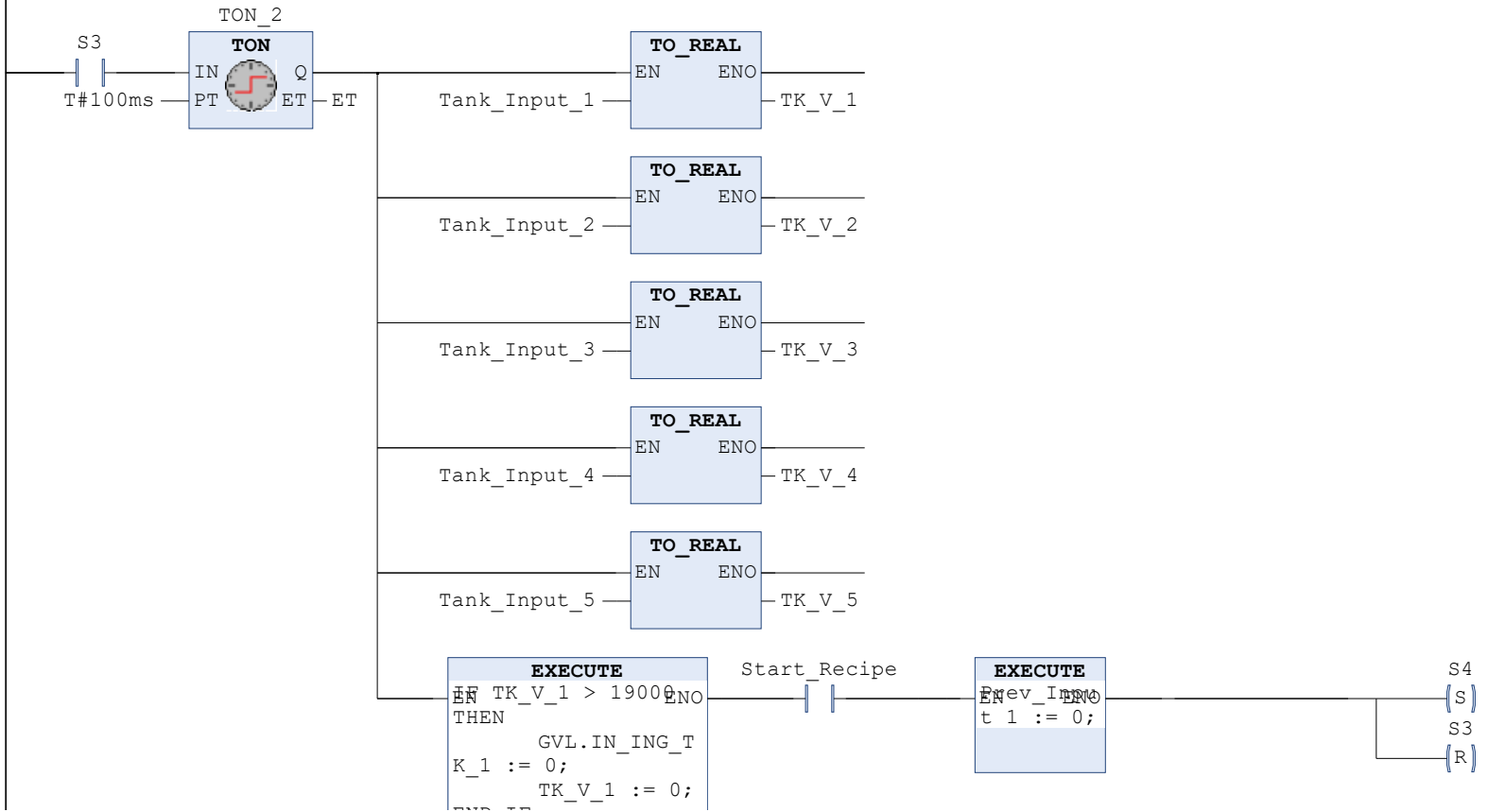
Estapa de seleccion de ingredientes. Se ingresa un ID y se obtienen las propiedades de dicho aceite



1.1.1.8 POU: PLC_PRG

8 |

Estado donde se agrega el volumen a los tanques de ingredientes de manera incremental



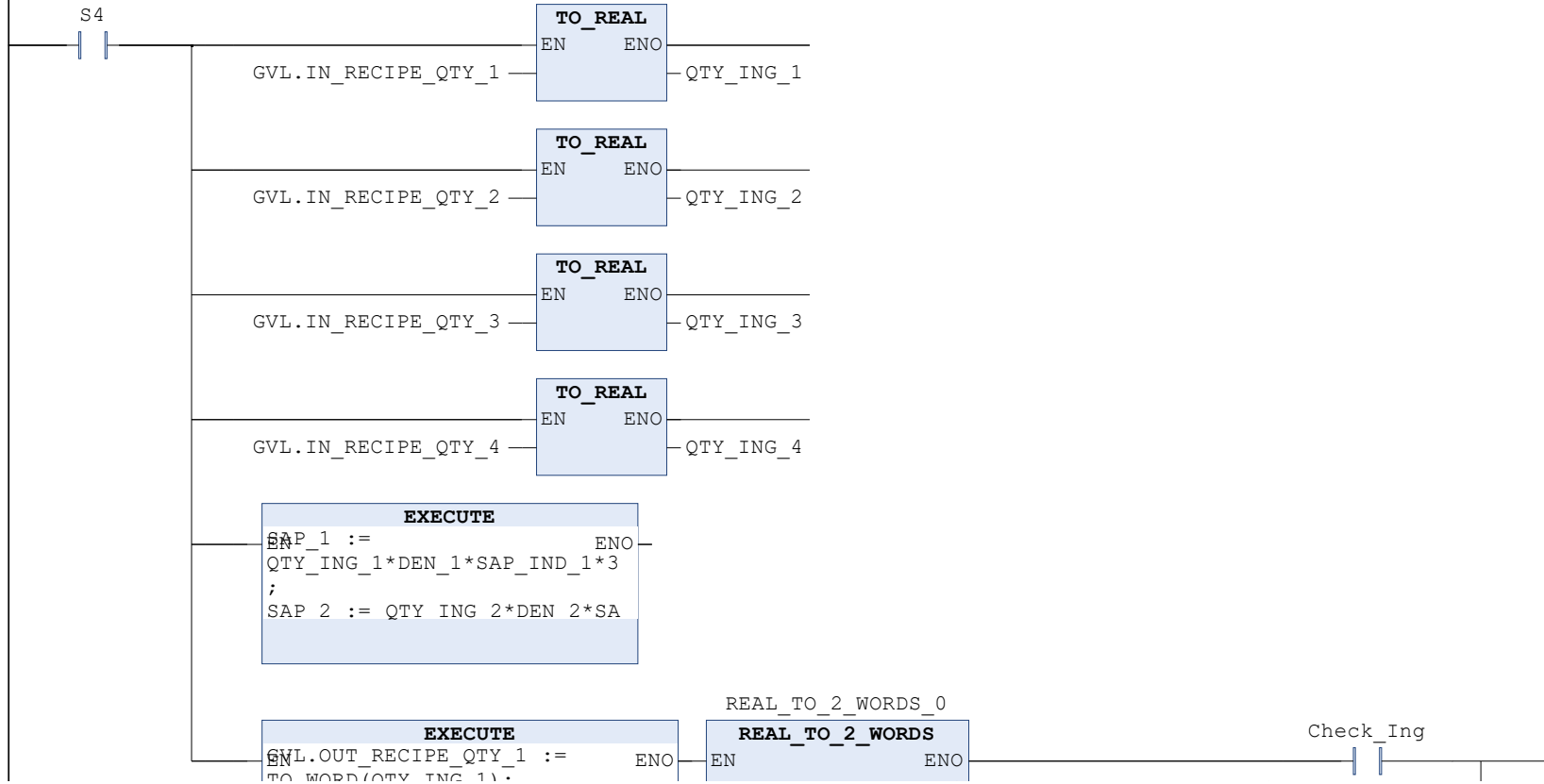
1.1.1.8 POU: PLC_PRG

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

```
END_IF
IF TK_V_2 > 19000
THEN
    GVL.IN_ING_T
K_2 := 0;
    TK_V_2 := 0;
END_IF
IF TK_V_3 > 19000
THEN
    GVL.IN_ING_T
K_3 := 0;
    TK_V_3 := 0;
END_IF
IF TK_V_4 > 19000
THEN
    GVL.IN_ING_T
```

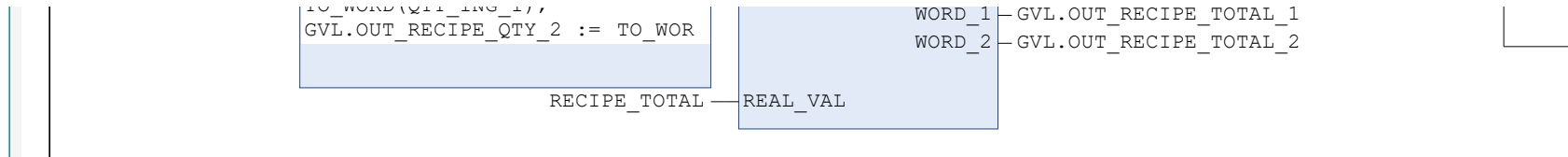

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

9 | *Se inicia la seleccion de receta y se calcula la cantidad de soda caustica*



S5
{S}

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

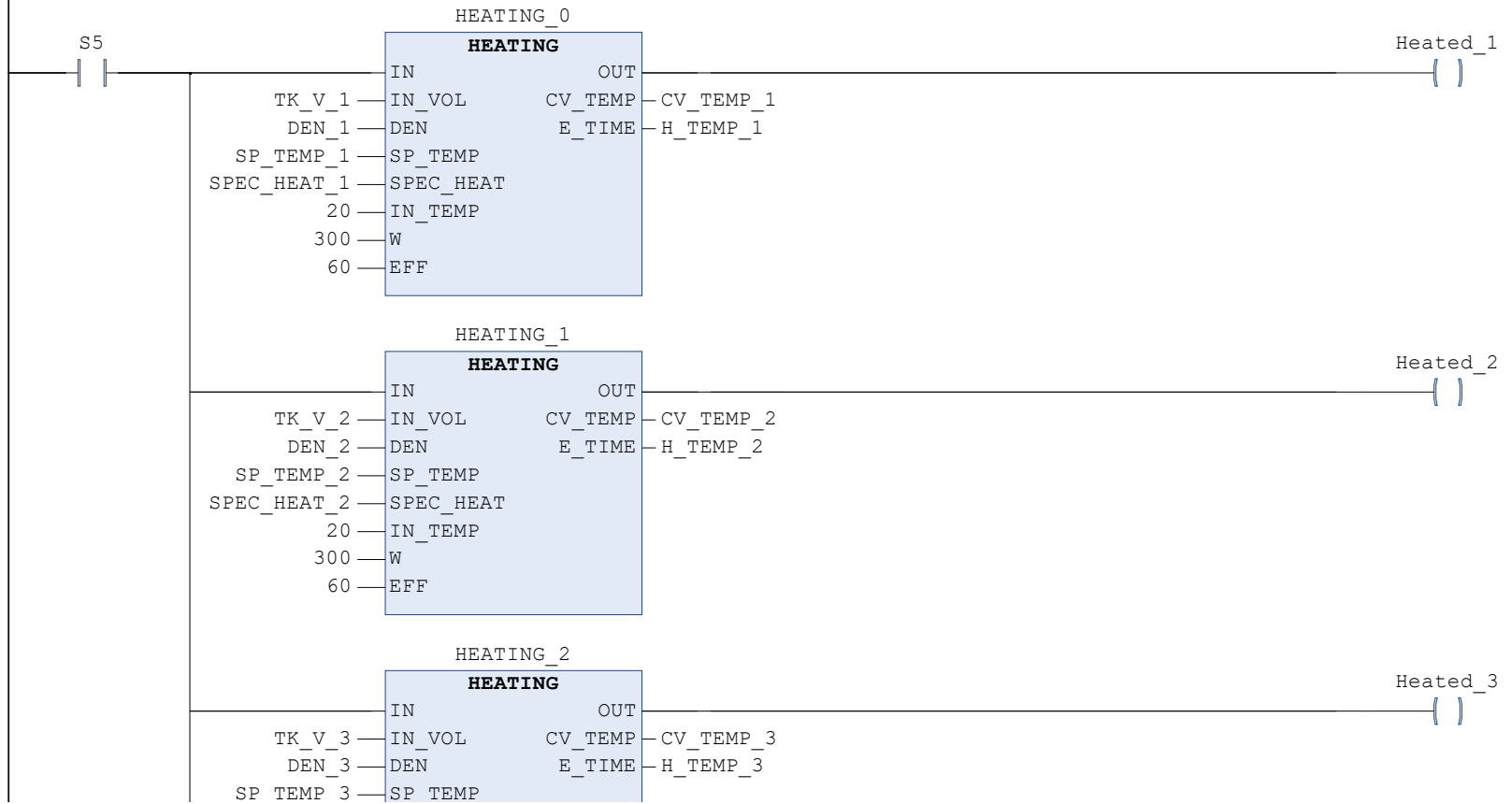


1.1.1.8 POU: PLC_PRG

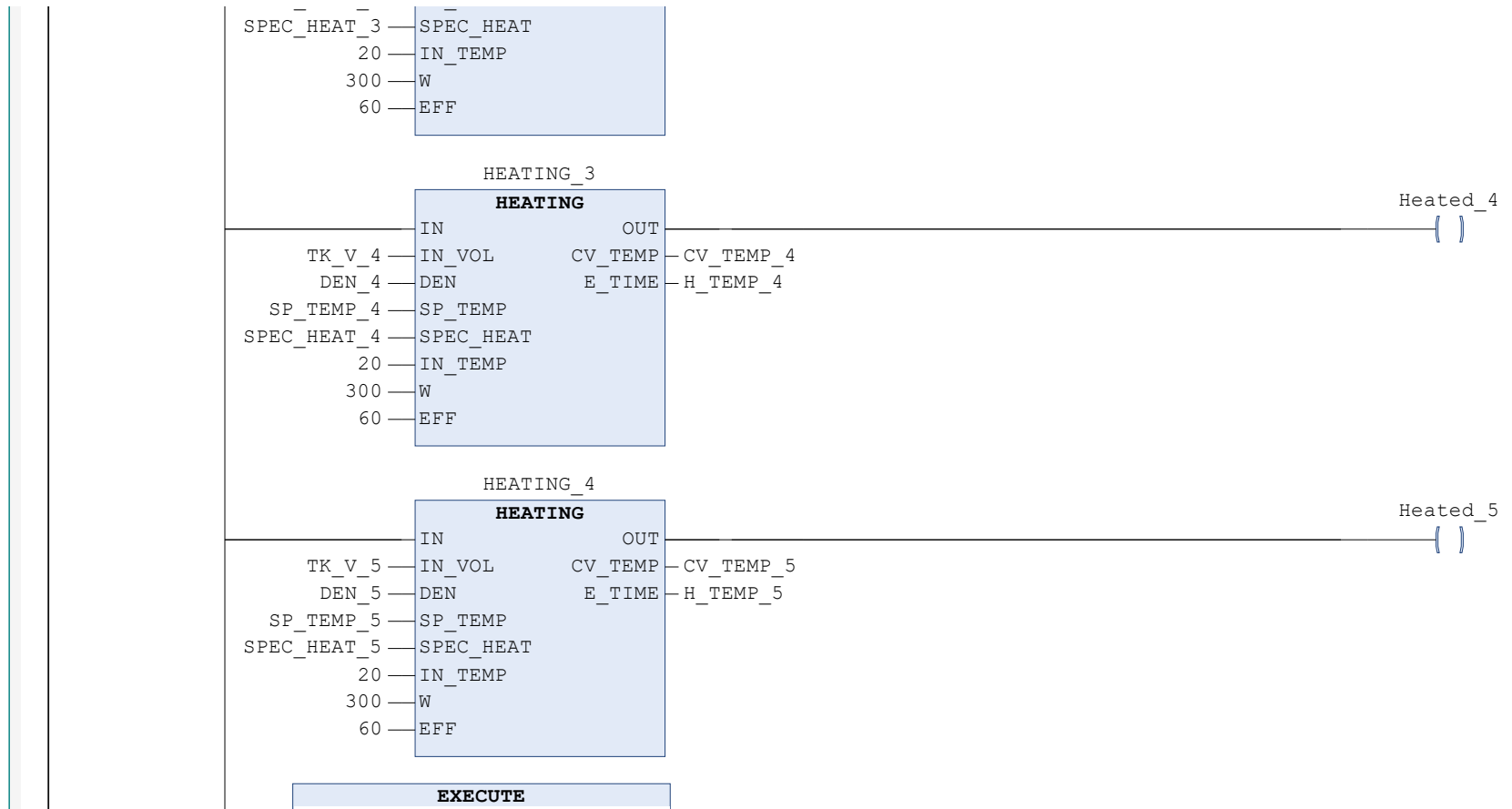
S4
(R)

1.1.1.8 POU: PLC_PRG

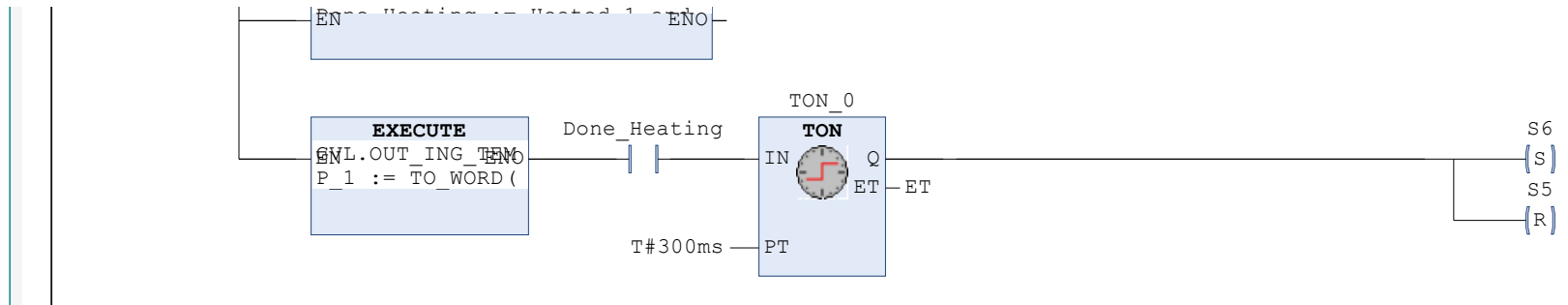
10 | Esta etapa se encarga de controlar la temperatura de cada ingrediente



1.1.1.8 POU: PLC_PRG



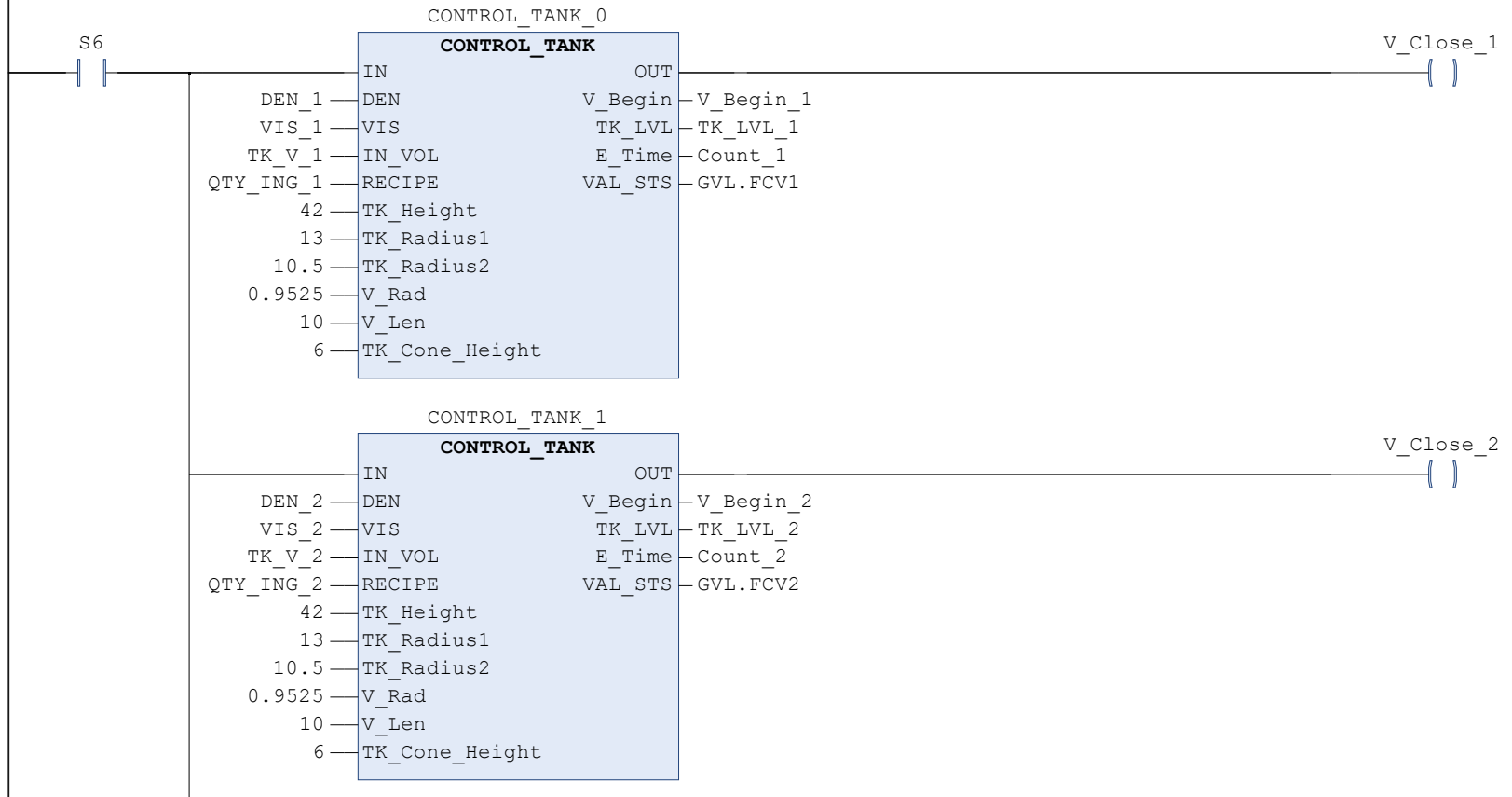
1.1.1.8 POU: PLC_PRG



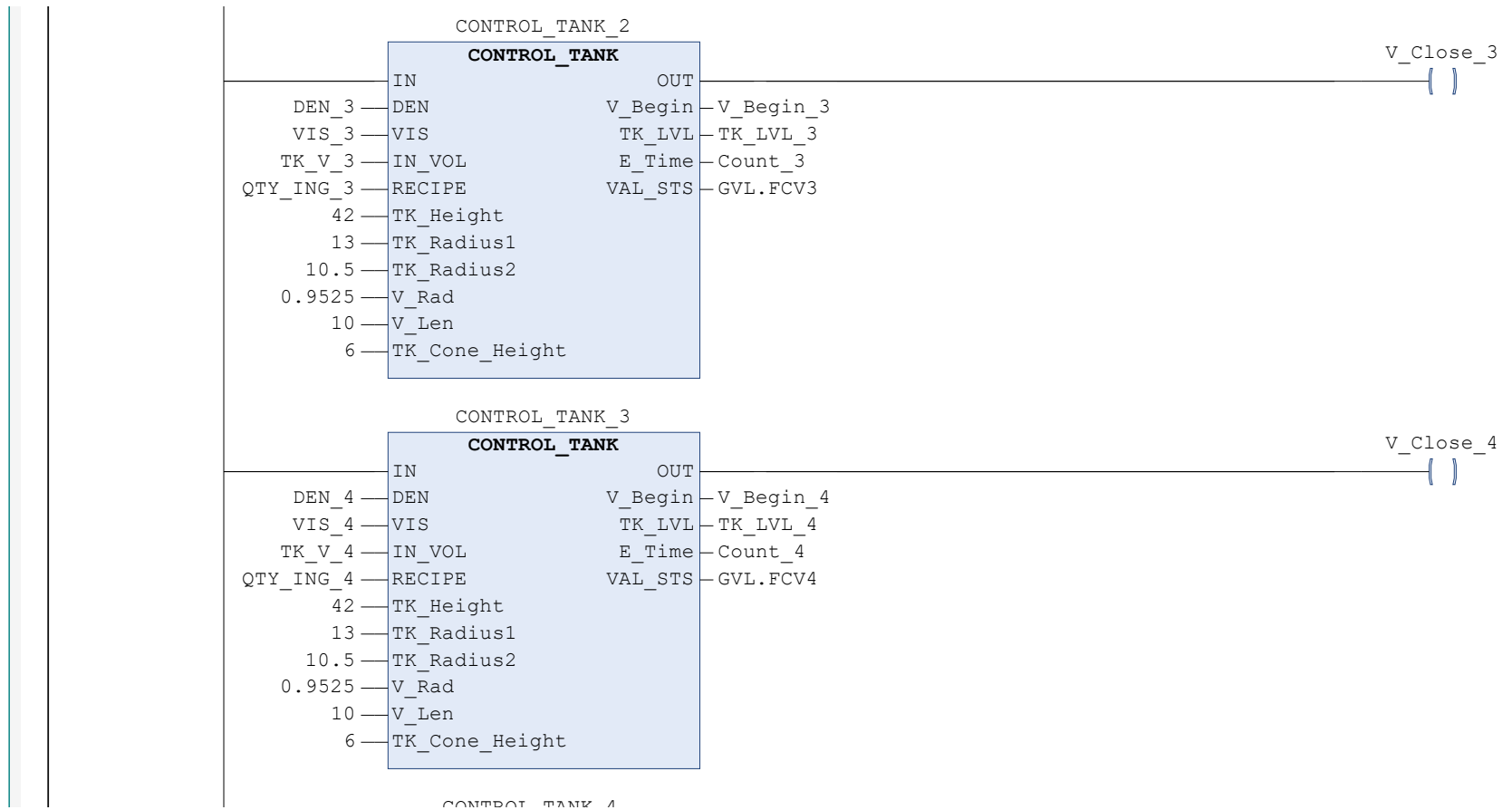
1.1.1.8 POU: PLC_PRG

11

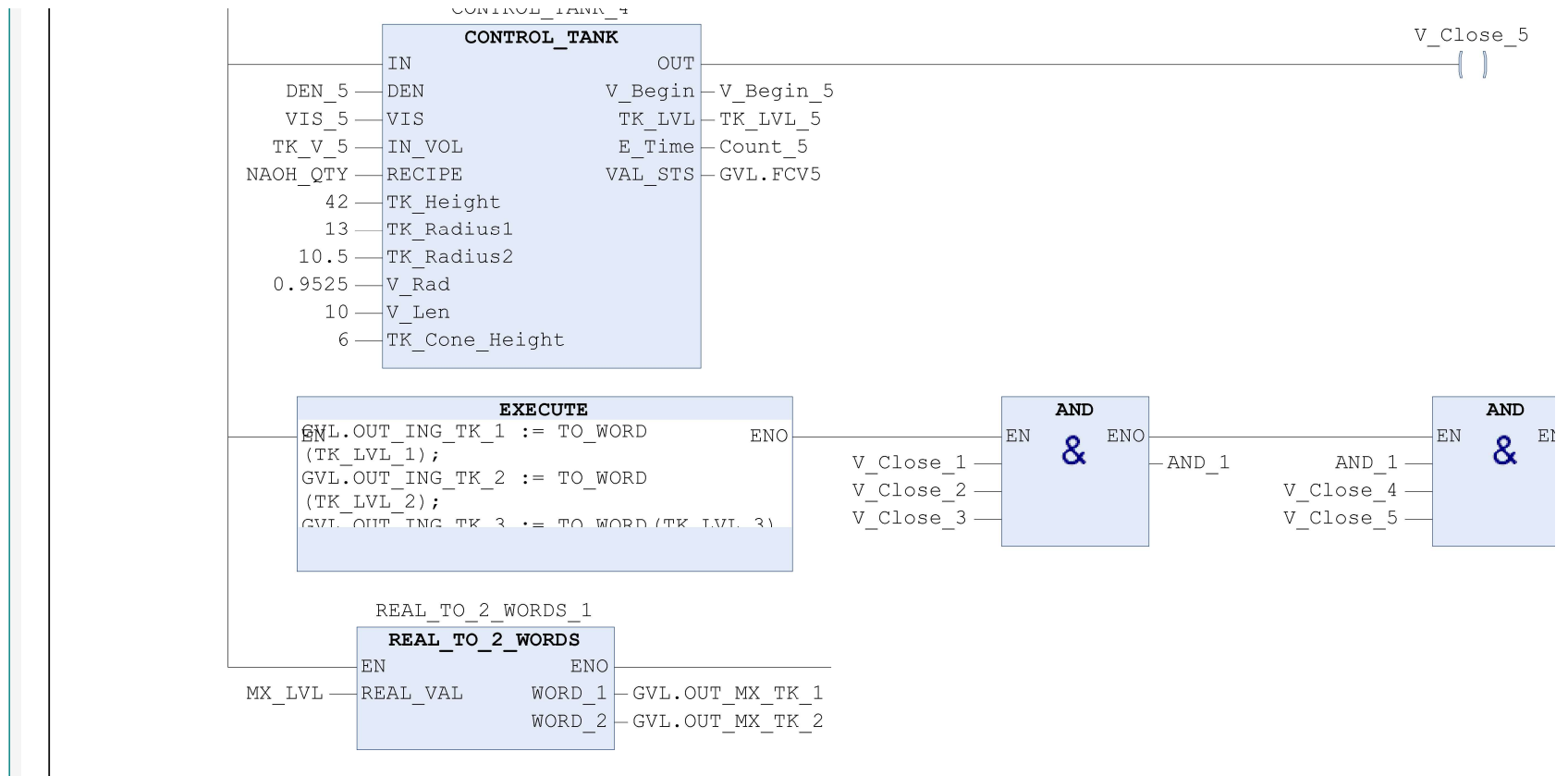
Se inicia el proceso de vertir los ingredientes al tanque de mezclado



1.1.1.8 POU: PLC_PRG



1.1.1.8 POU: PLC_PRG



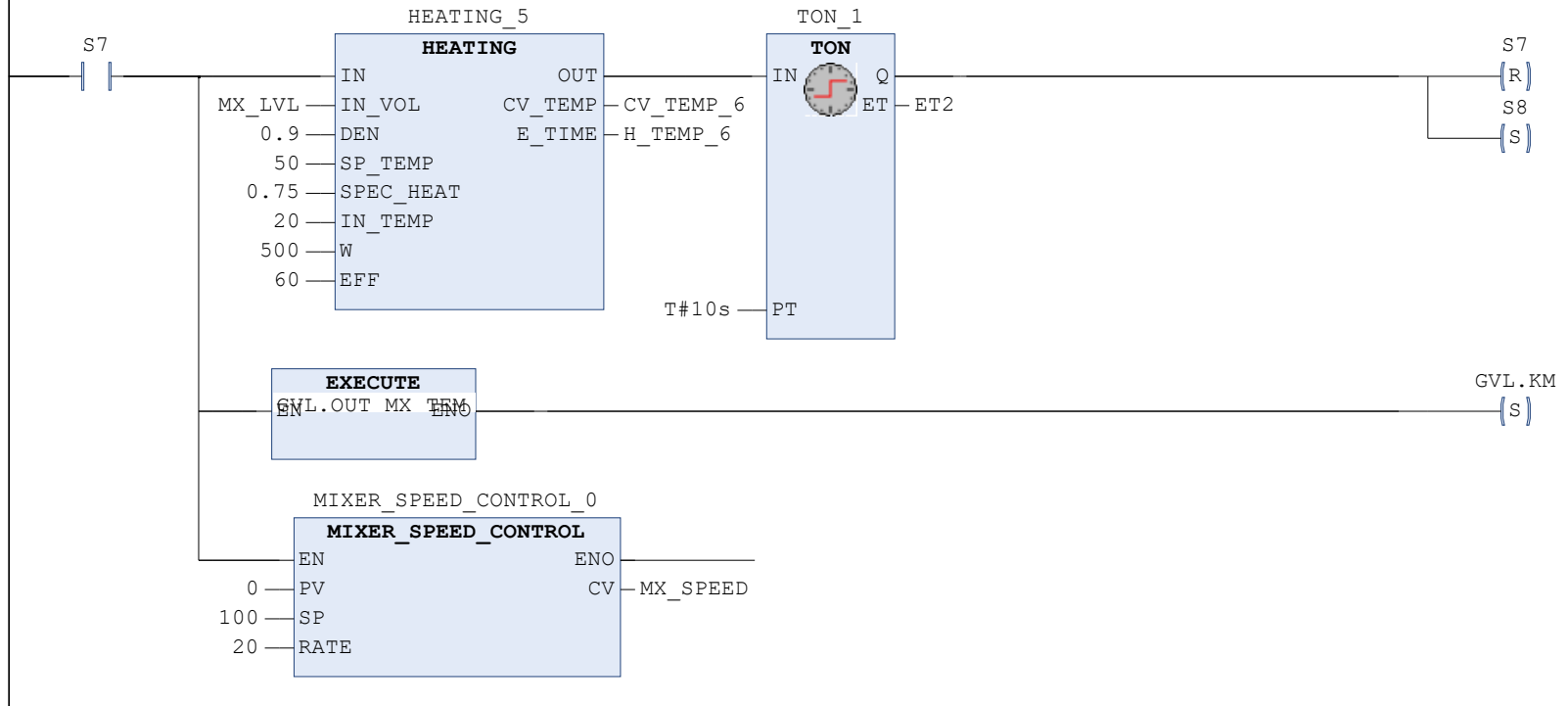
1.1.1.8 POU: PLC_PRG



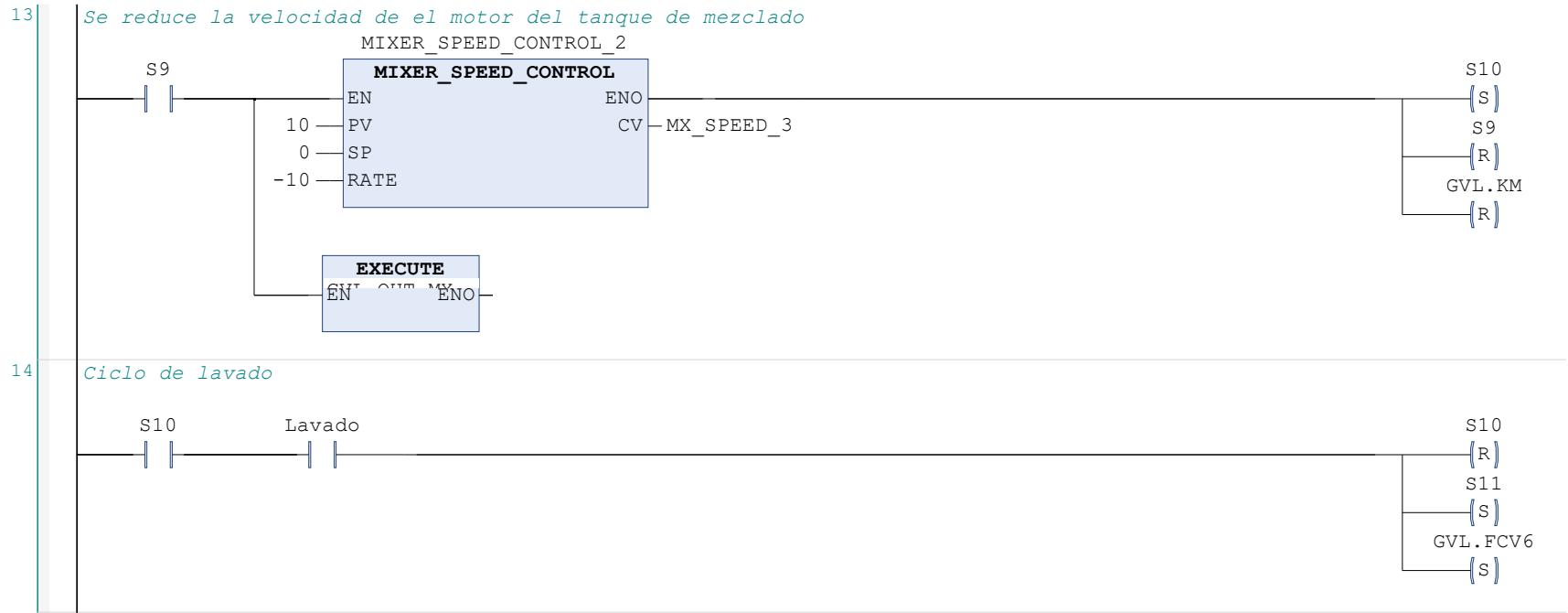
1.1.1.8 POU: PLC_PRG

12

Se inicia el proceso inicial de mezclado y control de la saponificacion



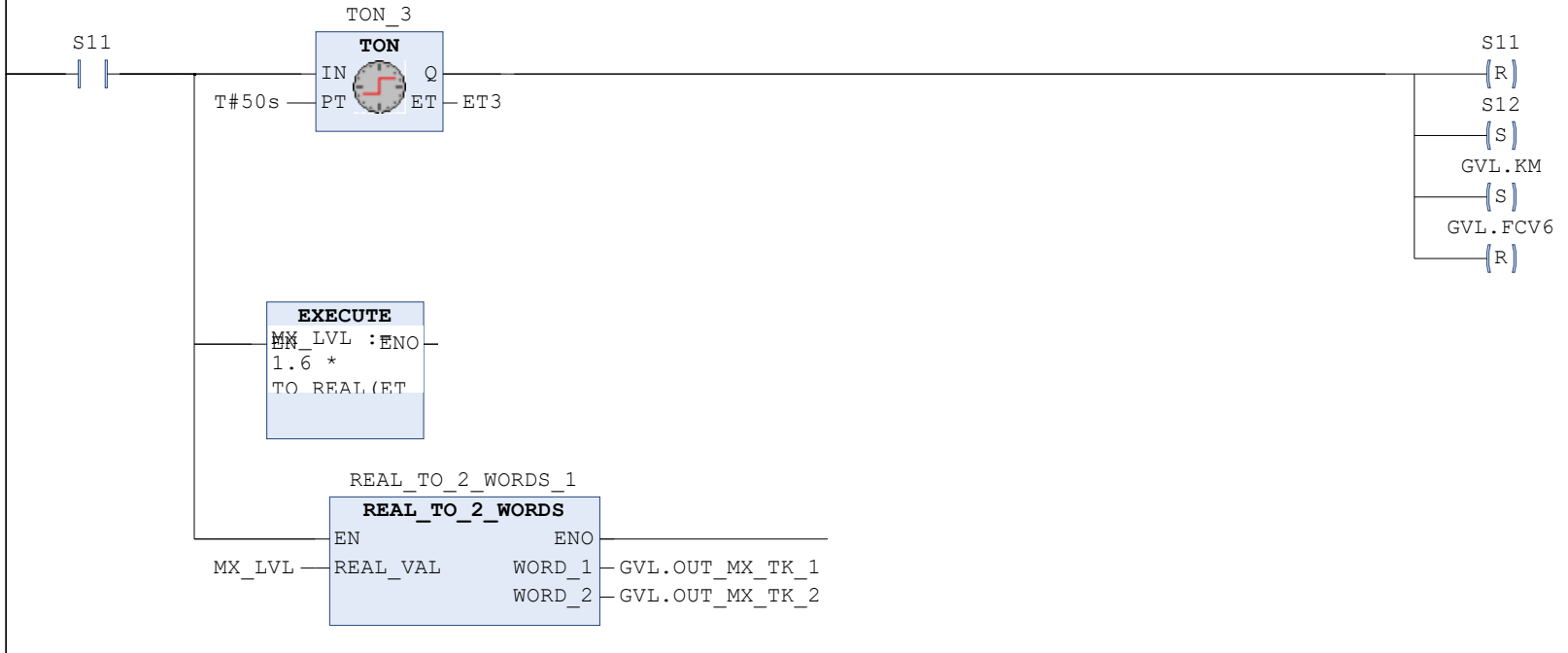
1.1.1.8 POU: PLC_PRG



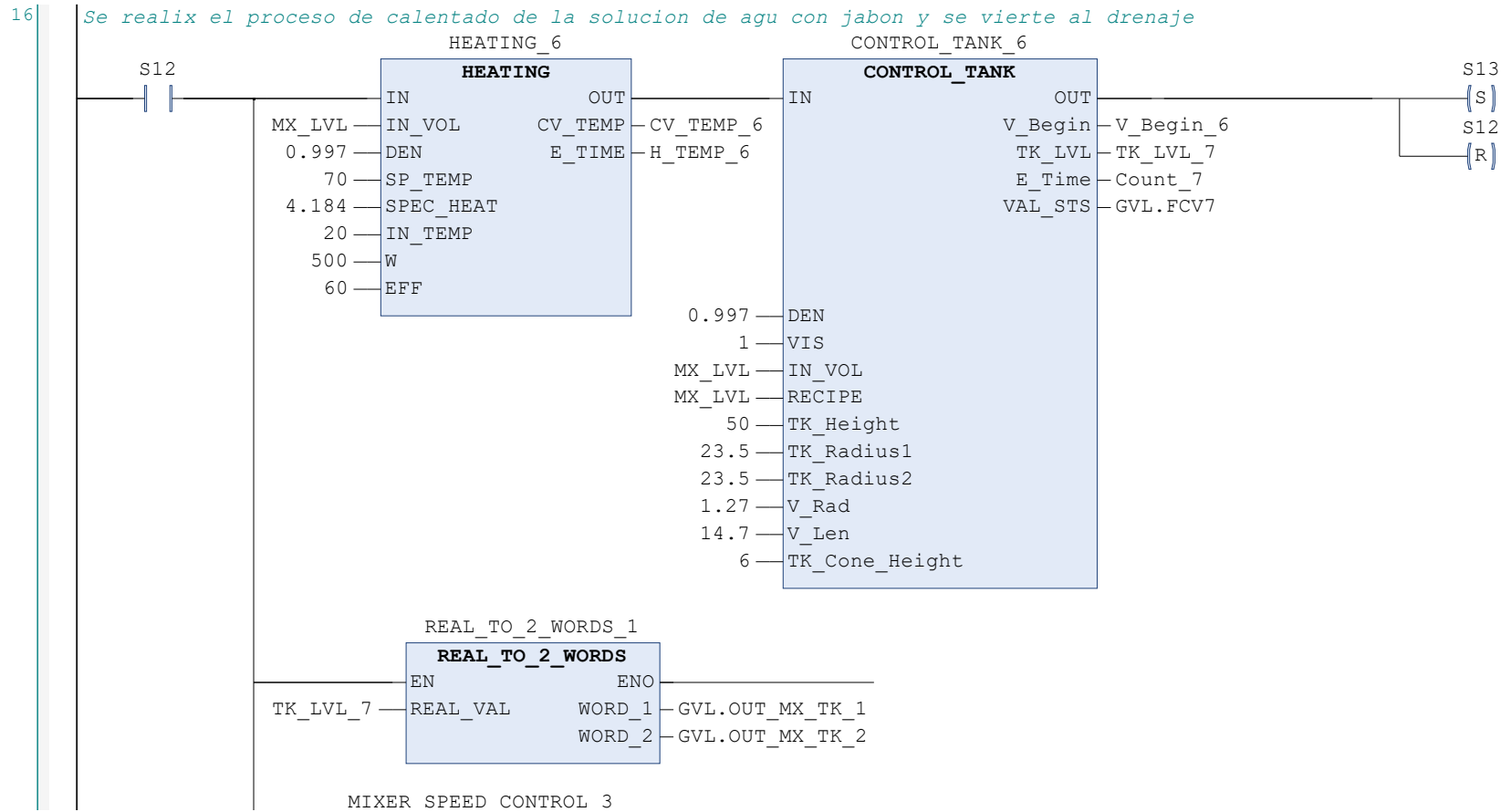
1.1.1.8 POU: PLC_PRG

15

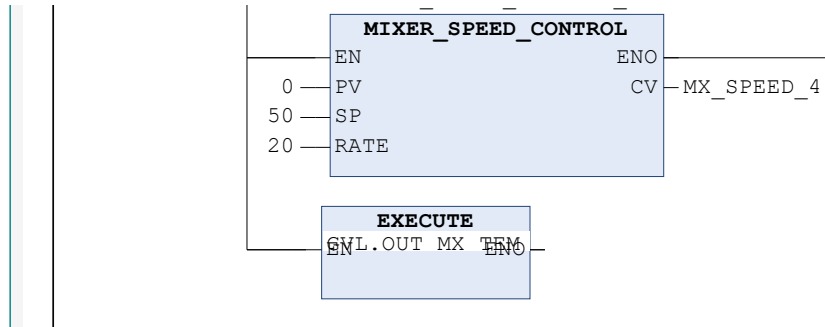
Simulacion de flujo de agua para el ciclo de lavado *El flujo original era de 0.4 L/s pero se modifico a 1.6L/s por motivos de tiempo de simulacion*



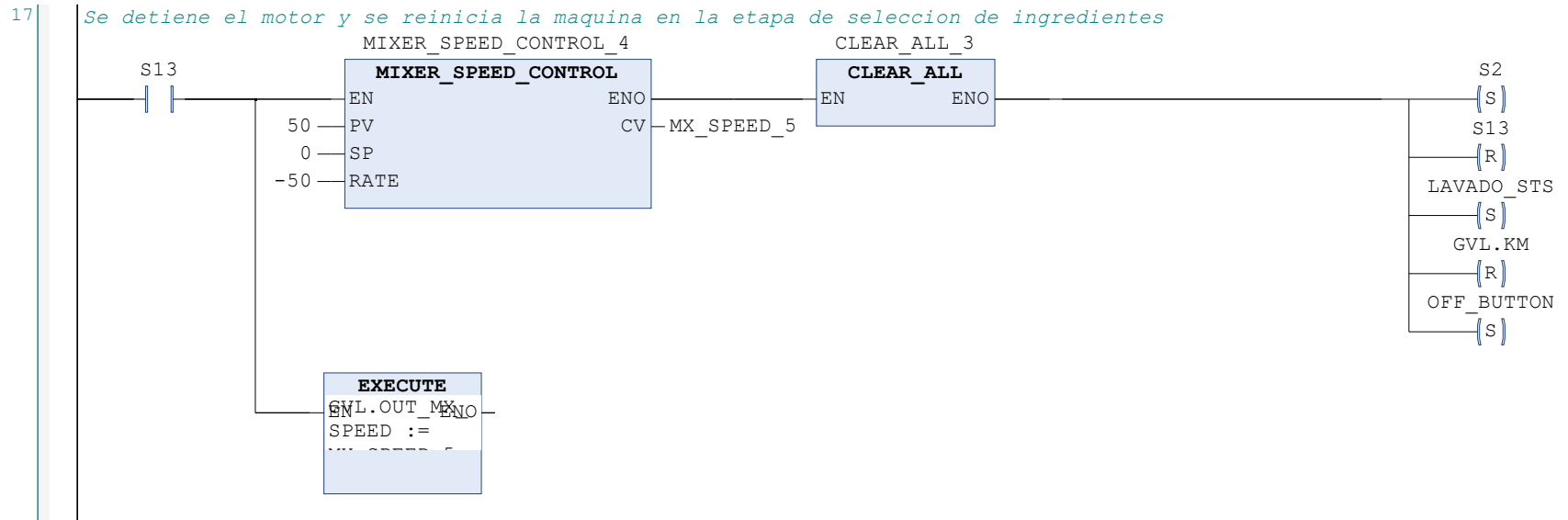
1.1.1.8 POU: PLC_PRG



1.1.1.8 POU: PLC_PRG



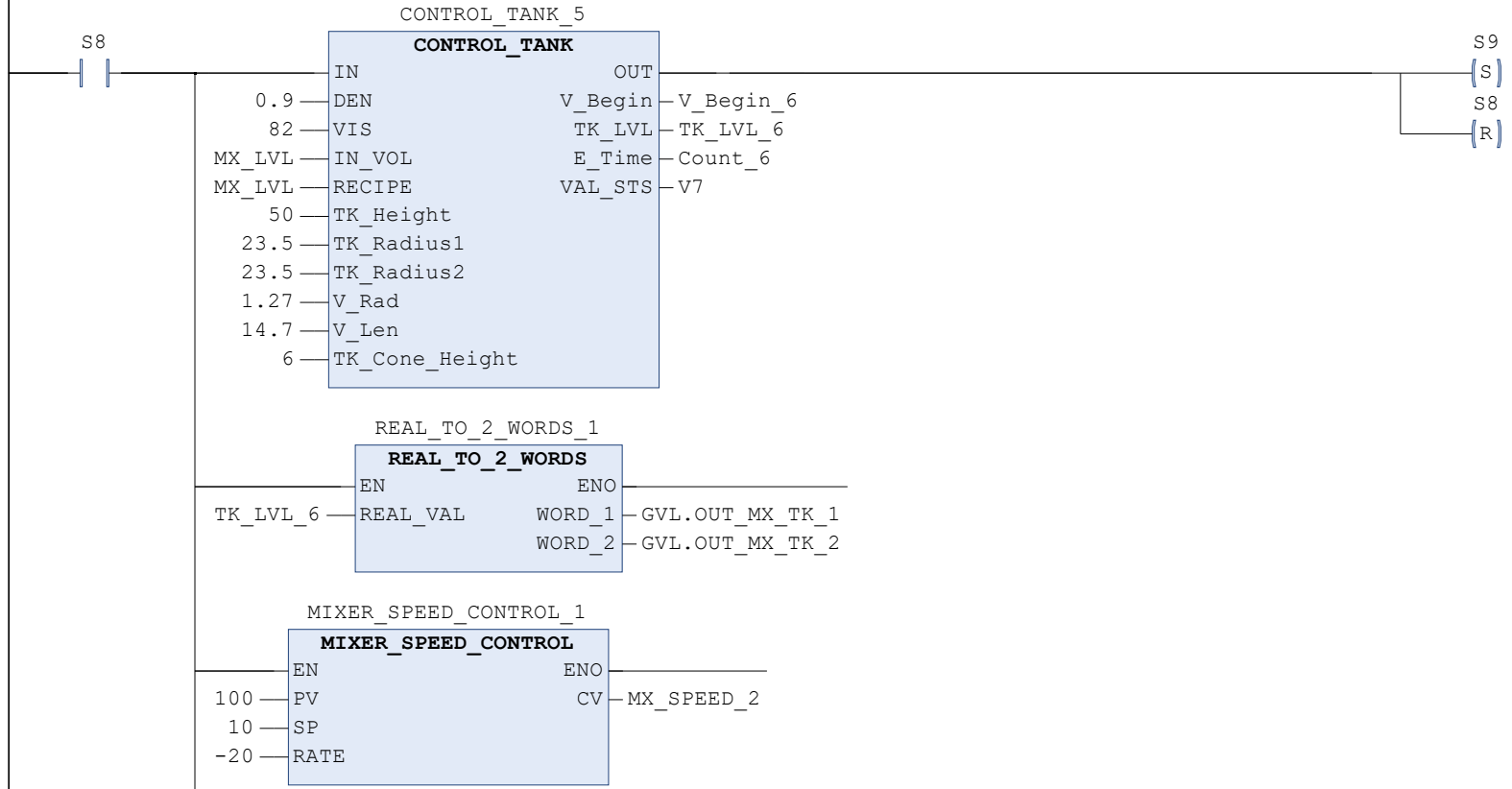
1.1.1.8 POU: PLC_PRG



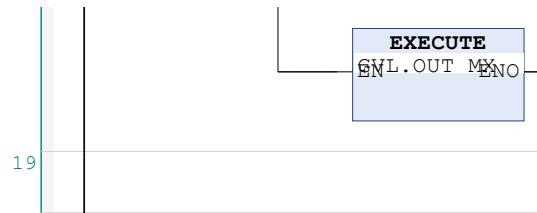
1.1.1.8 POU: PLC_PRG

18

Etapa en la que se calcula el flujo de la mezcla de jabon y se controla la velocidad del motor y la apertura de la valvula de flujo



1.1.1.8 POU: PLC_PRG



1.1.1.9 POU: REAL_TO_2_WORDS

```
1  FUNCTION_BLOCK REAL_TO_2_WORDS
2  VAR_INPUT
3      EN : BOOL ;
4      REAL_VAL : REAL ;
5  END_VAR
6  VAR_OUTPUT
7      ENO : BOOL ;
8      WORD_1 : WORD ;
9      WORD_2 : WORD ;
10 END_VAR
11 VAR
12     DOUBLE : DWORD ;
13     WordArray : ARRAY [ 0 .. 1 ] OF WORD ;
14     pTemp : POINTER TO DWORD ;
15     pTemp2 : POINTER TO DWORD ;
16 END_VAR
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
```

```
12
13     // Index 0 := Bits 15-0
14     // Index 1 := Bits 31-16
15
16     WORD_1 := WordArray [ 0 ] ;
17     WORD_2 := WordArray [ 1 ] ;
18
19     ENO := TRUE ;
20 ELSE
21     ENO := FALSE ;
22 END_IF
23
```

1.1.1.10 Symbol Configuration: Symbols

1.1.1.11 Task Configuration: Task Configuration

Max. number of tasks: 100
Max. number of cyclic tasks: 100
Max. number of freewheeling tasks: 100
Max. number of event tasks: 100
Max. number of status tasks: 100

System Events:

1.1.1.11.1 Task: MainTask

Priority: 1
 Type: Freewheeling
 Watchdog: Inactive
 POU: PLC_PRG

1.1.1.11.1.1 Program Call: PLC_PRG

1.2 Device: Ethernet

Ethernet Device Parameters

Parameters:

Name:	Type:	Value:	Default Value:	Unit:	Description:
IPAddress	ARRAY[0..3] OF BYTE	[192,168,0,55]	[192, 168, 0, 1]		Configure IP Address of the Controller on the EtherNet bus (IP).
SubnetMask	ARRAY[0..3] OF BYTE	[255,255,255,0]	[255, 255, 255, 0]		Configure IP Address of the Controller on the EtherNet bus (Mask).
GatewayAddress	ARRAY[0..3] OF BYTE	[192,168,0,1]	[0, 0, 0, 0]		Configure IP Address of the Controller on the EtherNet bus (Gateway).
TransferRate	Enumeration of BYTE	0	0		Configure Bus speed of the EtherNet.
IPConfigMode	Enumeration of BYTE	1	1		Configure the method this device uses for obtaining an IP address.
DeviceName	STRING	'myDevice'	'myDevice'		Configure the Network-/Device- Name, e.g. for DHCP addressing Use case.
WebServer	BOOL	true	true		Configure activation of WEB server
MACAddress	ARRAY[0..5] OF BYTE	[16#00,16#00,16#00,16#00,16#00,16#00]	[16#0, 16#0, 16#0, 16#0, 16#0, 16#0]		MAC Address

1.2 Device: Ethernet

NetworkInterfaceName	STRING	'Ethernet'	"	Configure Name of Network Interface
EtherNetProtocol	Enumeration of BYTE	0	0	Configure EtherNet Protocol (Ethernet2 or 802.3 frames)
NetworkInterfaceName	WSTRING	"Ethernet"	""	Configure Name of Network Interface - Unicode
SaveCommunicationSettings	BOOL	FALSE	false	TRUE: IP, SubnetMask and GatewayAddress will be set to the configured values at the PLC's OS!
IPAddress	ARRAY[0..3] OF BYTE	[192, 168, 0, 1]	[192, 168, 0, 1]	Actual IP Address of the Controller on the EtherNet bus (IP).
SubnetMask	ARRAY[0..3] OF BYTE	[255, 255, 255, 0]	[255, 255, 255, 0]	Actual IP Address of the Controller on the EtherNet bus (Mask).
GatewayAddress	ARRAY[0..3] OF BYTE	[0, 0, 0, 0]	[0, 0, 0, 0]	Actual IP Address of the Controller on the EtherNet bus (Gateway).
TransferRate	Enumeration of BYTE	0	0	Actual Bus speed of the EtherNet.
IPConfigMode	Enumeration of BYTE	1	1	Actual method this device uses for obtaining an IP address.
DeviceName	STRING	'my Device'	'my Device'	Actual Network-/Device- Name, e.g. for DHCP addressing Use case.
WebServer	BOOL	true	true	Actual activation state of WEB server
NetworkStatus	Enumeration of BYTE	1	1	Actual network status.
ModuleStatus	Enumeration of BYTE	1	1	Actual module status.
MACAddress	ARRAY[0..5] OF BYTE	[16#0, 16#0, 16#0, 16#0, 16#0, 16#0]	[16#0, 16#0, 16#0, 16#0, 16#0, 16#0]	Actual MAC Address.
NetworkInterfaceName	STRING	'ether 0'	'ether 0'	Actual Name of Network Interface
EtherNetProtocol	Enumeration of BYTE	0	0	Actual configured EtherNet Protocol
EthDiag				Ethernet diagnostic information
Current IP	STRING			
Current subnet mask	STRING			
Current gateway address	STRING			
IP changes	UDINT			Amount of IP configuration changes since startup (IP or gateway address or subnet mask)
ReadOnlyNIC	WSTRING	""	""	NIC whose communication settings shall not be changed.

1.2 Device: Ethernet

Ethernet Device I/O Mapping

IEC objects:

Variable: Type:
Ethernet IoDrvEthernet

Information

Name: Ethernet
Vendor: 3S - Smart Software Solutions GmbH
Categories: Ethernet Adapter, Ethernet Adapter, Ethernet Adapter, Home&Building Automation
Type: 110
ID: 0000 0002
Version: 3.5.15.0
Order number: -
Description: Ethernet Link.

1.2.1 Device: ModbusTCP_Slave_Device

Modbus TCP Slave Device Parameters

Parameters:

Name:	Type:	Value:	Default Value:	Unit:	Description:
Timeout	DINT(500..200000)	0	0		Configuration of the TimeOut
InputAssemblySize	UINT(2..4096)	50	10		Configure the size of the loscanner register
OutputAssemblySize	UINT(2..4096)	50	10		Configure the size of the loscanner register
Port	UINT	502	502		Port where the slave is listening for requests
Unit-ID	BYTE	0	0		Unit-ID of the slave (optional)
OptimizationOn	BOOL	TRUE	TRUE		the driver optimizes the io update
UpdateableHolding	BOOL	FALSE	FALSE		Holding Registers as %Q-data for local update by application
StartAddresses					Start Addresses of Modbus Data Areas

1.2.1 Device: ModbusTCP_Slave_Device

Coils	UINT	0	0	
DiscreteInputs	UINT	0	0	
HoldingRegister	UINT	0	0	
InputRegister	UINT	0	0	
Data Model Options	UDINT	0	0	0 = default, 1 = Holding- and Input-Register Data Areas overlay
Timeout	DINT(500..200000)	2000	2000	Actual value of the TimeOut configured
InputAssemblySize	UINT(2..4096)	10	10	Actual value of the size of the assembly
OutputAssemblySize	UINT(2..4096)	10	10	Actual value of the size of the assembly
Port	UINT	502	502	Current Port where the slave is listening for requests
Unit-ID	BYTE	0	0	Current Unit-ID of the slave (optional)
ConfigVersion	UDINT	16#03050100	16#03050100	

Modbus TCP Slave Device I/O Mapping

Input Parameters:

Mapping:	Channel:	Type:	Address:	Unit:	Description:
Application.GVL.IN_ID_1	Inputs[0]	WORD			
Application.GVL.IN_ID_2	Inputs[1]	WORD			
Application.GVL.IN_ID_3	Inputs[2]	WORD			
Application.GVL.IN_ID_4	Inputs[3]	WORD			
Application.PLC_PRG.Start	Bit0	BOOL			
Application.PLC_PRG.OFF_BUTTON	Bit1	BOOL			
Application.PLC_PRG.Add_Ing	Bit2	BOOL			
Application.PLC_PRG.Add_TK_Vol	Bit3	BOOL			
Application.PLC_PRG.Start_Recipe	Bit4	BOOL			
Application.PLC_PRG.Check_Ing	Bit5	BOOL			
Application.PLC_PRG.RESTART	Bit6	BOOL			
Application.PLC_PRG.Lavado	Bit7	BOOL			
Application.PLC_PRG.OFF_BUTTON_2	Bit8	BOOL			
Application.GVL.IN_ING_TK_1	Inputs[6]	WORD			
Application.GVL.IN_ING_TK_2	Inputs[7]	WORD			
Application.GVL.IN_ING_TK_3	Inputs[8]	WORD			

1.2.1 Device: ModbusTCP_Slave_Device

Application.GVL.IN_ING_TK_4	Inputs[9]	WORD		
Application.GVL.IN_ING_TK_5	Inputs[10]	WORD		
Application.GVL.IN_RECIPES_QTY_1	Inputs[11]	WORD		
Application.GVL.IN_RECIPES_QTY_2	Inputs[12]	WORD		
Application.GVL.IN_RECIPES_QTY_3	Inputs[13]	WORD		
Application.GVL.IN_RECIPES_QTY_4	Inputs[14]	WORD		
Output Parameters:				
Mapping:	Channel:	Type:	Address:	Unit: Description:
Application.GVL.OUT_ID_1	Outputs[0]	WORD		
Application.GVL.OUT_ID_2	Outputs[1]	WORD		
Application.GVL.OUT_ID_3	Outputs[2]	WORD		
Application.GVL.OUT_ID_4	Outputs[3]	WORD		
Application.GVL.OUT_ID_5	Outputs[4]	WORD		
Application.GVL.FCV1	Bit0	BOOL		
Application.GVL.FCV2	Bit1	BOOL		
Application.GVL.FCV3	Bit2	BOOL		
Application.GVL.FCV4	Bit3	BOOL		
Application.GVL.FCV5	Bit4	BOOL		
Application.PLC_PRG.Done_Heating	Bit5	BOOL		
Application.PLC_PRG.ALL_V_Close	Bit6	BOOL		
Application.GVL.FCV6	Bit7	BOOL		
Application.GVL.FCV7	Bit8	BOOL		
Application.GVL.KM	Bit9	BOOL		
Application.PLC_PRG.S10	Bit10	BOOL		
Application.PLC_PRG.LAVADO_STS	Bit11	BOOL		
Application.GVL.OUT_ING_TK_1	Outputs[6]	WORD		S2
Application.GVL.OUT_ING_TK_2	Outputs[7]	WORD		
Application.GVL.OUT_ING_TK_3	Outputs[8]	WORD		
Application.GVL.OUT_ING_TK_4	Outputs[9]	WORD		
Application.GVL.OUT_ING_TK_5	Outputs[10]	WORD		
Application.GVL.OUT_RECIPES_QTY_1	Outputs[11]	WORD		
Application.GVL.OUT_RECIPES_QTY_2	Outputs[12]	WORD		
Application.GVL.OUT_RECIPES_QTY_3	Outputs[13]	WORD		
Application.GVL.OUT_RECIPES_QTY_4	Outputs[14]	WORD		

1.2.1 Device: ModbusTCP_Slave_Device

Application.GVL.OUT_RECIPES_QTY_5	Outputs[15]	WORD	
Application.GVL.OUT_ING_TEMP_1	Outputs[16]	WORD	
Application.GVL.OUT_ING_TEMP_2	Outputs[17]	WORD	
Application.GVL.OUT_ING_TEMP_3	Outputs[18]	WORD	
Application.GVL.OUT_ING_TEMP_4	Outputs[19]	WORD	
Application.GVL.OUT_ING_TEMP_5	Outputs[20]	WORD	
Application.GVL.OUT_MX_TK	Outputs[21]	WORD	NIVEL TK MEZCLA
Application.GVL.OUT_MX_SPEED	Outputs[22]	WORD	VEL MIXER
Application.GVL.OUT_RECIPES_TOTAL	Outputs[23]	WORD	
Application.GVL.OUT_MX_TEMP	Outputs[24]	WORD	
Application.GVL.OUT_RECIPES_TOTAL_1	Outputs[25]	WORD	
Application.GVL.OUT_RECIPES_TOTAL_2	Outputs[26]	WORD	
Application.GVL.OUT_MX_TK_1	Outputs[27]	WORD	
Application.GVL.OUT_MX_TK_2	Outputs[28]	WORD	

IEC objects:

Variable:	Type:
ModbusTCP_Slave_Device	IoDrvModbusTCPSlave

Information

Name: ModbusTCP Slave Device
Vendor: 3S - Smart Software Solutions GmbH
Categories: ModbusTCP Slave Device
Type: 115
ID: 0000 0002
Version: 3.5.15.0
Order number: -
Description: A device that works as a Modbus TCP Slave.
Configuration version: 3.5.1.0

2 : Project Settings

Static Analysis Light:

Unused variables (#33): 0
Overlapping memory areas (#28): 0
Write access from several tasks (#6): 0
Multiple write access on output (#4): 0
Multiple uses of identifiers (#27): 0
Report temporary FunctionBlock instances (#167): 0

