

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y
MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR SINTONIZADO PID PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL DE LA CÁMARA DE BOMBEO DE DESAGÜE CBD-01 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES-CUSCO

PRESENTADO POR:

Br. CESAR EMILIO SEGUNDO ORMACHEA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

ASESOR:

Dr. Ing. ROGER JESUS COAQUIRA CASTILLO

CUSCO-PERÚ

2023

DEDICATORIA

El presente trabajo, lo dedico a mis padres que inculcaron en mi la humildad, sacrificio y el anhelo de superación en la vida, ellos son mi ejemplo a seguir, los valoro y los quiero mucho.

Cesar Emilio Segundo Ormachea

Bachiller de Ingeniería Electrónica

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a mis formadores de la carrera de ingeniería electrónica, personas de gran sabiduría, quienes, gracias a la transmisión de sus conocimientos y orientación, he logrado importantes objetivos y un camino en mi vida profesional.

Agradezco al jefe de planta de tratamiento de aguas residuales San Jerónimo por la confianza y, por brindarme la oportunidad de acrecentar y en poner en prácticas mis conocimientos adquiridos durante mi formación profesional en el sector de la automatización industrial.

Cesar Emilio Segundo Ormachea

Bachiller de Ingeniería Electrónica

INTRODUCCION.

Los sistemas de control automatizados desempeñan un rol importante en el sector industrial en general, logrando optimizar los procesos de producción y/o hacer que los mismos sean más seguros gracias a dispositivos eléctricos-electrónicos y herramientas computarizadas que realizan tareas sin la intervención directa de las personas y, a su vez lograr una reducción de costos por producción y operación.

Actualmente los procesos industriales como las plantas pesqueras, planta de tratamiento de aguas servidas, plantas mineras, plantas petroleras y entre otros, están equipados con sistemas de control sofisticado, con la finalidad de realizar control automático de procesos desde los más simple hasta procesos complejos utilizando técnicas o estrategias de control industrial, de la misma forma, son monitoreados in situ a través de una interfaz gráfica HMI (Interfaz Hombre-Máquina) o remotamente a través de un sistema SCADA.

El presente trabajo, presenta la implementación de un sistema de control automatizado de uno de los sub-procesos de la línea de producción de líquidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo (PTAR-SJ) de la ciudad del Cusco, utilizando estrategias y técnicas de control y animación gráfica para el monitoreo y control in situ y remoto.

RESUMEN

El presente documento describe el diseño, programación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado de nivel de agua tratada en la Estación de Bombeo de desagüe CBD-01, como proyecto de mejora a las falencias y problemas del estado de automatización detectados durante la operación de la estación de bombeo, siendo éste, un sub-proceso importante en la línea de producción de líquidos de la planta de tratamiento de aguas residuales San Jerónimo (PTAR-SJ) en la ciudad del Cusco.

El sistema de control diseñado, está basado en un controlador PID teniendo como variables de control: el nivel de agua de la cámara de bombeo (metros) y la velocidad de giro las 4 bombas expresada en Hertz con la finalidad de mantener el nivel de agua constante por debajo del rebose, de este modo, los parámetros de ganancia del controlador fueron calculados utilizando el método de sintonización Lambda que son ideales para procesos no-autorregulados.

Para alcanzar el objetivo del trabajo de tesis, se tuvo que revisar toda la información técnica y filosofía de operación existente de los equipos que conforma la estación de bombeo y, posteriormente, revisar la lógica de control del PLC principal con la finalidad de poder establecer comunicación mediante OPC al software MATLAB, instalado en un computador portátil personal, con la finalidad de registrar datos del comportamiento del proceso en lazo abierto y poder determinar el modelamiento matemático de forma experimental, a través de aplicaciones computacionales que posee el software MATLAB. Posteriormente, se realizó el acondicionamiento, configuración y programación lógica del controlador PID en el PLC, de esta manera se acondicionó las interfaces gráficas de operador en la pantalla HMI y en la estación central del sistema SCADA de la planta PTAR-SJ, para la supervisión y control in Situ.

En las pruebas finales, con los parámetros de ganancias del controlador apropiados ($K_c=15$, $T_i=4.5$, $T_d=0$), se logró mantener el nivel del agua de la cámara de la estación de bombeo CBD-01 con un margen de error de $\pm 0.02\text{m}$ con respecto al valor de referencia del nivel requerido.

De este modo, se logró diseñar e implementar con controlador automático para el control de nivel de agua basado en un controlador PID. El controlador demostró robustez ante variaciones bruscas del sistema.

Palabras claves: Control de nivel de Agua, Sintonización Lambda, Estación de Bombeo, Controlador PID, HMI, Scada.

ABSTRACT

This document describes the design, programming and start-up of an automated control system for the level of treated water in the CBD-01 of pumping station, as a project to improve the shortcomings and problems in the state of automation detected during the operation of the pumping station, this being an important sub-process in the liquid production line of the San Jerónimo Wastewater Treatment Plant (PTAR-SJ) in the city of Cusco.

The control system designed is based on a PID controller having as control variables: the water level of the pumping chamber (meters) and the speed of rotation of the 4 pumps expressed in Hertz, for the purpose of maintain the water level constant below the overflow, thus, the gain parameters were calculated using the Lambda tuning method which are ideal for non-self-regulated processes.

In order to achieve the objective of the thesis work, it was necessary to review all the technical information and existing operating philosophy of the equipment that makes up the pumping station and, later, review the control logic of the main PLC in order to be able to establish communication through OPC to the MATLAB software, installed on a personal laptop, in order to record data on the behavior of the process in open loop and to be able to determine the mathematical modeling experimentally, through computer applications that the MATLAB software. Subsequently, the conditioning, configuration and logic programming of the PID controller in the PLC was carried out, in this way the graphical operator interfaces were conditioned on the HMI screen and in the central station of the SCADA system of the PTAR-SJ plant, for supervision and on-site control.

In the final tests, with the appropriate controller gain parameters ($K_c=15$, $T_i=4.5$, $T_d=0$), it was possible to maintain the water level in the chamber of the CBD-01 pumping station with a margin of error of $\pm 0.02\text{m}$ with respect to the required level reference value.

In this way, it was possible to design and implement an automatic controller for water level control based on a PID controller. The controller demonstrated robustness in the face of sudden variations in the system.

Keywords: Water level control, Lambda Tuning, Pumping Station, PID Controller, HMI, Scada.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INTRODUCCION.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	viii
1 CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 Contextualización.....	1
1.2 El Problema	5
1.2.1 Definición del Problema.....	5
1.3 Formulación del Problema.....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivos Generales.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 Justificaciones.....	9
1.6 Alcances.....	9
1.7 Limitaciones.....	10
1.8 Metodología.....	10
2 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Sistema de Control.....	12
2.1.1 Sistema de Control Lazo Abierto.....	12
2.1.2 Sistema de Control Lazo Cerrado.....	13
2.1.3 Sistemas Lineales y no Lineales.....	13
2.1.4 Modelamiento de los Sistemas.....	14
2.2 Técnicas de Control.....	15
2.2.1 Control On-Off.....	15

2.2.2	Control Proporcional.....	15
2.2.3	Controlador PID.....	16
2.3	Tipos de Sistema según su Respuesta.....	17
2.3.1	Sistema Autorregulado.....	17
2.3.2	Sistema Integrante.....	17
2.3.3	Sistema Inestable.....	18
2.3.4	Control Retro-Alimentado (Feedback).....	19
2.4	Métodos de Sintonización del Controlador PID.....	20
2.4.1	Método de Sintonización Basado en Ziegler-Nichols.....	20
2.4.2	Método de Sintonización Basado en Lambda.....	20
2.5	Instrumentación.....	21
2.5.1	Buses de Campo y Protocolos de Comunicación.....	25
2.5.2	Software de Desarrollo.....	28
2.6	SCADA.....	29
3	CAPITULO III: DESCRIPCIÓN GENERAL, LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DESAGUE CBD-01.....	30
3.1	Descripción General.....	30
3.1.1	Levantamiento de Información de la Estación de Bombeo de Desagüe CBD-01.....	32
3.1.2	Levantamiento de Información de Equipos e Instrumentos de la Estación de Bombeo de Desagüe CBD-01.....	35
4	CAPITULO IV: MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE DESAGUE CBD-01 Y DISEÑO DEL CONTROLADOR.....	42
4.1	Sistema de Bombeo de Desagüe CBD-01.....	42
4.1.1	Representación del Sistema de Bombeo CBD-01 en Lazo Cerrado.....	42
4.1.2	Modelamiento del Sistema de Bombeo de Desagüe CBD-01.....	47
4.2	Diseño del Controlador.....	58

4.2.1	Determinación de los Parámetros del Controlador por Método de Sintonización Lambda.....	58
4.2.2	Comparación entre los Controladores PI y PID con Diferentes Valores de Lambda.	62
5	CAPITULO V: CONFIGURACION Y PROGRAMACION DEL PLC, HMI Y SISTEMA SCADA.....	66
5.1	Acondicionamiento y Programación del PLC Compact logix 1769-L33ER.....	66
5.1.1	Lazo PIDE.....	70
5.1.2	Sub-Rutina SEL_CBD01_PIDE.....	79
5.1.3	Sub-Rutina SEC_CTRL_PUMP.....	83
5.1.4	Sub-Rutina ACT_PIDE_CBD01.....	85
5.2	Diseño e Implementación de Nuevas Ventanas del Interfaz de Usuario.....	88
5.2.1	Diseño, Acondicionamiento y Habilitación de Nuevas Ventanas de Operador en el HMI Panel View 1000.....	88
5.2.2	Diseño, Acondicionamiento y Habilitación de Nuevas Ventanas de Operador en SCADA.....	97
6	CAPITULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS.....	110
6.1	Introducción.....	110
6.2	Pruebas y Análisis del Controlador PID de la Estación de Bombeo CBD-01.....	110
6.2.1	Análisis de Resultados del Primer Agrupamiento.....	111
6.2.2	Análisis de Resultados del Segundo Agrupamiento.....	113
6.2.3	Análisis de Resultados del Tercer Agrupamiento.....	115
6.2.4	Análisis Comparativo de las Respuestas Aceptables del Sistema de los tres Agrupamientos.....	116
7	CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
7.1	Conclusiones.....	119
7.2	Recomendaciones.....	121

8 Bibliografía	122
ANEXO A:.....	125
Diagrama de tuberías e instrumentación del tratamiento Biológico.....	125
ANEXO B:.....	127
Diagrama de tuberías e instrumentación de la estación de bombeo CBD-01	127
ANEXO C	129
Filosofía de modo de operación de la estación de bombeo CBD-01.	129
ANEXO D	135
Lista de variables de entradas y salidas digitales del controlador PLC	135
ANEXO E	142
Flujograma de secuencia lógica de control.....	142
ANEXO F	147
Lista de variables de entradas y salidas para el diseño de HMI Panel View Plus 1000.	147
ANEXO G.....	150
Lista de variables de entradas y salidas para el diseño de sistema SCADA VTScada v10.2	150
ANEXO H.....	153
Fichas técnicas de Equipos.....	153
ANEXO I	156
Código lógico en lenguaje Ladder del sistema de control PID en el PLC L33ER.	156

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación espacial de la planta de tratamiento aguas residuales Cusco	1
Figura 2 Planta de tratamiento de aguas residuales Cusco	2
Figura 3 <i>Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales PTAR-SJ</i>	3
Figura 4 Diagrama de flujo de procesos del tratamiento biológico de la PTAR-SJ.....	5
Figura 5 Metodología para la realización del trabajo de Tesis.	11
Figura 6 Diagrama de bloque en lazo abierto	12
Figura 7 Diagrama de bloques en lazo cerrado.....	13
Figura 8 Diferentes tipos de respuestas de un sistema ante una entrada escalón.	18
Figura 9 Diagrama de bloques sistema de control realimentado.	19
Figura 10 Representación gráfica de bomba centrífuga de impulsión.....	23
Figura 11 Pirámide de automatización.	26
Figura 12 Proceso de tratamiento biológico de la PTAR-SJ.	30
Figura 13 Vista lateral de la estación de bombeo CBD-01.....	31
Figura 14 Arquitectura de automatización del sistema de bombeo de desagüe CBD-01.	33
Figura 15 Diagrama de bloques de la funcionalidad de los modos de operación.....	34
Figura 16 Sensor-Transmisor de nivel LIT-510.	35
Figura 17 Sensor-Transmisor de caudal FIT-517.	37
Figura 18 Sistema de control en lazo cerrado de la estación de bombeo CBD-01.....	43
Figura 19 Diagrama de bloques general de un proceso del sistema de control.	44
Figura 20 Diagrama de bloques en lazo cerrado de la estación de bombeo CBD-01.....	45
Figura 21 Representación DTI de la estación de bombeo de desagüe CBD-01.	46
Figura 22 Enlace de OPC entre MATLAB y el PLC de la ER-05	49
Figura 23 Diagrama de bloques de lectura de datos del PLC a través del OPC Read.....	51

Figura 24	Comportamiento de las señales de entrada y salida de la CBD-01 en lazo abierto...	52
Figura 25	Registro de datos para la identificación dinámica del sistema.	53
Figura 26	Identificación de planta a través de PID TUNER.	55
Figura 27	Validación paramétrica del modelo matemático de la planta.....	56
Figura 28	Análisis de las señales de entrada y salida de la CBD-01.	60
Figura 29	Simulación de controladores PI y PID con diferentes valores de ganancia.	62
Figura 30	Respuesta del sistema con el controlador PI a diferentes valores de λ	63
Figura 31	Simulación de controladores PI y PID con diferentes valores de ganancia.	64
Figura 32	Diagrama de bloques de las tareas del controlador PLC de la ER05.	67
Figura 33	Vista de las variables creadas en el controler tags.	68
Figura 34	Llamada de las sub-Rutinas desde el MainRoutine.....	69
Figura 35	Creación de un Add-On del controlador PID.	71
Figura 36	Etiquetas locales de entradas y salidas del Add-On PIDE_VFD_CBD01.	72
Figura 37	Secuencia lógica de Manual-Automático para el controlador PID.	74
Figura 38	Sistema de control de la estación CBD-01 en lazo cerrado.....	75
Figura 39	Bloque de instrucción PID parametrizado.....	76
Figura 40	Intervalo de paquetes de datos solicitados del módulo Profibus DP.....	78
Figura 41	Diagrama de flujo de selección de modo de operación.	80
Figura 42	Lógica de control del modo de Operación en Lenguaje Ladder	81
Figura 43	Parte de la lógica de control sobre el número de bombas habilitadas en lenguaje Ladder.....	82
Figura 44	Diagrama de flujo del encendido-apagado automático de las 04 bombas.....	84
Figura 45	Parte de la secuencia de encendido-apagado automático en Ladder.....	85

Figura 46 Parte de la lógica de activación de los controladores PID de la sub-rutina ACT_PIDE_CBD01.....	87
Figura 47 Vista del proceso de tratamiento biológico del HMI de ER-05.	89
Figura 48 Interfaz de operador de la cámara de bombeo CBD-01 del HMI de la ER05.....	89
Figura 49 Secuencia de las pantallas y ventanas del HMI del sistema de control PID.	90
Figura 50 Ventana de menú de selección del HMI antes y después de la mejora.	91
Figura 51 Antes y después de la interfaz gráfica de la estación de bombeo CBD-01 en lazo cerrado.....	93
Figura 52 Ventana de supervisión del controlador PID de la estación de bombeo CBD-01.....	94
Figura 53 Ventana de tendencias gráficas de las variables de proceso CBD-01.....	95
Figura 54 Barra de histórico de alarmas del controlador PID en el HMI.	96
Figura 55 Información de licencia del software instalada.	97
Figura 56 Árbol de pantallas de la aplicación VTScada.	99
Figura 57 Interfaz de operador del tratamiento biológico de la ER05 antes de la mejora.....	100
Figura 58 Lista de variables creadas del sistema SCADA.	101
Figura 59 Ventana de menú de selección del SCADA antes de la mejora.	102
Figura 60 Ventana de configuración del menú principal antes y después de la mejora.	103
Figura 61 Pantalla principal de ER-05 tratamiento biológico antes y después de la mejora...	104
Figura 62 Página de supervisión del control PID.	106
Figura 63 Ventanas de tendencias gráficas del control PID de la estación de bombeo CBD-01.	107
Figura 64 Página de alarmas y bloqueos del control PID de la CBD-01.....	109
Figura 65 Respuestas del sistema ante cambio de Setpoint del primer agrupamiento.	112

Figura 66	Respuestas del sistema ante cambio de Setpoint del segundo agrupamiento.....	113
Figura 67	Respuestas del sistema ante cambio de Setpoint del tercer agrupamiento.....	115
Figura 68	Comparación de las mejores respuestas del sistema de cada agrupamiento.	117

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1	Características técnicas del sensor-transmisor de nivel LIT-510.....	36
Tabla 2	Características técnica del sensor transmisor de flujo FIT-517	38
Tabla 3	Características técnicas del variador de frecuencia FC-202.	39
Tabla 4	Parámetros reconfigurados del variador de velocidad FC-202 para las 4 bombas.	40
Tabla 5	Características técnicas de la bomba sumergible.	41
Tabla 6	Direcciones IP del PLC L33ER y la PC portátil.....	50
Tabla 7	Formula de controladores Lambda de lazo abierto.....	58
Tabla 8	Parámetros de ganancia del controlador PI.....	61
Tabla 9	Parámetros de ganancia del controlador PID.....	62
Tabla 10	Tabla de verdad de los conmutadores físicos del tablero de control y fuerza de la CBD-01.....	73
Tabla 11	Parametrización del bloque PID	79
Tabla 12	Combinaciones de las 4 bombas de la CBD-01 en modo PID automático.....	82
Tabla 13	Alarmas y advertencias del controlador PID de la CBD-01.....	108
Tabla 14	Lista de agrupamientos para el análisis de resultados del controlador PID.....	111
Tabla 15	Resultados de los parámetros de desempeño del primer agrupamiento.....	112
Tabla 16	Resultados de los parámetros de desempeño del segundo agrupamiento.....	114
Tabla 17	Resultados de los parámetros de desempeño del tercer agrupamiento.....	116
Tabla 18	Parámetros de desempeño de las respuestas aceptables de los tres agrupamientos..	118

TERMINOLOGIA

PTAR-SJ	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Jerónimo.
CBD-01	Estación de Bombeo de Desagüe 01.
CR	Cámara de Reunión.
ER	Estación Remota.
SCADA	Supervisory Control And Acquisition (Supervisión, Control y adquisición de Datos.
ANA	Autoridad Nacional de Agua.
PLC	Controlador Lógico Programable.
OPC	OLE for Process Control (OLE para el Control de Procesos).
PID	Del Tipo Proporcional, Integrativo y Derivativo.
PIDE	Del Tipo Proporcional, Integrativo y Derivativo Mejorado.
ERROR	Desviación del nivel de agua con respecto al punto de referencia.
PV	Variable del Proceso.
CV	Variable de Control o Variable Manipulada.
VFD	Variable Frequency Drive (Variador de Frecuencia).
IP	Protocolo de Internet.
Pop-Up	Ventanas o Pantallas Emergentes.
HMI	Interfaz Hombre – Máquina.
SAT	Site Acceptance Test (Pruebas de Aceptación en Campo).
ISA	International Society of Automation (Sociedad Internacional de Automatización).
ISA 101	Normativa de Buenas Prácticas para el Diseño de Pantallas HMI.
IEC 61131-3	Estándar Internacional para Controladores Lógicos Programables.

LIT	Transmisor Indicador de Nivel.
BFP	Bomba de Filtro Percolador.
λ	Lambda (Tiempo de Respuesta de Lazo Cerrado).
Tag's	Etiquetas (Conjunto de Palabras claves asociados a una entrada).

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Contextualización.

El presente proyecto se enmarca dentro del contexto de mejoras en los procesos de operación, especialmente en el sub-proceso de la estación de bombeo de desagüe 01 (CBD-01); que se llevan a cabo al interior de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR-SJ de la empresa EPS SEDACUSCO SA, ubicado en la Prolongación Av. de la Cultura 195 - San Jerónimo de la ciudad del Cusco-Perú. La **Figura 1** y **Figura 2** muestran vistas satelitales de la ubicación de la planta PTAR-SJ.

Figura 1

Ubicación espacial de la planta de tratamiento aguas residuales Cusco



Figura 2

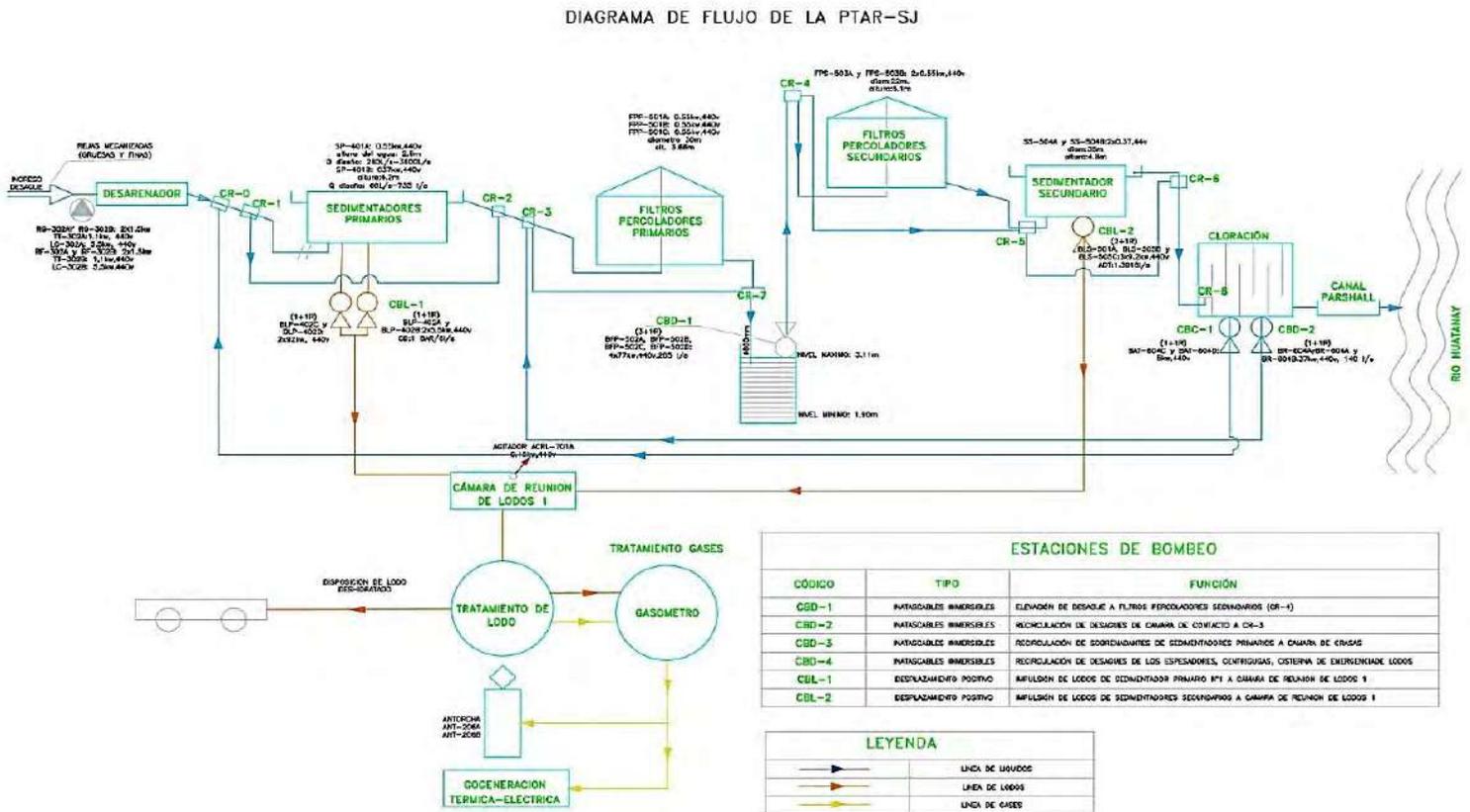
Planta de tratamiento de aguas residuales Cusco



La planta PTAR-SJ, tiene la función de evacuar los sólidos, disminuir los contaminantes de la carga orgánica y recomponer la presencia de oxígeno en el agua tratada y, para lograr este fin, se compone en tres etapas de tratamiento (tratamiento primario, secundario y terciario), clasificándose en tres líneas de proceso o producción (línea de líquidos, línea de sólidos y línea de gases) y, teniendo como producto final, agua residual tratada, lodo deshidratado y gas metano (ver la siguiente figura).

Figura 3

Diagrama de flujo de los procesos de tratamiento de aguas residuales PTAR-SJ.



Nota: Esquema general de etapas de los procesos de tratamiento de agua residuales PTAR-SJ, Adaptada de (AS-BUILT_NK-JICA-PE-P29-IE, NIPPON KOEI-SEDACUSCO, 2011).

El tratamiento primario es puramente mecánico, separando entre el 40 y el 60 % de sólidos arrastrados; inicia desde la zona de cribado, donde las aguas servidas de la población cusqueña ingresan a la planta a través de un canal, dirigiéndose a unos mecanismos de rejillas gruesas y finas permitiendo el paso de agua, pero no de la basura, en consecuencia, por acción de gravedad el agua se dirige a una zona de separación de partículas sólidas por gravedad llamado sedimentadores o

clarificadores primario, en esta etapa, las partículas sólidas (lodos) se asientan en fondo de los clarificadores y estas a su vez, son evacuadas a través de un sistema de bombeo hacia el proceso de tratamiento de lodos. El agua de los sedimentadores primarios pasa a un tratamiento secundario.

El tratamiento secundario llamado también del tratamiento biológico, para la línea de líquidos se compone con tres filtros percoladores primarios, la estación de bombeo CBD01, dos filtros percoladores secundarios y dos clarificadores o sedimentadores secundarios. El efluente de los sedimentadores primarios por acción de gravedad ingresa a los filtros percoladores primarios donde su función es remover la materia orgánica del agua y está a su vez, es direccionadas a la cámara de reunión de la estación de bombeo CBD01 para ser impulsadas por 4 bombas hacia los filtros percoladores secundarios, este remueve la carga o materia orgánica remanente de los filtros primarios y, por acción de gravedad, el agua semi tratada se dirige a los sedimentadores secundarios para la separación de los sólidos hasta un 90%. Como etapa final, el agua de los sedimentadores secundarios ingresa al tratamiento terciario.

El tratamiento terciario consiste en procesos químicos con los que se consigue remover la carga orgánica residual y aquellos micros organismos no eliminados en el tratamiento biológico. Está compuesto por un sistema de cloración por lo cual, inyecta cloro al efluente proveniente de los sedimentadores secundarios, realizándose una mezcla uniforme a través de un canal Parshall con el fin de que, el agua tratada no sobrepase los límites máximos permisibles según las entidades fiscalizadoras. El agua tratada como producto final, es reutilizada como agua para riego y el resto es vertido hacia el río Huatanay.

La línea de lodo pertenece a la etapa de tratamiento secundario, en esta etapa se procesa el lodo a través espesadores y tanque digestor anaerobio y son deshidratados mediante equipamientos electromecánicos teniendo como producto final lodo con bajo porcentaje de agua. En el tanque

digestor se forma gas metano debido a la descomposición del lodo, este gas es almacenado en un domo y a la vez, es usado para un sistema de cogeneración eléctrica-térmica y el resto es quemado mediante antorchas.

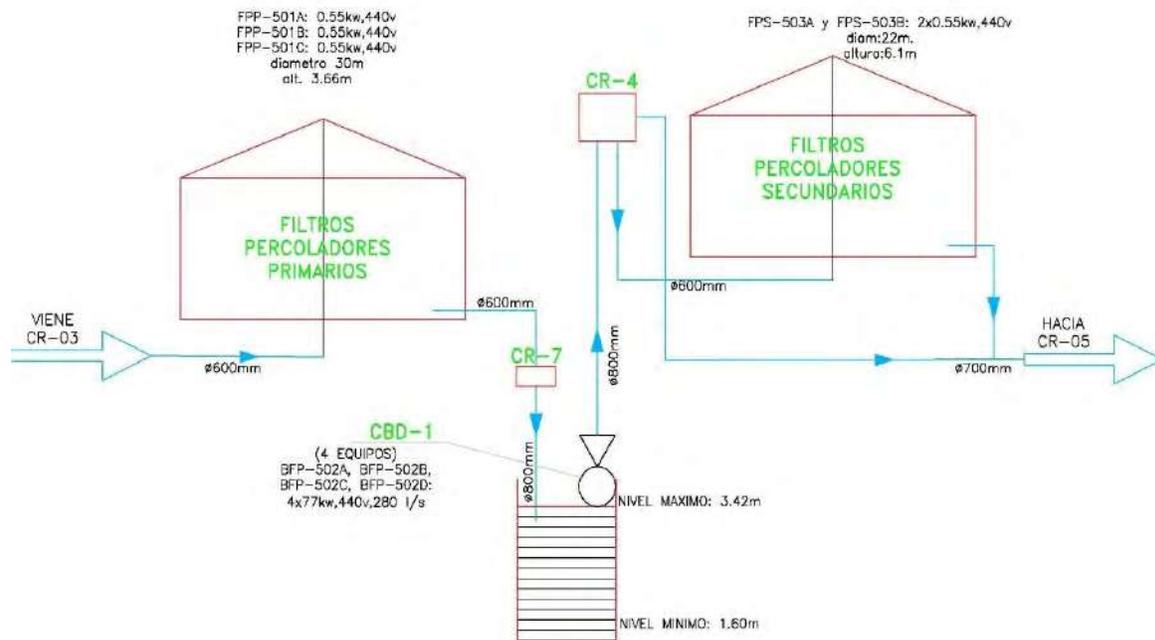
1.2 El Problema

1.2.1 Definición del Problema.

La función principal del tratamiento biológico es la remoción de la materia orgánica, para esta premisa, el proceso de tratamiento de los filtros percoladores es importante, para ello, todo el efluente de los filtros percoladores primarios es impulsado hacia los filtros percoladores secundarios a través de la estación de bombeo CBD-01 (**Figura 4**).

Figura 4

Diagrama de flujo de procesos del tratamiento biológico de la PTAR-SJ



Nota: Fuente (Adaptada de AS-BUILT_NK-JICA-PE-P29-IE, NIPPON KOEI-SEDACUSCO, 2011).

El nivel de prioridad de la operación de la estación de bombeo de desagüe CBD-01 es alto, por lo cual, el sistema de control y automatismo tienen que funcionar adecuadamente de acuerdo a la necesidad del proceso, caso contrario, por una mala operación, traería grandes secuelas para la planta y posteriormente para la empresa SEDACUSCO.

Actualmente la estación de bombeo de desagüe CBD-01, está compuesta por un tanque o cámara de reunión de desagüe con un volumen máximo de 170.24 m^3 (170,240 litros) con una altura de 5.43 m situado en el sub-suelo de dicha estación, en el interior de la cámara están instaladas 4 bombas sumergibles de 77 KW con velocidad variable controlada por variadores de velocidad con un flujo de bombeo máximo de 281 L/s por bomba y, un sensor-transmisor de nivel instalado en la parte superior de la cámara. Dentro de las instalaciones de la estación de bombeo, se ubica la estación remota ER-05 conformada por tableros de control y fuerza para cada bomba sumergible equipada con su variador de velocidad y un tablero de control ER-05 controlado por un PLC modular CompactLogix L33ER de la marca Allen Bradley.

Durante la operación, se observó deficiencias en el sistema de control y automatismo de la estación de bombeo CBD-01, consecuentemente, siempre se requiere la intervención del operador con el fin de habilitar y controlar la velocidad de giro de cada bomba sumergible pese que, el sistema de control se encuentra automatizado, en efecto, con la supervisión del operador se logra controlar el flujo de impulsión y/o el nivel de agua servida de la cámara CBD-01, así se evitaría que, los efluentes de los filtros percoladores primarios se viertan hacia el río Huatanay a través, de una tubería de 32 pulgadas de diámetro situada a 3.45 m de la base de la cámara, en caso contrario, se produciría la contaminación del río Huatanay, esta acción, generaría sanciones económicas a la empresa por entidades fiscalizadoras del medio ambiente, siendo éste, el principal problema a causa de que, el tipo de control automático del sistema no es el adecuado y también, a causa de los

descuidos o error humano debido a que, del operador de planta, tienen que estar supervisando y controlando constantemente el caudal de flujo de bombeo de cada bomba a través de una interfaz de operador HMI de la ER-05 y/o pantalla SCADA, y a la vez descuida la supervisión y operación de otros procesos críticos de la planta PTAR-SJ.

Otra segunda problemática es el deterioro prematuro en el bobinado del motor eléctrico de cada bomba, a causa de, los arranques y paradas frecuentes en intervalos de tiempos cortos (3 a 5 veces en menos de 30 minutos) según al caudal que ingresa a la planta, de acuerdo al fabricante de la marca WILO, estos equipos de alta potencia son de operación continua, por lo tanto, los arranques y paradas de estos equipos, deben suceder como máximo 2 veces en un lazo de una hora. Este evento de los arranques y paradas frecuentes de las bombas se debe a que, el modo de control automático de la estación de bombeo, es de tipo “*ON – OFF*”, haciendo que cada bomba se encienda y se apague secuencialmente según a los niveles de agua en la cámara CBD-01, apagándose todas cuando el nivel es inferior a 1.8 m según su automatismo, es preciso indicar que, las tres primeras bombas operan en modo de control automático, la cuarta bomba se encuentra en modo de respaldo, donde este, enciende automáticamente en caso que alguna de las tres primeras bombas entran en falla o este inoperativa, antes de la mejora, la cuarta bomba operaba en modo manual, debido a que las tres primeras bombas no se abastecen en impulsar todo el caudal que ingresa a la cámara, también es necesario indicar que, la velocidad de giro de cada bomba es ajustado por el operador de planta a través del sistema SCADA y HMI.

1.3 Formulación del Problema.

¿Cómo mejorar el sistema de control y automatismo de la estación de bombeo de desagüe CBD-01 para garantizar su operación adecuada y reducir consecuencias negativas, como la

contaminación del río Huatanay y sanciones económicas, causadas por deficiencias en el control automático y la intervención constante del operador?

1.4 Objetivos.

1.4.1 *Objetivos Generales.*

Diseñar e implementar un controlador sintonizado PID para el control automático de nivel agua de la cámara de bombeo de desagüe CBD-01 de la planta de tratamiento de aguas residuales San Jerónimo-Cusco.

1.4.2 *Objetivos Específicos.*

- Determinar la función de transferencia del proceso a estudiar mediante un modelamiento matemático de forma experimental.
- Investigar sobre métodos y/o técnicas de sintonización de controladores PID y, seleccionar una de las técnicas investigadas que se adecúe al comportamiento del sistema e implementarlo.
- Reconfigurar los parámetros de operación, habilitación de protecciones y alarmas del variador de velocidad de cada bomba sumergible acorde al proceso para su correcto funcionamiento.
- Sintonizar el controlador PID a utilizarse en el PLC CompactLogix L33ER ubicado en la estación remota ER-05.
- Diseñar una secuencia lógica en el PLC para el control automático de cada bomba sumergible de la estación de bombeo CBD01.
- Diseñar y acondicionar ventanas de emergentes (pop-up) para el control y supervisión de los estados operación e información de los parámetros de control del controlador PID de la estación de bombeo CBD01 en el sistema SCADA VTSCADA y en la pantalla HMI PanelView 1000 de la estación remota ER-05.

1.5 Justificaciones.

Este trabajo pretende solucionar cualquier posible ineficiencia en la operación del sistema de bombeo CBD01, teniendo como razón primordial evitar problemas como denuncia y/o sanciones económicas a la empresa SEDACUSCO por las entidades fiscalizadoras del medio ambiente.

1.6 Alcances.

Este proyecto de tesis ofrece el diseño e implementación de un controlador sintonizado PID programado y configurado en el PLC CompactLogix L33ER de la marca Allen Bradley, ubicado en el tablero de control de la estación remota ER-05, con la finalidad de realizar el control automático de nivel de agua de la cámara de la estación de bombeo de desagüe CBD-01 de la planta PTAR-SJ, por lo cual, contará con los requerimientos necesarios para una operación adecuada de los elementos finales de control, también contará con estados de alarmas de la variable del proceso del nivel alto y bajo, alarmas de nivel alto-bajo de la variable de control o manipulada de cada bomba sumergible y estados de fallas.

Se implementará una interfaz gráfica de ventanas emergentes en la pantalla HMI Panel View Plus 1000 de la estación remota ER-05 y en el sistema SCADA VTSCADA V10.2 para supervisión y control del controlador PID.

Dentro de los alcances también estarán contempladas los siguientes ítems:

- Configuración de los parámetros del control PID acondicionándolo a la lógica de programación ya existente del PLC de la estación remota ER-05.
- Programación de ventanas emergentes de control y supervisión para el monitoreo de estados y modos de operación, habilitación y deshabilitación de cada bomba, ajuste del valor de consigna y toda la información útil de los parámetros del controlador PID de cada bomba, estas ventanas

serán acondicionadas a las pantallas HMI de estación remota ER-05 y a la estación central SCADA.

- Se realizará las pruebas y puesta en marcha en campo de la aplicación desarrollada.

1.7 Limitaciones.

- No se realizará un rediseño del sistema eléctrico en los tableros de control y fuerza de las bombas sumergibles de la estación de bombeo CBD-01.
- No se agregará instrumentos de medición industrial adicional para la elaboración de este proyecto, se desarrollará con los instrumentos y equipos electromecánicos existentes instalados en planta.

1.8 Metodología.

El presente trabajo de tesis es experimental, aplicada de enfoque cuantitativo, en vista que se trabaja con datos cuantificables, a las cuales se accede por medio de observaciones, pruebas y mediciones.

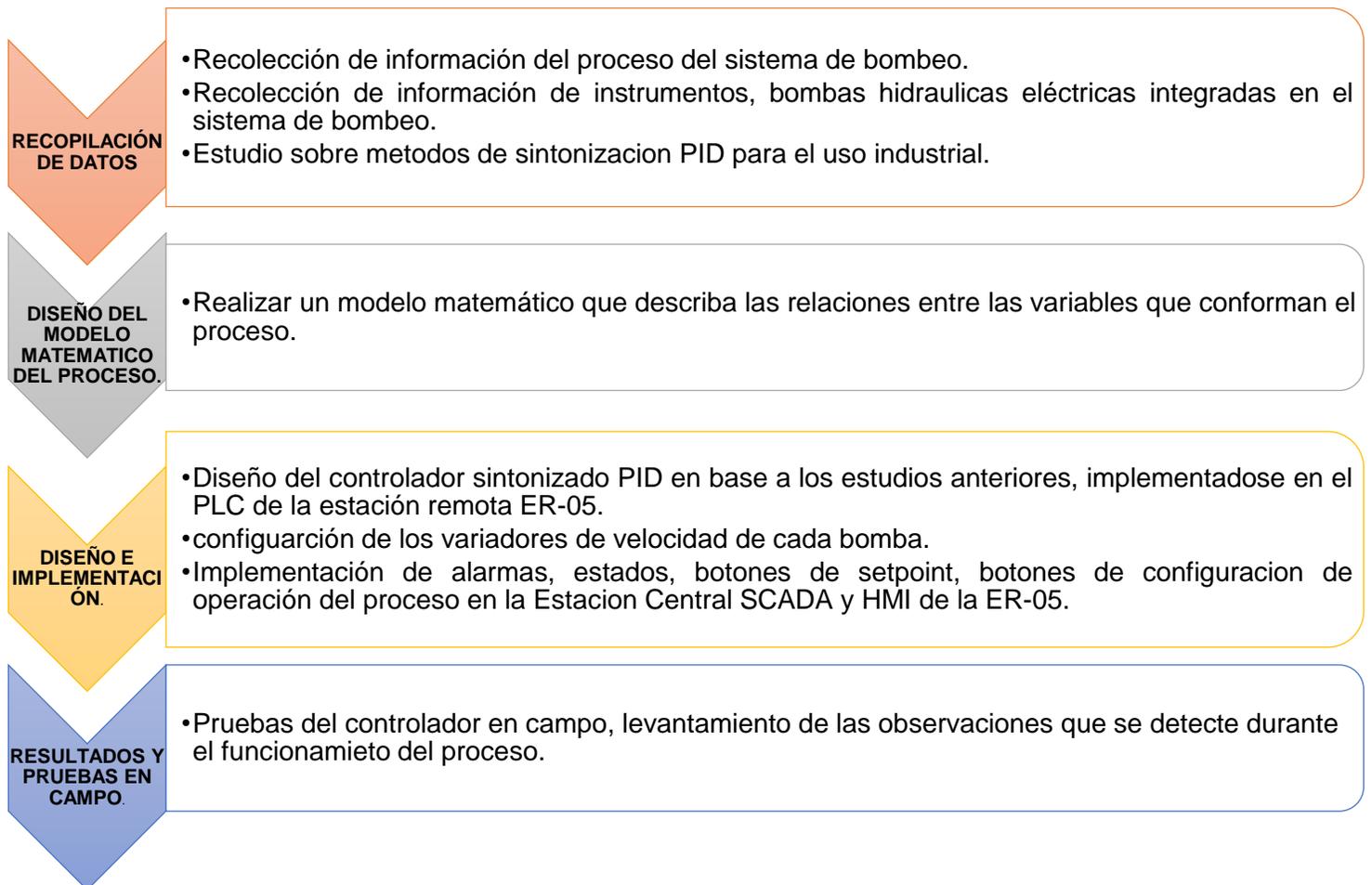
El desarrollo del presente proyecto se realizó de acuerdo a los objetivos planteados; en primer lugar, para comprender la operación de la estación de bombeo de desagüe CBD-01, se revisó los planos de DTI (diagrama de instrumentación y tuberías) del proceso biológico y, a base de ello, se realizó un modelamiento matemático de forma experimental para conocer su tipo de comportamiento ya sea autorregulado o no-autorregulado y del anterior expuesto, elegir la adecuada técnica de sintonización para la identificación de los parámetros del controlador PID.

Se realizó el levantamiento de las variables de la programación existente del PLC involucradas en el proceso y según a esas variables, se realizó la nueva programación de la lógica de control y sintonización del controlador PID a través del software RSLogix 5000 V20.04, se realizó el diseño y la programación de las nuevas pantallas HMI PanelView 1000 de la marca Allen Bradley y la aplicación SCADA con el software VTSCADA de la marca Trihedral, la

programación del PLC y de las interfaces de operador en el HMI y en SCADA se realizó manteniendo su estructura del programa existente.

Posteriormente como paso final, se realizó las pruebas en campo de la aplicación de control y de las pantallas HMI y SCADA, y la puesta en marcha del sistema implementado y como capítulo final las recomendaciones y oportunidades de mejoras respecto al proceso de la estación de bombeo. En la siguiente figura, se muestra los siguientes pasos a seguidos para el desarrollo de la tesis.

Figura 5
Metodología para la realización del trabajo de Tesis.



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1 Sistema de Control.

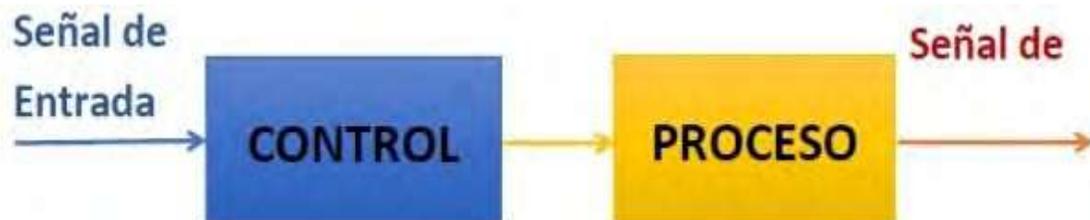
Un sistema se le puede llamar a un conjunto de elementos que se relacionan entre sí, con la finalidad de realizar un fin común. El concepto de control según Martínez (2018) afirma que un sistema de control “Implica la manipulación de ciertas variables hasta lograr satisfacer una necesidad, entonces, un sistema de control se puede definir como un conjunto de elementos que se encuentra interconectados”, con el propósito de manipular ciertas variables hasta obtener el resultado deseado. De este modo, “los sistemas de control pueden clasificarse en sistemas de control lazo abierto y sistemas de control en lazo cerrado” (Martinez, 2018), según su funcionalidad y del diseño que se requiere.

2.1.1 Sistema de Control Lazo Abierto.

Los sistemas de control de lazo de abierto se distinguen por que no recepción o no mide la información de la señal a controlar, según Gaviño (2010) indica que “sistema de control en lazo abierto, no hay realimentación de la señal de salida al controlador, bajo esta premisa, el controlador no puede comparar con la señal de entrada y en consecuencia no puede realizar la acción de control”.

Figura 6

Diagrama de bloque en lazo abierto



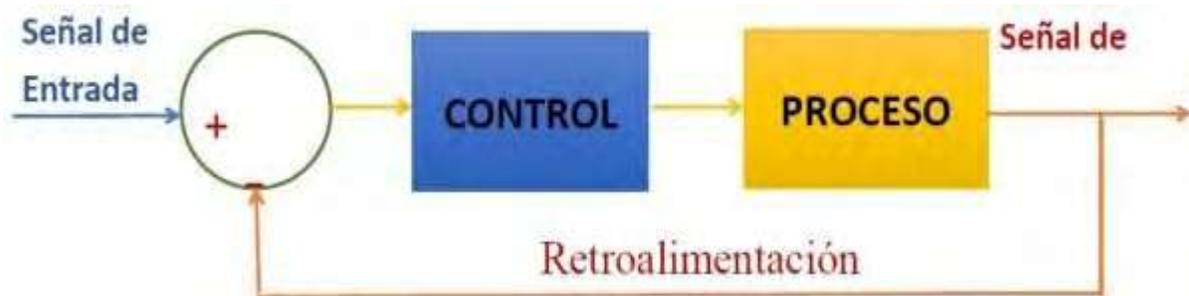
Nota: fuente (Martinez, 2018)

2.1.2 Sistema de Control Lazo Cerrado.

Un sistema de control en lazo cerrado, donde la acción de control depende de su salida, por lo que este sistema si recibe información de la variable de salida y lo compara con el valor de entrada, de esta forma, lleva la salida a un valor conveniente a fin de reducir el error, así mismo, “mantiene la variable controlada en el valor requerido, midiendo y ajustando la variable de interés a lo largo del transcurso del proceso” (Gaviño, 2010).

Figura 7

Diagrama de bloques en lazo cerrado.



Nota: Fuente (Martinez, 2018)

2.1.3 Sistemas Lineales y no Lineales.

Según Ordoñez y Bernal (2015) Podemos “clasificar los sistemas de control en: sistemas variantes en el tiempo o invariante en el tiempo, sistemas lineales y sistema no lineales” (p.19).

Por lo general, en la práctica, en muchos procesos industriales no existen sistemas lineales, esto se debe, a que todos los sistemas físicos no son lineales en todo su comportamiento o son lineales en intervalos de rangos de operación.

- **Sistema lineal:** A un sistema se le llama lineal, si los cambios producidos en la entrada se refleja el mismo cambio en la salida, los sistemas lineales cumplen dos propiedades que son la *homogeneidad y la superposición*.

- **Sistemas no lineales:** Estos sistemas están presentes en la mayoría de los procesos industriales y están rígidos por ecuaciones no lineales, de esta manera, la salida no refleja el mismo comportamiento generado en la entrada, por lo tanto, no cumple las propiedades de un sistema lineal

2.1.4 *Modelamiento de los Sistemas.*

Bernal y Ordoñez (2015) define “el sistema como unidad donde transforma el material mediante procesos químicos o físicos y, que estas pueden ser contrastadas por medio de un modelamiento matemático que representa una aproximada descripción matemática del sistema” (p.19).

Mediante la manipulación de su representación matemática se puede realizar un análisis dinámico y/o también mediante simulación computacional se puede predecir el comportamiento dinámico del proceso. El modelo matemático del proceso se puede obtener a través de dos métodos:

- **Modelado teórico:** Prácticamente “es un método de forma analítica, se puede describir el comportamiento dinámico del proceso o de un fenómeno, acudiendo a las leyes básicas de la física” (Espitia Bernal & Ordoñez Beltran, 2015).
- **Modelado experimental:** Se realiza por métodos experimentales que posibilita a conseguir el modelo matemático del sistema a través de los datos reales recolectados del proceso industrial.

Un modelo teórico se puede emplear para aplicaciones de procesos sencillas que no requiere exactitud en la obtención del modelo, la estructura de un modelo teórico se obtiene por medio del conocimiento físico de los componentes que conforma la planta y estos componentes posee un conjunto de parámetros desconocidos difíciles de determinar. Por esta razón, hay la necesidad de recurrir la identificación del sistema por métodos experimentales.

2.1.4.1 Identificación del Sistema.

La identificación del sistema se realiza por métodos experimentales, a base de ello, se obtiene el modelo matemático con alta exactitud que representa las características dinámicas del proceso, “el proceso de identificación comprende los siguientes pasos:

- Obtención de datos de entrada-salida.
- Tratamiento previo de los datos registrados.
- Elección de la estructura del modelo.
- Obtención de los parámetros del modelo.
- Validación del modelo.” (Espitia Bernal & Ordoñez Beltran, 2015, pág. 20).

2.2 Técnicas de Control.

“Son procedimientos aplicados a la programación o configuración de un controlador de tipo industrial con la finalidad de lograr el valor deseado de un proceso industrial” (Danny Alexander, 2014).

2.2.1 Control On-Off.

También se le denomina *estrategia de control todo-nada*, la estrategia de control, conmuta la variable manipulada “totalmente ON” o “totalmente OFF”, sin estados intermedios. Usualmente, esta estrategia de control es usado en procesos pequeños que no requiere precisión; una desventaja es que causan fatiga a los elementos final del control desgaste de componentes mecánicos.

2.2.2 Control Proporcional.

Se caracteriza porque, “existe una relación lineal continua entre la señal de salida del controlador y la variable del proceso, por esa razón, la variación de la señal de salida es directamente proporcional a la magnitud de error” (Villajulca, 2019).

2.2.3 Controlador PID

Son ampliamente usados en diferentes procesos industriales con la finalidad de mantener o disminuir el error a un valor cercano a cero, este tipo de mecanismo se realiza en lazo cerrado. La estructura de un controlador PID se compone por tres parámetros de ganancia (*Proporcional, Integrativo, Derivativo*).

2.2.3.1 Estructura PID

- **Ganancia de control proporcional.**

El controlador reacciona a los cambios presentes en la señal de entrada y provoca inmediatamente de forma proporcional cambios en la señal de salida, la dirección de salto del cambio depende, si la configuración del controlador esta para una acción inversa o directa, matemáticamente se puede representar como: “relación de cambio de la señal de salida respecto al cambio de la señal de entrada” (Villajulca, 2019), esto se expresa en la ecuación (1).

$$VALOR DE GANANCIA PROPORCIONAL = \Delta SALIDA / \Delta ENTRADA \quad (1)$$

- **Ganancia de control integral.**

Responde a la sumatoria de error en un lazo de tiempo, en consecuencia, verifica que tanto necesita de variar la señal para mitigar completamente el error. Salida. La acción Integral, le dice a la señal de salida que tan rápido debe desplazarse si aparece un error, se expresa en “minutos por repetición” y Matemáticamente, se puede deducir como: “el cociente entre la velocidad de la señal de salida y la magnitud de error de entrada” (Villajulca, 2019):

$$VALOR INTEGRAL (Repeticiones por minuto) = \frac{d \text{ salida} / dt}{error} \quad (2)$$

- **Ganancia de control derivativa (D).**

La acción derivativa, efectúa un desplazamiento de la señal de salida en magnitud proporcional a la razón de cambio de la señal de entrada, conceptualizando, “la acción derivativa responde: que tan rápido cambia la entrada respecto al tiempo alterando la salida en proporción con la razón de cambio en la señal de entrada” (Villajulca, 2019).

$$CONST. DE Tiempo Derivativo (minutos) = Td = \Delta salida / de / dt \quad (3)$$

2.3 Tipos de Sistema según su Respuesta.

2.3.1 Sistema Autorregulado.

Se caracterizan, cuando “la variable del proceso logra estabilizarse de forma natural a un nuevo valor y, esto ocurre cuando se realiza un cambio en el elemento final de control o cambio en la entrada o una perturbación. Estos tipos de sistemas, la variable del proceso tiene un comportamiento en forma de *S*” (Villajulca, 2019).

2.3.2 Sistema Integrante.

“Se caracterizan por un crecimiento sostenido de la variable del proceso, esto quiere decir, la señal de salida tiene la forma de rampa y, esto ocurre cuando se presenta un desbalance de energía de flujo de entrada y salida del proceso” (Henriquez Novoa, 2019, pág. 27)

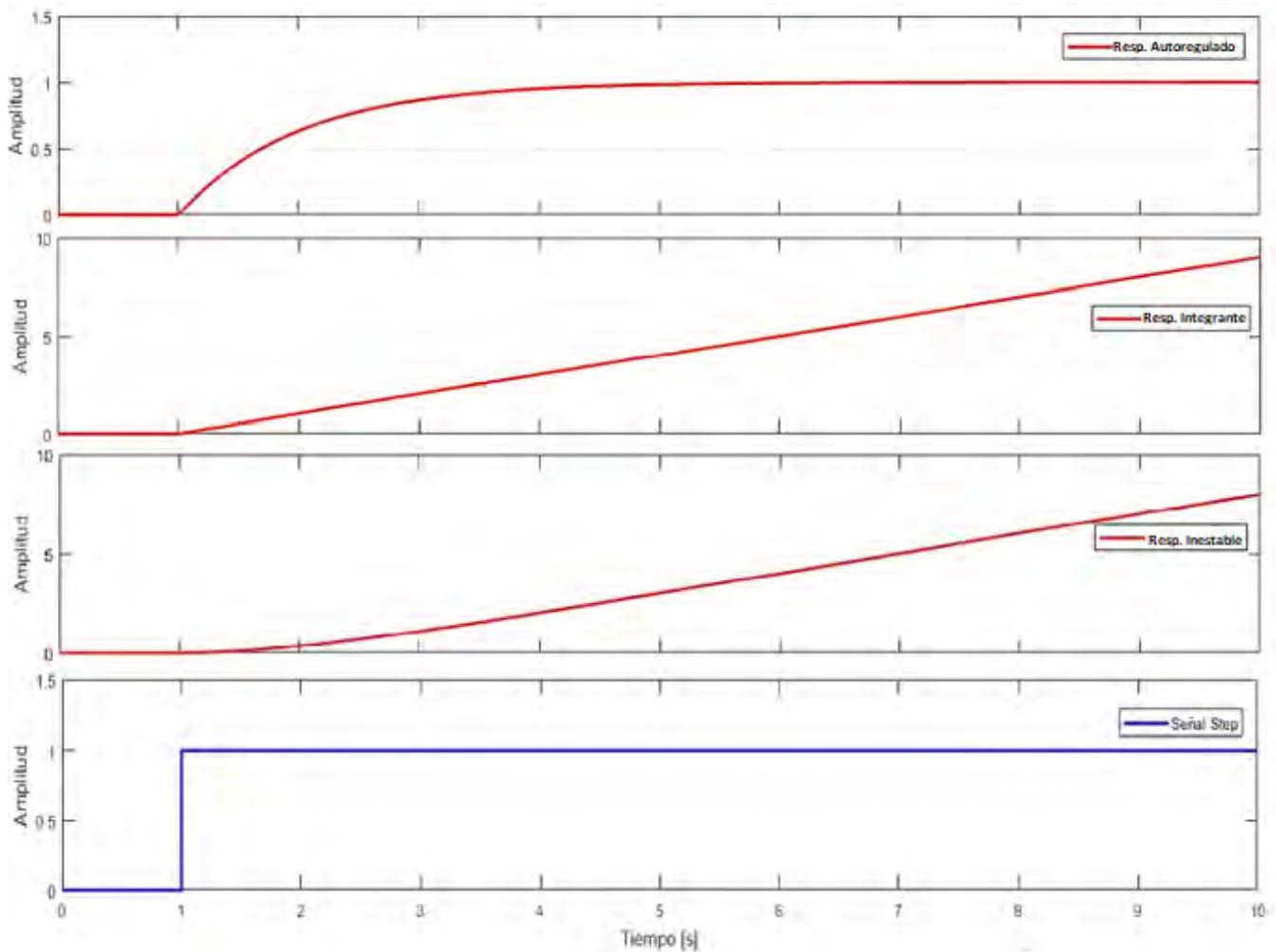
Estos tipos de sistemas mayormente se presentan el tanque de almacenamiento drenado por sistemas de bombeo.

2.3.3 Sistema Inestable.

Estos sistemas se caracterizan por tener una respuesta en forma exponencial de la variable del proceso y, no pueden ser controladas por estrategias de control convencionales, se le aplican otros tipos de sistemas de control, lo más usados son como: control por fuzzy, predictivo. En la **Figura 8**, muestra los tres tipos del sistema según su tipo de respuesta.

Figura 8

Diferentes tipos de respuestas de un sistema ante una entrada escalón.



2.3.4 Control Retro-Alimentado (Feedback).

Este tipo control se caracteriza en la variable de salida del proceso tiene efecto directo sobre la acción de control. “Consiste en comparar la variable controlada con el valor de consigna, si se presenta una desviación, se aplica acción necesaria hasta mitigar al máximo la desviación, para ello, se aplica la técnica de control requerida” (Henriquez Novoa, 2019).

➤ **Ventajas:**

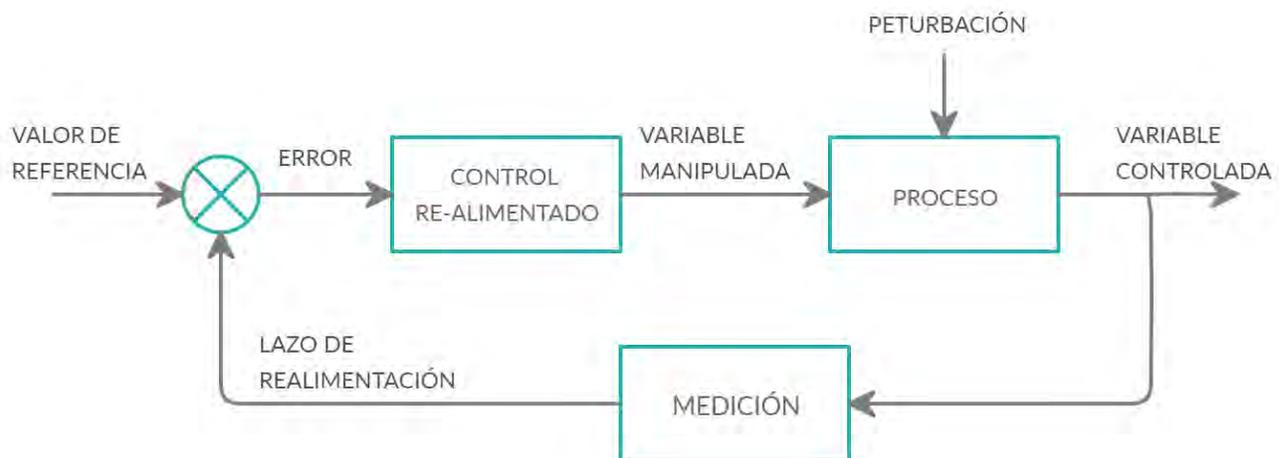
- No es necesario conocer el origen de las perturbaciones.

➤ **Desventaja.**

- Tiene que existir perturbaciones para que empiece la acción de control. Del mismo modo, el control siempre es a posteriori y, requiere que exista cambio en la variable del proceso.

Figura 9

Diagrama de bloques sistema de control realimentado.



2.4 Métodos de Sintonización del Controlador PID.

En la actualidad se emplean varias metodologías de sintonización para el cálculo de los parámetros o ganancia estimados del controlador. Los métodos de sintonización más usados son el Ziegler-Nichols, Miller, lambda.

2.4.1 Método de Sintonización Basado en Ziegler-Nichols.

(Corredor Cajamarca & Estrada Jacobson , 2013) menciona que este método es ampliamente utilizado por ser sencillo. Para la sintonización, solo se requiere conocer: la variación de la señal de control, la constante de tiempo, la variación del proceso y el tiempo muerto, se puede emplear dos formas para hallar estos parámetros según a la configuración del sistema (lazo Abierto, lazo Cerrado), mayormente se realiza la sintonización en lazo abierto siendo como requisito principal que el sistema sea auto regulable y que su respuesta temporal tenga la forma “S”.

2.4.2 Método de Sintonización Basado en Lambda.

(Banegas Rojas & Sarmiento Sotomayor, 2017) describe, la sintonización lambda se basa en relación del modelo de control interno IMC y el modelo del control predictivo, la sintonización lambda tiene la capacidad de producir a la variable de control PV del proceso un cambio suave y no oscilante al momento del cambio del valor de referencia.

(Guatemala Aguilar, 2020), en su trabajo de tesis menciona, el método de sintonización lambda, utiliza la cancelación de polos y ceros para lograr una respuesta robusta y no agresiva en el sistema de control a lazo cerrado deseado, permitiendo que la velocidad de respuesta del lazo de control sea seleccionable (tiempo λ). Sin embargo, para aplicar el método de sintonización, el proceso se ajuste de los siguientes modelos:

- Primer orden
- Integrador de primer orden con retardo
- Integrador.
- Segundo orden sobre-amortiguado y sub-amortiguado

2.5 Instrumentación.

“Un sistema de control, cualquiera que sea la estrategia seleccionada, hará falta medir las variables del proceso (Caudal, Nivel, etc...), del mismo modo, al calcular las acciones de control según su tipo y manipular la variable de entrada” (Ayma Garcia & Luque Lucero, 2017), siendo este los (variadores de velocidad, válvulas de posición, entre otros), para estos fines, se requiere la instrumentación y se clasifican en tres clases:

I. Elementos primarios o sensores de campo:

Son dispositivos que están en contacto de manera directa o indirectamente con las variables del proceso, son capaces de medir magnitudes físicas o químicas, prácticamente son sensores que están conformado por un transductor y transmisor.

- *Sensor de nivel.*

Son dispositivos que pueden ser electrónicos o mecánicos que detecta o mide la altura del material ya sea por acción directa o indirecta, regularmente líquido, almacenado en un tanque o recipiente. Existen muchas aplicaciones para la medición o detección de la altura, estos pueden ser medición por *radar, magnético, por ultrasonido.*

(Endress+Hauser, s.f.) define que los *sensores de nivel por ultrasonido* funcionan con el principio de tiempo de vuelo, esto quiere decir que el sensor emite pulsos ultrasónicos, donde la señal es reflejada por la superficie y el pulso reflectado es detectado nuevamente por el sensor, a base de este evento, el nivel se obtiene conociendo las dimensiones de altura del recipiente y la distancia de la señal reflejada (la

distancia reflejada se determina por el tiempo de vuelo de la señal reflejada y la velocidad del sonido).

- **Sensor de caudal.**

Cuantifican la cantidad de volumen que circula a través de una tubería, lo cual, usa diferentes principios de medición como: *electromagnético, ultrasonido, diferencia de presiones en dos puntos etc...*

Los sensores de caudal electromagnético se basa en el “principio de la ley de Faraday deduciendo que un fluido conductor en movimiento a través de un campo magnético constante inducirá un voltaje que será proporcional a la velocidad del fluido conductor” (Endress+Hauser, s.f.). El caudal se calcula multiplicando la velocidad por la sección transversal de la tubería.

- **Transmisor.**

Son elementos electrónicos, encargado de transformar las lecturas físicas de proceso o señales de los transductores, y transformarlas en señales digitales estándar para que la información pueda ser recepcionada por el controlador.

II. Elemento final de control o actuadores.

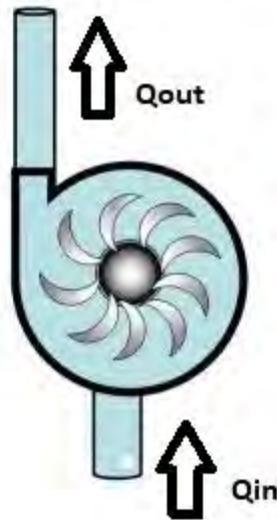
Son dispositivos o mecanismos que modifica la variable controlada del proceso, típicamente recibe las señales de un dispositivo electrónico y manipula un flujo de material del proceso.

- **Válvulas de control:** Este dispositivo varía paso continuo de flujo (líquido o gases), ajustando la abertura por la cual fluye el fluido, estos equipos toman un rol importante en el sector industrial.
- **Bombas electromecánicas:** Las bombas son ampliamente utilizados en la industria, permite transportar el fluido de un lugar a otro a diferentes niveles y diferentes velocidades.

Las bombas son máquinas que convierten la energía mecánica en energía hidráulica, se clasifican en diferentes grupos según su aplicación siendo la más utilizada las bombas centrífugas puede ser manejada a velocidades variables para el bombeo de líquidos, la representación simbólica de una electrobomba se visualiza siguiente figura:

Figura 10

Representación gráfica de bomba centrífuga de impulsión.



Las bombas centrífugas tiene una característica geométrica importante llamada desplazamiento volumétrico (Dv), definido como volumen del fluido que se desplaza en una revolución.

$$Q = Dv * n \quad (4)$$

$$n = \frac{120 * f}{p} * (1 - s) \quad (5)$$

Donde:

- **Q** caudal de salida.
- **Dv** desplazamiento volumétrico.
- **n** número de revoluciones por minuto.

- **f** frecuencia del motor.
- **p** número de polos del motor.

- **Variadores de frecuencia.**

El fabricante de variadores Danfoss, menciona que es como “un tipo de controlador electrónico para motores, que acciona un motor eléctrico variando específicamente la frecuencia y el voltaje de su fuente de alimentación al motor” (Danfoss, s.f.), además estos drivers poseen numerosas funcionalidades, las principales son el ajuste del tiempo de aceleración y desaceleración en los arranques y paradas del motor.

El sistema eléctrico y electrónico del variador de frecuencia se puede dividir en tres etapas principales:

- **Convertidor de entrada:** donde se rectifica la red CA a CC a través de arreglo de diodos o SCRT, esta etapa produce armónicos residuales que se acopla a la red.
- **Bus de CC:** El objetivo de esta etapa es distribuir una línea de voltaje de corriente continua CC entre los bornes +DC/-DC, el bus de CC también distribuye voltaje de corriente continua convertido a niveles de voltaje adecuados para la alimentación de las tarjetas electrónicas de control del variador.
- **Inversor:** convierte el voltaje del bus CC a voltaje CA, a través de disparos o paso de corriente eléctrica de los IGBT, “la tarjeta de control del variador controla la conmutación de los IGBT a velocidades rápidas convirtiendo el voltaje de salida en un “Seno-PWM”, cumpliendo con la relación de V/F a proporción constante. El motor recibe el voltaje modulada Seno-PWM, con amplitud igual a la barra de voltaje C” (Danfoss, s.f.).

III. Controladores.

Unos de los dispositivos más importante en los sistemas de control, los controladores reciben la señal del elemento primario, la compara y toma decisiones estableciendo de manera

automática una respuesta en la señal de salida hacia los elementos finales (actuadores), contextualizando, el controlador es el “cerebro” del sistema de control, en muchas plantas industriales los controladores son computadores especializados para el control de máquinas y procesos llamados PLC’s.

- **Controladores lógicos programables (PLC).**

Se puede definir un PLC como un computador especializado programable donde se puede almacenar instrucciones, secuencia lógica y ejecutar funciones específicas para controlar uno más elementos finales de control, los PLC’s se compone por una o varias unidades de procesamiento central (CPU), periféricas de entradas/salidas (E/S) y la fuente de alimentación. En la actualidad según el diseño de del PLC pueden ser compactos o modulares.

- **PLC compactos:** donde el procesador y los periféricos de entradas y salidas están ensambladas en un solo cuerpo, una ventaja es el coste menor del equipo, su desventaja es en realizar el reemplazo del todo el equipo si es que sufre un daño
- **PLC modulares:** la E/S, el procesador, los periféricos de comunicación son módulos ensamblados independientemente y se puede conectar estos módulos de manera independiente, realizar el reemplazo del módulo dañado sin la necesidad de cambiar todo el PLC armado.

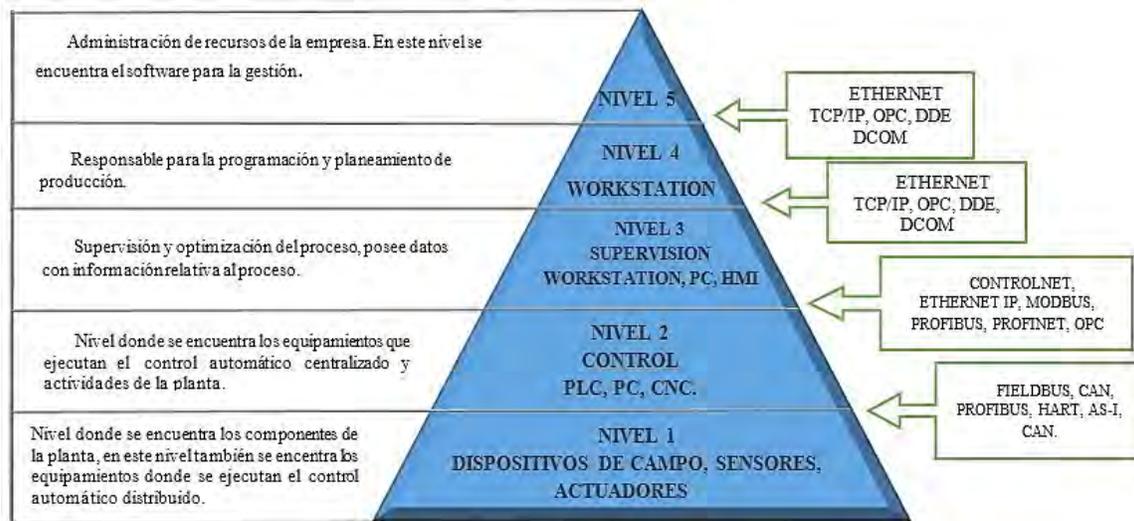
2.5.1 Buses de Campo y Protocolos de Comunicación.

(Echeverri Orozco & Grisales Giraldo, 2013) menciona que “las redes de comunicación están creciendo cada día más volviéndose indispensables en los procesos industriales y a medida que la tecnología va creciendo, los equipos de campo, de control y supervisión de procesos tiene la necesidad de estar interconectados recibiendo o enviando datos”, para ello, es necesario tener la estructuras jerárquicas que pueda garantizar la seguridad en la transmisión de datos y, permitir el intercambio de información entre diferentes componentes o equipamientos industriales.

Según el (estándar ISA-95), la pirámide de la automatización **Figura 11**, es una representación jerárquica de los diferentes niveles de control desde los equipamientos, dispositivos de campo hasta el nivel de gerenciamiento.

Figura 11

Pirámide de automatización.



Nota: Niveles de automatización según la norma ISA-95. Adaptada del gráfico Pasado, Presente y Mucho Futuro, ISA Sección Española, 2021. (<https://isa-spain.org/mes-pasado-presente-y-mucho-futuro/?cn-reloaded=1>).

- **NIVEL 1- Adquisición de datos y control manual:** Dispositivos de campo.
- **NIVEL 2- Control individual:** Equipamientos que realizan el control automatizado, con PLC (controlador lógico programable), SDC (sistema de control digital distribuido) y relés.
- **NIVEL 3 – Control de célula, supervisión y optimización del proceso:** Supervisión ejecutada por una determinada célula de trabajo en una planta.
- **NIVEL 4 – Control de fábrica total, producción y programación:** Auxilia tanto en el control de procesos industriales cuanto a la logística.
- **NIVEL 5 – Planeamiento estratégico y gerencia corporativa:** En este nivel se encuentra el software de gestión, donde se puede administración de los recursos de la empresa.

2.5.1.1 Profibus

La red Profibus es uno de los protocolos de comunicación presente en la mayoría de procesos industriales, permite el intercambio de datos de diferentes dispositivos industriales de diversos fabricantes con transmisión de datos de altas velocidades en tareas complejas y extensas de comunicación. Profibus usa como medio físico típicos de comunicación el sistema RS-485 y la misma fibra óptica.

La arquitectura de Profibus se divide en tres perfiles (DP, FMS, AP):

- **Profibus DP (Periferia descentralizada):**

El Profibus DP es una solución para altas velocidades (High-Speed-12Mbps). “diseñado especialmente para el intercambio de datos entre controladores y equipamientos de automatización descentralizados. Utiliza el medio físico RS-485 o fibra óptica, requiere menos de 2 ms para la transmisión de 1 Kbyte de entrada y salida” (Suárez Chaparro & Torres Castillo, 2018, pág. 32).

- **Profibus FMS:**

El Profibus FMS provee al usuario una amplia selección de funciones. “Es una solución de patrones de comunicación universal que puede resolver tareas complejas de comunicación entre PLC’s y DCS’s” (Suárez Chaparro & Torres Castillo, 2018, pág. 32).

- **Profibus PA:**

Profibus PA, con funcionalidad similar con el Profibus DP con la diferencia en que se basa en el nivel I de la pirámide de automatización, establece la comunicación de datos de los dispositivos de campos (sensores, actuadores) con una unidad central de control. Profibus PA funciona con una velocidad fija (31.25 Kbps), “provee seguridad intrínseca y la alimentación es a través del mismo bus de comunicación, se puede conectar hasta 32 dispositivos por el mismo segmento” (Suárez Chaparro & Torres Castillo, 2018, pág. 32).

2.5.2 *Software de Desarrollo*

2.5.2.1 MATLAB.

“El Software MATLAB fue desarrollado para el cálculo numérico y análisis sistemas de control lineal; en el entorno del software MATLAB contiene varias aplicaciones o caja de herramientas (Toolboxes) que proveen ayuda en las soluciones en distintas áreas específicas como: diseño y análisis de sistemas de control, procesamiento de señales, sistemas de potencia” (Sanchez, 2017, pág. 40).

2.6 SCADA

La palabra “SCADA vienes de las siglas (Supervisory Control and Data Acquisition) lo cual nos hace referencia a un *Sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisor*, originalmente este sistema se diseñó para la recopilación, análisis y la visualización de datos de los equipos industriales” (Salazar Velarde & Villacreses Pita, 2015), el sistema Scada es una combinación de hardware y software que permite la automatización de procesos industriales desde lo simple hasta lo más complejos mediante la captura de datos, esto se logra a través de una estación maestra o unidad terminal maestra (MTU) y por medio de varios controladores lógicos programables o unidades remotas (generalmente RTUs).

- Un sistema SCADA puede ofrecernos las siguientes prestaciones:
 - “Administración de alarmas.
 - Almacenamiento de información, generación de reportes y exportación de información sobre una hoja de cálculo para su análisis.
 - Posibilidad de programación numérica, que posibilita realizar cálculos aritméticos de elevada complejidad sobre la CPU del ordenador, y con opción de realizar programación en Script para aplicaciones específicas.
 - Supervisión, transmisión de información con dispositivos de campo y otros dispositivos PLC’s.
 - Presentación de tendencias, gráficas dinámicas de las señales de planta” (Salazar Velarde & Villacreses Pita, 2015, págs. 45-46).

CAPITULO III: DESCRIPCIÓN GENERAL, LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DESAGUE CBD-01.

3.1 Descripción General.

Como ya se mencionó en el capítulo I, la planta PTAR-SJ es operada por los trabajadores de la empresa EPS SEDACUSCO SA, teniendo como finalidad, tratar las aguas servidas de la población cusqueña y como producto final se tiene: (agua tratada para riego, lodo deshidratado como abono y gas metano) y debido a esto, el proceso de tratamiento se ha clasificado en tres líneas de producción (línea de líquido, línea de lodos, línea de gases).

Figura 12

Proceso de tratamiento biológico de la PTAR-SJ.

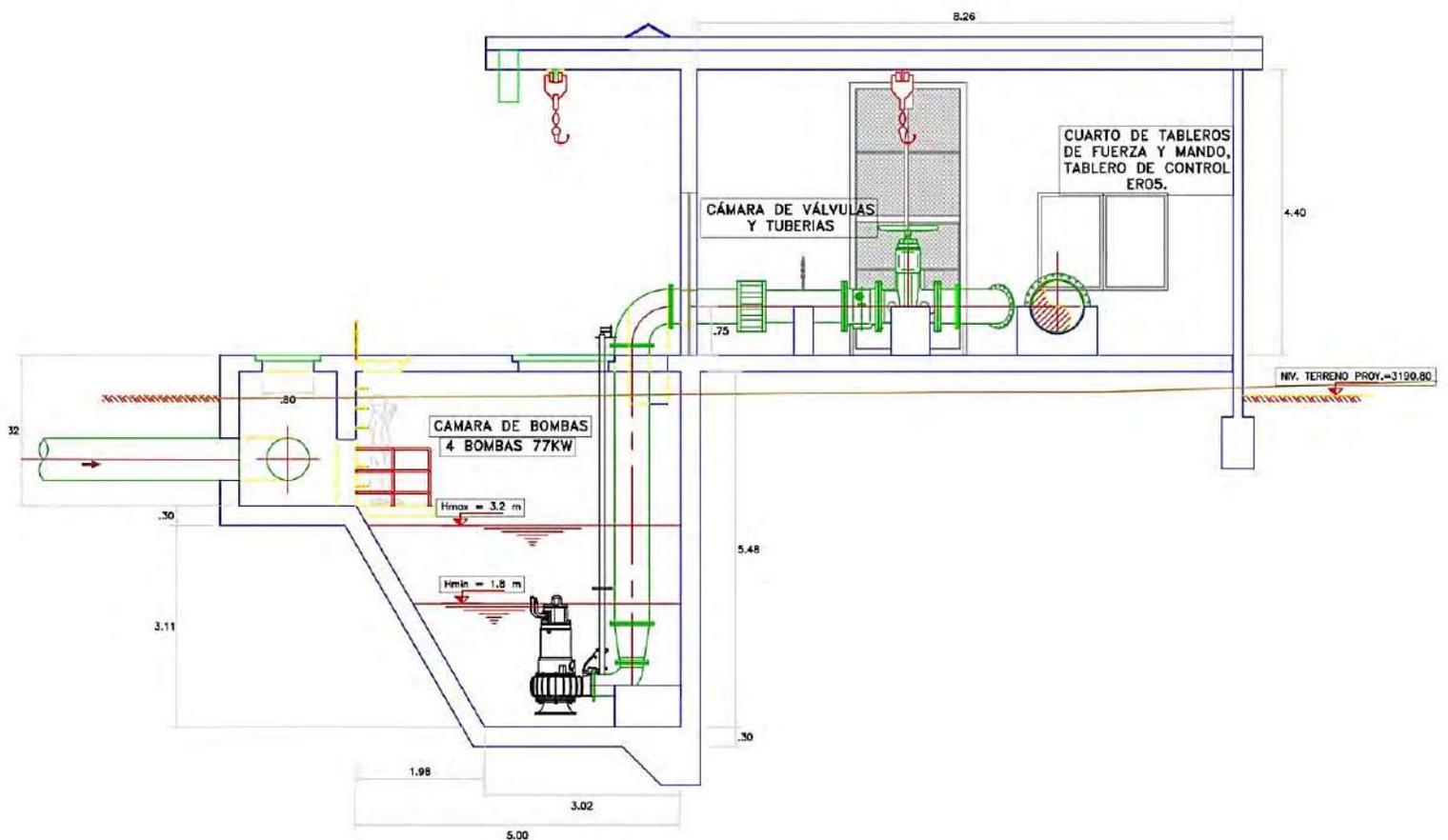


Nota: El círculo de color rojo representa la estación de bombeo de desague CBD-01.

La línea de líquidos contiene una serie de sub-procesos que fueron descritos en el capítulo I, para lo cual, en este proyecto de tesis nos enfocaremos en mejorar el automatismo de la estación de bombeo de desagüe CBD-01, perteneciente al proceso de tratamiento biológico (**Figura 12**); para ello, se requiere conocer todos los elementos electromecánicos, eléctricos y electrónicos que conforma la estación de bombeo. En la **Figura 13**, se muestra el corte transversal de la estación de bombeo de desagüe CBD-01, cabe mencionar, la cámara de reunión de desagüe o la cámara de bombas se encuentra en el sub-suelo de dicha estación.

Figura 13

Vista lateral de la estación de bombeo CBD-01.



Nota: Fuente (Adaptada de *AS-BUILT_NK-JICA-PE-P29-HI-12.02, NIPPON KOEI-SEDACUSCO, 2011*).

3.1.1 Levantamiento de Información de la Estación de Bombeo de Desagüe CBD-01.

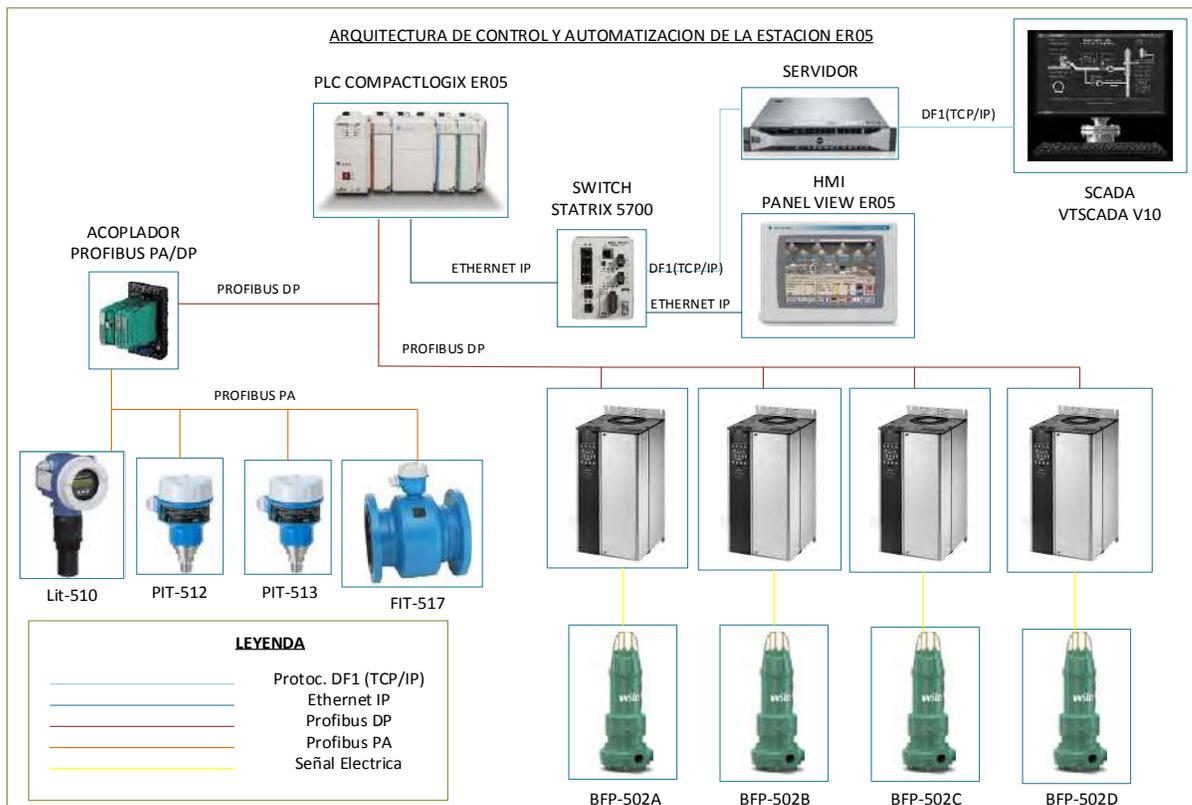
La cámara de reunión de desagüe de la estación de bombeo, tiene una forma geométrica parecida a un trapecoide invertido, ver **Figura 13**, abarca un volumen máximo aproximado de 170.24 m³ (170,240 litros) con una altura de 5.45m. En la parte superior de la cámara está instalada un sensor transmisor de nivel con Tag LIT-510, éste mide el nivel de agua de la cámara, en el interior de la cámara contiene cuatro bombas sumergibles con TAG BFP-502A, BFP-502B, BFP-502C, BFP-502D respectivamente, estas bombas impulsa el agua semi tratada hacia los filtros percoladores secundarios, cada bomba sumergible son moduladas por un variador de velocidad de la marca Danfoss, teniendo un caudal de bombeo de 281 L/s a frecuencia máxima por bomba, también están instaladas sensor transmisor medidor de flujo con TAG FIT-517 en la salida de la tubería de impulsión midiendo y registrando el flujo puntual y acumulado y 2 sensores transmisores de presión con TAG PIT-512 y TAG-513, que monitorea la presión de línea de bombeo, localizados en cada una de las descargas de las bombas BFP-502A/B y para las bombas BFP-5012C/D, en caso de que se registre una presión mayor o falta de presión al límite predeterminado (ajustable libremente), se genera una alarma y apaga la bomba correspondiente y 4 válvulas de operación manual que deberán estar siempre abiertas. En el **Anexo A**, se muestra el diagrama de tuberías e instrumentación del tratamiento biológico.

Todos los instrumentos y los elementos finales de control que conforma la estación de bombeo descritos, se comunica con el PLC COMPACTLOGIX L33ER de la estación remota ER-05 a través del protocolo de comunicación Profibus PA para la instrumentación y Profibus DP para los elementos finales de control, también contiene un panel de operador gráfica HMI Panel View plus 1000 y a la ves son supervisadas y controladas por un sistema SCADA (VTSCADA) ubicada en la estación central, el enlace del controlador y Scada es por el protocolo de comunicación CIP

(Ethernet IP) por medio de fibra óptica. La gráfica siguiente, muestra la arquitectura de control del sistema actual de la estación de bombeo.

Figura 14

Arquitectura de automatización del sistema de bombeo de desagüe CBD-01.



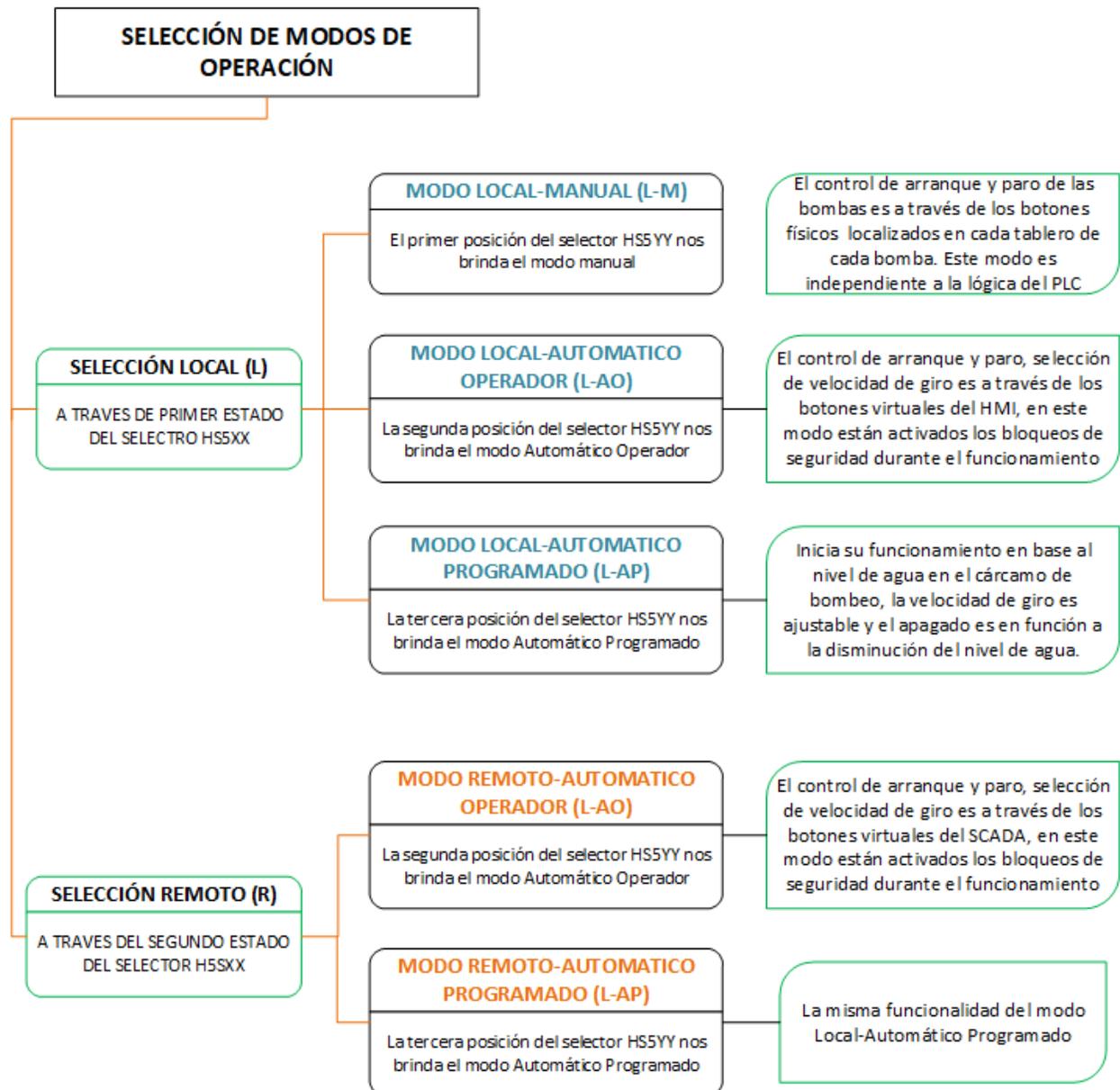
3.1.1.1 Filosofía de Operación del Sistema Actual.

En el interior de la estación de bombeo, están instalados los tableros de control y fuerza de cada bomba sumergible con denominación STG-3_XX y el tablero de control ER05, dentro de ellas están compuestas con selectores para el cambio de modo de operación, variadores de velocidad y dispositivos electrónicos y eléctricos. La selección de modos de operación se realiza a través de los selectores de dos posiciones “HS5XX” para los modos de local y remoto, el selector de tres posiciones “HS5YY” para los modos de manual, automático programado (AP) y

automático operador (AO), estas selecciones se realizan para cada equipo obteniendo 5 combinaciones (Local-manual, Local-AP, Local-AO, Remoto-AP y Remoto-AO), en el **anexo C** se detalla la funcionalidad de los modos de operación de cada bomba, en la **Figura 15** se muestra un resumen general sobre la funcionalidad de los modos de operación.

Figura 15

Diagrama de bloques de la funcionalidad de los modos de operación.



3.1.2 Levantamiento de Información de Equipos e Instrumentos de la Estación de Bombeo de Desagüe CBD-01.

Como se menciona en el capítulo 1, se reutilizan los equipos de instrumentación y actuadores instalados en dicha estación de bombeo.

3.1.2.1 Características Técnicas del Transmisor de Nivel LIT-510.

El sensor de nivel con Tag LIT-510 de la marca **Endress Hauser**, modelo **Prosonic M FMU41**, está instalado en la parte superior de la cámara (**Figura 16**), utiliza el principio de tiempo de vuelo de una señal ultrasónica emitida; en la **Tabla 1**, muestra las principales características técnicas del sensor-transmisor indicador de nivel LIT-510.

Figura 16

Sensor-Transmisor de nivel LIT-510.



Tabla 1*Características técnicas del sensor-transmisor de nivel LIT-510.*

PRINCIPALES CARACTERISTICAS LIT-510		
	<u>TAG</u>	<u>LIT-510</u>
GENERAL	Descripción	Transmisor indicador de nivel
	Marca	Endress-Hauser
	Modelo	PROSONIC 41 - FMU41
	Tipo	Sensor transmisor compacto
SENSOR TRANSMISOR	Rango medida	0.35 a 8 metros
	Span	8 metros
	Precisión	1 mm
	Error medición	- / + 2 mm ó 2 %
	Banda muerta	0.35 metros
	Frecuencia	0.50 Hz
	Angulo de haz	11 °
	Comunicación	PROFIBUS PA
	Alimentación	POR BUS PROFIBUS PA
	Temp. operación	-40 A 80 °C
PRINCIPIO MEDICION	Por pulsos ultrasonidos hacia la superficie de medición	
BENEFICIOS	Con sistema de Supresión de Ecos	

3.1.2.2 Características Técnicas del Transmisor de Caudal FIT-517.

Previo a la cámara de reunión CR-004 de los filtros percoladores secundarios, se encuentra instalado el Sensor Transmisor e indicador de caudal electromagnético con Tag FIT-517 modelo **Promag 50W8H DN800** (*Figura 17*), montado en tubería vertical de material HD (Hierro Dúctil), con diámetro nominal DN 800 mm, que registra el flujo puntual ascendente y acumulado de los

desagües proveniente de la estación de Bombeo de desagüe CBD-01, el principio de medición se rige por la ley de Faraday, la **Tabla 2**, muestra las principales características técnicas del sensor FIT-517.

Figura 17

Sensor-Transmisor de caudal FIT-517.

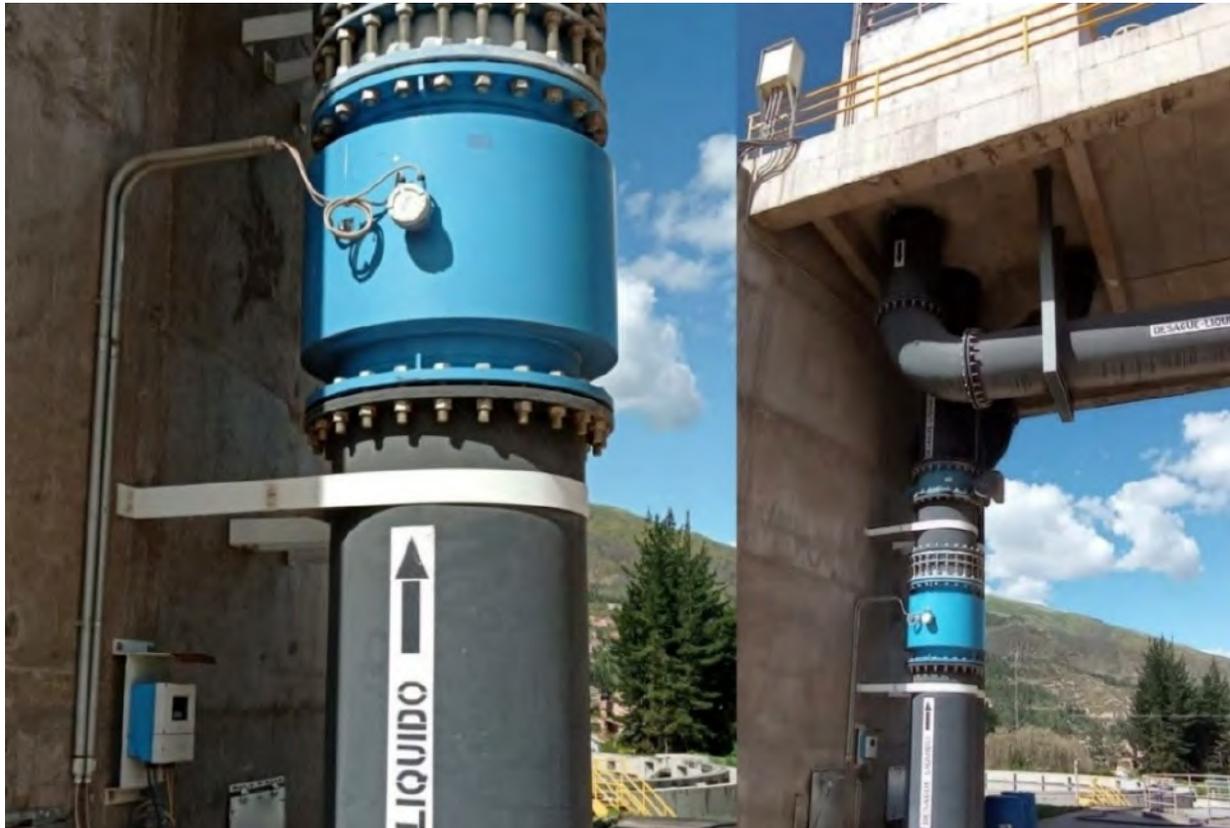


Tabla 2*Características técnica del sensor transmisor de flujo FIT-517*

PRINCIPALES CARACTERISTICAS FIT-517		
GENERAL	Tag	FIT-517
	Descripción	Transmisor indicador de flujo
	Marca	Endress-Hauser
	Modelo	PROMAG 50W8H
	Tipo	Sensor Transmisor compacto electromagnético
SENSOR TRANSMISOR	Rango medida	0.001 a 10 m/s
	DN Sensor	DN 800 ; 32”
	Error medición	- / + 5%
	Aplicación	En aguas potables, aguas residuales de tratamiento de lodos con conductividad >5us/cm
	Material sensor revestimiento	Electrodos De Alloy C-22 con toma a tierra. Con revestimiento HARD RUBBER Bridas Acero al carbono.
	Comunicación	PROFIBUS PA
	Alimentación	Por Bus Profibus PA
	Temp. operación	0 A 80 °C
PRINCIPIO MEDICION BENEFICIOS	“Mediante la ley de Faraday, Principio de inducción de un Voltaje en un flujo conductor moviéndose en un campo magnético, que es proporcional a la velocidad del flujo conductor” (Endress+Hauser, s.f.).	

3.1.2.3 Especificaciones Técnicas del Convertidor-Motor-Carga.**I. Caracterización convertidor (Variador de velocidad).**

El tablero de control y fuerza de cada bomba sumergible están equipados con 01 variador de velocidad de 90 KW (120 HP), modelo **FC-202P90KT4** de la **marca DANFOSS**, con la finalidad de accionar y controlar las revoluciones por minuto de la bomba sumergible, obteniendo el caudal requerido para la operación del proceso.

Cada variador de velocidad tiene acoplado un módulo de comunicación digital **Profibus DP** para la transmisión de datos entre el variador y el PLC CompactLogix L33ER de la estación remota

ER05. En la **Tabla 3**, indica las principales características técnicas del variador de velocidad modelo VLT FC-202.

Tabla 3

Características técnicas del variador de frecuencia FC-202.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS VFD DANFOSS FC-202P90K	
ALIMENTACIÓN DE RED	
Tensión de alimentación (L1, L2, L3)	380-480 VAC +/- 10%
Frecuencia. de alimentación de red	50 / 60 Hz +/- 4%
Max. desequilibrio entre fases de red	3%
SALIDA DEL MOTOR Y DATOS DEL MOTOR	
Eje de salida max (KW)	90
Tensión de salida (U, V Y W)	0 - 100 % de T. de Alimentación
Intensidad de salida max-sobrecarga	195 A
Frecuencia de alimentación	0 - 590 Hz
Conmutador de salida	Ilimitado
Tiempo de rampa	1 - 3600 s
Protocolo de comunicación	Profibus DP
Entrada digitales (PNP o NPN)	4 – Programables
Salidas digitales (PNP o NPN)	2 – Programables
Salidas relay	2 – Programables

Fuente: (Danfoss, s.f.)

II. Parametrización del variador de velocidad FC-202P90K Danfoss

Se realizó la revisión de los parámetros configurados de los 04 variadores de velocidad y se observó que algunos parámetros no eran los adecuados para el tipo de aplicación que requiere el proceso, se realizaron algunos cambios en los parámetros tales como:

- Habilitación de alarmas y bloqueos de los parámetros eléctricos del VLT FC202 durante su funcionamiento.
- Modificación del tipo control estándar (U/F) al control vectorial (VVC+), con el control vectorial mejora la estabilidad y la dinámica al cambio de la velocidad como en relación con el par de carga.

La modificación y ajuste de los parámetros se utilizó la herramienta del software de configuración MCT10 V4.20, los parámetros modificados se observan en la siguiente tabla.

Tabla 4

Parámetros reconfigurados del variador de velocidad FC-202 para las 4 bombas.

Ítems	Descripción de parámetros	Valor del parámetro actual	Valor del parámetro modificado
Características generales	Tipo de control de motor principal	U/F	VVC+
Características generales	Características de torque	n.a	Torque Variable
Referencias rampas	Rampa de aceleración	150 s	60 s
Referencias rampas	Rampa desaceleración	180 s	90 s
Límites/Advertencias	Velocidad mínima del motor	40 Hz	45 Hz
Límites/Advertencias	Límite de corriente	n.a	110 %
Límites/Advertencias	Perdida de fase del motor	n.a	1000 ms

III. Caracterización motor-carga (bombas sumergibles WILO 77KW).

En el interior de la cámara de la estación de bombeo, se ubican 4 electrobombas con motor inmersibles de la marca **WILO**, con potencia de **77KW (103 HP)** y caudal de bombeo de **281 L/s** de capacidad nominal por electrobomba. En la **Tabla 5**, indica las principales características técnicas.

Tabla 5

Características técnicas de la bomba sumergible.

Condiciones de operación		Características del equipo	
Temperatura de Bombeo	18-25°C	Marca	WILO
Densidad	1 Kg/cm3	Modelo	FA25.93D + FK34.1.6/50
Tiempo de operación(H/D)	24	Tipo de bomba	Sumergida con motor inmersible.
Ph(liquido)	6.1-8.1	Tipo de impulsor	Tricanal cerrado
Flujo (diseño)	281.0 L/s	Diámetro de impulsor	451 mm
Carga diferencial (diseño)	20 m	Diámetro de succión	300 mm
Sumergencia mínimo. (diseño)	0.55 m	Diámetro descarga	250 mm
		Altura de bomba	1747 mm
		Momento de inercia de bomba	1.316 Kg/m2
Características del motor		Desempeño de bomba	
Velocidad	1150 rpm		
Fabricante (Wilo)	FK 34.1-6/50	Rotación de bomba	CCW
Voltaje	440 VAC	Max. cabeza diseño Impulsor	36 m
Fases	3	Max. potencia diseño Impulsor	71 KW
Frecuencia	60 Hz	Flujo continuo min. bomba	150 L/s
N° de polos	6	Velocidad	1150 rpm
Potencia	77 KW	Eficiencia de la bomba	77.50%
COS Phi	0.81	Material impulsor	INOX
Amperaje	139 A		
Nema	ISO		
Aislamiento	IP 68 iso F		
F. Servicio con max. caudal	1.15		
Eficiencia de motor	89.20%		
Sensor estator y aceite	SI		

CAPITULO IV: MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE DESAGUE CBD-01 Y DISEÑO DEL CONTROLADOR.

4.1 Sistema de Bombeo de Desagüe CBD-01.

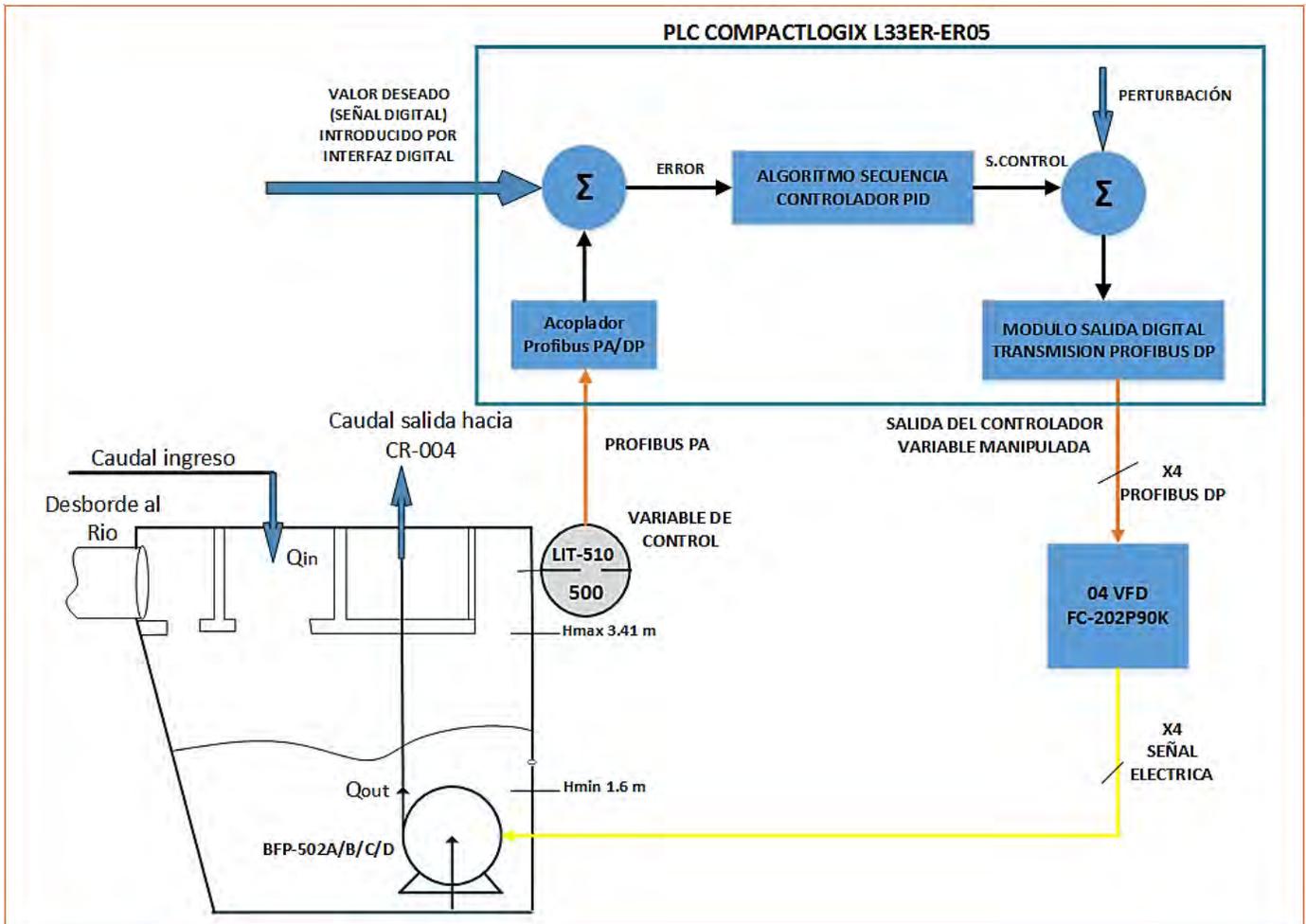
Para el control de nivel de la estación de bombeo, se realizó el acondicionamiento del sistema en lazo cerrado. La variable controlada es el nivel de la cámara de bombeo expresada en metros que registra en sensor de nivel LIT-510, la variable manipulada es la velocidad de giro de cada variador de velocidad expresada en Hertz y como elemento final el controlador PLC CompactLogix L33ER que, establece como debe reaccionar los actuadores (variador de velocidad) a partir de la información que proporciona el transmisor de nivel.

4.1.1 Representación del Sistema de Bombeo CBD-01 en Lazo Cerrado.

Para que la estación de bombeo, tenga la estructura de un sistema de control en lazo cerrado, la altura de la cámara que mide el transmisor de nivel LIT-510 debe ser realimentado al controlador y, a su vez, éste, debe mantenerse igual al valor deseado que se le conoce como valor de referencia (Set-Point). El valor de referencia será único parámetro que será modificado por el operador, el controlador compara el valor de referencia y el valor medido, en base a esta comparación, el controlador variará la velocidad de giro de cada bomba en términos de Hertz hasta mantener el valor medido con el valor de referencia. Cabe indicar que enlace de señal del sensor de nivel LIT-510, los 4 variadores de velocidad y el controlador PLC es a través del protocolo de comunicación Profibus. El valor de referencia es una señal digital, la cual se ajusta por el usuario a través de una pantalla HMI o a través SCADA, con una mejor claridad véase la siguiente figura:

Figura 18

Sistema de control en lazo cerrado de la estación de bombeo CBD-01.

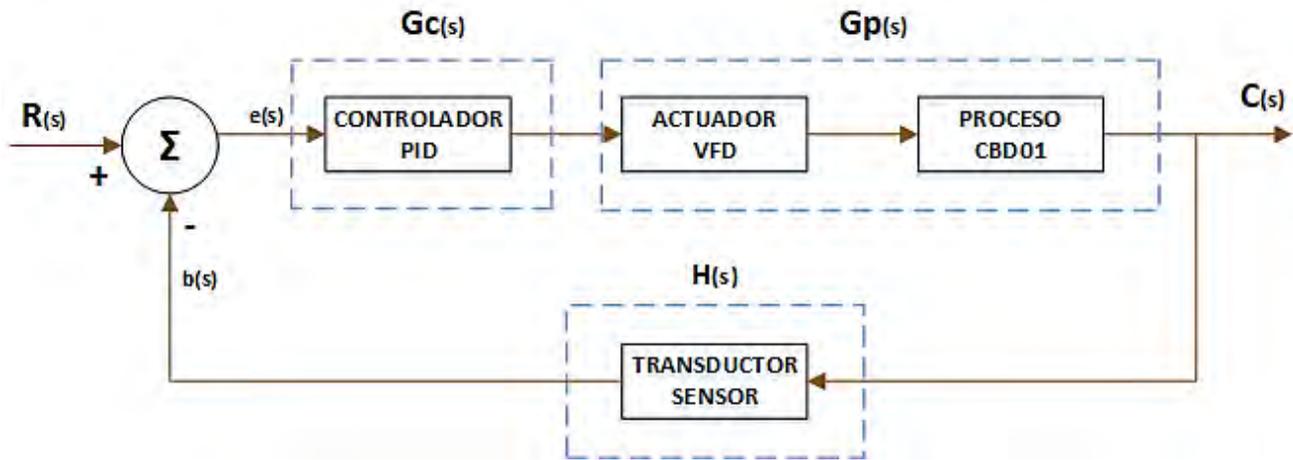


4.1.1.1 Diagrama de Bloques del Sistema de Control en Lazo Cerrado.

Teniendo bien definido el proceso a ser controlado, el siguiente paso es identificar los grupos de componentes relacionados con el fin de dividir el proceso en sub procesos más pequeños y menos complicados, para un mejor análisis, véase la **Figura 19**, donde la ecuación (8) representa la función de transferencia en lazo cerrado. Y está se puede relacionar con la **Figura 20**, que muestra la representación en diagrama de bloques del sistema de bombeo de desagüe en lazo cerrado.

Figura 19

Diagrama de bloques general de un proceso del sistema de control.



$$C(s) = Gp(s).c(s).e(s) \quad (6)$$

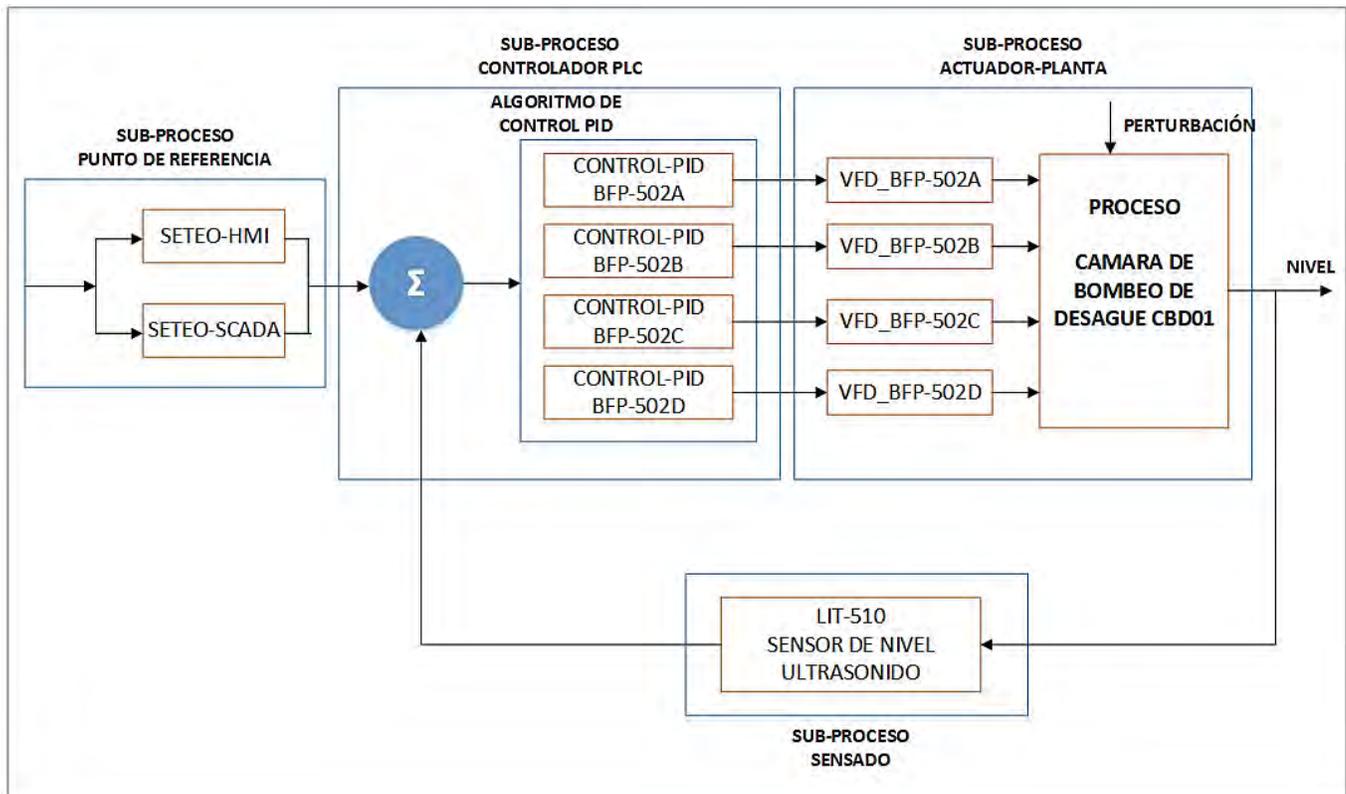
$$e(s) = R(s) - H(s).C(s) \quad (7)$$

De las ecuaciones (6) y (7) se obtiene:

$$F.T = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{Gp(s).Gc(s)}{1 + H(s).Gp(s).Gc(s)} \quad (8)$$

Figura 20

Diagrama de bloques en lazo cerrado de la estación de bombeo CBD-01.



4.1.1.2 Diagrama de Tuberías e Instrumentación de la Estación de Bombeo CBD-01.

La *Figura 21*, muestra el plano DTI del sistema de bombeo de desagüe modificado, siguiendo con los mismos estándares de los planos DTI de la planta PTAR, la terminología está de acuerdo a la normativa ISA S5.1 “Terminología de Procesos de Instrumentación”, el plano DTI presente, describe los lazos de control del sensor-transmisor de nivel, sensor-transmisor de presión y del sensor-transmisor de caudal, las cuales pueden trabajar de forma individual o en conjunto, en el **anexo B** se observa el plano DTI con más claridad. .

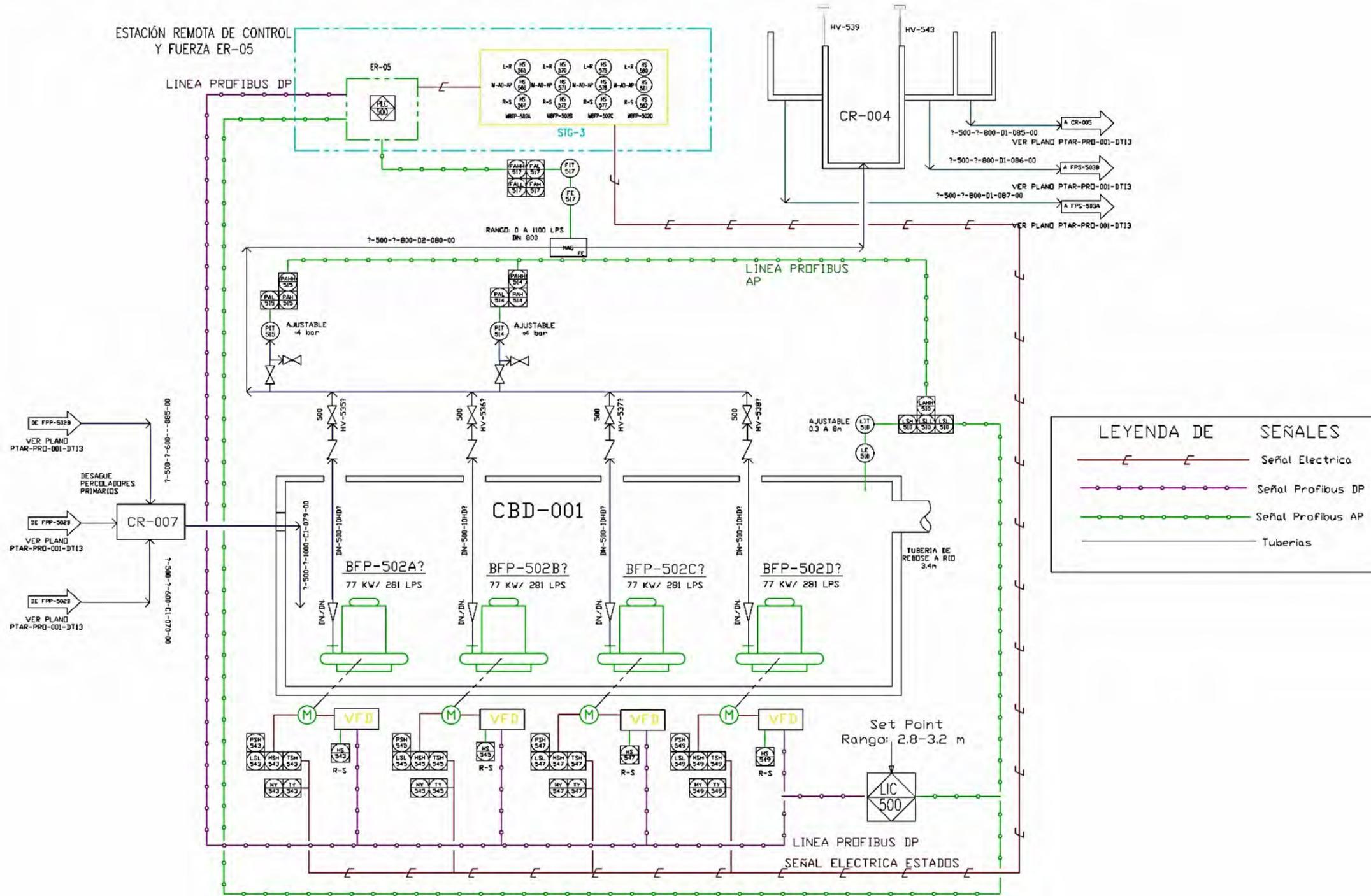
Figura 21

Representación DTI de la estación de bombeo de desagüe CBD-01.

CAMARA DE REUNION CR-007
DESAGUES PERCOLADORES PRIMARIOS
CONCRETO DE 1.5 X 1.5 X 2.0 m

CAMARA DE BOMBEO DE DESAGUES
PERCOLADORES PRIMARIOS CBD-001
EN CONCRETO.
NIVEL MINIMO: 1.60m; MAXIMO 3.15m

CAMARA DE REUNION, CR-004
DESAGUE PERCOLADORES PRIMARIOS A PERCOLADORES
SECUNDARIOS. CONCRETO-CUADRANGULAR DE 6 CAMARAS DE
PROFUNDIDAD 3.11m DE ALTURA Y REBOSE 2.39m



4.1.2 *Modelamiento del Sistema de Bombeo de Desagüe CBD-01.*

El rendimiento de sistema de control, inicialmente depende de la apropiada selección de los parámetros del controlador y de la función de transferencia del proceso, para muchos procesos, es muy dificultoso desarrollar el modelo matemático. Sin embargo, es posible desarrollar un modelo basado en la función de transferencia mediante la realización de pruebas en planta (de forma experimental).

En la actualidad, los procesos de llenado o drenado de tanques de agua, pueden comportarse como procesos autorregulados o también como procesos no autorregulados (procesos de integración), los procesos autorregulados cuya salida ante un cambio en la entrada logra estabilizarse naturalmente, un ejemplo son los tanques drenados por gravedad, ya que el caudal de salida aumenta o disminuye según el nivel del tanque; pero los procesos con más frecuencia que se tiene en la industria son los procesos no auto-regulados (procesos de integrantes), de los cuales, el comportamiento de la salida o nivel de agua tiene la forma de una pendiente que no logra auto-estabilizarse, un claro ejemplo son los tanques drenados por bombas electromecánicas.

En la identificación del modelo matemático del sistema de bombeo de desagüe, nos basaremos en la ley de conservación de energía (balance de masa), que es cantidad de líquido almacenada en la cámara durante un tiempo determinado es igual a la diferencia de flujo de entrada y la salida del mismo; la ecuación (9), es su representación matemática

$$\frac{\text{Cambio de Volumen}}{\text{Dentro del tanque}} = Q. \text{ entrada} - Q. \text{ salida} \quad (9)$$

Vale la redundancia, la cámara de reunión de desagüe son drenados por 4 bombas sumergibles, en consecuencia, se le puede denominar como proceso de integración. Según la ecuación (9), cuando este proceso opera en estado estacionario ($Q. \text{ entrada} = Q. \text{ salida}$), cualquier cambio de paso

positivo en la entrada ($Q. salida$) hará que el nivel del tanque disminuya linealmente con el tiempo en proporción a la diferencia de $Q.entrada - Q.salida$, mientras un cambio de paso negativo en entrada hará que el nivel del tanque aumente linealmente, de esta forma, no se alcanzara un nuevo estado estacionario, a menos que el tanque se desborde o se vacíe, por el contrario un tanque con una válvula de línea de salida en lugar de una bomba alcanzara un estado estable cuando la tasa de flujo de salida sea igual a la tasa de entrada.

4.1.2.1 Identificación por Método Experimental.

Para identificar el proceso en forma experimental, relacionaremos todo el sistema de bombeo como una caja negra, en su interior está compuesto por una serie de sistema de tuberías, válvulas, bombas y la geometría del tanque; así mismo, manipularemos los valores de frecuencia en términos de Hertz de los 4 variadores de velocidad refiriéndose como una señal de entrada (CV) y el comportamiento de la señal de nivel como una señal de salida (PV). Basado en el comportamiento de la salida podremos determinar la función de transferencia; por lo cual para la aplicación de este método se procede con los siguientes pasos:

- Adquisición de datos de entrada-salida.
- Selección y/o estimación de la estructura del modelo matemático.
- Estimación de parámetros y validación del modelo identificado.

I. Adquisición de datos de entrada – salida.

Se realiza en lazo abierto, no es importante que el nivel de líquido de la cámara se encuentren en un estado estacionario; para las 4 bombas cambiamos los selectores en los tableros de control y fuerza en modo LOCAL-AUTOMATICO OPERADOR (L-AO) para tener un control manual desde la pantalla HMI de la estación ER05, desde el HMI manipulamos los valores de frecuencia de 48 Hz a 58 Hz de cada bomba y registrar los valores que mide el transmisor de nivel

LIT-510, hasta obtener una pendiente sin que el nivel sobrepase los límites máximos y mínimos de la cámara, del mismo modo, cambiaremos la frecuencia de cada bomba de 58 Hz a 48 Hz y registrar los valores que mide el transmisor de nivel de la cámara.

Con el software MATLAB, se registró los valores medidos del transmisor de nivel LIT-510, las frecuencias de operación de los variadores de velocidad de cada bomba; el enlace es a través de servidor OPC Toolbox logrando la conexión con el controlador PLC CompactLogix de la ER05 y el software MATLAB, los resultados de la respuesta en lazo abierto será empleado para el modelado con el software MATLAB.

a) Configuración y enlace entre OPC-MATLAB y PLC ER05.

OPC Toolbox facilita la conexión a servidores OPC DA y OPC HDA, permite el acceso en tiempo real a los datos históricos directamente desde MATLAB y/o SIMULINK, con OPC Toolbox se puede leer, escribir y registrar datos de otros dispositivos que cumple con el estándar OPC Foundation Data Access (DA).

Figura 22

Enlace de OPC entre MATLAB y el PLC de la ER-05



Nota: Imagen referencial de enlace de OPC entre Software MATLAB y el PLC

En esta parte del proyecto, configuraremos la comunicación OPC entre el PLC COMPACTLOGIX L33ER bajo el Software RSlinx (como Gateway) con el Simulink del software MATLAB ver (**Figura 22**).

- Antes de proceder con la configuración, el PLC ER05 y la computadora personal (PC) deben estar en la misma red, para este propósito configuraremos la dirección IP del portátil a la misma red del PLC, ver (**Tabla 6**).

Tabla 6

Direcciones IP del PLC L33ER y la PC portátil.

Dirección IP del PLC Y del PC Portátil		
Dirección IP PLC ER05	:	192.168.1.51
Dirección IP del Portátil personal	:	192.168.1.145

- Conociendo la IP de ambos dispositivos, se procede a crearse y configurarse un servidor OPC en el Software RSlinx Classic, en la pestaña “DDE/OPC” del software, se creó un Topic con nombre “OPC_ER05”, este Topic desempeña el enlace entre el PLC ER-05 a cualquier dispositivo y software que tenga comunicación OPC, en este caso el enlace es con la aplicación Simulink del software MATLAB.

b) Configuración del bloque OPC lectura en la aplicación Simulink del Software MATLAB.

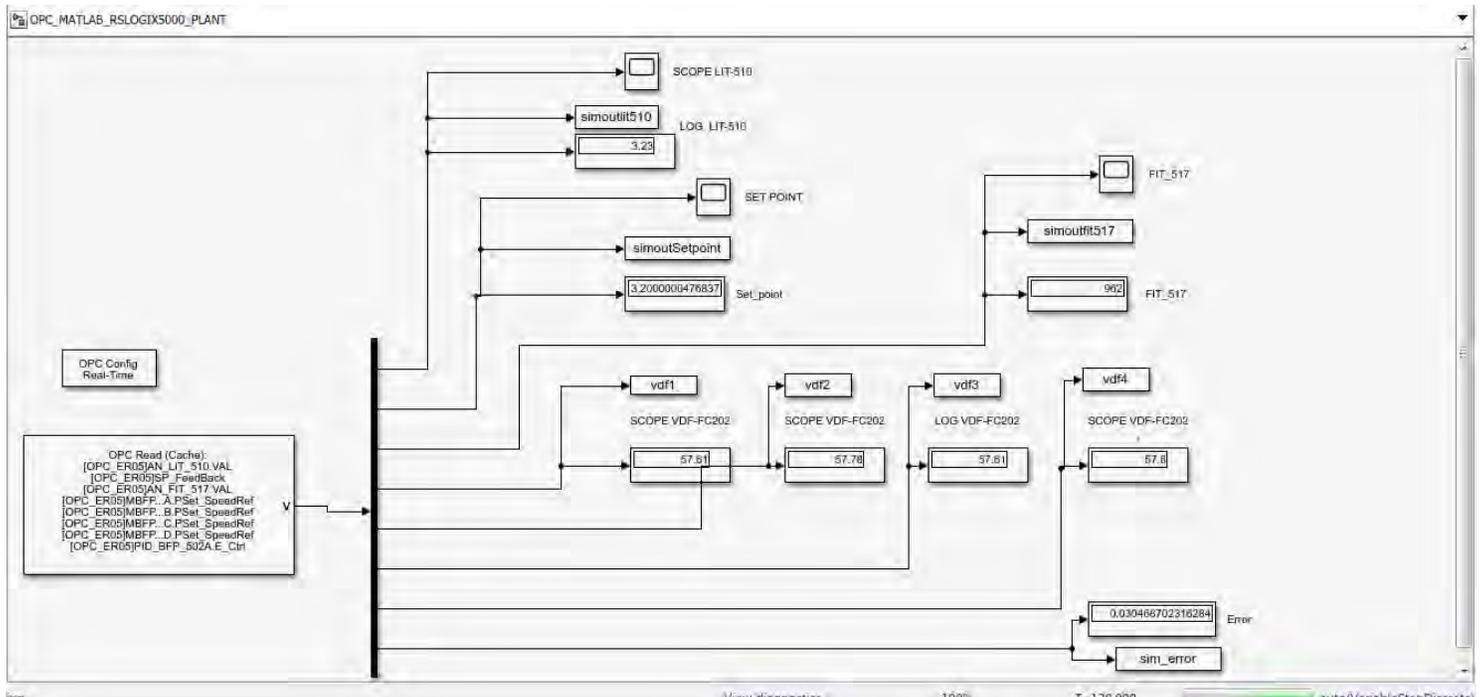
En la interfaz de Simulink agregamos el bloque OPC Read, en los parámetros de cliente configuramos como cliente LocalHost y seleccionamos “RSlinx Remote OPC Server”, el OPC Read tiene la función de leer los valores de las variables del PLC y almacena los datos para un análisis posterior. Cada variable que es leída o escrita por OPC se llama “Elemento”. Para acceder a cada elemento del PLC a través de OPC, se debe ingresar el ID del elemento, el ID del elemento tiene este formato “[nombre del servidor OPC del servidor] nombre de la variable” por ejemplo:

para leer una variable denominada “frecuencia de la bomba A de la CBD-01” del PLC se introducirá de la siguiente manera `[OPC_ER05]MBFP_502A.Set_SpeedRef`.

En la **Figura 23** se muestran la aplicación Simulink con los bloques ya configurados, las variables del PLC de la ER-05, son transferidas al bloque OPC Read del Simulink, y éstas se actualizan cada dos segundos, cada variable con su nombre son almacenados en el bloque “WorkSpace” y devuelve la salida al espacio de trabajo de MATLAB con formato de tipo Array de una dimensión con una longitud en función del tiempo requerido para su análisis. Estas variables leídas son: la frecuencia de trabajo del variador de velocidad de cada bomba sumergible y el nivel de agua de la cámara de la estación de bombeo.

Figura 23

Diagrama de bloques de lectura de datos del PLC a través del OPC Read.

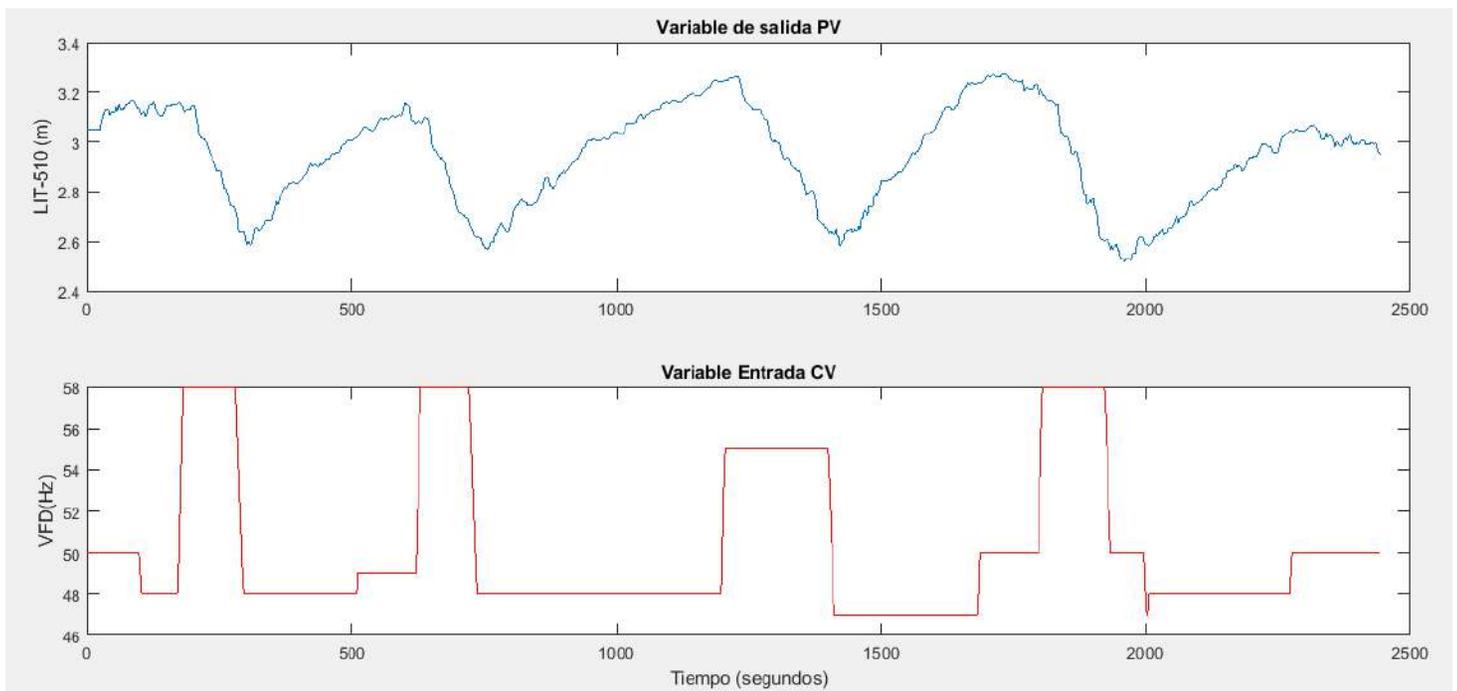


II. Validación del modelo matemático del sistema.

En el software MATLAB se nos crea el vector de tiempo, vector de entrada AN_LIT-510.VAL, los vectores de salida Out_SpeedRef.MBFP-502A, Out_SpeedRef.MBFP-502B, Out_SpeedRef.MBFP-502C, Out_SpeedRef.MBFP-502D; el tiempo de adquisición de datos es del de 2500 segundos, el tiempo de actualización de cada muestra es de dos segundos, obteniendo un total de 1222 muestras, esto se observa en la siguiente figura:

Figura 24

Comportamiento de las señales de entrada y salida de la CBD-01 en lazo abierto.



Lo que se requiere, es obtener la representación matemática del modelo dinámico que represente la conexión de la señal de entrada en función de la señal de salida, para este caso, MATLAB posee diversas herramientas o aplicaciones para modelamientos de procesos, se utilizó la Apps PID TUNER que es un aplicación con una interfaz amigable con herramientas para la

sintonización controladores PID y, también tiene la herramienta para la identificación del modelo matemático de una planta a partir de una base de datos experimentales.

Para la identificación dinámica del modelo, solo se requiere el comportamiento de la señal de salida, ante el primer cambio de la señal de entrada (48 Hz a 58 Hz), por lo cual, solo importamos 164 muestras entre el primer segundo hasta un tiempo de 328 segundos (*Figura 25*), en el WorkSpace del MATLAB se crean las variables Tiempo, LIT-510 y la frecuencia de cada variador que representaremos con VFD-4B y con la aplicación de PID TUNER se procede a realizar la identificación de planta.

Figura 25

Registro de datos para la identificación dinámica del sistema.

Tiempo	LIT-510	VFD-4B	Tiempo	LIT-510	VFD-4B	Tiempo	LIT-510	VFD-4B
0	3.05	50	110	3.11	48	220	3.01	58
2	3.05	50	112	3.11	48	222	3.00	58
4	3.05	50	114	3.12	48	224	3.00	58
6	3.05	50	116	3.14	48	226	2.99	58
8	3.05	50	118	3.15	48	228	2.97	58
10	3.05	50	120	3.15	48	230	2.96	58
12	3.05	50	122	3.15	48	232	2.95	58
14	3.05	50	124	3.15	48	234	2.94	58
16	3.05	50	126	3.16	48	236	2.93	58
18	3.05	50	128	3.15	48	238	2.93	58
20	3.05	50	130	3.13	48	240	2.91	58
22	3.05	50	132	3.13	48	242	2.91	58
24	3.05	50	134	3.11	48	244	2.89	58
26	3.07	50	136	3.11	48	246	2.88	58
28	3.09	50	138	3.11	48	248	2.88	58
30	3.11	50	140	3.11	48	250	2.88	58
32	3.11	50	142	3.11	48	252	2.88	58
34	3.13	50	144	3.11	48	254	2.88	58
36	3.13	50	146	3.12	48	256	2.84	58
38	3.13	50	148	3.13	48	258	2.83	58
40	3.13	50	150	3.14	48	260	2.81	58
42	3.11	50	152	3.14	48	262	2.81	58
44	3.11	50	154	3.14	48	264	2.80	58
46	3.12	50	156	3.14	48	266	2.80	58
48	3.12	50	158	3.14	48	268	2.78	58
50	3.12	50	160	3.15	48	270	2.75	58
52	3.13	50	162	3.15	48	272	2.74	58
54	3.14	50	164	3.15	48	274	2.74	58
56	3.13	50	166	3.15	48	276	2.74	58

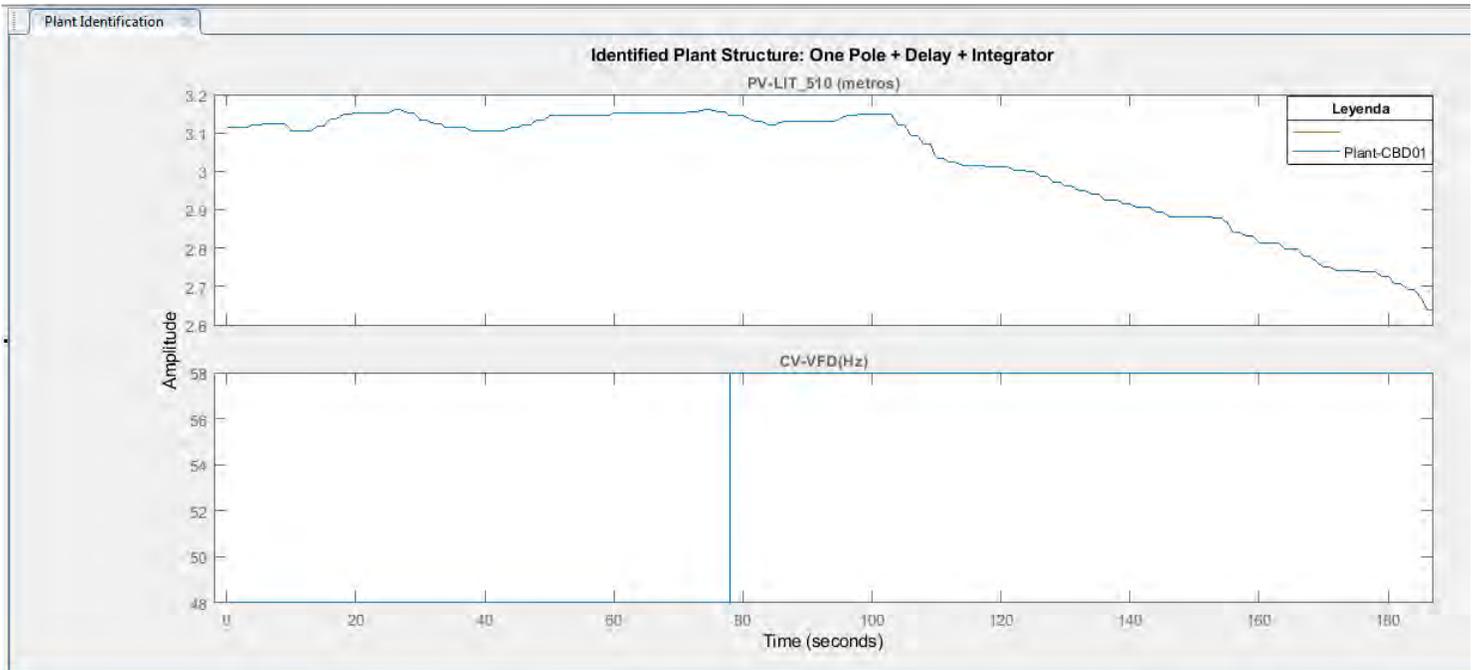
58	3.14	50	168	3.15	48	278	2.74	58
60	3.15	50	170	3.15	48	280	2.73	58
62	3.14	50	172	3.16	49	282	2.71	57
64	3.13	50	174	3.16	51	284	2.69	55
66	3.13	50	176	3.16	53	286	2.64	54
68	3.14	50	178	3.14	55	288	2.64	53
70	3.14	50	180	3.14	57	290	2.64	51
72	3.15	50	182	3.13	58	292	2.64	50
74	3.15	50	184	3.12	58	294	2.64	49
76	3.15	50	186	3.13	58	296	2.64	48
78	3.16	50	188	3.13	58	298	2.62	48
80	3.16	50	190	3.13	58	300	2.60	48
82	3.16	50	192	3.13	58	302	2.59	48
84	3.16	50	194	3.13	58	304	2.60	48
86	3.16	50	196	3.14	58	306	2.60	48
88	3.16	50	198	3.15	58	308	2.59	48
90	3.15	50	200	3.15	58	310	2.59	48
92	3.14	50	202	3.15	58	312	2.61	48
94	3.14	50	204	3.12	58	314	2.63	48
96	3.14	50	206	3.09	58	316	2.65	48
98	3.13	50	208	3.07	58	318	2.66	48
100	3.11	48	210	3.04	58	320	2.65	48
102	3.11	48	212	3.02	58	322	2.65	48
104	3.12	48	214	3.02	58	324	2.64	48
106	3.13	48	216	3.02	58	326	2.65	48

Desde la pestaña **Identify New Plant** (sistema de identificación), a través de la opción **Get I/O Data** cargamos las variables Tiempo, LIT-510 y VFD-4B del Workspace, se configura los siguientes parámetros:

- La señal de entrada a siendo la variable **"VFD_4B"** con nombre CV-VFD (Hz) teniendo un comportamiento de tipo escalón con amplitud de 10 Hz.
- La señal de salida siendo el sensor de nivel **LIT_510** con nombre PV-LIT_510 (m).
- El vector de tiempo iniciando desde el segundo cero con intervalo de muestreo de 2 segundos.

Figura 26

Identificación de planta a través de PID TUNER.



De la **Figura 26**, la curva de color azul son los datos experimentales del comportamiento de nivel de agua frente a un cambio en la variable de entrada.

III. Estimación de parámetros y validación del modelo.

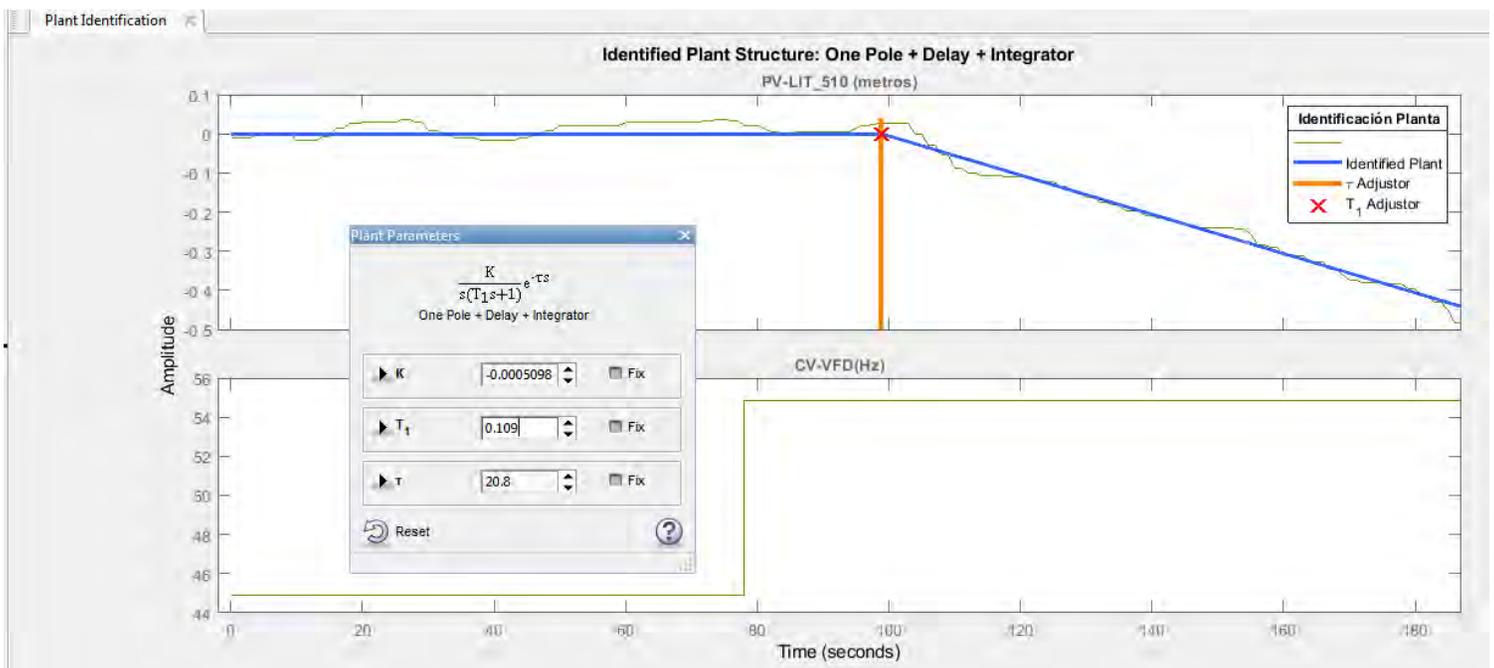
Una de las bondades que posee esta App es la herramienta de identificación automática del modelo de planta, siendo una herramienta interactiva que nos permite ajustar los parámetros de ganancia, agregar parámetros como el tiempo de muerto, añadir ceros y polos a la ecuación matemática de la planta hasta que la curva de identificación sea muy aproximada o igual a la curva de los datos experimentales.

Cambiamos la estructura de la ecuación de planta, a una ecuación de primer orden más un tiempo muerto y un integrador, debido a que en los datos experimentales se presencia un retardo en la respuesta de la señal de salida del proceso frente a un cambio en la entrada, también se

observa, la curva experimental tiene la forma de una pendiente decreciente sin lograr estabilizarse. Para una mejor aproximación, la herramienta de identificación de sistemas posee una herramienta de optimización, para este caso, seleccionamos la opción de **Auto Estimate**, el software MATLAB realiza la estimación reduciendo el error al mínimo entre la señal identificado y los datos experimentales, después de realizar esta acción, el software ajusto la señal de identificación del modelo con la señal de los datos experimentales encontrando el mejor resultado del **modelo del 88.34 %** que es un valor muy aceptable.

Figura 27

Validación paramétrica del modelo matemático de la planta.



La curva azul que se sobrepone en la curva de los datos experimentales viene a ser el modelo de la planta identificada, la ecuación (10) representa el modelo matemático característico de la planta identificado en el dominio de Laplace.

$$G(s) = \frac{-0.000509}{s(1 + 0.109 * s)} * e^{-20.8*s} \quad (10)$$

Con el modelo matemático obtenido podremos sintonizar el controlador PID, también, la aplicación posee una herramienta interactiva para el diseño del *controlador* obteniendo la respuesta de la planta ante una señal de entrada de tipo escalón, podremos ajustar interactivamente la respuesta de la planta si queremos que responda lento o rápido y sea agresivo y/o robusto ante un cambio en la entrada, el paso final es exportar el diseño del controlador y el modelo matemático de la planta a la área de trabajo “WorkSpace” de MATLAB como datos para un análisis posterior.

4.2 Diseño del Controlador

Los controladores PID (Proporcional + Integrativo + Derivativo) frecuentemente usados en sistemas con realimentación, de esta forma, con el objeto de conseguir una alta eficacia de control, es necesario obtener los tres parámetros o ganancias del controlador k_c , τ_i y τ_d , utilizando los métodos de sintonización adecuados de acuerdo al comportamiento del proceso en lazo abierto.

Para este proyecto tesis, el cálculo de las ganancias k_c , τ_i y τ_d , se utilizó el método de *sintonización Lambda*, teniendo en cuenta que el comportamiento de la variable de proceso en lazo abierto tiene una respuesta No-Autoreguladora (proceso integrante).

4.2.1 Determinación de los Parámetros del Controlador por Método de Sintonización Lambda.

Los controladores a diseñar son de tipo PI y del Tipo PID, con la sintonía obtenemos los parámetros del controlador: ganancia proporcional (K_c), Tiempo Integrativo (τ_i) y Tiempo Derivativo (τ_d) y, son calculados a través de las ecuaciones que se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 7

Formula de controladores Lambda de lazo abierto.

Ecuación Sintonización Lambda	Parámetro	P	PI	PID
	K_c	0	$\frac{2\lambda + \theta}{K_p(\lambda + \theta)^2}$	$\frac{2\lambda + \theta}{K_p(\lambda + 0.5\theta)^2}$
T_i	0	$2\lambda + \theta$	$2\lambda + \theta$	
T_d	0	0	$\frac{0.25\theta^2 + \theta * \lambda}{2\lambda + \theta}$	

Nota. (Bacidore, s.f, págs. 11-21)

Por lo cual, es necesario conocer los siguientes parámetros:

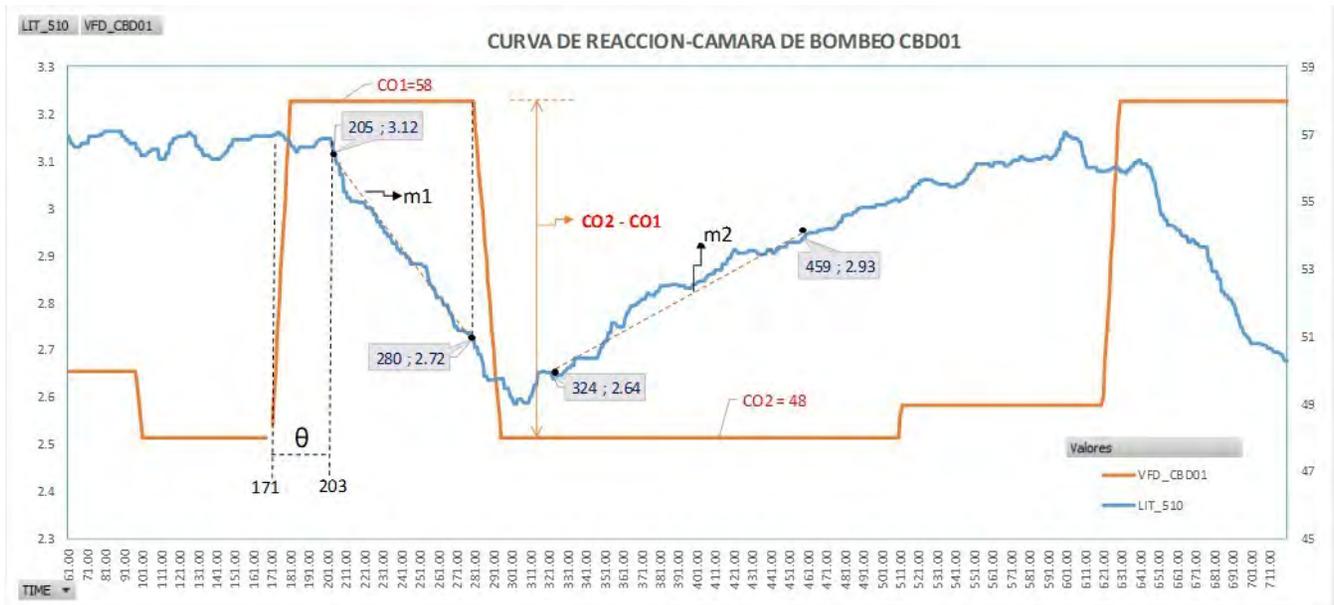
- K_p : Ganancia del proceso $\left[\frac{m}{\%*min}\right]$
- θ : Tiempo muerto. [min]
- λ : tiempo de respuesta en lazo cerrado. [min]

El cálculo de los valores K_p y θ , se realiza por medio de una representación gráfica de los datos experimentales obtenidos en el apartado (4.1.2.1), la **Figura 24** de la pág. 53, representa las tendencias de la señal de entrada (frecuencia de los 4 variadores “VFD”) y la señal de salida el sensor de nivel LIT-510 durante una regulación manual. El tiempo de adquisición de datos tuvo un tiempo total de 2500 segundos, el tiempo de actualización de cada muestra es de dos segundos.

Para el análisis de datos, se realizó el cálculo en un rango de 61 a 710 segundos, debido a que este rango, se realiza el cambio de paso de 10 Hz de nivel máximo a mínimo (58 Hz – 48 Hz) y viceversa de la señal de entrada (CO), ante este evento se observa la tendencia grafica de pendientes decreciente y creciente de la señal del proceso PV (Nivel del líquido), esto se visualiza en la **Figura 28**.

Figura 28

Análisis de las señales de entrada y salida de la CBD-01.



El comportamiento de la señal PV nos ayudara a determinar la ganancia el proceso K_p y los demás parámetros (θ y λ), la ganancia del proceso se calcula con la siguiente ecuación:

$$K_p = \frac{m_2 - m_1}{CO_2 - CO_1} \quad (11)$$

Donde:

$$m_2 = \frac{(2.93 - 2.64)}{(459 - 324)} = 0.00214 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$m_1 = \frac{(2.72 - 3.12)}{(280 - 205)} = -0.00533 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Reemplazando m_2 y m_1 se obtiene:

$$K_p = \frac{(0.00214 - (-0.00533))}{48 - 58} = -0.000747 \left[\frac{m}{s * \%} \right] \quad (12)$$

$$K_p = -0.0000124 \left[\frac{m}{min * \%} \right]$$

El tiempo muerto θ es:

$$\theta = 203 - 171 = 32 \text{ [s]} \quad (13)$$

$$\theta = 0.53 \text{ [min]}$$

El parámetro Lambda (λ) es la constante de tiempo en un lazo cerrado que describe que tan activo debe estar nuestro controlador para responder a un cambio de punto de ajuste y/o rechazar una perturbación que se presenta, esto quiere decir que lambda es el punto donde la PV se ha detenido y está cambiando su dirección en este caso se conoce como tiempo de arresto (T_s), PV llega al punto de ajuste (SP) en 6 lambda.

Una regla básica común es elegir $\lambda = 3\theta$ para un control suave y $\lambda = \theta$ para un control agresivo, para nuestro proceso a sintonizar se desea un control suave por lo cual, elegimos $\lambda = 3\theta$.

$$\lambda = 3\theta = 96 \text{ [s]} \quad (14)$$

Posteriormente, empleando estos valores y las relaciones contenidas en la **Tabla 7** pag 59, se realizó el cálculo de los parámetros del controlador PI y PID para diferentes valores de λ (**0, 20, 30 y 40**), ver **Tabla 8** y **Tabla 9**:

Tabla 8

Parámetros de ganancia del controlador PI.

<u>Lambda (min)</u>	<u>Ganancia del controlador PI</u>		
		<i>Proporcional [%/ m]</i>	<i>Integrativo [1/min]</i>
$\lambda = \theta$	0.53	31.38	1.60
$\lambda = 2\theta$	1.1	23.24	2.66
$\lambda = 3\theta$	1.6	18.30	3.73
$\lambda = 4\theta$	2.1	15.06	4.80

Tabla 9

Parámetros de ganancia del controlador PID.

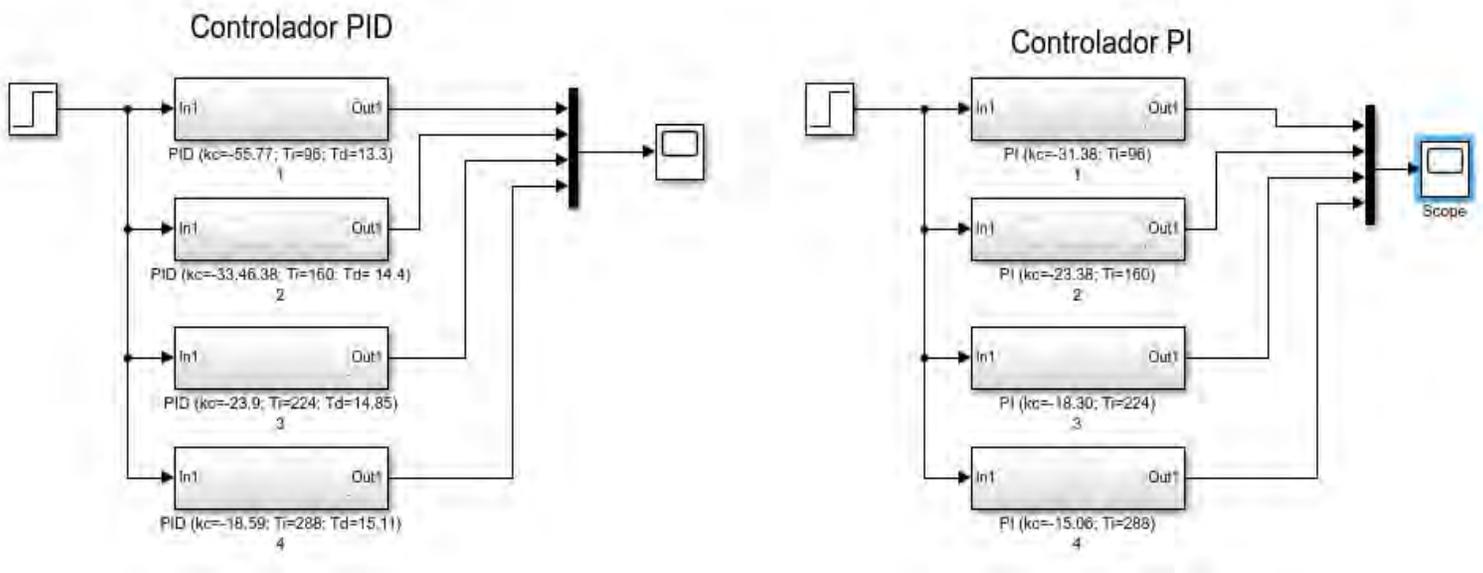
<u>Lambda (min)</u>	<u>Ganancia del controlador PID</u>		
	<i>Proporcional [% / m]</i>	<i>Integrativo [1/min]</i>	<i>Derivativo [min]</i>
$\lambda = 0$	0.53	55.77	1.60
$\lambda = 20$	1.1	33.46	2.66
$\lambda = 30$	1.6	23.91	3.73
$\lambda = 40$	2.1	18.60	4.80

4.2.2 Comparación entre los Controladores PI y PID con Diferentes Valores de Lambda.

Por medio de la herramienta Simulink del software MATLAB se realizó las simulaciones del sistema en lazo cerrado para los controladores PID y PI, para su evaluación de su comportamiento frente a diferentes valores de ganancias obtenidas en las *Tabla 8* y *Tabla 9*, realizándose un cambio en la señal de consigna (0 a 3.2m). La **Figura 29**, se visualiza los bloques del controlador PID y PI con ganancias diferentes.

Figura 29

Simulación de controladores PI y PID con diferentes valores de ganancia.

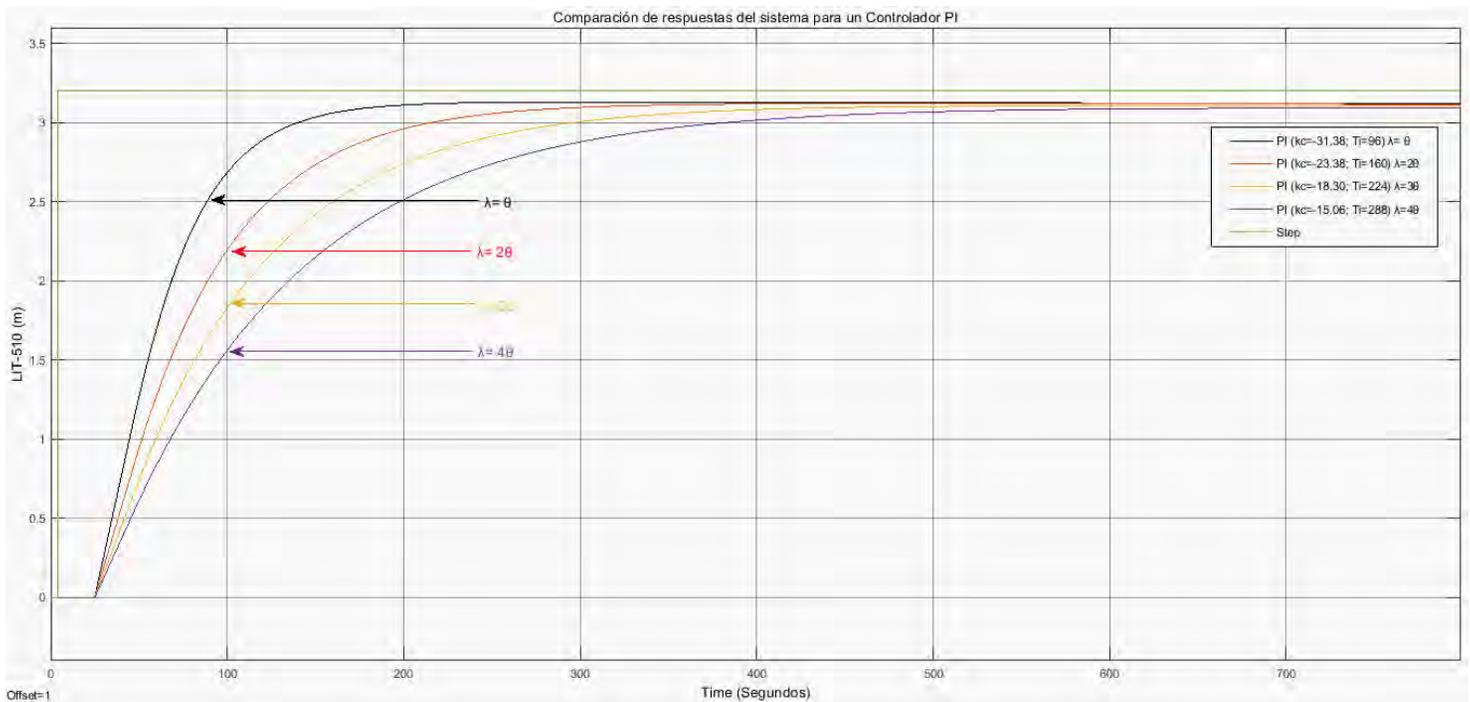


I. Controlador PI.

La **Tabla 8**, muestra los parámetros de ganancia K_c y T_i para diferentes valores de λ , mediante la simulación se obtuvo diferentes respuestas del controlador PI para diferentes valores de λ , véase la siguiente figura:

Figura 30

Respuesta del sistema con el controlador PI .a diferentes valores de λ .



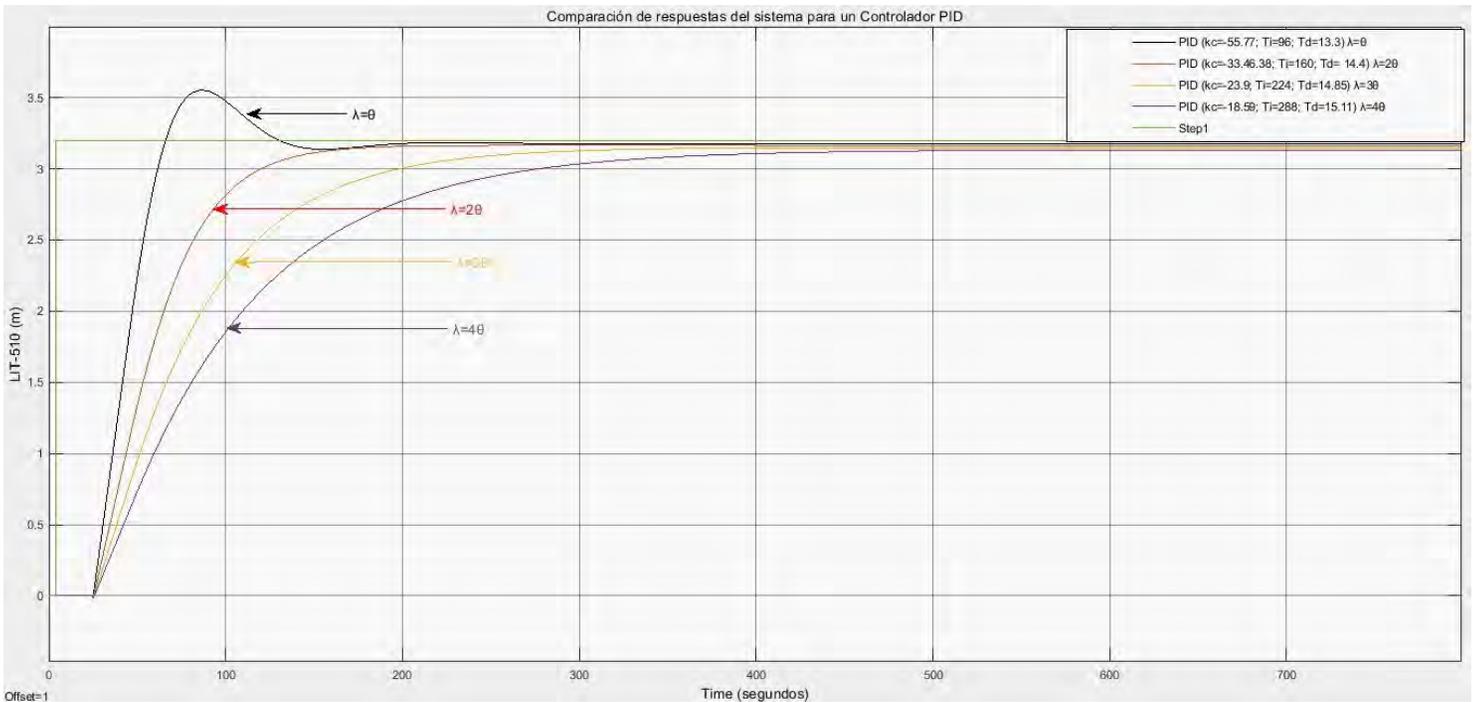
La comparación de las diferentes respuestas de la **Figura 30**, en el régimen transitorio, las curvas no presentan sobre impulso, presentando un comportamiento robusto, se puede observar cuando λ es igual al tiempo de retardo del sistema (θ), el tiempo de asentamiento es menor, por lo que el sistema es rápido y en tanto que se incrementa el valor de λ , la respuesta del sistema va siendo cada vez lenta.

II. Controlador PID.

La **Tabla 9**, muestra los parámetros de ganancia K_c , T_i , T_d para diferentes valores de λ , mediante la simulación se tiene diferentes respuestas para el controlador PID para diferentes valores de λ , véase la siguiente figura:

Figura 31

Simulación de controladores PI y PID con diferentes valores de ganancia.



De la figura anterior, en el régimen transitorio, la curva con λ igual al tiempo de retardo, la respuesta del sistema presenta un sobre-impulso de 32% entrando al régimen estacionario alrededor de los 150 s; las demás curvas presentan comportamientos robustos, a medida de λ toma los valores superiores del tiempo de retardo del sistema, el tiempo de asentamiento se va incrementando, por lo que, la respuesta del sistema tiende a ser más lenta.

Ambos diseños de los controladores de tipo PI y del tipo PID proporciona respuestas favorables para el sistema, sin embargo, el proceso de control de nivel tiene un comportamiento

lento por las propias características físicas de las variables de proceso, esto también dependerá de los equipos que conforma el sistema de bombeo de desagüe CBD-01, de este modo, se eligió el **controlador PI con un $(\lambda=3 \theta)$** con los parámetros de ganancias **$Kc = 18.30$, $\tau_i = 3.73$** , la acción derivativa responde a la velocidad del cambio de error, por lo que, provocaría oscilaciones en los variadores de velocidad para mantener el nivel de agua de la cámara en el valor de consigna asignada; en cambio, un controlador PI alude al tiempo que se toma para llevar la acción correctiva, lo que significa que no se presentaría oscilaciones en la variable de frecuencia de los variadores de velocidad.

CAPITULO V: CONFIGURACION Y PROGRAMACION DEL PLC, HMI Y SISTEMA SCADA.

Dentro de esta sección nos abocaremos en el desarrollo de la configuración, programación del PLC y de los sistemas de monitoreo gráfico del proceso. Para mayor comprensión, en este capítulo, se desarrollan en los siguientes temas:

- Acondicionamiento, configuración y programación del PLC Allen Bradley Compact Logix **1769-L33ER** de la estación ER05 a través del software RSLogix 5000 V20.4.
- Configuración y acondicionamiento gráficos del control PID en la pantalla HMI **PanelView Plus 1000** de la estación ER05 a través del software Factory Talk View Machine V8.2.
- Configuración y acondicionamiento de gráficas de visualización del control PID en el software SCADA del **VTSCADA V10.2**.

5.1 Acondicionamiento y Programación del PLC Compact Logix 1769-L33ER.

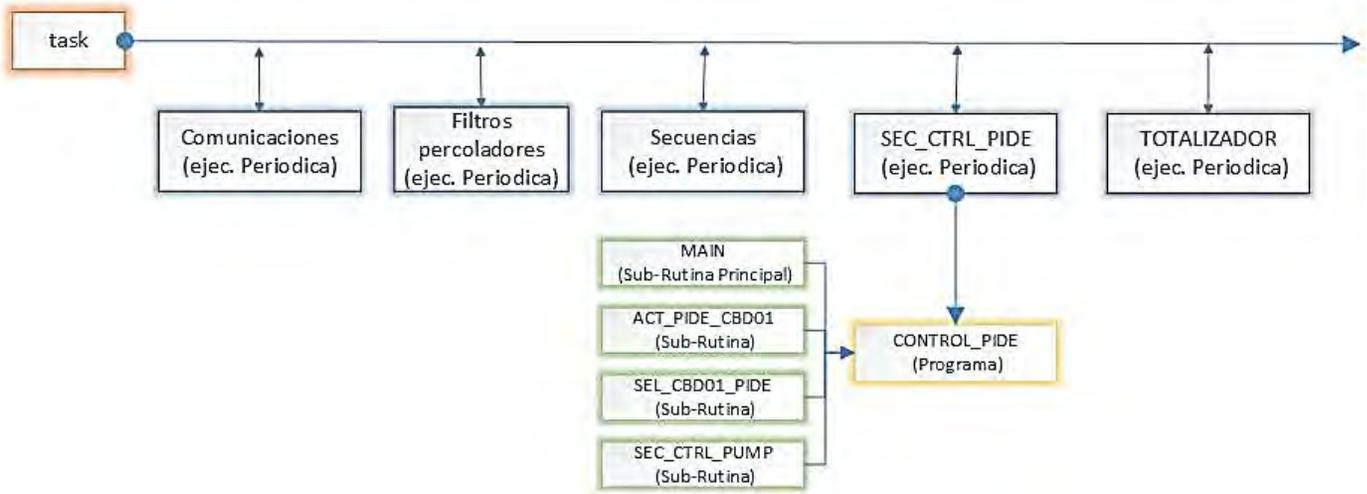
En esta parte, muestra el procedimiento de la lógica de la programación del control PID y, el acondicionamiento al programa existente del PLC de la estación ER-05. Se discutirán algunas partes importantes que implementa la funcionalidad de esta etapa, viendo las funciones (tareas) que desempeñan.

La lógica de programación actual del PLC, está compuesto por tareas que se ejecutan periódicamente, cada tarea está compuesto por sub-rutinas que tiene la función de realizar una secuencia de control específica de cada etapa del proceso del tratamiento biológico. Para el desarrollo de la lógica de control PID, en el árbol del proyecto existente del PLC, se añadió una tarea “**SEC_CTRL_PIDE**” que se ejecutara periódicamente cada **200 ms**, dentro de ella se creó un nuevo programa “**CONTROL_PIDE**”, dentro de ella, se creó tres sub-rutinas o sub-tareas (ACT_PIDE_CBD01, SEC_CTRL_PUMP, SEL_CBD01_PIDE), encargada de realizar todas las

secuencias de control PID para el sistema a mejorar. La **Figura 32**, muestra una representación del diagrama de bloques con la tarea del control PID creado.

Figura 32

Diagrama de bloques de las tareas del controlador PLC de la ER05.



Antes de comenzar a escribir el código para la lógica de control, se creó las variables o etiquetas con su tipo de datos según su aplicación. En la **Figura 33**, se observa una parte de los Tag's o etiquetas creadas, la lista completa se observa en el **Anexo D**, por lo cual, estas etiquetas serán utilizadas en la programación de la lógica del control PID, algunas etiquetas serán compartidas y enlazadas al HMI de la estación ER-05 y al Sistema SCADA con la finalidad de supervisar y controlar parámetros y estados.

Figura 33

Vista de las variables creadas en el controler tags.

Name	Value	Style	Data Type	Description	Constant
CMD1_B1_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD1_B2_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD1_B3_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD1_B4_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD2_B2_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD2_B3_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD2_B3_OFF2	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD2_B4_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD2_B4_OFF2	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD2_B4_OFF3	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B2_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B2_OFF2	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B3_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B3_OFF2	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B3_OFF3	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B4_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B4_OFF2	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD3_B4_OFF3	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD4_B2_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD4_B3_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
CMD4_B4_OFF1	0	Decimal	BOOL		<input type="checkbox"/>
Cod_B1_PIDE	0	Decimal	DINT		<input type="checkbox"/>
Cod_B2_PIDE	0	Decimal	DINT		<input type="checkbox"/>
Cod_B3_PIDE	0	Decimal	DINT		<input type="checkbox"/>
Cod_B4_PIDE	0	Decimal	DINT		<input type="checkbox"/>

Nota: Una parte de la lista de variables creadas de tipo globales accesibles para cualquier tarea o programa del controlador PLC ER05.

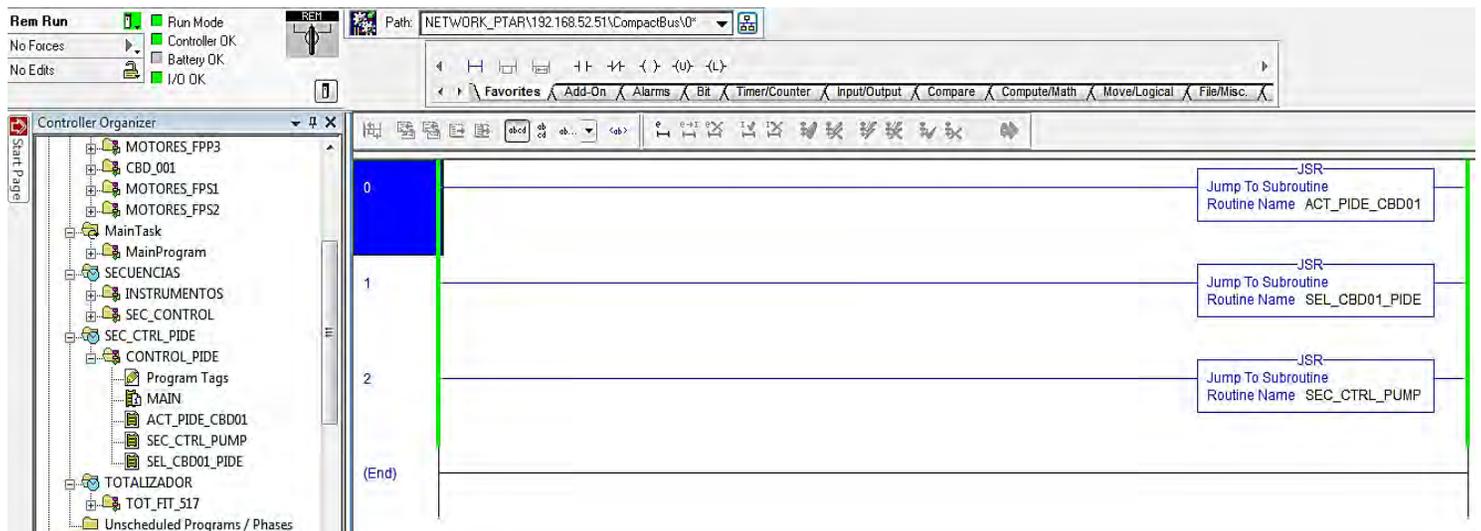
Los lenguajes de programación usados para la lógica de control son **Ladder Logic** para toda la secuencia automática de las 4 bombas y **Function Blocks** para el controlador PID de cada bomba, siguiendo con el estándar IEC 61131-3 y manteniendo una estructura de programación ordenada según a la estructura del proyecto existente, esto, para facilitar la búsqueda de posibles futuros errores o realizar futuras modificaciones por personal terceros, se decide crear todo el código en tres sub-rutinas y serán llamadas a través del sub-programa principal **MainRoutine** del programa **Control_PIDE** como se ilustra en la **Figura 34**. Para este propósito dividiremos todo el desarrollo del código en los siguientes títulos:

- **Lazo PIDE:** Creación del Add-On para el lazo del Controlador PID en el lenguaje de programación Function Block.

- **Sub-Rutina ACT_PIDE_CBD01:** Secuencia de control de activación de cada bomba de la estación de bombeo de desagüe en Modo PID.
- **Sub-Rutina SEC_CTRL_PUMP:** activación y desactivación de las bombas en forma secuencial.
- **Sub-Rutina SEL_CBD01_PIDE:** selección de modo de control y asignación de estados para la activación y desactivación de las bombas

Figura 34

Llamada de las sub-Rutinas desde el MainRoutine.



5.1.1 Lazo PIDE.

El PLC a través del protocolo de comunicación Profibus DP envía una serie de datos digitales como señal de salida, estos datos son utilizados para controlar la frecuencia de trabajo de cada variador de velocidad; en el PLC se crea una sub-rutina “**ACT_PIDE_CBD01**” que se ejecuta periódicamente, dentro de ella se hace el llamado de cuatro lazos de controlador PID para cada variador de velocidad que se ejecuta independientemente y así controlar el flujo de agua bombeada y como resultado, se controlará el nivel de agua de la cámara de desagüe de dicha estación.

Los lazos del controlador PID, son bloque de códigos reutilizables (Add-On) dentro de ella insertaremos la librería del bloque PIDE que están disponibles en la biblioteca del software RSLogix5000 V20.4, para ello se requiere parametrizar y configurar las ganancias proporcional, integrativo y derivativo hallados en el análisis experimental en el apartado 4.2.1 del capítulo IV y aplicarlas para obtener un control robusto del proceso.

5.1.1.1 Creación de Instrucción Add-On (PIDE_VFD_CBD01)

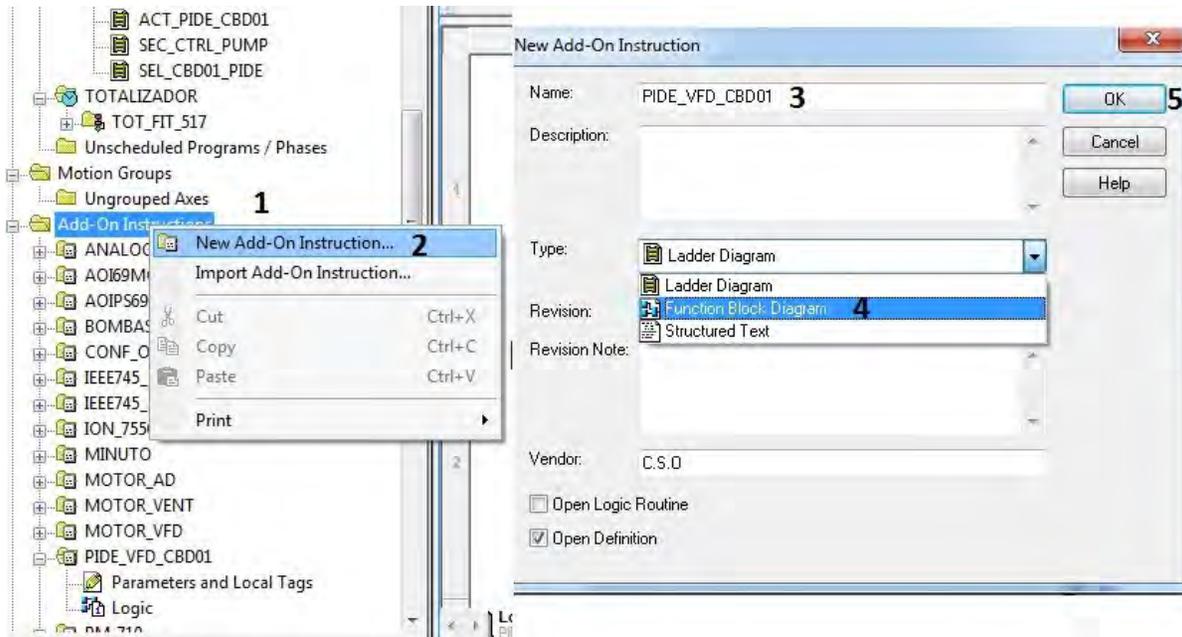
La instrucción Add-On, son objeto de códigos reutilizables, que permiten recopilar la lógica de control habitualmente más utilizada. Para la creación de una instrucción Add-On partiremos de los siguientes pasos:

- I. En el árbol del proyecto del software RSLogix 5000, damos Clic derecho en la carpeta **Add-On Instructions** / seleccionamos **New Add-On Instructions** / Ingresamos un nombre al **Add-On**, Elegimos el tipo de lenguaje en que se realizará la programación (**Function Block Diagram**) y damos Click en OK. Estos pasos se observa en la *Figura 35*.

Se nos creara una nueva instrucción Add-On con el nombre **PIDE_VFD_CBD01**, se eligió en el lenguaje de programación **Fuction Block Diagram** porque solo en ese lenguaje tiene incorporado la librería **Enhanced PID (PIDE)**.

Figura 35

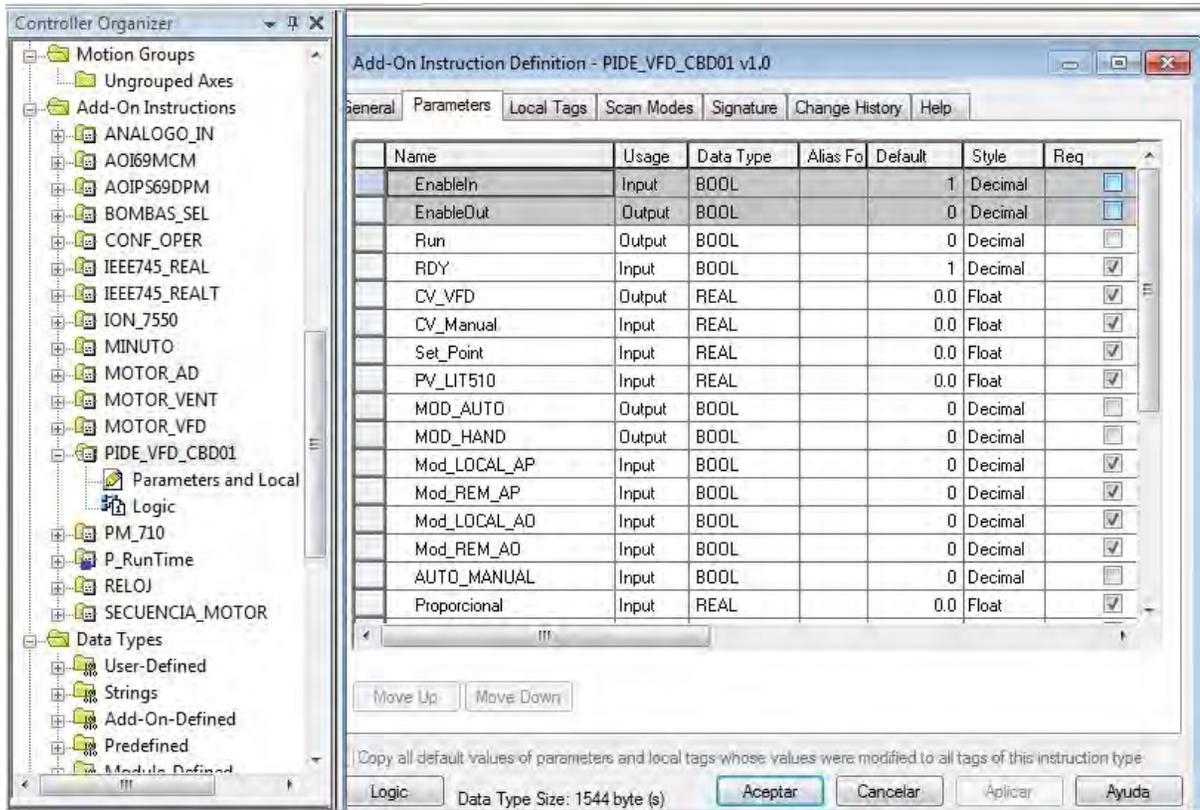
Creación de un Add-On del controlador PID.



II. Antes del desarrollo del código PIDE, abrimos la ventana **Add-On Instruction Definition-PIDE_VFD_CBD01**, donde podremos especificar los parámetros de entrada y salida, crearemos las etiquetas o Tag's locales necesarios que serán utilizados en el Add-On PIDE_VFD_CBD01. En la **Figura 36** se visualiza las etiquetas de entrada / salida con sus respectivos tipos de datos configurados del Bloque Add-On.

Figura 36

Etiquetas locales de entradas y salidas del Add-On PIDE_VFD_CBD01.



- III. La lógica de control en el lenguaje de bloques de funciones es a través de hojas donde se inserta las instrucciones necesarias para tu secuencia de control, por lo cual, la lógica de control para el controlador PID que contendrá el Add-On (PIDE_VFD_CBD01) se realiza en dos hojas de programación:
- Hoja 1 (BLOQUE PIDE)
 - Hoja 2 (SELECCIÓN MODOS DE FUNCIONAMIENTO DEL BLOQUE PIDE).

- **En la Hoja 2:**

Se desarrolla la secuencia lógica para los modos de control manual y modo de control automático, con la finalidad de obtener el estado **lógico “1”** para un **modo de funcionamiento automático** o el **estado lógico “0”** para un modo de **funcionamiento manual**, con la finalidad de que el controlador PID sepa en qué modo de operación se encuentra seleccionada, estos modos de funcionamiento dependen de la selección de los conmutadores físicos (**L-AP, L-AO, R-AP, R-AO**), ubicados en los tableros de control y fuerza **STG-3_3, STG-3_4, STG-3_5, STG-3_6** de la estación remota ER05. La **Tabla 10**, muestra la tabla de verdad de los conmutadores físicos.

Tabla 10

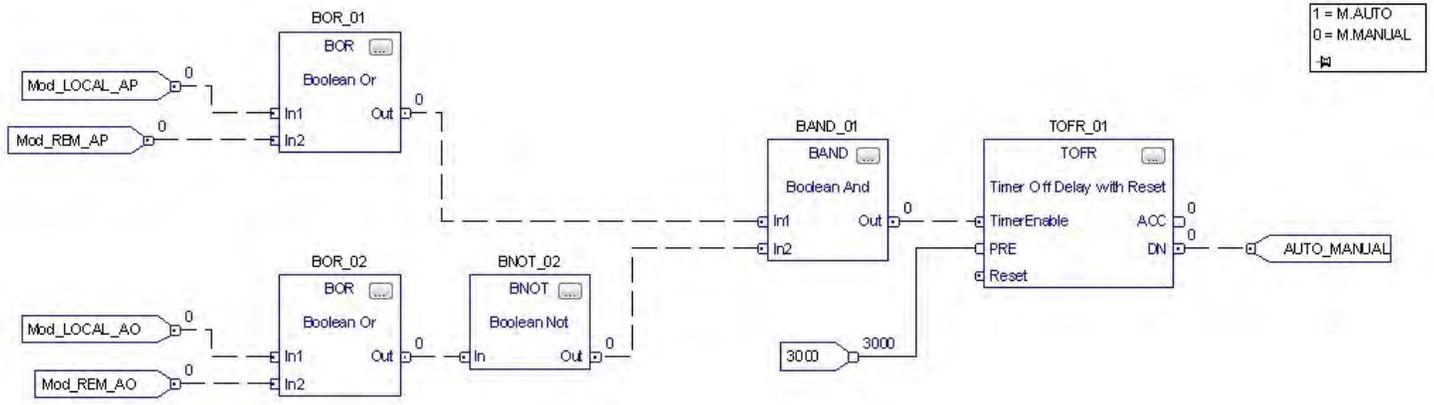
Tabla de verdad de los conmutadores físicos del tablero de control y fuerza de la CBD-01.

ENTRADA				SALIDA
L-AP	R-AP	L-AO	R-AO	AUTO/MANUAL
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
0	0	1	0	0
0	0	0	1	0

Con los estados de la salida de la tabla de verdad del cuadro anterior, se diseña la secuencia de control a base de compuertas lógicas en la hoja 2, la **Figura 37**, muestra la secuencia de control Manual-Automático.

Figura 37

Secuencia lógica de Manual-Automático para el controlador PID.



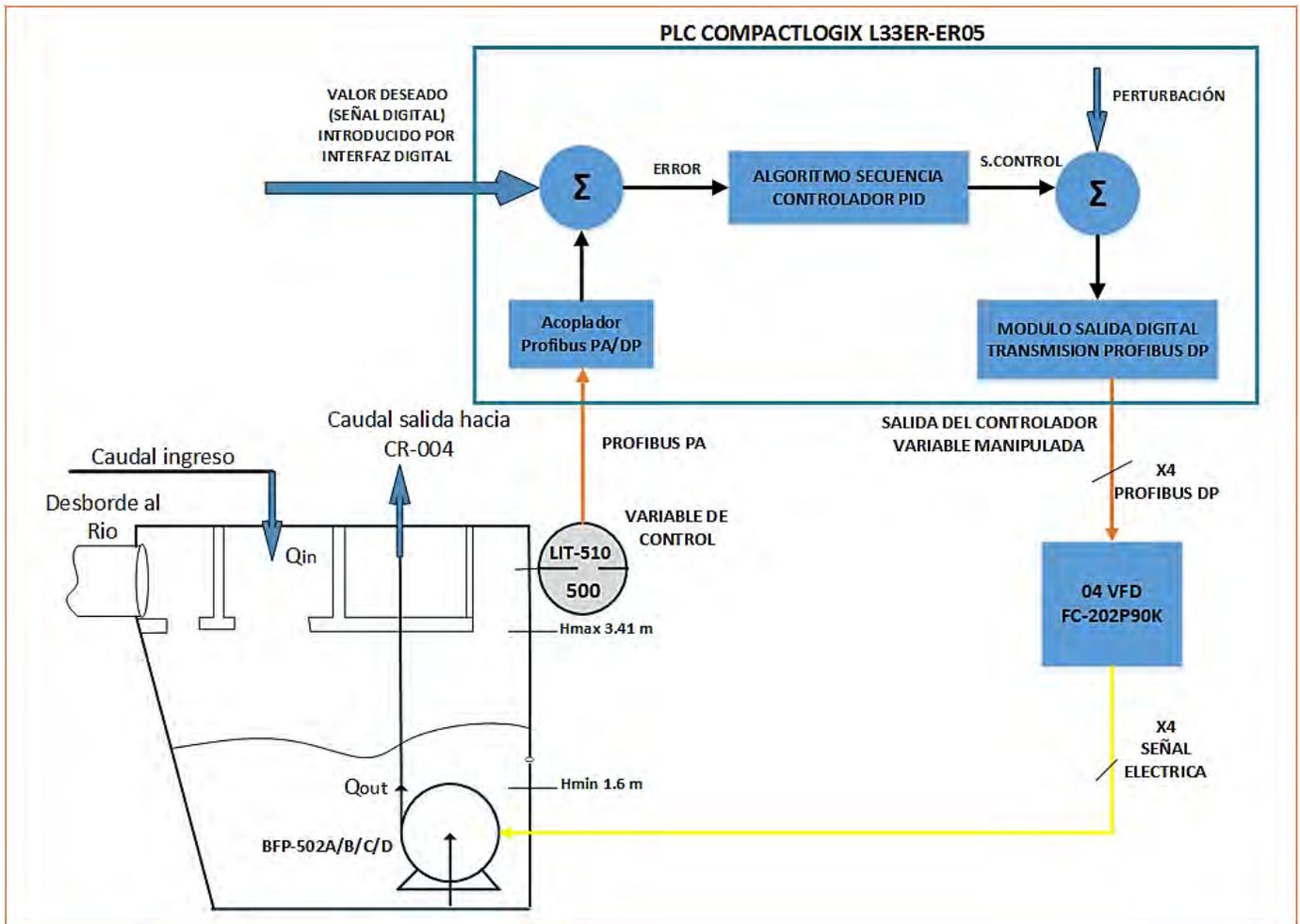
- **En la hoja 1:**

El software RSLogix 5000 posee librerías de instrucciones de funciones especiales para diferentes aplicaciones para el control de procesos según la necesidad, para el tipo de control de la estación de bombeo, se usó el bloque de instrucción “*Enhanced PID (PIDE)*”, para ello, insertaremos este bloque en la Hoja 1 con nombre *Bloque PIDE* del programa para su configuración y parametrización.

El bloque de instrucción PIDE es utilizado para el control de procesos en lazo cerrado para que el variable de proceso siga el valor de referencia establecido, la representación de la estación de bombeo en lazo cerrado se observa en la siguiente figura.

Figura 38

Sistema de control de la estación CBD-01 en lazo cerrado.



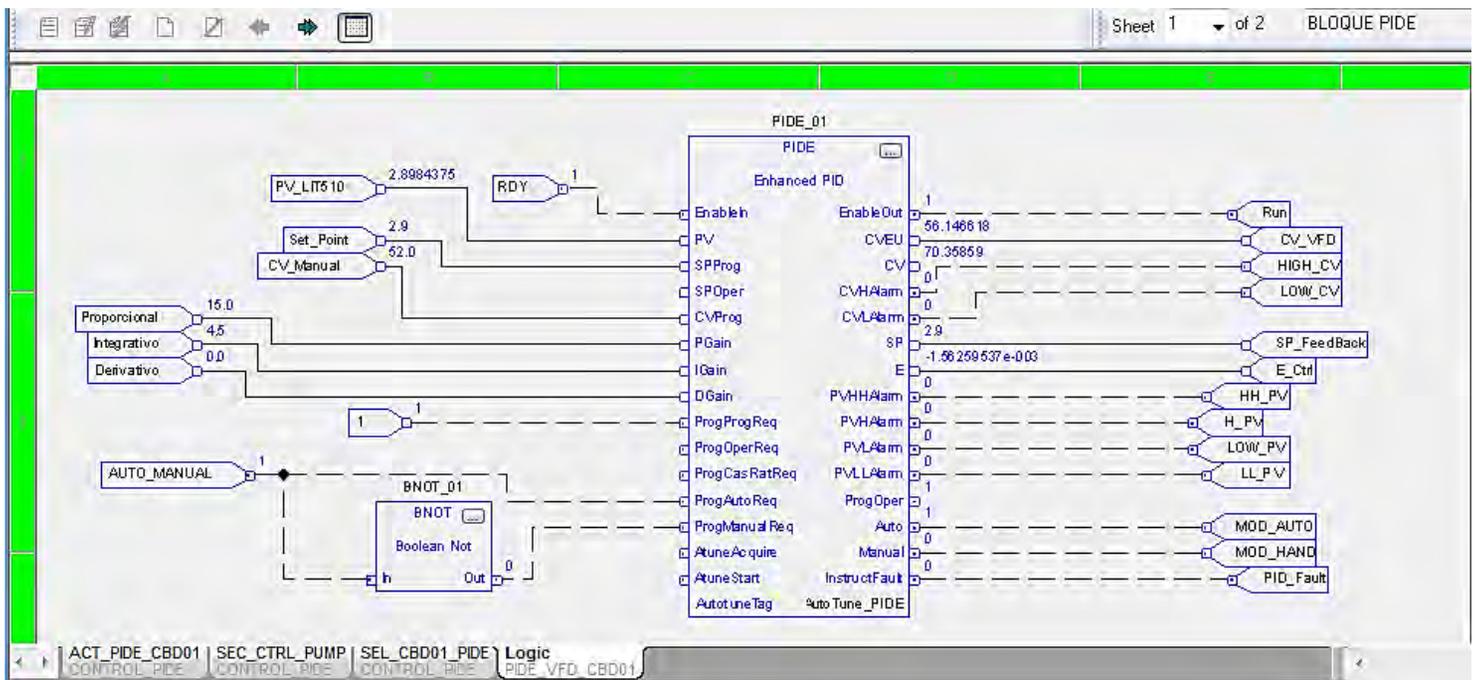
La variable de proceso PV, es la entregada por el transmisor de nivel (LIT-510) a través del protocolo Profibus PA/DP; la configuración del punto de consigna (Set-Point) se estableció entre los niveles de 2.8m de altura como mínimo y 3.2m de altura como máximo este rango de valores serán establecidos por los operadores de planta a través de una interfaz gráfica local (HMI) ubicada en la estación remota ER05 y/o a través de una interfaz gráfica de estación central de control y monitoreo (SCADA). La variable de control (CV_VFD) es la señal generada hacia el

actuador que modula el variador de velocidad Danfoss FC-202P90K, realizando una inyección por variación de frecuencia, que también se limita hasta los 60Hz como máximo y 47Hz como mínimo.

La **Figura 39**, muestra el bloque de instrucción PID con sus puertos enlazados a las variables de entradas y salidas creadas en el Add-On.

Figura 39

Bloque de instrucción PID parametrizado



“La instrucción PIDE es una versión mejorada de la instrucción PID Convencional, proporcionando capacidades mejoradas en los sistemas de control. Los parámetros de ganancia se aplican a la tasa de cambio de la variable de procesos **PV** o en el valor de error **E** es configurable” (Rockwell Automation, 2018), la instrucción PIDE tiene alrededor de 124 parámetros de configuración para aplicaciones de control complejos. Para el proyecto presente, se usó los principales parámetros de configuración algunos de estos parámetros son:

- Ecuación PID con ajuste de ganancias independiente de GAIN, TI, TD.

- Tipo de Acción de control: directa ($E = PV - SP$) o inversa ($E = SP - PV$).
- Modalidades de servicio u operación: Manual, automático.
- La conmutación en los modos manual/automático sin brusquedad.
- Limitaciones de magnitudes de posicionado, en el modo automático.
- Los parámetros de ganancia P, I, D enlazadas de forma independiente o dependiente, configurable.
- Alarmas de límites alto (High) y límites bajos (Low).
- Bits de estados conmutando a 1 lógico si se presenta falla en algún parámetro del bloque.

5.1.1.2 Configuración de las Propiedades del Bloque PIDE

- **Configuración en la pestaña propiedades generales:**

Dentro de esta ventana, se debe elegir el tipo de ganancia del controlador (Ganancia Dependiente y Ganancia Independiente), para este proyecto de tesis se utilizó la configuración de **Ganancias Independientes** con la ventaja de cualquier ajuste en algún valor específico de ganancia, éste solo afecta a esa parte específica de las ganancias del controlador, la ecuación (16), muestra la forma discreta de la ecuación PIDE con ganancias independiente. Se utilizó la **Acción De Control Directa**, que significa si la variable **PV** (señal del transmisor de nivel LIT-510) al incrementarse, la salida del controlador (CV_VFD) también se incrementará. La acción de control directa (Error) y la ecuación del controlador PID son los siguientes:

$$E = SP - PV \quad (15)$$

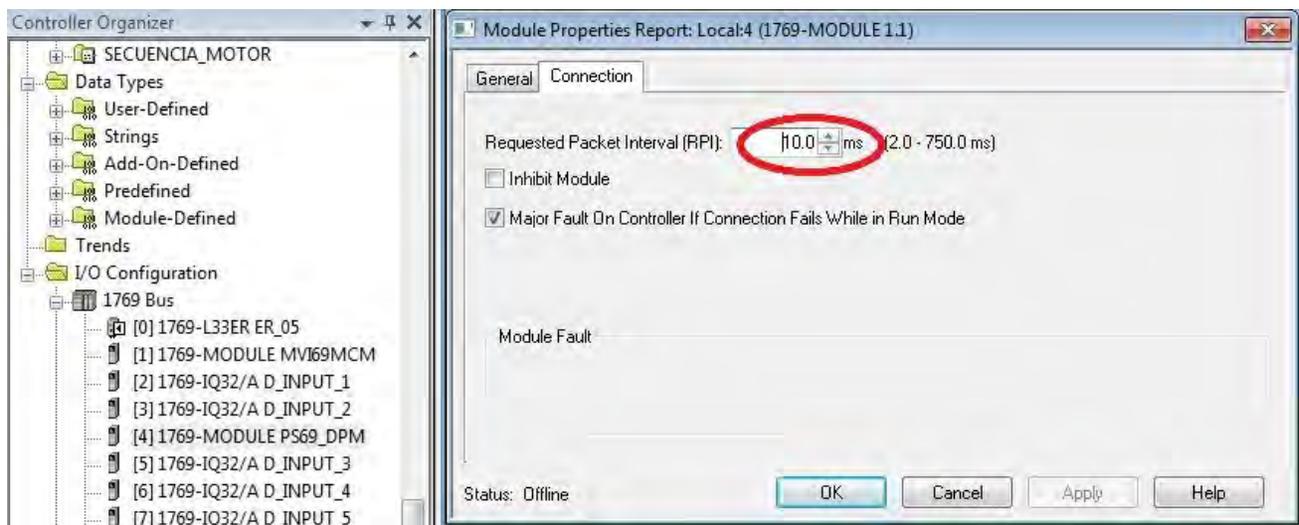
$$CV_n = CV_{n-1} + K_p * \Delta e + \frac{K_i * \Delta e}{60} + \frac{60 * K_d * \Delta e}{\Delta t} + bias \quad (16)$$

Tanto la variable de proceso y el bloque PIDE necesitan ser ejecutados periódicamente. Este tiempo de ejecución (**Tiempo De Muestreo**) está íntimamente relacionado con el proceso físico que se está controlando. Como el bloque PIDE usa una base de tiempo para sus cálculos que

a la vez esta se convierte automáticamente en la frecuencia de muestreo del bucle PID, es necesario sincronizar esta frecuencia de muestreo igual al tiempo de ejecución de la tarea periódica (**SEC_CTRL_PIDE**) del programa, esto hace que el tiempo de actualización del bloque PIDE se encuentre dentro de la ejecución del tiempo periódico (200 ms) de la tarea SEC_CTRL_PIDE. Idealmente la señal PV debe ser actualizada al menos 5 a 10 veces más rápido que el tiempo de actualización del bloque PIDE. El tiempo de actualización del PV es de 10 ms, que es el tiempo en que el módulo Profibus DP (*Prosoft mcv69*) actualiza los datos de la lectura de los sensores-transmisores de la estación ER-05, ver la figura siguiente:

Figura 40

Intervalo de paquetes de datos solicitados del módulo Profibus DP.



En la siguiente tabla, se muestra las principales configuraciones de los parámetros del bloque PID.

Tabla 11*Parametrización del bloque PID*

Pestaña De Propiedades Generales		
Modo de Ejecución	:	Periódica (200 ms)
Acción de Control	:	Directa (E = SP-PV)
Config. de Ganancias o tipo Ecuación	:	Ganancias Independientes
G. Proporcional	:	Kp = 15
G. Integrativo (1/min)	:	Ti=4.5
G. derivativo (min)	:	Td=0
Banda muerta de PV	:	Por defecto en cero
Pestaña De Unidades de Ingeniería y Limites (EUs/Limits)		
PV Max al 100 %	:	4.0
PV Min al 0 %	:	0.0
SP Limts alto	:	3.2
SP Limts bajo	:	2.8
CV Max al 100 %	:	60.0
CV Min al 0 %	:	47.0

5.1.2 Sub-Rutina SEL_CBD01_PIDE

Esta sub-rutina tiene dos propósitos: *el primer propósito* es la selección del modo de operación del sistema de bombeo, estos modos son: modo de **Control PID** y el modo de **Control Estándar**, el modo de *Control PID* habilita y ejecuta los 4 Controladores PID, en caso que se seleccione el *Control Estándar* se deshabilita los 4 controladores PID y se ejecuta la lógica de control del sistema antes de la mejora.

Para el *segundo propósito*, el modo de *Control PID* tiene que estar seleccionado, al cumplirse esta condición, la lógica tiene la finalidad de verificar cuantas bombas que se encuentran habilitadas y estén seleccionadas en modo de control PID automático, con este dato el PLC Asigna un código

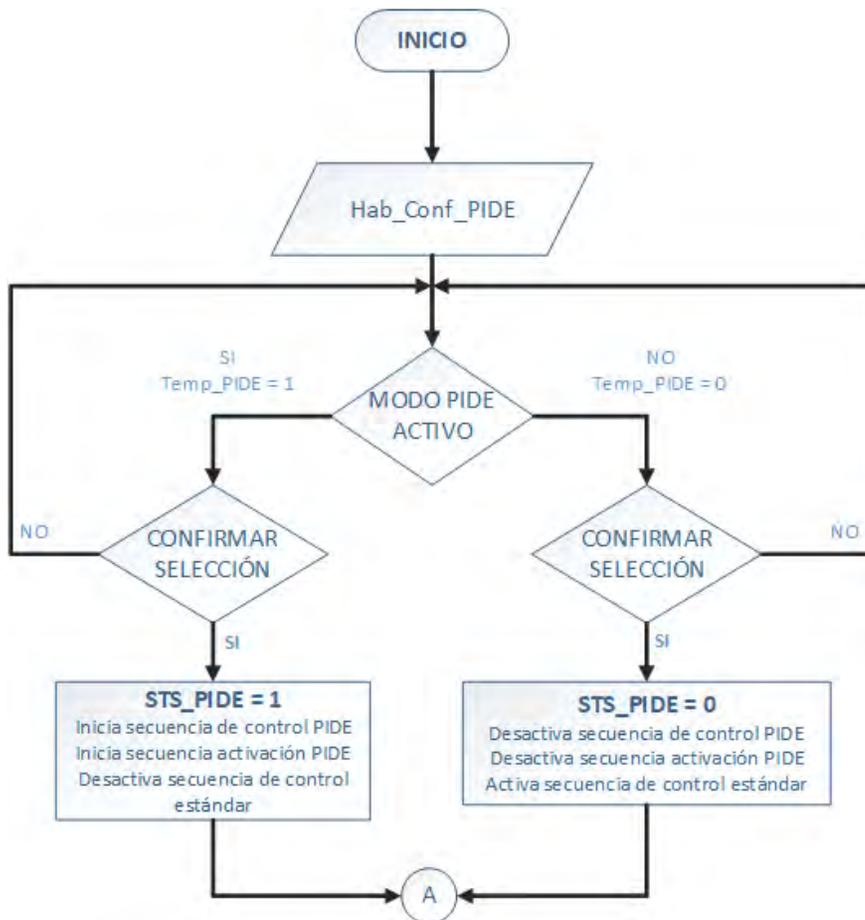
numérico (*Tabla 12*) pág. 83 y, a partir de ello, se realiza la secuencia de encendido y apagado de cada bomba según a los niveles máximos y mínimos de la variable manipulada.

➤ **Selección del modo de operación del sistema de bombeo.**

El diagrama de flujo (*Figura 41*), representa la secuencia lógica de control para la selección del modo de control para la operación del sistema de bombeo y la confirmación de este mismo, la selección de los modos es a través de los botones virtuales agregados y ubicados en la ventana emergente de *Menú de Selección* en la pantalla HMI de la ER-05 y/o también a través de la ventana de *Menú de Operación - Configuración* de la estación Central SCADA.

Figura 41

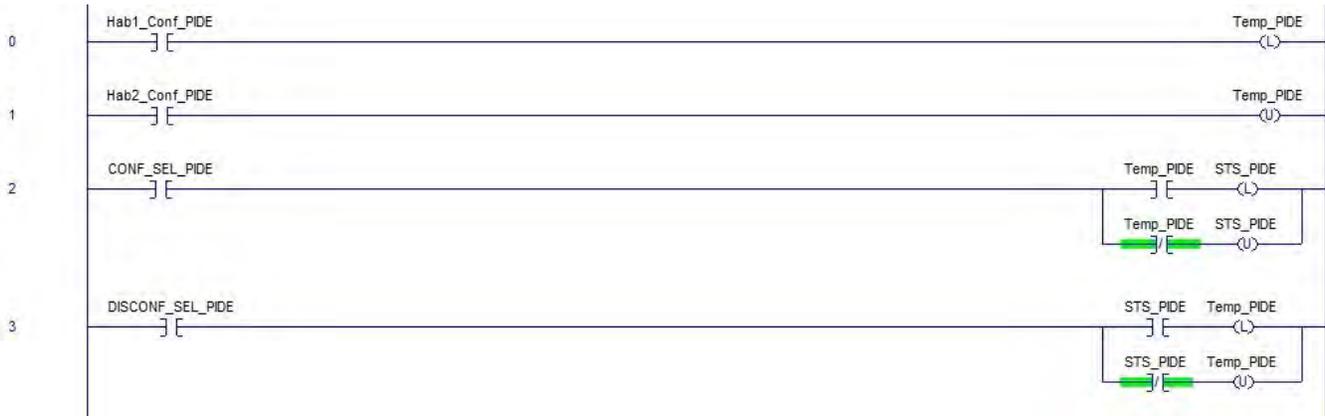
Diagrama de flujo de selección de modo de operación.



La **Figura 42**, ilustra el algoritmo desarrollado en lenguaje Ladder.

Figura 42

Lógica de control del modo de Operación en Lenguaje Ladder



➤ **Lógica de control para el número de bombas habilitadas en modo PID automático.**

En esta parte, su objetivo es asignar un código de estado de tipo numérico según la cantidad de bombas que están habilitadas y a la vez, se encuentre operando en modo PID automático, con la finalidad que el PLC pueda distinguir cuantas y que bombas son las que están operando en modo PID automático y, según a esa información, la sub rutina *SEC_CTRL_PUMP* ejecute su lógica de control de encendido o apagado de las bombas de acuerdo a los límites mínimos y máximos de la variable manipulada (CV). Cabe indicar que la cámara de desagüe están instalada 4 bombas y por ende cada bomba tiene su controlador PID, bajo esta premisa, se asignaron 16 estados numéricos diferentes de acuerdo al número de combinaciones de las 4 bombas, la siguiente **Tabla 12**, muestra todas las combinaciones con su los estados numéricos y en la **Figura 43** ilustra una fracción de la lógica de control en lenguaje Ladder.

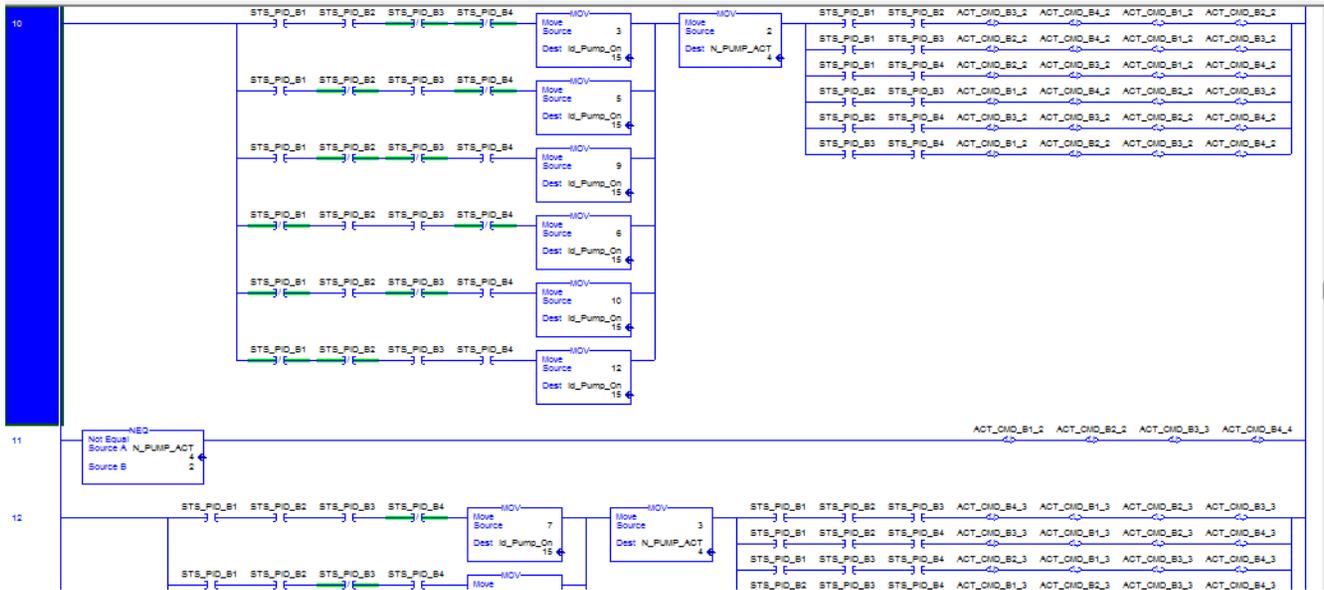
Tabla 12

Combinaciones de las 4 bombas de la CBD-01 en modo PID automático.

Bombas Sumergibles En Modo De Control PID Automático				
Para 01 bomba				
BFP-502 ^a	BFP-502B	BFP-502C	BFP-502D	ESTADO
NoListo	NoListo	NoListo	Listo	1
NoListo	NoListo	Listo	NoListo	2
NoListo	Listo	NoListo	NoListo	4
Listo	NoListo	NoListo	NoListo	8
Para 02 bombas				
NoListo	NoListo	Listo	Listo	3
NoListo	Listo	NoListo	Listo	5
Listo	NoListo	NoListo	Listo	9
NoListo	Listo	Listo	NoListo	6
Listo	OFF	Listo	NoListo	10
Listo	Listo	NoListo	NoListo	12
Para 03 bombas				
NoListo	Listo	Listo	Listo	7
Listo	NoListo	Listo	Listo	11
Listo	Listo	NoListo	Listo	13
Listo	Listo	Listo	NoListo	14
Para 04 bombas				
Listo	Listo	Listo	Listo	15

Figura 43

Parte de la lógica de control sobre el número de bombas habilitadas en lenguaje Ladder.



5.1.3 *Sub-Rutina SEC_CTRL_PUMP*

La finalidad de la rutina SEC_CTRL_PUMP, es encender o apagar automáticamente cada bomba de forma secuencial de acuerdo a los niveles máximos y mínimos de la variable manipulada de su controlador PID, cabe precisar, cada bomba tiene su controlador PID que varía la frecuencia entre los valores mínimos y máximos configurados, también es preciso mencionar, que el caudal de ingreso de agua servida es variable y esto hace que las 4 bombas varíe el caudal de impulsión haciendo mantener el nivel de agua de la cámara en el valor deseado. La secuencia de apagado y encendido se realiza de la siguiente manera:

- Primero el PLC identifica la cantidad de bombas habilitadas y operando en modo PID automático, la identificación se realiza comparando un valor con el estado numérico obtenido de la sub-rutina SEL_CBD01_PIDE, si la comparación es verdadera se ejecuta la línea o el ramal de código de encendido o apagado perteneciente a la condición.
- ***Para el apagado secuencial***; en el *Controlador PID* de cada bomba están configurados sus alarmas de límites mínimos y máximos de la variable manipulada de tipo booleano; en caso que el estado booleano del valor mínimo de variable manipulada (LOW_CV) de las bombas habilitadas se active y permanezca activo durante 90 segundos y al cumplirse esta condición, se empieza apagar la última bomba y así secuencialmente se empieza apagarse las bombas restantes con el tiempo establecido mientras estado booleano del valor mínimo sigue activo.
- ***Para el encendido secuencial***, de la misma forma del párrafo anterior, el estado booleano del valor máximo (HIGH_CV) de las bombas que estén habilitadas y operando deben estar activas y permanecer activo durante 60 segundos, al cumplirse esta condición, se enciende la bomba correspondiente y así secuencialmente según al orden establecido en el programa.

Para una mejor comprensión se puede resumir la lógica de control en el siguiente flujo grama de la **Figura 44** y en la **Figura 45**, se ilustra una fracción de la lógica de control de encendido y apagado automático de las bombas habilitadas en lenguaje Ladder.

Figura 44

Diagrama de flujo del encendido-apagado automático de las 04 bombas.

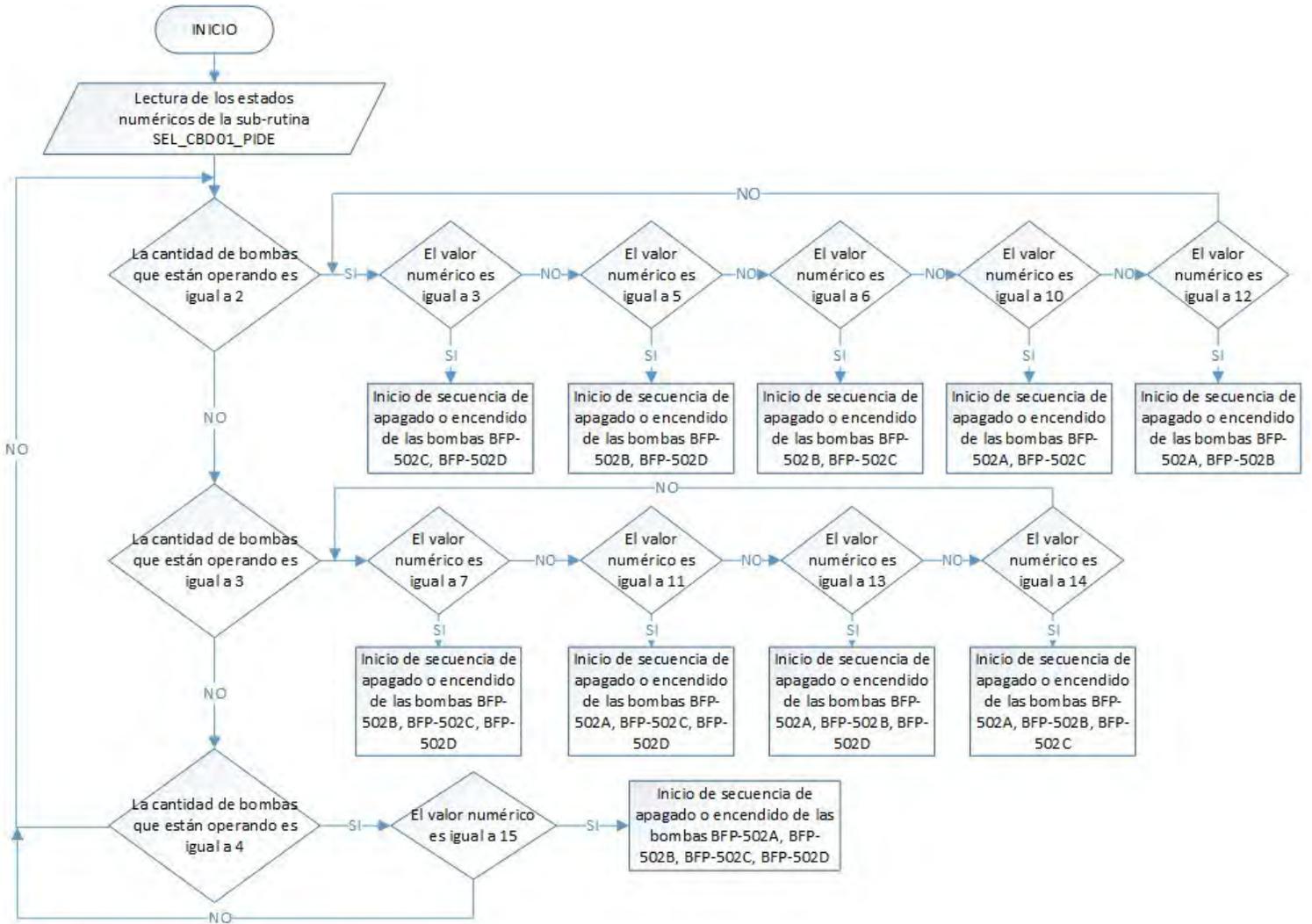
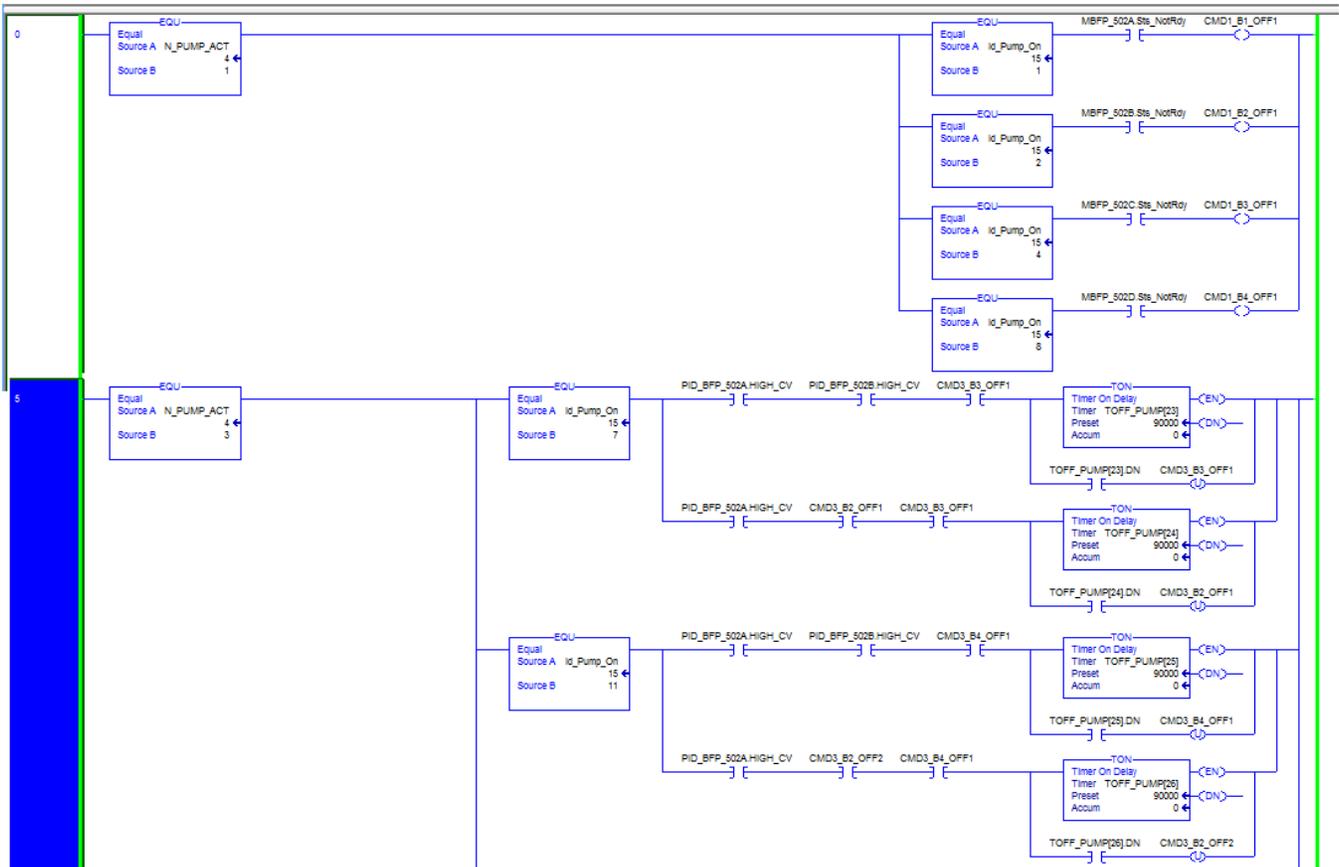


Figura 45

Parte de la secuencia de encendido-apagado automático en Ladder.



5.1.4 Sub-Rutina ACT_PIDE_CBD01.

Su objetivo de la sub-rutina **ACT_PIDE_CBD01**, es de realizar el llamado y la ejecución del controlador PID de cada bomba sumergible, a través del bloque Add-On (**PIDE_VFD_CBD01**) creado, por lo cual, se añadió 4 veces el bloque Add-On etiquetándolos con **PID_BFP_502A**, **PID_BFP_502B**, **PID_BFP_502C**, **PID_BFP_502D** y ejecutándose los 4 al mismo tiempo en cada periodo de la tarea (**SEC_CTRL_PIDE**) creado en el árbol de proyecto del controlador PLC. Vale de redundancia, que la sub rutina **ACT_PIDE_CBD01** se ejecutara

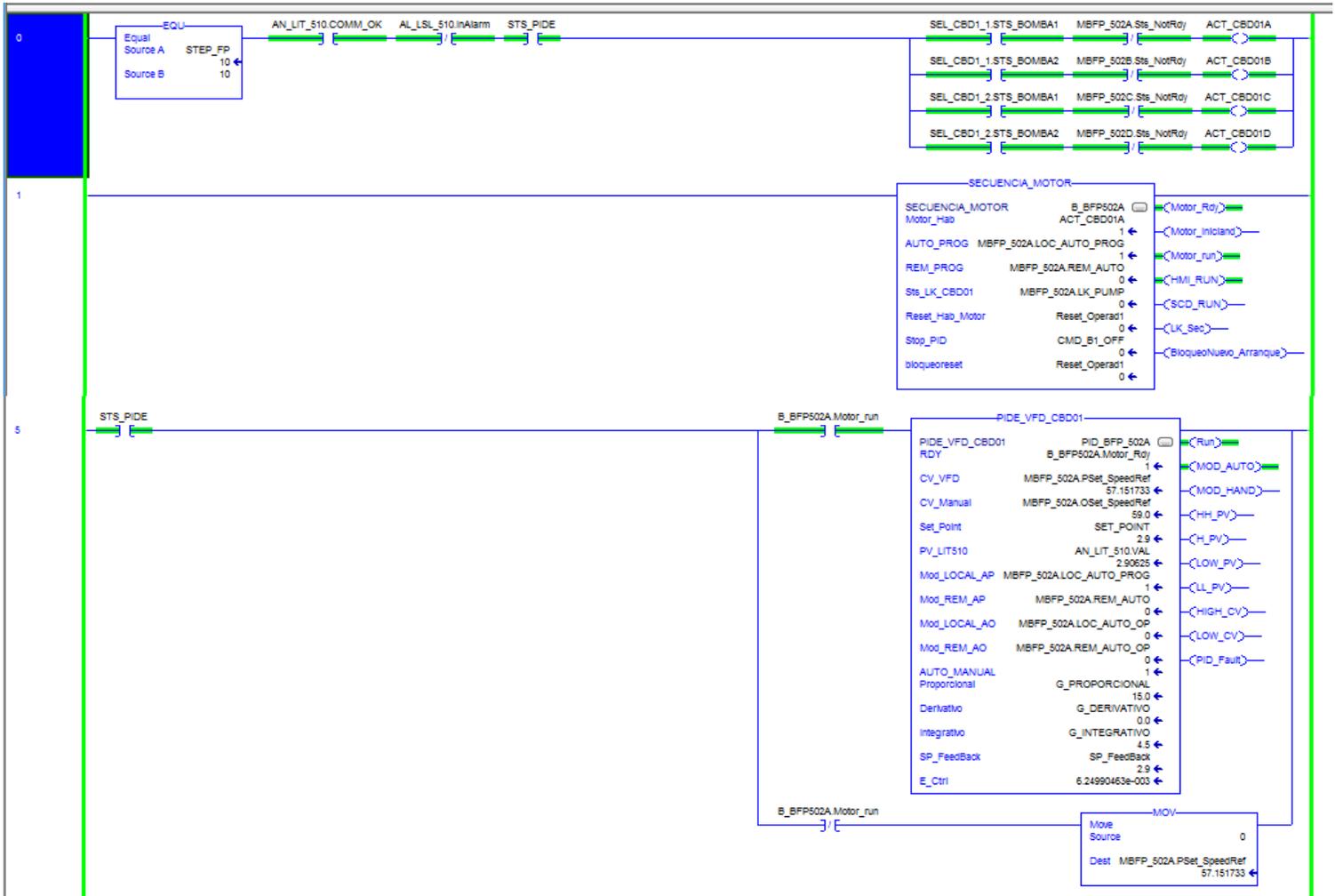
siempre y cuando se haya seleccionado en modo de operación **Modo PID**. Cada bloque Add-On se ejecuta bajo las siguientes condiciones:

- La bomba sumergible tiene que estar habilitada, la habilitación se realiza desde los botones virtuales de la pantalla HMI de la ER05 o desde el sistema SCADA.
- El estado de comunicación correcta del sensor transmisor de nivel LIT-510 tiene que estar activo, caso contrario los bloques Add-On dejara de ejecutarse y mostrara una señal de alarma de fallo de comunicación del sensor de nivel LIT-510.
- Los interlocks de bloqueo de seguridad de las bombas no deben encontrarse activos.
- El modo de operación Modo PID se encuentre activo.

Si una de las condiciones para cada bomba no se cumple, el bloque Add-On de control PID de esa bomba deja de ejecutarse, haciendo que la bomba se apague y se visualizara una alarma con el tipo de falla activa en la pantalla HMI y el sistema SCADA. Para una mejor comprensión se puede resumir la lógica de control en el flujograma para activación del controlador, véase **Anexo E** y en el **anexo I** se muestra toda la secuencia lógica implementado en el PLC, la **Figura 46**, muestra una fracción de la lógica de control en Ladder.

Figura 46

Parte de la lógica de activación de los controladores PID de la sub-rutina ACT_PIDE_CBD01.



5.2 Diseño e Implementación de Nuevas Ventanas del Interfaz de Usuario

El elemento principal y la más útil en un sistema de control comandado por PLC, es la interfaz gráfica de usuario. Por lo cual, se realizó el diseño e implementación de la interfaz gráfica de usuario acondicionándolo en el programa existente de la pantalla HMI de la estación ER-05 y en el sistema SCADA de la PTAR que serán descritas en los siguientes párrafos.

5.2.1 *Diseño, Acondicionamiento y Habilitación de Nuevas Ventanas de Operador en el HMI Panel View 1000.*

El enlace de conexión entre PLC CompactLogix L33ER con IP 192.168.52.51 y HMI Panel View Plus1000 con IP 192.168.52.52 de la estación remota ER-05, es a través del medio físico del cable UTP RJ45 mediante el protocolo de comunicación Ethernet/IP, vale la redundancia que todos los dispositivos PLC, pantalla HMI de marca Rockwell y que se encuentre dentro de la red, están conectadas a través de una topología anillo y establece comunicación con la Workstation1-PC de ingeniería, por lo cual, se tiene acceso para realizar futuras modificaciones y mejoras a la red de control de la PTAR

Establecido la comunicación con la pantalla HMI de la ER-05, se procedió a realizar el diseño de la interfaz gráfica de monitoreo y control PID de la estación de bombeo, la lista de variables se muestra en el **anexo F**, se crearon ventanas emergentes y fueron acondicionadas en el proyecto existente del interfaz HMI de la estación Remota ER-05, a través del software de programación FactorTalk View Machine Edition (ME) instalada en la Workstation1-PC. Cabe aclarar, en el proyecto del HMI existente supervisa y controla el tratamiento biológico, dividiéndose en sud-ventanas gráficas para cada sub-proceso como se observa en la gráfica siguiente.

Figura 47

Vista del proceso de tratamiento biológico del HMI de ER-05.

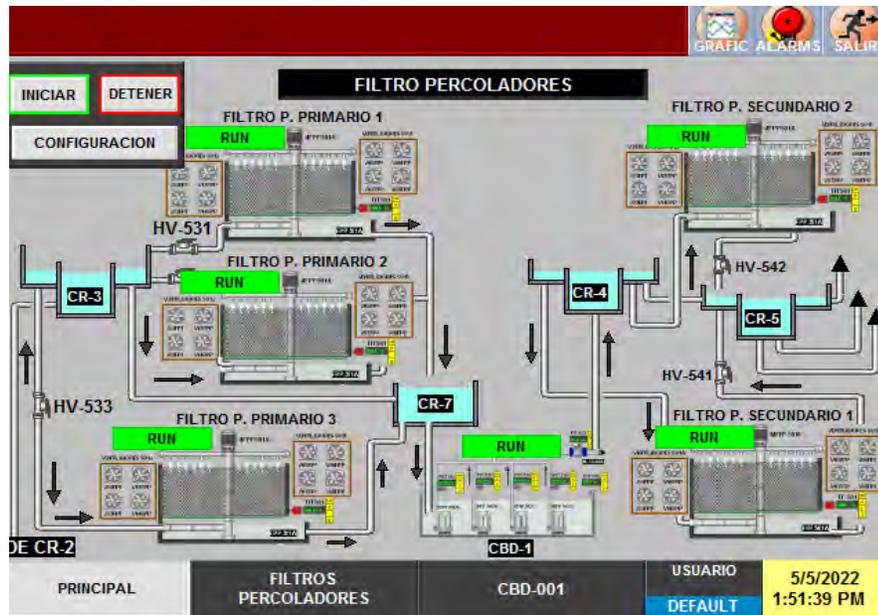
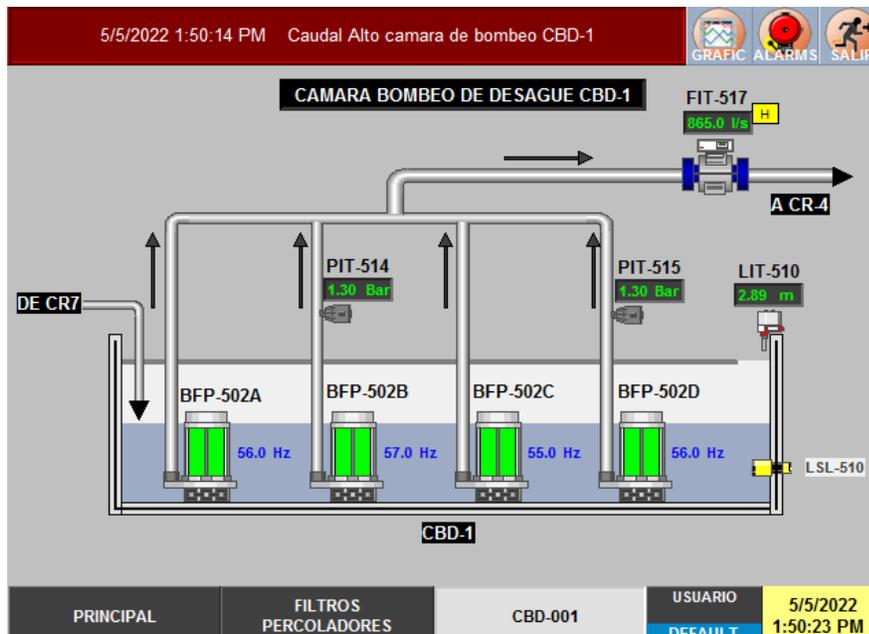


Figura 48

Interfaz de operador de la cámara de bombeo CBD-01 del HMI de la ER05.



Nos enfocaremos en la sub-ventana gráfica de la estación de bombeo CBD-01 (**Figura 48**) modificando e implementando botones virtuales y ventanas emergentes para el control y monitoreo PID, logrando informar visualmente al operador de lo que está aconteciendo en dicha estación de bombeo; en la pantalla principal o de inicio, en la ventana de *menú de Selección*, se añadió los botones virtuales para la selección del modo de operación

Un factor importante en tener en cuenta, es el orden o la secuencia de acceso a las pantallas y ventanas emergentes del control PID implementado, para que el personal de mantenimiento y/u operador pueda interactuar con el proyecto implementado, la interacción puede realizarse según a lo que se observa en la figura siguiente:

Figura 49

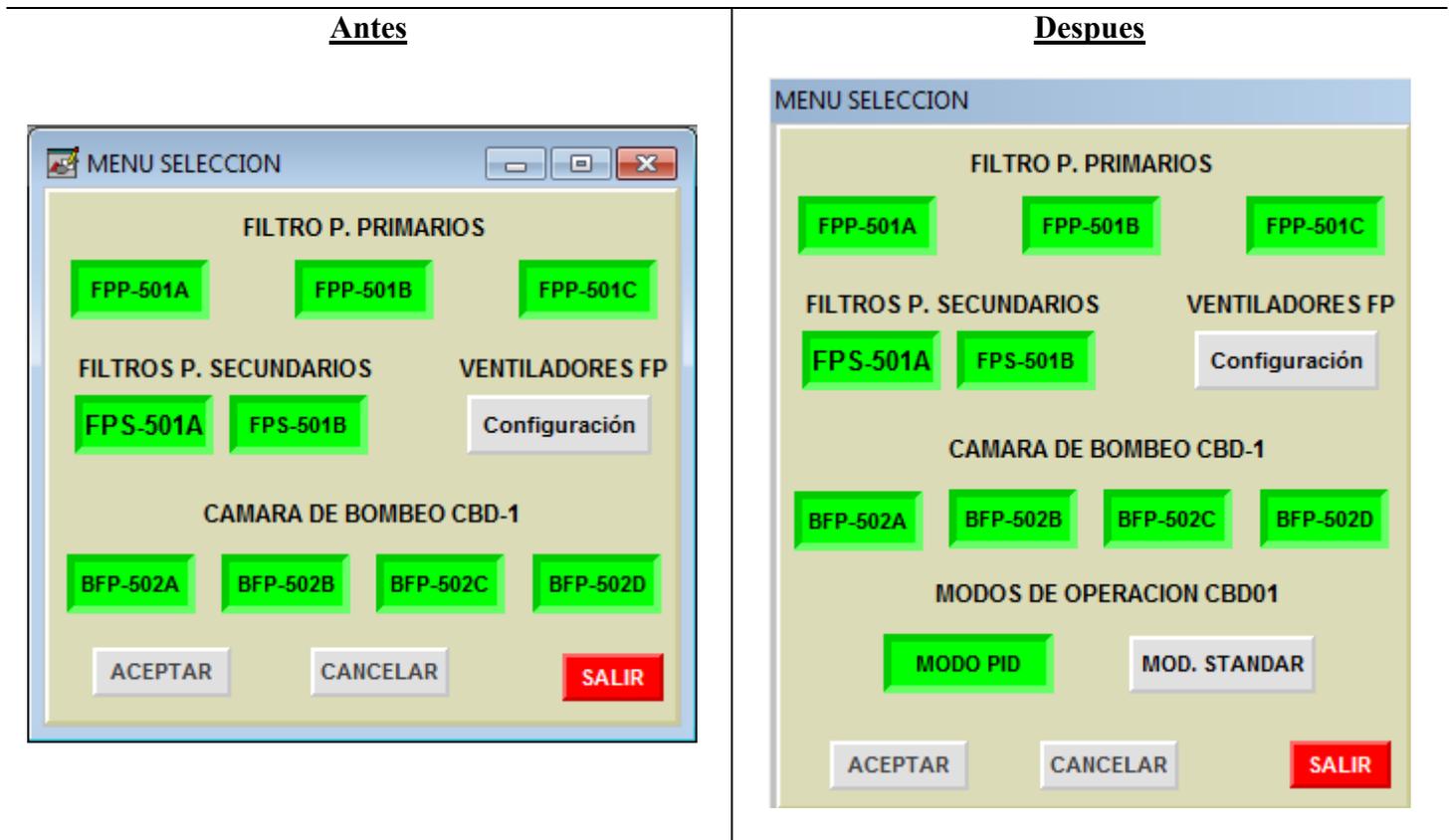
Secuencia de las pantallas y ventanas del HMI del sistema de control PID.



- En la ventana emergente **Menú de Selección** de la pantalla inicio, se realizó el acondicionamiento, integrando dos botones virtuales para el modo de control de operación, que permite al operador interactuar con el sistema de control implementado, la **Figura 50** muestra dos imágenes de la ventana emergente **Menú de Selección** antes y después de la mejora.

Figura 50

Ventana de menú de selección del HMI antes y después de la mejora.



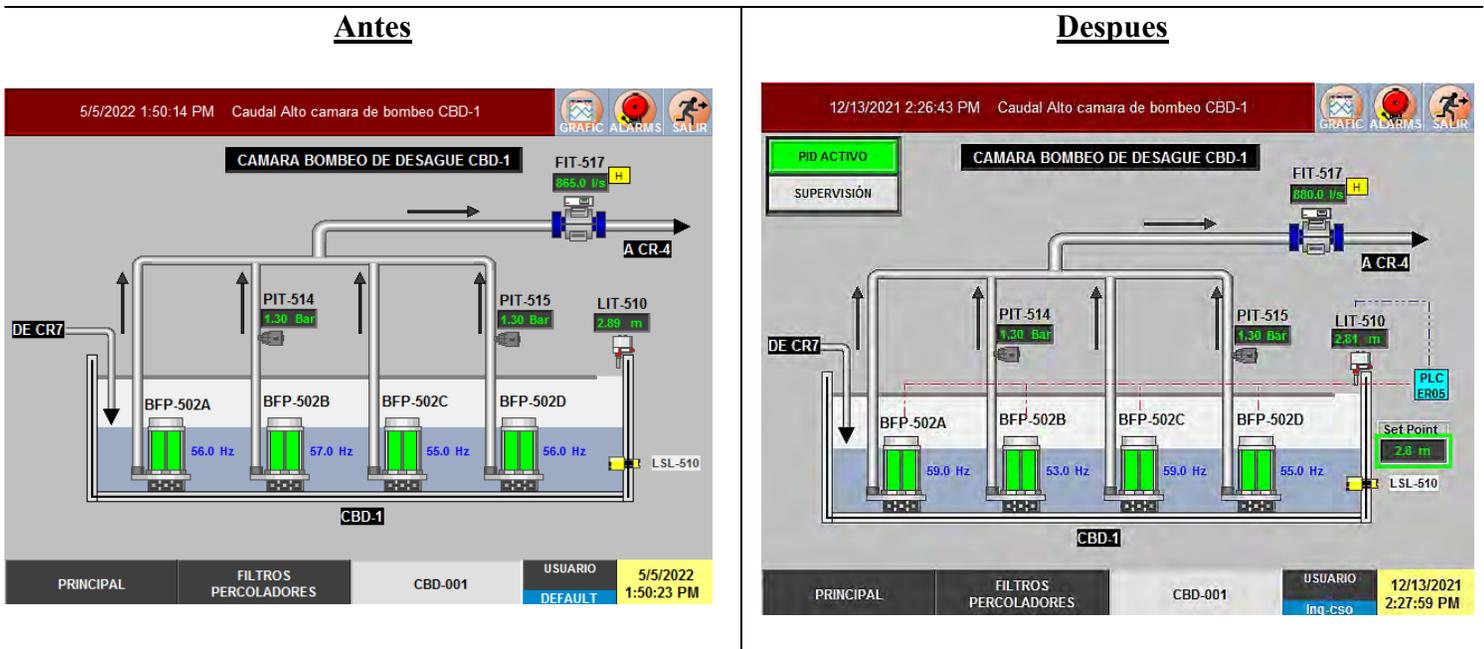
- La interacción para el modo de control de operación son las siguientes:
 - a) El operario puede habilitar o deshabilitar el modo de control de operación PID, con solo presionando el botón **MODO PID**, De la misma forma, puede volver al modo de operación normal (antes de la Mejora del sistema de control) presionando el botón **MOD. ESTÁNDAR**,

cabe mencionar que cualquier selección de cualquier modo de operación que se realice se debe confirmar con el botón **ACEPTAR**, para que surja efecto.

- b) El botón accionado realizara la animación cambiando el color a un verde indicando que el modo de control seleccionado está activo.
- **En la pantalla del proceso de bombeo CBD-01**, donde se reflejan las 4 bombas sumergibles tuberías y los sensores de instrumentación como de nivel, presión y caudal con sus animaciones y visualización de sus variables, se realizó el acondicionamiento integrando ventanas emergentes de información del comportamiento y animaciones, cabe mencionar que la implementación realizada serán vistas y disponibles cuando se haya seleccionado el modo de operación **MODO PIDE**, las animaciones y ventanas se describe a continuación:
 - a) **Animación de lazo cerrado**, esta animación esta visible cuando se encuentra **MODO PID** en la sub-ventana de la CBD-01, dando entender al operador de planta, que el control de la frecuencia de las 4 bombas está en función a la variación del sensor de nivel LIT-510 de la cámara de desagüe. La animación en lazo cerrado se visualiza en la figura siguiente:

Figura 51

Antes y después de la interfaz gráfica de la estación de bombeo CBD-01 en lazo cerrado.

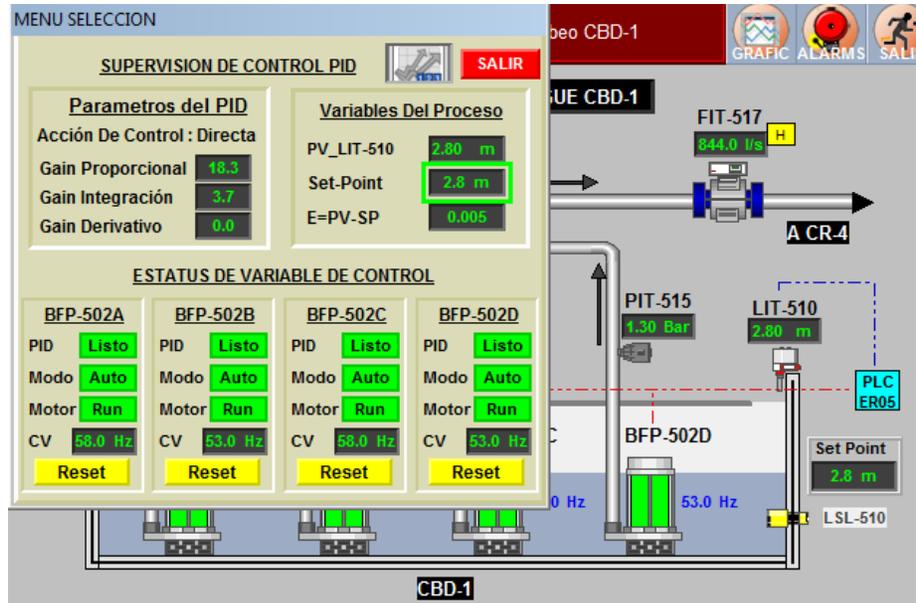


- b) **Botón numérico de escritura para el ingreso del valor del Set-Point del nivel de agua**, este botón de escritura esta presente en la sub-ventana de la CBD-01, en las ventanas emergentes creadas de supervisión y control del controlador PID y en la ventana de tendencias gráficas de las variables de control de la CBD-01, de esta manera, el operador de planta podrá cambiar el valor de consigna en cualquiera de las tres ventanas mencionadas según sea su criterio de operación. Cabe mencionar; si el operador asigna un valor que se encuentra fuera de los rangos máximos y mínimos del valor de Set-Point, el programa asignara el valor del límite máximo o mínimo cercanos al valor asignados por el operador.
- c) **Barra de información**, está ubicado en la parte superior lado izquierdo de la sub-ventana de la CBD-01, en esta, se visualiza el modo de control de operación seleccionado, las cuales pueden ser “*PID ACTIVO* o *STANDARD ACTIVO*”, dentro de la barra, en la parte inferior, cuenta con un botón con el nombre de **Supervisión**, al presionar realiza un llamado a las ventanas emergentes con información de los parámetros del controlador PID, variables del proceso y un

botón de acceso a las tendencias gráficas de las variables del proceso, esto se observa en la figura siguiente:

Figura 52

Ventana de supervisión del controlador PID de la estación de bombeo CBD-01.



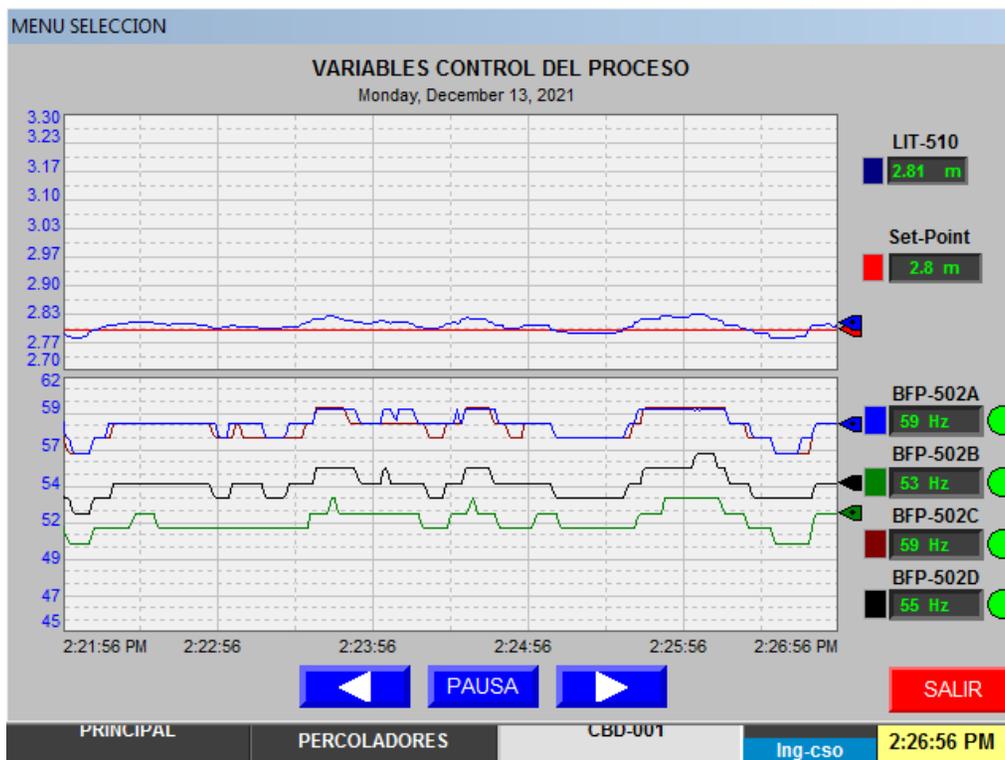
- d) *Ventanas emergentes de control-supervisión y tendencias del sistema de bombeo*, es llamada a través del botón virtual *Supervisión* de la barra de información, las ventanas emergentes creadas poseen las siguientes características:
- Información en tiempo real sobre el comportamiento de las variables de control y parámetros del proceso del controlador PID
 - Información de estado de las variables del proceso (frecuencia, nivel), estados del controlador PID en tiempo real, estados de modo de funcionamiento (manual o automático) para cada bomba; todos los estados mencionados disponen con diferentes animaciones de color y caracteres
 - Un botón de llamado a otra ventana emergente, con la información de tendencias gráficas en el tiempo de las variables de control (frecuencia) y la variable de Proceso (LIT-510).

- Se acondicionó en la ventana de alarmas, la visualización de alarmas y fallas del controlador PID ocurridos durante su operación.

Para salir o cerrar las ventanas emergentes y de las tendencias gráficas del proceso, se incorporó un botón color rojo con el nombre de **SALIR**. Todas las herramientas nuevas agregadas al proceso de la estación de bombeo, en la figura siguiente se observa lo comentado.

Figura 53

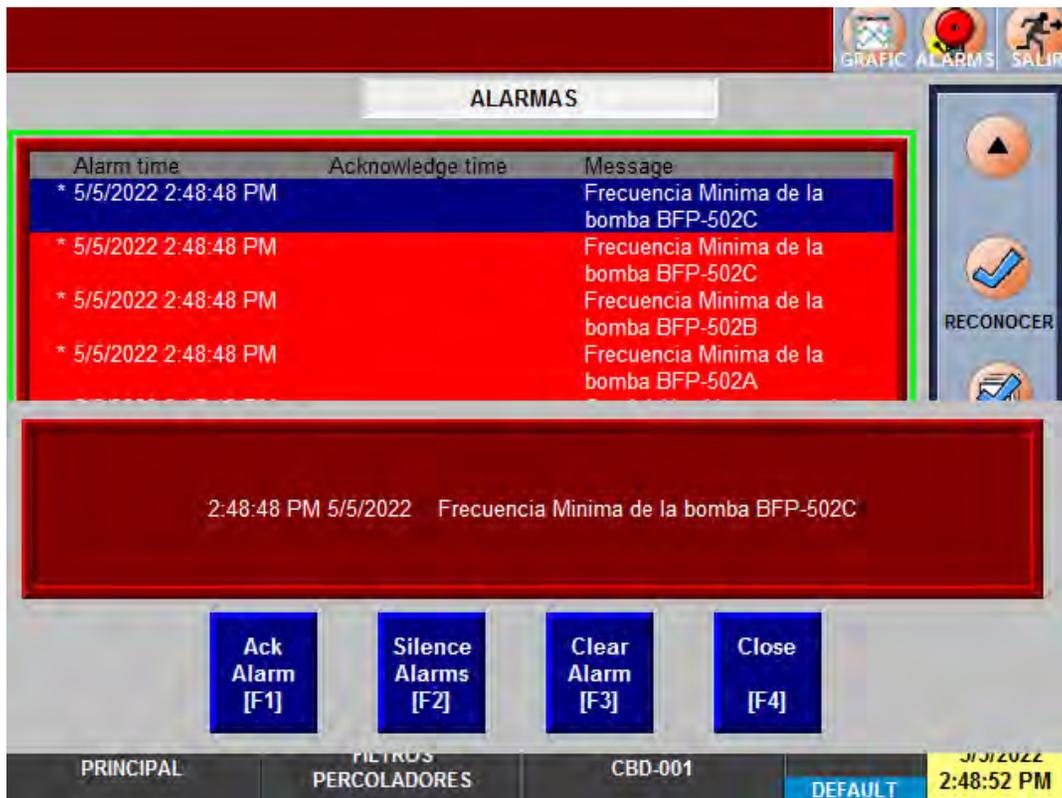
Ventana de tendencias gráficas de las variables de proceso CBD-01.



e) *Ventanas de alarmas y fallas*, es preciso aclarar, que en el proyecto del HMI de la ER-05 ya contiene un histórico de alarmas y fallas accediéndose a través de un icono en forma de una campana de color rojo ubicado en la parte superior lado derecho de la pantalla del sub proceso de la CBD-01, en esta parte, se adicono las alarmas de los límites máximos y mínimos de la variable de manipulada y estado de falla de cada controlador PID de cada bomba ver (*Figura 54*).

Figura 54

Barra de histórico de alarmas del controlador PID en el HMI.



5.2.2 *Diseño, Acondicionamiento y Habilitación de Nuevas Ventanas de Operador en SCADA.*

El software VTSCADA V10.2.13 es una aplicación por computadora que monitorea y controla todos los procesos de la planta de tratamiento PTAR, para tal fin, los controladores PLC de las 8 estaciones remotas están enlazadas y configuradas en topología en anillo y la transmisión de datos entre los controladores y el sistema SCADA es a través del protocolo de comunicación Ethernet/IP por medio de fibra óptica. El software VTSCADA es ejecutable bajo el sistema operativo Windows 7 profesional service pack 1 de 64 bits. En la **Figura 55**, se ilustra todas las características que contiene la licencia del software instalada.

Figura 55

Información de licencia del software instalada.



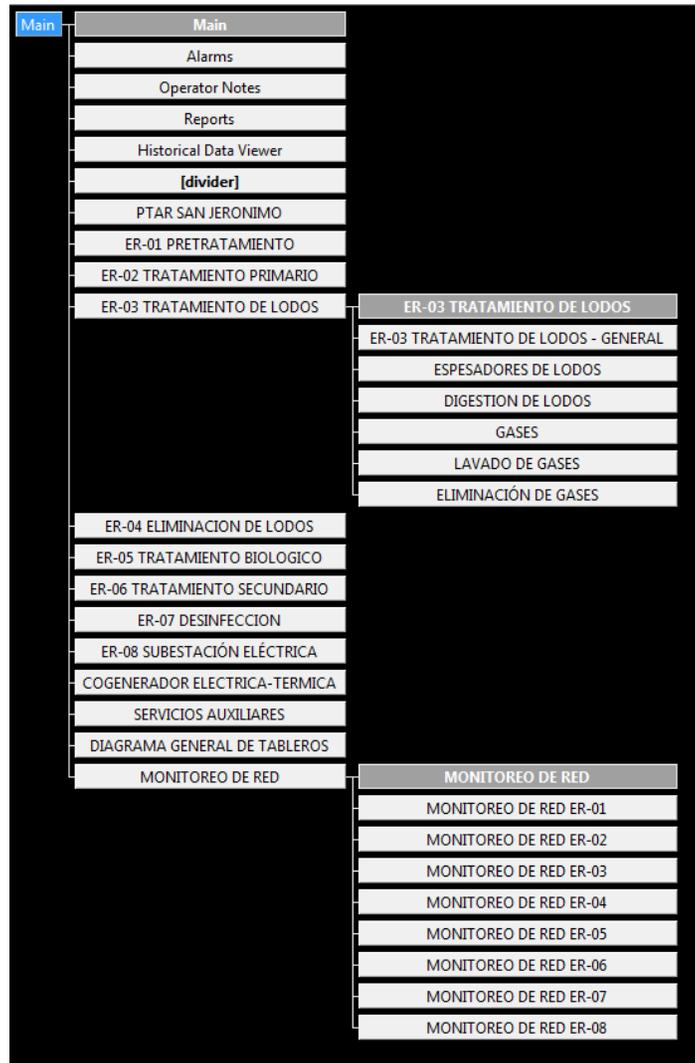
El software VTSCADA V10.2.13 instalada e implementado en tres computadoras de escritorio llamada Workstation ubicada en la estación central de control, contiene dos licencias para su funcionamiento, la cual, se realiza una descripción breve en los siguientes párrafos:

- a) **Licencia Runtime (ejecución):** Instalada en dos estaciones de trabajos (WorkStation2-PC, WorkStation3-PC), ejecuta la aplicación desarrollada en tiempo real, se puede obtener reportes, gestión de datos, control y supervisión, pero tiene la capacidad limitada de realizar modificaciones o desarrollo de aplicaciones para la planta PTAR, mayormente la licencia Runtime es uso para operador de planta.
- b) **Licencia Development (Desarrollador):** Instalada en la WorkStation1-PC, ubicada en el cuarto de Ingeniería, contiene todas funciones de la licencia Runtime y la función de modificar o desarrollar más aplicaciones, es de uso del personal encargado del sistema de automatización de la planta PTAR, bajo esta PC se realiza todas las modificaciones e integración del controlador implementado.

La aplicación SCADA desarrollada de la planta PTAR, está compuesta por 30 ventanas o páginas como se ilustra en la **Figura 56**, cada página contiene la representación gráfica y la información de las variables de un proceso específico y a su vez sub-paginas para sub-procesos.

Figura 56

Árbol de pantallas de la aplicación VTScada.



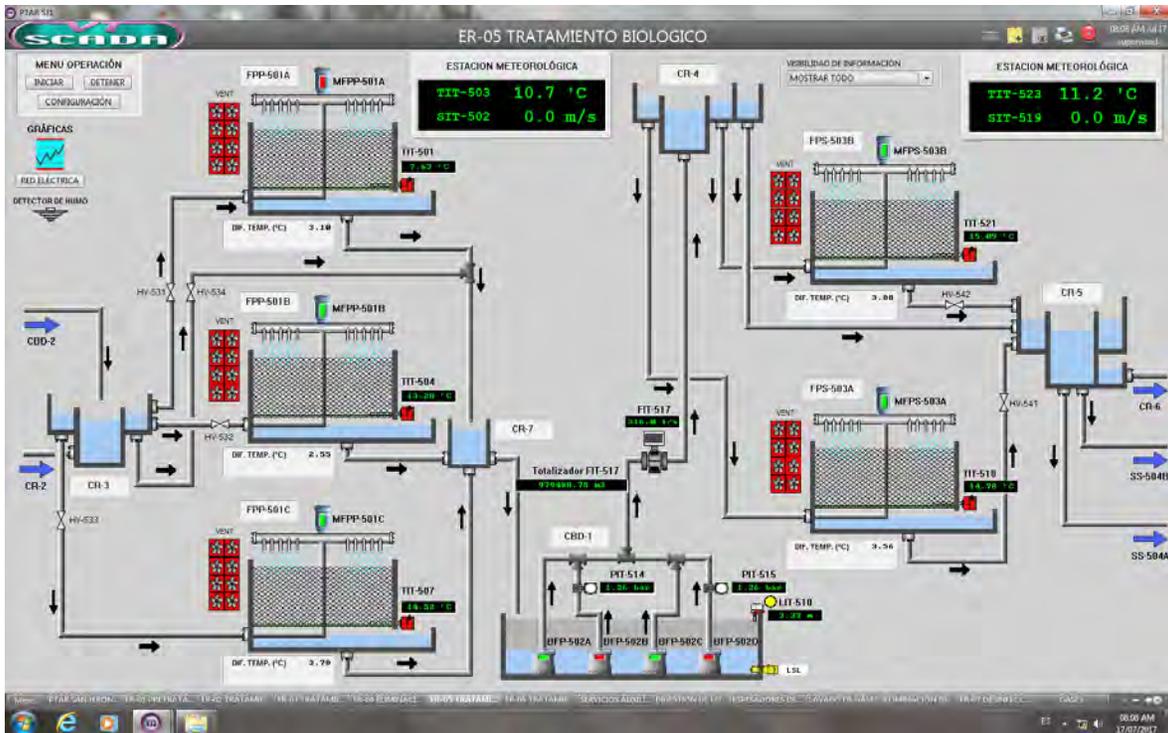
Nota: Pantallas de operador que contiene el árbol del proyecto de la aplicación Scada de planta PTAR-SJ.

Al implementar este proyecto de tesis, se requiere que en la pantalla del sistema SCADA, el operador y el personal de mantenimiento pueda visualizar toda la información de los parámetros importantes del controlador PID de cada bomba y con la opción de seleccionar los modos de operación de control de la estación de bombeo. Para cumplir el propósito mencionado, solo se

enfocó en realizar modificaciones en la página de “**ER-05 TRATAMIENTO BIOLÓGICO**” ver (*Figura 57*) de la aplicación SCADA; el desarrollo se describe en los siguientes temas.

Figura 57

Interfaz de operador del tratamiento biológico de la ER05 antes de la mejora.



5.2.2.1 Definición de las Variables del Sistema SCADA.

Es necesario establecer las variables que interactúan entre el PLC y la aplicación SCADA, para ello, se definen las siguientes variables del control PID que conformaran en la base de datos de la aplicación SCADA, estas variables están relacionadas con las variables del “**Controller Tag**” del PLC, todas las variables definidas en la aplicación SCADA y HMI se muestran en el *Anexo G*, que será punto de partida para la configuración y acondicionamiento del control PID de la estación de bombeo. La *Figura 58*, se aprecia una parte de la base de datos configurados en el software VTSCADA V10.2.13; se creó el grupo de variables (**Control_PID_CBD01**) que

contiene el *Tag's* o *direcciones* de todos los parámetros del control PID de cada bomba, cabe recalcar, los nombres de los tag's creados en el sistema VTSCADA debe ser direccionados al nombre de los tag's y tipo de variable que contiene el PLC Compactlogix L33ER de la estación remota ER-05.

Figura 58

Lista de variables creadas del sistema SCADA.

Name	Description	Type	Address	Value
CONF_SELECCION	CONFIRMAR SELECCION DE EQUIPO	Digital Control	CONF_SEL BC	0
DESC_SELECCION	DESCARTAR SELECCION DE EQUIPO	Digital Control	DISC_SEL BO	0
DESHAB_CBD_001_MBFP_502A	DESELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_1.F	0
DESHAB_CBD_001_MBFP_502B	DESELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_1.F	0
DESHAB_CBD_001_MBFP_502C	DESELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_2.F	0
DESHAB_CBD_001_MBFP_502D	DESELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_2.F	0
DESHAB_FPP_MFPP_501A	DESELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPP.HAB	0
DESHAB_FPP_MFPP_501B	DESELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPP.HAB	0
DESHAB_FPP_MFPP_501C	DESELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPP.HAB	0
DESHAB_FPS_MFPP_503A	DESELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPS.HAB	0
DESHAB_FPS_MFPP_503B	DESELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPS.HAB	0
DESHAB_MODO_PIDE	DESHABILITACION MODO PID	Digital Control	hab2_conf.PI	0
HAB_CBD_001_MBFP_502A	SELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_1.F	0
HAB_CBD_001_MBFP_502B	SELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_1.F	0
HAB_CBD_001_MBFP_502C	SELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_2.F	0
HAB_CBD_001_MBFP_502D	SELECCION DE BOMBA DE CAMARA	Digital Control	SEL_CBD1_2.F	0
HAB_FPP_MFPP_501A	SELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPP.HAB	0
HAB_FPP_MFPP_501B	SELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPP.HAB	0
HAB_FPP_MFPP_501C	SELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPP.HAB	0
HAB_FPS_MFPP_503A	SELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPS.HAB	0
HAB_FPS_MFPP_503B	SELECCION DEL MOTOR DEL FILTRO	Digital Control	SEL_FPS.HAB	0
HAB_MODO_PIDE	HABILITACION MODO PID	Digital Control	hab1_conf.PI	0
STATUS_CBD_001_MBFP_502A	ESTADO DE SELECCION DE BOMBA	Digital Status	SEL_CBD1_1.T	1
STATUS_CBD_001_MBFP_502B	ESTADO DE SELECCION DE BOMBA	Digital Status	SEL_CBD1_1.T	1
STATUS_CBD_001_MBFP_502C	ESTADO DE SELECCION DE BOMBA	Digital Status	SEL_CBD1_2.T	1
STATUS_CBD_001_MBFP_502D	ESTADO DE SELECCION DE BOMBA	Digital Status	SEL_CBD1_2.T	1

5.2.2.2 Pantalla de Control y Supervisión.

Creadas las variables en la aplicación VTSCADA, se comenzó a realizar la creación de la interfaz de supervisión y control de los parámetros del controlador PID, siguiendo con los estándares de la normativa **ISA 101 HMI DESIGN**, acondicionándolo en la página de tratamiento Biológico de la aplicación VTSCADA. El interfaz de usuario contara con las siguientes características:

1. En la Ventana “*Menú Operación*”, en el botón virtual “**CONFIGURACIÓN**” (1) al momento de presionar nos direcciona a otra ventana emergente “**SELECCIÓN DE EQUIPOS A TRABAJAR**” (2), para la habilitación y deshabilitación de diversos equipos del *tratamiento Biológico* incluyendo las bombas sumergibles de la estación de bombeo, ver (*Figura 59*).

Figura 59

Ventana de menú de selección del SCADA antes de la mejora.



Esta ventana tiene la función de realiza la selección de los equipos a trabajar en el proceso del tratamiento biológico a través de botones virtuales para cada equipo, en la zona inferior de la ventana de *Menú de Selección* debajo del panel de selección de bombas CBD-01, se agregó un panel de control con 02 botones virtuales para la selección de los modos de control de operación (*Modo PID / Modo Standard*), sin embargo, el cambio realizado o seleccionado permanecerá inactiva hasta el operador confirme la selección presionando el botón virtual “**Aceptar**”, la *Figura 60*, se observa el panel de control del menú principal antes y después de la mejora .

Figura 60

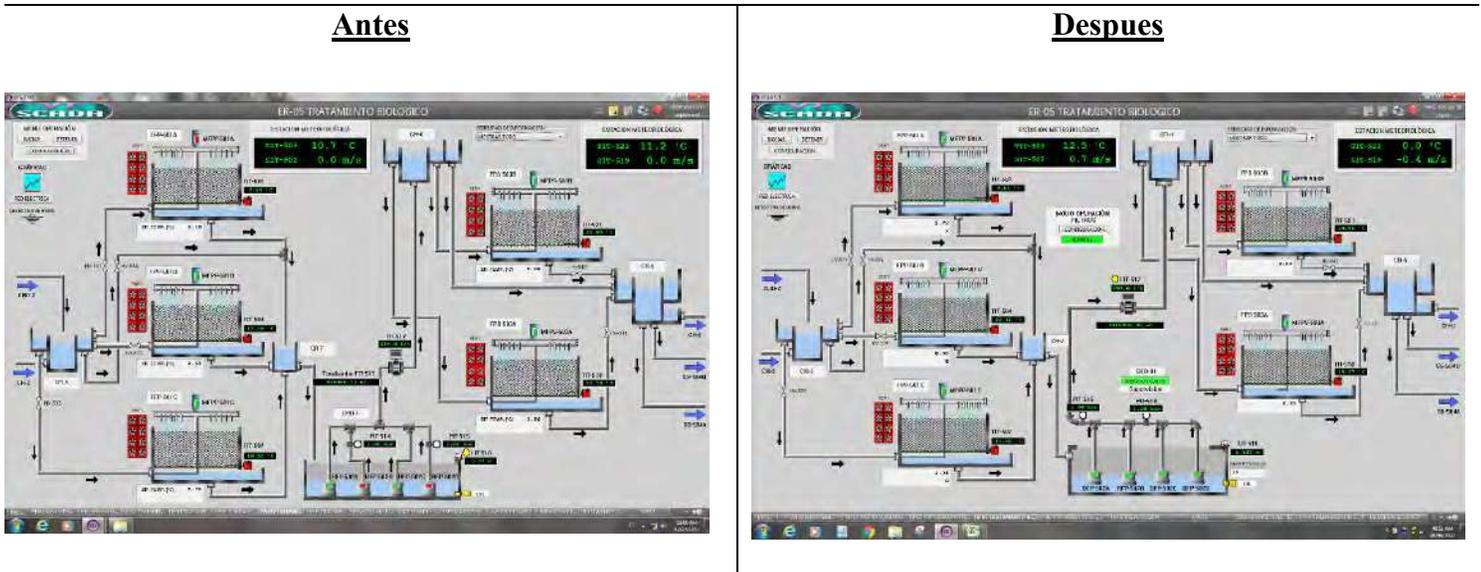
Ventana de configuración del menú principal antes y después de la mejora.



2. Otro punto importante, es la necesidad de visualizar el comportamiento de todos los parámetros de controlador PID, siendo de gran importancia para el operador de planta y especialmente para el personal de mantenimiento encargado de la funcionalidad de la automatización de los procesos, para ello, en la página de Tratamiento Biológico ER-05, se crea la animación de lazo cerrado del sistema a controlar, se añadió un botón virtual de escritura para la asignación de set-point y se incorporó un panel de información indicando el modo de operación seleccionado y en la parte inferior del panel se añadió un botón virtual denominado **“Información CBD-01”** direccionando una página emergente denominado **“Supervisión De Control PID”**, estas últimas modificaciones serán visibles cuando el sistema se encuentren modo de operación **“Modo PID”**. Estas mejoras de la Página principal se muestran en la figura siguiente:

Figura 61

Pantalla principal de ER-05 tratamiento biológico antes y después de la mejora.



Dentro de la página de *Supervisión de Control PID*, contiene la siguiente información:

- **Representación gráfica del lazo de control cerrado** de la estación de bombeo CBD-01, la animación es visible siempre y cuando se haya seleccionado en modo de control PID, caso contrario, su animación será no visible al seleccionar modo de control Estándar.
- **Ganancias del controlador P, I, D;** se visualiza en un cuadro las ganancias proporcionales, integrativos y derivativos del controlador PID que están configuradas y solo pueden ser modificados por el personal encargado del sistema de automatización de la planta PTAR.
- **Variables del proceso;** se visualiza la variable del proceso (LIT-510), el error entre la variable del proceso (PV-SP) y el rango de ajuste del valor de consigna (2.8 a 3.2 metros), este puede ser modificado con solo pulsando en el parámetro “Set-Point”; siendo accesible para el operador y personal de encargado de la automatización de la planta PTAR.

Las variables del proceso mencionadas son visibles siempre cuando se haya seleccionado en modo de control PID, caso contrario, al seleccionar en modo Estándar su animación será no visible, excepto la variable LIT-510.

- **Estatus de la variable del controlador y variable manipulada;** se visualiza en cuadro los modos del controlador PID (**PID Auto, PID Manual, Modo Estándar**), estados de operación del controlador PID de cada bomba sumergibles (**Falla, PID Listo, Ejecutando**) y el valor de variable manipulada de cada bomba sumergible (**Falla, listo ejecutando**), siendo visibles según en qué modo y estado de operación se encuentre, además contiene un botón de reset para cada bomba con la finalidad de reestablecer o confirmar la operación cuando la falla presente del control se haya corregido.

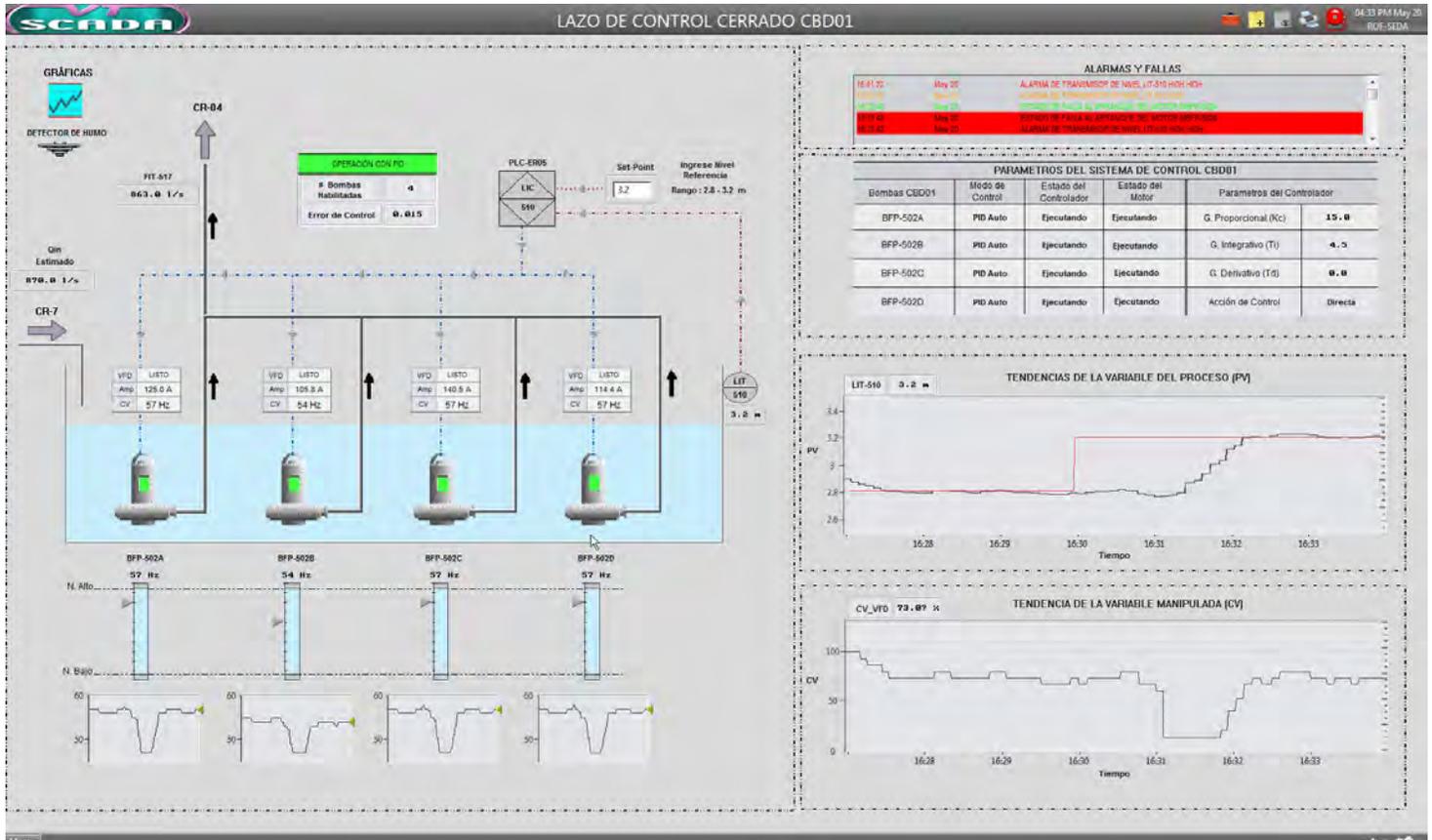
Para brindar una mejor información visual al operador, se le agrego barras con indicador deslizador de estado de la variable manipulada para cada bomba.

- **Representación gráfica del comportamiento de las principales variables del proceso,** siendo el sensor de nivel LIT-510, la variable manipulada y el Setpoint en un lazo de tiempo de 7 minutos.

Cabe indicar que todas las animaciones de colores, visibilidad de estados y figuras se programaron en Script del Software SCADA. Todo lo mencionado de la página de supervisión y control PID, se observar en la **Figura 62**.

Figura 62

Página de supervisión del control PID.

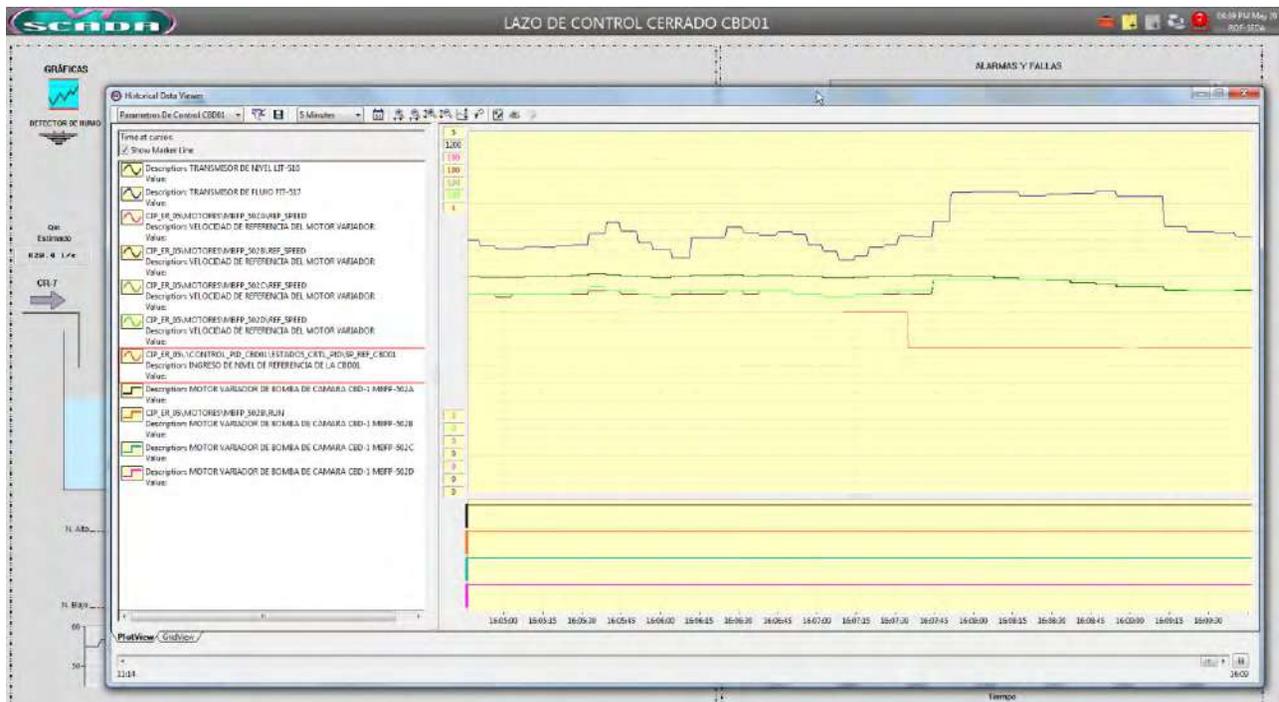


5.2.2.3 Página de Tendencias.

A esta página se accede a través del botón “Gráficos” ubicado mayormente en la parte superior izquierda de la página *Lazo de Control Cerrado CBD-01*, en esta página se muestran los tag’s o variables que fueron seleccionados para poder visualizar sus tendencias gráficas, para el caso, las variables seleccionadas son las variables de nivel “LIT-510”, sensor de caudal FIT-517, el Set-Point, la variable manipulada de cada bomba sumergible en unidades de Hz. Todas están asignadas con un color diferente al otro y escaladas según a sus amplitudes máximas de cada variable como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 63

Ventanas de tendencias gráficas del control PID de la estacion de bombeo CBD-01.



Se puede visualizar la evolución de las variables con un tiempo de retardo de 2 segundos y es posible ver la evolución de las gráficas en tiempo anteriores como hace 2 horas, 12 horas, 1 día es configurable. Para salir de la página de tendencias solo cerramos la página presionando la pestaña cerrar que se encuentra en la parte superior.

5.2.2.4 Alarmas y Bloqueos.

Cabe mencionar que el software VTSCADA V10.2, contiene una lista de alarmas y advertencias ya configuradas de cada equipo y niveles de parámetros del proceso de toda la planta PTAR, solo nos enfocaremos en crear los bloqueos y alarmas de niveles máximo y mínimos de las variables del controlador PID programado en el PLC de dicha estación. Las alarmas y bloqueos

aparecen en la **Tabla 13**, de forma que se activan cuando las variables a las que hace referencia toman un determinado valor.

Tabla 13

Alarmas y advertencias del controlador PID de la CBD-01.

Tag de Alarma del PLC	Tipo de Acción	Descripción	Tag de Variable en SCADA
[ER_05]PID_BFP_502A.HIGH_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba A.	AlarmHigh_VFD_B1
[ER_05]PID_BFP_502A.LOW_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba A.	AlarmLow_VFD_B1
[ER_05]PID_BFP_502A.PID_Fault	Tripeo	Falla en el controlador PID de la Bomba A.	Fault_PID_B1
[ER_05]PID_BFP_502B.HIGH_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba B.	AlarmHigh_VFD_B2
[ER_05]PID_BFP_502B.LOW_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba B.	AlarmLow_VFD_B2
[ER_05]PID_BFP_502B.PID_Fault	Tripeo	Falla en el controlador PID de la Bomba B.	Fault_PID_B2
[ER_05]PID_BFP_502C.HIGH_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba C.	AlarmHigh_VFD_B3
[ER_05]PID_BFP_502C.LOW_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba C.	AlarmLow_VFD_B3
[ER_05]PID_BFP_502C.PID_Fault	Tripeo	Falla en el controlador PID de la Bomba C.	Fault_PID_B3
[ER_05]PID_BFP_502D.HIGH_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba D.	AlarmHigh_VFD_B4
[ER_05]PID_BFP_502D.LOW_CV	Aviso	Nivel alto de valor de frecuencia de la bomba D.	AlarmLow_VFD_B4
[ER_05]PID_BFP_502D.PID_Fault	Tripeo	Falla en el controlador PID de la Bomba D.	Fault_PID_B4

Las alarmas se pueden visualizar en la página gestión de alarmas presionando en el símbolo de una campanita roja ubicada en la parte superior derecha de cualquiera de la página del proceso seleccionado. Las alarmas y advertencias se pueden diferenciar por colores, siendo el color rojo un aviso de falla de un equipo y el color amarillo alarmas de avisos de eventos, la **Figura 64** se muestra estos eventos.

Figura 64

Página de alarmas y bloqueos del control PID de la CBD-01.

Time	Date	Ack	Active	Status	Priority	Area	Message
16:28:08	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302A
16:28:14	May 20	Ack		Alarm	High	EP_04	ALARMA DE CARGAL FT1-302 HIGH
16:28:07	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE ALTO FT1-311 HIGH HIGH
16:28:48	May 20	Ack		Alarm	High	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE ALTO FT1-312 HIGH
16:28:57	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-314 HIGH HIGH
16:29:11	May 20	Ack		Alarm	High	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-314 HIGH
16:29:15	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302A
16:29:24	May 20	Ack		Alarm	High	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE ALTO FT1-307 LOW
16:29:19	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302C
16:29:59	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE PRESION FT1-303 HIGH
16:29:49	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE PRESION FT1-303 HIGH
16:28:18	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE PRESION FT1-303 HIGH
16:29:59	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302B
16:29:48	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA POR FURTO DE OIL DEL MOTOR M50-302A
16:29:24	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302D
16:30:20	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE PRESION FT1-403 HIGH
16:29:54	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE PRESION FT1-403 HIGH
16:29:59	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-305 LOW
16:29:19	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE CARGAL FT1-302 HIGH HIGH
16:29:06	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302B
16:28:38	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-304 HIGH HIGH
16:28:39	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-304 HIGH HIGH
16:29:33	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA POR EMBOLACION DEL MOTOR ARRANQUE
16:29:29	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-413 HIGH
16:29:33	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-413 HIGH
16:29:02	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302C
16:28:58	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE TEMPERATURA FT1-304 LOW LOW
16:28:48	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE FURTO DE OIL DEL MOTOR POR BAJA PRESION EN BARRILAS DE OIL
16:29:18	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE BARRILAS VENTOSA LOW LOW
16:29:18	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE ALTO FT1-308 LOW LOW
16:29:54	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE ALTO FT1-307 LOW LOW
16:29:11	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302A
16:29:52	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-320 HIGH
16:29:59	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-314 HIGH HIGH
16:29:03	May 20	Ack		Alarm	High	EP_04	ESTADO DE FALLA POR EMERGENCIA DEL MOTOR M50-403A
16:29:03	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE NIVEL LT1-314 HIGH
16:29:03	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE ALTO FT1-312 LOW LOW
16:29:04	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE NIVEL BAJO DE CARGAL FT1-302
16:28:48	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ESTADO DE FALLA AL ARRANQUE DEL MOTOR M50-302A
16:28:18	May 20	Ack		Normal	Normal	EP_04	ALARMA DE TRANSMISOR DE PRESION FT1-303 HIGH

CAPITULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS.

6.1 Introducción.

En esta sección, se realiza las pruebas y análisis in situ del funcionamiento del controlador PID implementado con diferentes valores de ganancias próximos al valor de la ganancia calculada.

6.2 Pruebas y Análisis del Controlador PID de la Estación de Bombeo CBD-01.

La forma de controlar el nivel de agua de la cámara de desagüe, es por ajuste del valor de operación de la frecuencia del variador de velocidad de cada bomba a un valor deseado entre 47 a 60 Hz, a tal efecto, cada bomba contiene su controlador PID independiente al otro, conteniendo los mismos valores de los parámetros de la ganancia Proporcional, integrativo y derivativo calculados en el apartado 4.2 Diseño del Controlador del Capítulo IV (Modelamiento de la Estación de Bombeo de Desagüe CBD-01 y diseño del Controlador), por lo cual, estos cálculos son importantes como valor inicial para poder realizar estimaciones en las ganancias del controlador, de esta forma, mediante los índices de desempeño (sobre impulso, tiempo de establecimiento, tiempo de subida y error máximo), se selecciona el que tiene mejor comportamiento y respuesta del sistema, para este fin, se realizó 7 pruebas de la respuesta del sistema con diferentes valores de ajuste en las ganancias del controlador K_c y T_i , para ello, se estabilizo el nivel de la cámara en **2.8 metros** y se realizó el cambio de set-point o valor de referencia de **3.2 metros** como una entrada escalón.

Para el análisis, se clasifico las 7 respuestas del sistema en 3 agrupamientos, esto se muestra en la **Tabla 14**, por lo tanto, serán analizados en los siguientes apartados.

Cabe mencionar que todas las pruebas del controlador PID se realizaron con un caudal de ingreso de agua servida a la planta PTAR-SJ de 800 l/s aproximadamente, por lo cual, las 4 bombas sumergibles están habilitadas y operando en modo automático con el control PID implementado.

Tabla 14

Lista de agrupamientos para el análisis de resultados del controlador PID.

Grupo	Pruebas Curva (Parámetros del controlador)
<i>Primer agrupamiento</i>	Curva1 ($K_c=25$, $T_i= 4$; $T_d= 0$)
	Curva2 ($K_c=25$, $T_i= 3.5$; $T_d= 0$)
	Curva3 ($K_c=25$, $T_i= 3$; $T_d= 0$)
<i>Segundo agrupamiento</i>	Curva1 ($K_c=20$, $T_i= 3$; $T_d= 0$)
	Curva2 ($K_c=20$, $T_i= 4$; $T_d= 0$)
<i>Tercer agrupamiento</i>	Curva1 ($K_c=10$, $T_i= 3.5$, $T_d= 0$)
	Curva2 ($K_c=15$, $T_i= 4.5$; $T_d= 0$)

6.2.1 Análisis de Resultados del Primer Agrupamiento.

La **Figura 65**, muestra el comportamiento de las 3 curvas con sus respuestas del sistema, teniendo como variable del proceso el sensor de nivel LIT-510 y variable de control el promedio de los 4 variadores de velocidad (VFD Promedio) con parámetro de ganancia proporcional K_c constante y ganancia integrativo T_i diferente para cada curva, todo esto frente a un cambio del punto de referencia o set-point, por consiguiente, las tres curvas alcanzaron al valor de referencia deseado en un tiempo de subida de 65 segundos aproximadamente, con valor de sobre impulso entre 4% y 6%, el tiempo de establecimiento o estado estacionario es de 120 segundos, con un mejor entendimiento los índices se muestra en la **Tabla 15**.

Figura 65

Respuestas del sistema ante cambio de Setpoint del primer agrupamiento.

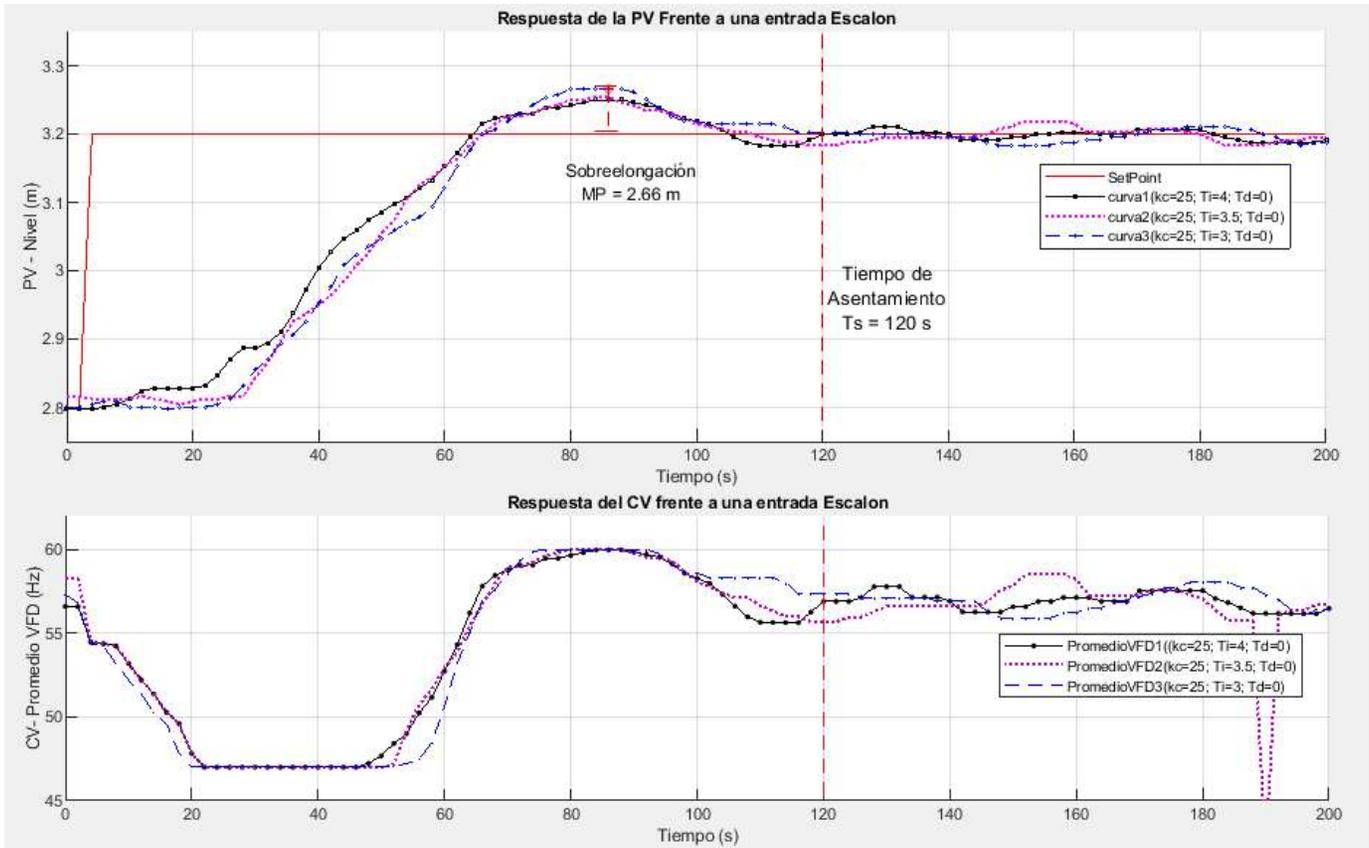


Tabla 15

Resultados de los parámetros de desempeño del primer agrupamiento

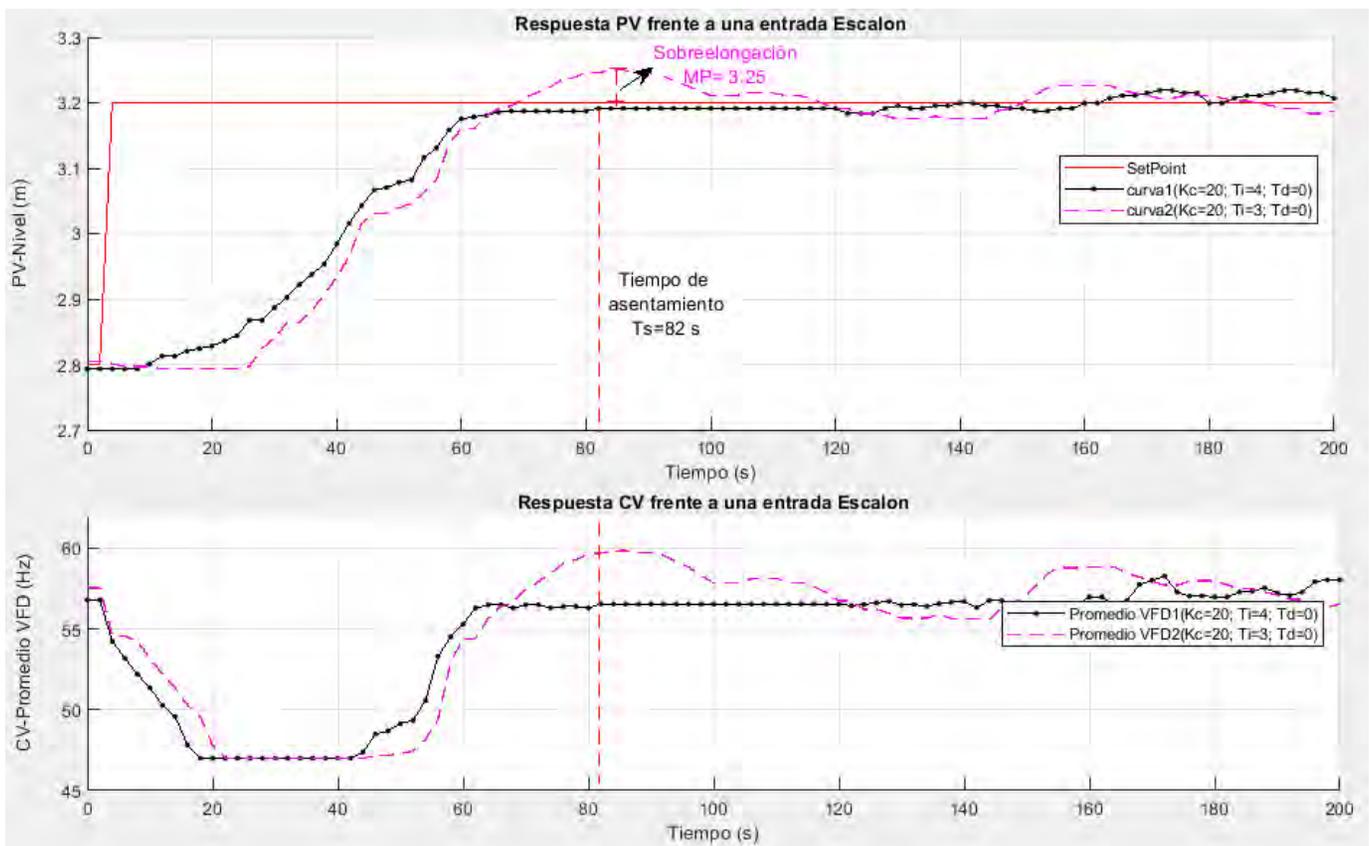
Características	Curva 1	Curva 2	Curva 3
Parámetros de ganancia	(Kc=25, Ti=4, Td=0)	(Kc=25, Ti=3.5, Td=0)	(Kc=25, Ti=3, Td=0)
Set-Point	3.2 m	3.2 m	3.2 m
Tiempo de subida	65 s	65 s	65 s
Tiempo de Establecimiento	120 s	120 s	120 s
sobre-impulso	4 %	4 %	6 %

Por lo tanto, las tres curvas presentan un comportamiento agresivo de orden de salida sub amortiguado, la curva 1 de color negro con parámetros ($K_c=25$, $T_i=4$, $T_d=0$) tiene un mejor comportamiento y una rápida estabilidad en la zona del estado estacionario frente a las demás curvas

6.2.2 Análisis de Resultados del Segundo Agrupamiento.

Figura 66

Respuestas del sistema ante cambio de Setpoint del segundo agrupamiento.



La **Figura 66**, muestra la respuesta del sistema de la curva 1 y curva 2 con parámetros de ganancia proporcional $K_c=20$ para las dos curvas y ganancia integrativo T_i variable, ante un cambio de set-point, se puede observar que la curva 1 con ganancia integrativo de $T_i= 4$ presenta un comportamiento semejante con orden de salida críticamente amortiguado, su tiempo subida es

igual al tiempo de establecimiento con un valor de 70 segundos aproximadamente. La curva 2 con ganancia integrativo $T_i= 3$, con orden de salida sub amortiguado, el tiempo de subida es de 65 segundos presentando un sobre impulso de 5 % donde su tiempo de establecimiento es de 120 segundos, estos índices de desempeño se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 16

Resultados de los parámetros de desempeño del segundo agrupamiento.

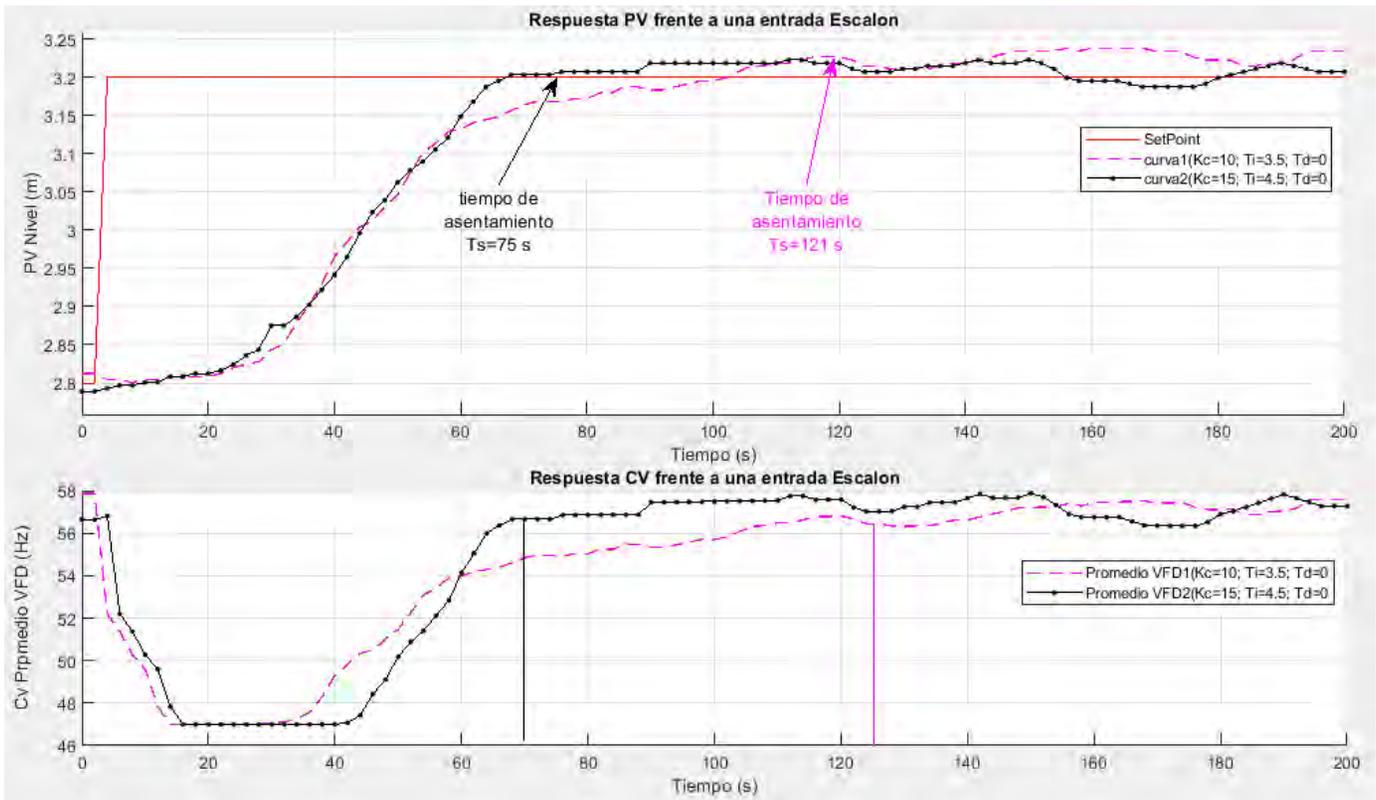
Características	Curva 1	Curva 2
<i>Parámetros de ganancia</i>	($K_c=20, T_i=4, T_d=0$)	($K_c=20, T_i=3, T_d=0$)
<i>Set-Point</i>	3.2 m	3.2 m
<i>Tiempo de subida</i>	70 s	65 s
<i>Tiempo de establecimiento</i>	70 s	120 s
<i>Sobre-impulso</i>	0 %	5 %

Por consiguiente, **la curva 1 de color negro** con parámetros ($K_c=20, T_i=3, T_d=0$) su tiempo respuesta ante un cambio de valor de set-point es rápido, donde su comportamiento en el régimen transitorio es robusto y logrando estabilizarse rápidamente en régimen estacionario, siendo su respuesta aceptable en comparación con la curva 2.

6.2.3 Análisis de Resultados del Tercer Agrupamiento

Figura 67

Respuestas del sistema ante cambio de Setpoint del tercer agrupamiento.



Se comparan las respuestas del sistema de dos curvas frente a los cambios en la ganancia proporcional (K_c) y en la ganancia integrativo (T_i) del controlador, (**Figura 67**), ambas curvas con orden de salida críticamente amortiguado presentando un comportamiento robusto en el régimen transitorio, por lo tanto, la curva 2 logra establecerse rápidamente que la curva 1, con lo cual, la curva 2 llega al régimen estacionario en 70 segundos logrando estabilizarse rápidamente, los índices de desempeño de la curva 1 y 2 se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 17

Resultados de los parámetros de desempeño del tercer agrupamiento.

Características	Curva 1	Curva 2
<i>Parámetros de ganancia</i>	(Kc=10, Ti=3.5, Td=0)	(Kc=15, Ti=4.5, Td=0)
<i>Set-Point</i>	3.2 m	3.2 m
<i>Tiempo de subida</i>	100 s	70 s
<i>Tiempo de establecimiento</i>	110 s	70 s
<i>Sobre-impulso</i>	0 %	0 %

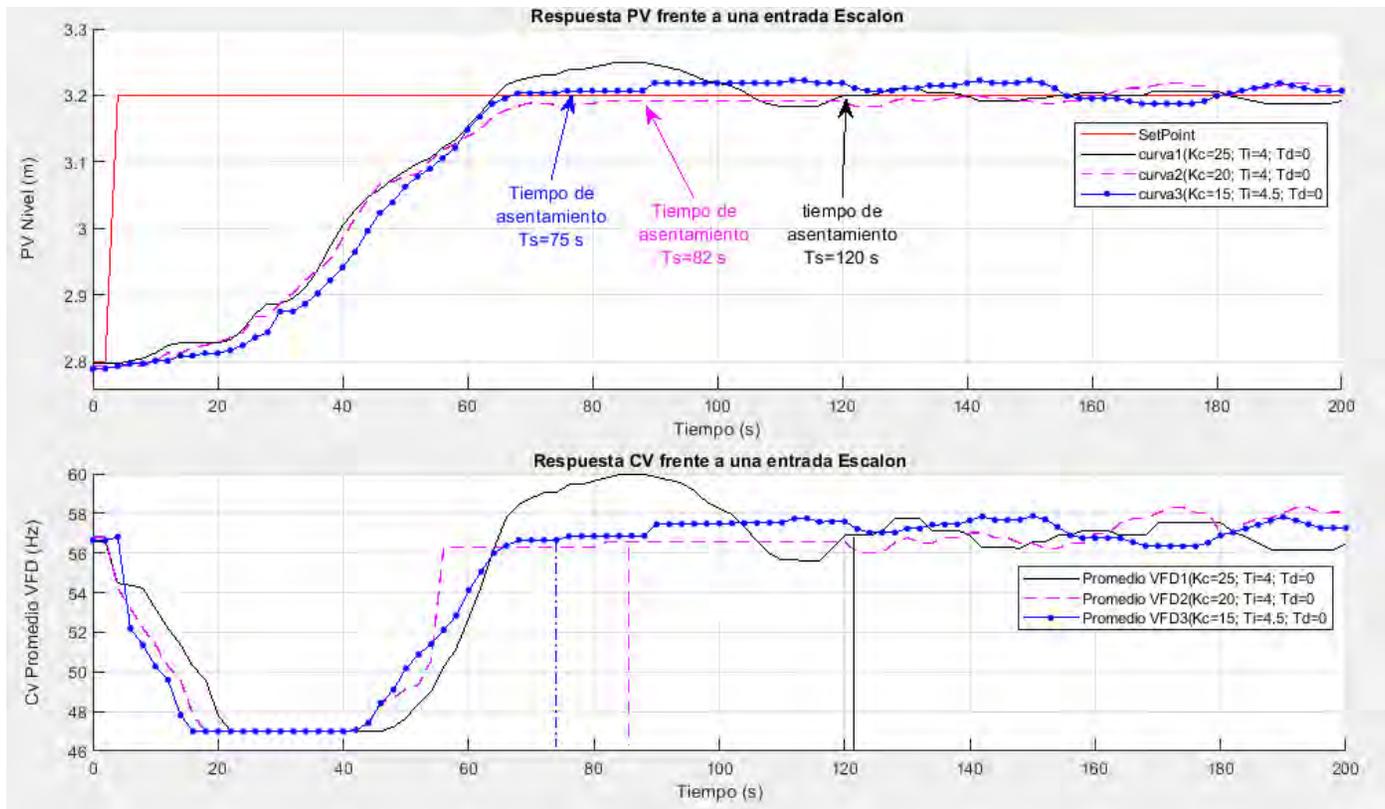
Por consiguiente, la respuesta del sistema de la curva 2 con parámetros (Kc=15, Ti=4.5, Td=0) es aceptable manteniéndose estable la mayor parte de tiempo en el valor deseado en comparación de la respuesta de la curva 1.

6.2.4 *Análisis Comparativo de las Respuestas Aceptables del Sistema de los tres Agrupamientos.*

Para poder seleccionar los parámetros adecuados del controlador PID con el mejor comportamiento de respuesta del sistema, se seleccionó la tendencia de cada agrupamiento que contenga un mejor comportamiento ante un cambio en el set-point. En la **Figura 68**, se observa las respuestas de la variable controlada y la variable manipulada de cada agrupamiento con sus parámetros de ganancias del controlador y con las mismas condiciones de punto de consigna (set-point) e instantes de tiempo.

Figura 68

Comparación de las mejores respuestas del sistema de cada agrupamiento.



En la **Tabla 18** se visualiza que existe mucha similitud en los índices de desempeño entre las curvas 2 y 3 ambas curvas no presenta sobre impulso, los tiempos de subida y de establecimiento son iguales y varía muy poco logrando estabilizarse, las pequeñas oscilaciones que presenta en ambas curvas en el régimen estacionario no produce cambio inminente en el actuador.

La curva 1 presenta un sobre impulso del 4% donde su tiempo de subida antecede en 5 segundos a la curva 2 y 3 llegando al régimen estacionario a los 120 segundos logrando estabilizarse.

De estas tres pruebas seleccionadas, se obtienen valores con mejor respuesta del sistema para el controlador PID, los cuales son $K_c=15$, $T_i=4.5$, $T_d=0$.

Tabla 18

Parámetros de desempeño de las respuestas aceptables de los tres agrupamientos.

Características	Curva 1	Curva 2	Curva 3
<i>Parámetros de ganancia</i>	($K_c=25$, $T_i=4$, $T_d=0$)	($K_c=20$, $T_i=4$, $T_d=0$)	($K_c=15$, $T_i=4.5$, $T_d=0$)
<i>Set-Point</i>	3.2 m	3.2 m	3.2 m
<i>Tiempo de subida</i>	65 s	70 s	70 s
<i>Tiempo de establecimiento</i>	120 s	85 s	75 s
<i>Sobre-impulso</i>	4 %	0 %	0 %

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

- Se cumplió con el objetivo general con la implementación de un sistema de control automático de la cámara de bombeo de desagüe CBD-01 de la planta de tratamiento de agua residual PTAR-SJ. El sistema de control está basado en el controlador PID y cuenta con su interfaz de gráfica para la supervisión y control in situ y, también en la sala de control principal SCADA. Para el diseño, se empleó los datos del nivel de agua registrados durante su operación en modo manual a través del software MATLAB y, los parámetros de ganancia del control PID se hallaron a base de los análisis de los datos experimentales.
- Se logró determinar el modelamiento matemático de la función de transferencia del sistema de la estación de Bombeo CBD-01, mediante métodos de análisis experimental y con el apoyo de la herramienta del *PID TUNER* del software MATLAB; el modelo matemático nos indica que el proceso es de segundo orden de tipo 1.
- A partir del modelo dinámico del sistema obtenido en la etapa de identificación, se logró diseñar el controlador por el método de sintonización lambda, siendo éste el adecuado para sistemas que tienen el comportamiento no-autorregulado.
- Los parámetros de ganancia del controlador PID calculados a través de la sintonización lambda, fueron de gran importancia como valor de referencia inicial, de este modo, se realizó los ajustes a los parámetros de las ganancias del controlador, obteniendo como ajuste final las ganancias para un controlador PI con ganancias ($K_c=15$, $T_i=4.5$, $T_d=0$), proporcionando un funcionamiento adecuado del sistema de control.
- El acondicionamiento y la implementación del código lógico de programación en el PLC, se realizó satisfactoriamente. Se observó que el algoritmo lógico brinda robustez al control automático de la estación de bombeo CBD-01. En las pruebas respondió satisfactoriamente ante cambios y a diferentes

condiciones, pese a la gran cantidad de variables y alto procesamiento. El PLC respondió adecuadamente y no presento inconveniente alguno al ejecutar el bloque PID y el código completo.

- Se logró presenciar una mejor estabilidad y escasas oscilaciones en los parámetros eléctricos durante la operación del variador de velocidad de cada bomba sumergible, gracias a que, se realizó el cambio del modo de control escalar al modo de control vectorial, logrando una buena relación entre torque-carga, y también, se logró habilitar los parámetros de alarmas y bloqueos de seguridad para la protección de estos mismos antes eventos fortuitos, de esta forma, nos garantiza una mejor fiabilidad en la operación de estos equipos.
- Las interfaces gráficas de operación del sistema de control de la estación de bombeo CBD-01 diseñadas y acondicionadas en el HMI de la estación remota ER-05 y en el sistema de control principal SCADA, se desarrolló satisfactoriamente y basado en las buenas prácticas de la norma ISA 101 para el desarrollo de pantallas HMI en plantas industriales, teniendo un entorno amigable y con la visualización más amplia de toda información necesaria para el operador de planta.
- Con el sistema de control implementado, la habilitación y el control de velocidad de giro de cada bomba es de forma automática manteniendo el nivel de agua de la cámara en el valor de referencia asignada, presentando mejora y menos intervención humana para la operación del sistema, por lo cual, genera más confiabilidad y fiabilidad para la operación del proceso.
- En las pruebas finales, con la sintonización y el diseño apropiado del controlador PID, se logró retener el nivel de agua en la cámara de reunión de desagüe CBD-01 dentro de un margen de error de ± 0.02 m con respecto al valor referencia del nivel de agua asignada.
- Con las ganancias del controlador PI ($K_c=15$, $T_i=4.5$, $T_d=0$), la respuesta del sistema es suave, no presenta sobre impulso y con un tiempo de asentamiento aproximado de 75 segundos, en el régimen estacionario presenta pequeñas oscilaciones que no produce cambios inminentes en los actuadores (variadores de velocidad).

7.2 Recomendaciones.

- Un punto importante para el proceso de medición de nivel es la instalación de aspersores de agua en un lugar estratégico por donde se ubica el sensor de nivel, con la finalidad de eliminar las capas de espuma que se forman siendo más común en horas de la madrugada y de este modo se tendría una medición de nivel de agua más confiable.
- Se recomienda el incremento de un servidor redundante con alta capacidad de almacenamiento para la base de datos del software Scada ya que, se pudo observar latencia y pérdida de información momentáneos. Se recomienda la actualización del software Scada VTSCADA V10.2 a una versión reciente.

Bibliografía

- Ayma Garcia, I., & Luque Lucero, R. (2017). Planta de Produccion de Clorobenceno. (*Tesis de Grado*). Universidad Autonoma de Barcelona, Cerdanyola del Valles.
- Bacidore, M. (s.f). How to Tune PID Loops. *Control Design For Machine Builders.*, 11,21.
- Banegas Rojas, J. O., & Sarmiento Sotomayor, S. R. (2017). Diseñar y Desarrollar un Controlador Embebido Basado en PID aplicado a la Regulación de Fuerza de una mano Robotica. (*Tesis de Grado*). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- Corredor Cajamarca, C. E., & Estrada Jacobson , A. F. (2013). Sintoniación de Lazos de Control de Nivel En sistemas de Tanques Interactuantes Empleando el Software de Expertune. (*Tesis de Grado*). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Danfoss. (s.f.). *Variadores de Frecuencia*. Obtenido de <https://www.danfoss.com/es-mx/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>
- Danny Alexander, T. (2014). Diseño de un Sistema Automatico e Instrumentacion para la Planta de Almacenamiento y Despacho de Petroleo de la Empresa OLYMPIC. (*tesis de grado*). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Echeverri Orozco, S. M., & Grisales Giraldo, G. A. (2013). Implementacion de una red Profibus de un sistema Automatizado. (*Tesis de Grado*). Universidad Tecnologica de Pereira, Pereira.
- Endress+Hauser. (s.f.). *Instrumentación de Campo*. Obtenido de <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-nivel-ultrasonidos-sin-contacto#:~:text=Los%20sensores%20de%20ultrasonidos%20son,en%20versi%C3%B3n%20compacta%20o%20separada.>

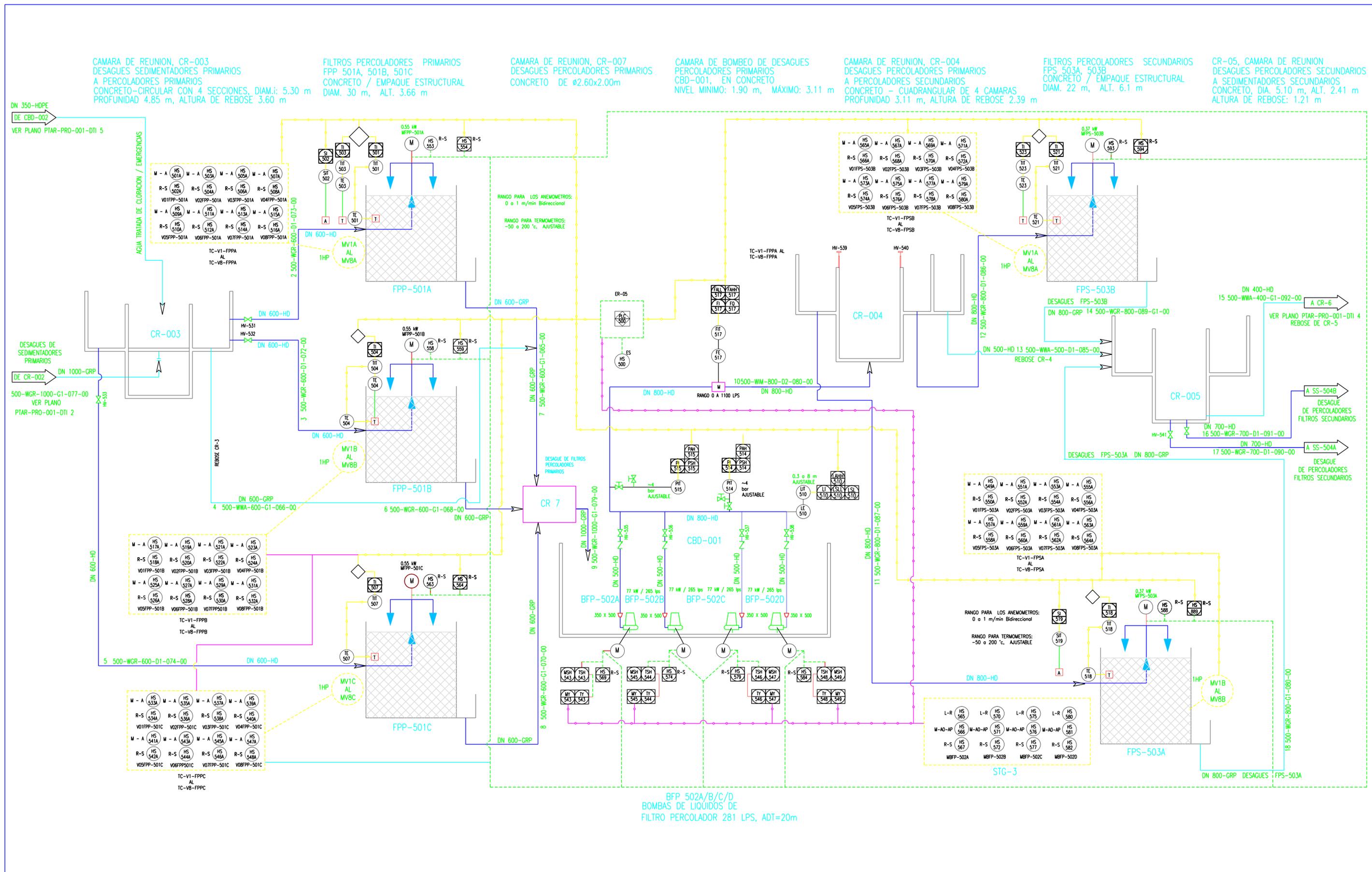
- Espitia Bernal , F. D., & Ordoñez Beltran, J. A. (2015). Diseño E implementación de un sistema SCADA para el Control del Tanque de Mezcla de la Planta de Proceso Analogos. (*Tesis de Grado*). Universidad Distrital Fransisco Jose de Caldas, Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/4247>
- Gaviño, R. H. (2010). *Introducción a los Sistemas de Control:Conceptos, Aplicaciones y Simulación con Matlab*. Mexico: Pearson Educación.
- Guatemal Aguilar, J. V. (2020). Sintonización de un Controlador PID por el Metodo Lambda. (*Tesis de Grado*). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga.
- Henriquez Novoa, J. A. (2019). Identificacion y Sintonizacion de controladores PID Para Procesos Integrativos. *Titulo de Pregado en Ingenieria*. Universidad de la Costa, Barranquilla.
- Martinez, k. (2018). Conceptos Basicos sistemas de control. *Revista In Tech Mexico Automatizacion*. Obtenido de <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2018/12/24/conceptos-basicos-sistemas-de-control/>
- Rockwell Automation. (2018). Instrucciones de Secuencia Avanzados Logix 5000.
- Salazar Velarde, D., & Villacreses Pita, A. (2015). Diseño e Implementación de un sistema SCADA para el Monitoreo de Flujo y Temperatura del sistema de LLenado Aseptico de jugo de Naranja en la Agro-Indutria Frutas. (*Tesis de Grado*). Universidad Politecnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil.
- Sanchez, C. A. (2017). Formulación de una Metodología Teorico-Practica para el Diseño de Sistemas de Control Automatico de Bombas, Mediante Simulaciones en Matlab. (*Tesis de Grado*). Escuela Politecnica Nacional, Quito.

Suárez Chaparro, E. D., & Torres Castillo, P. N. (2018). Diseño e Implementacion de un Sistema SCADA para el Control de Nivel y Temperatura Endependiente en dos Tanques de la Planta de Procesos analogos (PPA). (*Tesis de Grado*). Universidad Distrital Fransisco Jose de Caldas., Bogotá.

Villajulca, J. C. (21 de Febrero de 2019). *Procesos Autoregulatorios* . Obtenido de InstrumentacionyControl.Net: <https://instrumentacionycontrol.net/procesos-auto-regulatorios-self-regulating-solo-proporcional-integral/>

ANEXO A:

Diagrama de tuberías e instrumentación del tratamiento Biológico.



Unidad	mm	Nombre	Fecha	PTAR-SEDACUSCO
		Dibujado	10/02/2022	
Escala:	1:1000	Revisado	10/02/2022	N° Plano: PTAR-PRO-001-DTI3-REV1
		Tema:	Diagrama DTI-Tratamiento Secundario-Filtros Percoladores	

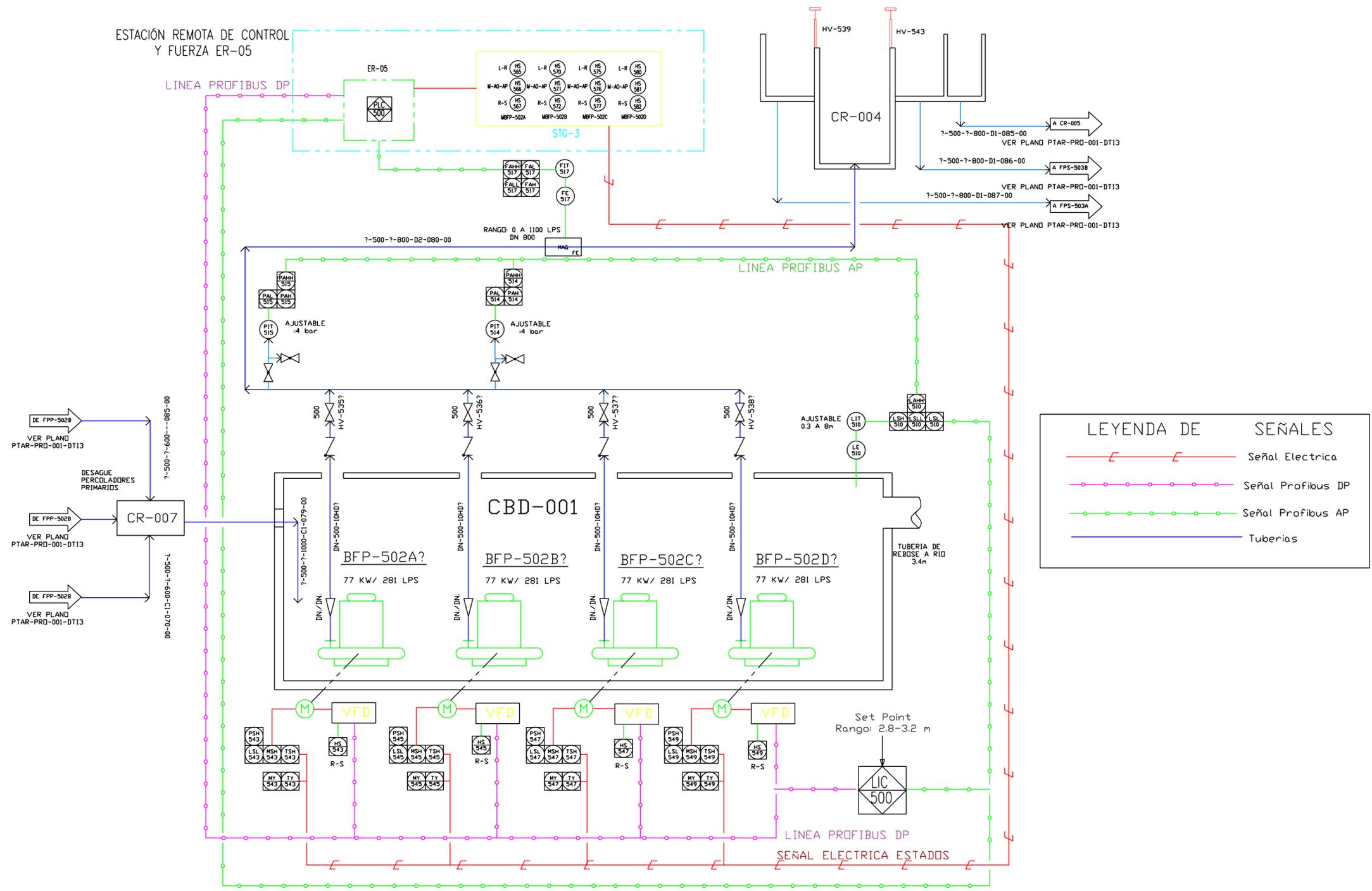
ANEXO B:

Diagrama de tuberías e instrumentación de la estación de bombeo CBD-01

CAMARA DE REUNION CR-007
DESAGUES PERCOLADORES PRIMARIOS
CONCRETO DE 1.5 X 1.5 X 2.0 m

CAMARA DE BOMBEO DE DESAGUES
PERCOLADORES PRIMARIOS CBD-001
EN CONCRETO.
NIVEL MINIMO: 1.60m; MAXIMO 3.15m

CAMARA DE REUNION, CR-004
DESAGUE PERCOLADORES PRIMARIOS A PERCOLADORES SECUNDARIOS.
CONCRETO-CUADRANGULAR DE 6 CAMARAS DE PROFUNDIDAD 3.11m
DE ALTURA Y REBOSE 2.39m



LEYENDA DE SEÑALES	
	Señal Electrica
	Señal Profibus DP
	Señal Profibus AP
	Tuberias

Unidad	Nombre	Fecha	Planta de Tratamiento de Agua Residual Cusco Sedacusco
mm	Dibujado Cesar E. Segundo	06/04/2021	
	Revisado Cesar E. Segundo	10/02/2022	
Escala: 1.1	Tema: Lazo de Control Cerrado CBD01		N° Plano: 01-CBD01-PTAR-22

ANEXO C

Filosofía de modo de operación de la estación de bombeo CBD-01.

MODOS DE OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO CBD-01

- **Local-Manual (L-M):** Bajo este modo, habilita los diferentes equipos seleccionados a través de los selectores correspondientes, ver (**Tabla 1**).

Tabla 1

Selección de modo Local-Manual.

Elemento	Descripción	Selector	Posición	Selector	Posición
MBFP-502A	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-565	L	HS-566	M
MBFP-502B	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-570	L	HS-570	M
MBFP-502C	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-575	L	HS-576	M
MBFP-502D	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-580	L	HS-581	M

Bajo este modo, el operador podrá arrancar o parar los equipos que requiera el sub-proceso a través de las botoneras de campo que se encuentra en el tablero de control y fuerza. Se podrá operar indistintamente, el operador deberá estar al cuidado de la operación de los mismos, podrá eventualmente preverse que las bombas de impulsión a los filtros percoladores secundarios; BFP-502A, BFP-502B, BFP-502C y BFP-502D, se protejas por bajo nivel a través de una boya de nivel bajo que es independientemente de los modos de operación.

- **Local-Automático Operador (L-AO):** Este modo de operación, se habilita a través de los selectores de los tableros para cada bomba, ver (**Tabla 2**).

Tabla 2*Selección de modo Local-Automático Operador.*

Elemento	Descripción	Selector	Posición	Selector	Posición
MBFP-502A	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-565	L	HS-566	AO
MBFP-502B	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-570	L	HS-570	AO
MBFP-502C	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-575	L	HS-576	AO
MBFP-502D	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-580	L	HS-581	AO

Las selecciones se registran y queda configurada para operar cada vez que se seleccione el modo de operación automático operador y si se requiere hacer un cambio (arrancar, detener y/o ajustar la frecuencia de variador) deberá ingresar al menú correspondiente y hacer un cambio, una vez realizado el operador debe reestablecer manualmente la operación a través de las botoneras virtuales de la pantalla de operador HMI.

Para arrancar y parar los equipos, debe accionar los botones virtuales y ajustar la velocidad del variador de acuerdo al caudal que se deba manejar, existe un mínimo de 48 Hz y un máximo de 60 Hz y se pueda fijar el valor en el cuadro de selección previstos para tal efecto en la pantalla HMI del tablero de control de la ER05.

La operación de las bombas queda protegida por medio del sensor de nivel LIT-510 por bajo nivel y alto nivel, en el primer caso la bomba para y no arranca y en el segundo, se genera una alarma que deberá ser atendida por el operador.

Los sensores de Presión PIT-512, PIT-513 protegen las bombas en caso que se activa alarmas de presión baja y presión alta.

- **Local-Automático Programado (L-AP):** Este modo de operación se habilita a través de los selectores de los tableros para cada bomba (**Tabla 3**).

Tabla 3

Selección de modo Local-Automático Programador.

Elemento	Descripción	Selector	Posición	Selector	Posición
MBFP-502A	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-565	L	HS-566	AP
MBFP-502B	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-570	L	HS-570	AP
MBFP-502C	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-575	L	HS-576	AP
MBFP-502D	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-580	L	HS-581	AP

Cada vez que se realiza un cambio en los modos de operación el operador deberá ingresar al menú correspondiente y habilitar las bombas para su operación.

NOTA. **Cuando se hace un cambio con los equipos trabajando, éstos paran automáticamente y arrancan de nuevo al reanudar su ejecución.*

Se monitorea el nivel de la cámara de desagüe de dicha estación de bombeo y, en función del nivel arrancan las bombas con una frecuencia que es libremente ajustable, la selección de las bombas es de acuerdo a las necesidades del operador y del requerimiento de planta. Estas bombas se seleccionan desde el HMI y/o de la estación central SCADA y al iniciar su funcionamiento trabajan en base al nivel de agua en el cárcamo de bombeo. Su secuencia de apagado es en función a la disminución del nivel de agua, ver (**Tabla 4**).

Tabla 4*Modulación de las frecuencias del variador en modo Local-Automático Programado.*

Nivel (m)	BFP-502A	BFP-502B	BFP-502C	BFP-502D
<1.7	0	0	0	0
1.1 A 1.9	50 Hz	0	0	0
2.1 a 2.3	60 Hz	50 Hz	0	0
2.5 a 2.7	60 Hz	60 Hz	50 Hz	---
>2.7	60 Hz	60 Hz	60 Hz	---

La bomba que permanece parada es la bomba de reserva; el orden y los niveles, así como la frecuencia del variador podrán ajustarse según se requiera y será responsabilidad del supervisor hacer los cambios, la frecuencia del variador es ajustable desde la estación central SCADA y opera a esa frecuencia como máximo.

El sensor de Flujo FIT-517 registra el caudal puntual y acumulado de los desagües de los filtros primarios hacia los filtros secundarios. En caso que no se registra flujo y las bombas estén operando se activa una alarma apagando las bombas.

La presión en línea de bombeo se monitorea por medio de los sensores PIT-512 para las bombas BFP-502A/B y PIT-513 para las bombas BFP-502C/D. En caso que se registre una presión mayor al límite se apaga las bombas y entra la bomba de relevo o bien decidida por el operador de turno.

- **Remoto-Automático Operador (R-AO):** Este modo de operación, se habilita a través de los selectores de los tableros para cada bomba, ver (**Tabla 5**).

Tabla 5*Selección modo Remoto-Automático Operador.*

Elemento	Descripción	Selector	Posición	Selector	Posición
MBFP-502A	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-565	R	HS-566	AO
MBFP-502B	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-570	R	HS-570	AO
MBFP-502C	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-575	R	HS-576	AO
MBFP-502D	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-580	R	HS-581	AO

La operación de este modo es similar al modo de operación de **local-automático operador**, con la diferencia que la selección de las bombas, el arranque – apagado, el ajuste de la velocidad solo se realiza a través de la estación central SCADA.

- **Remoto-Automático Programado (R-AP):** Este modo de operación, se habilita a través de los selectores de los tableros para cada bomba, ver (**Tabla 6**).

Tabla 6*Selección modo Remoto-Automático Programado.*

Elemento	Descripción	Selector	Posición	Selector	Posición
MBFP-502A	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-565	R	HS-566	AP
MBFP-502B	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-570	R	HS-570	AP
MBFP-502C	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-575	R	HS-576	AP
MBFP-502D	Motor bomba impulsión a filtros percoladores secundarios/CR-004	HS-580	R	HS-581	AP

La operación de este modo es igual a la operación *de Local/Automático Programado*.

ANEXO D

Lista de variables de entradas y salidas digitales del controlador PLC

N°	Equipo-PLC	Tag_PLC	ALCANCE	Descripcion	Localización del Tag	TIPO DE VARIABLE	TIPO DE DATOS	ESTADO	Observación
1	500-ER-05	STS_PIDE	CONTROLLER	Habilitado / Deshabilitado modo Control PID	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
2	500-ER-05	Temp_PIDE	CONTROLLER	Habilitar / Deshabilitar modo Control PID	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
3	500-ER-05	CONF_SEL_PIDE	CONTROLLER	Confirmar la selección de Temp_PIDE	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
4	500-ER-05	DISCONF_SEL_PIDE	CONTROLLER	Cancelar selección de Temp_PIDE	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
5	500-ER-05	STS_PIDE_B1	CONTROLLER	Estado de bomba 1 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
6	500-ER-05	STS_PIDE_B2	CONTROLLER	Estado de bomba 2 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
7	500-ER-05	STS_PIDE_B3	CONTROLLER	Estado de bomba 3 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
8	500-ER-05	STS_PIDE_B4	CONTROLLER	Estado de bomba 4 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
9	500-ER-05	ACT_CMD_B1_1	CONTROLLER	Comando bomba1 activa para un total de una bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
10	500-ER-05	ACT_CMD_B1_2	CONTROLLER	Comando bomba2 activa para un total de una bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
11	500-ER-05	ACT_CMD_B1_3	CONTROLLER	Comando bomba3 activa para un total de una bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
12	500-ER-05	ACT_CMD_B1_4	CONTROLLER	Comando bomba4 activa para un total de una bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
13	500-ER-05	ACT_CMD_B2_1	CONTROLLER	Comando bomba1 activa para un total de dos bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
14	500-ER-05	ACT_CMD_B2_2	CONTROLLER	Comando bomba2 activa para un total de dos bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
15	500-ER-05	ACT_CMD_B2_3	CONTROLLER	Comando bomba3 activa para un total de dos bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
16	500-ER-05	ACT_CMD_B2_4	CONTROLLER	Comando bomba4 activa para un total de dos bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
17	500-ER-05	ACT_CMD_B3_1	CONTROLLER	Comando bomba1 activa para un total de tres bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
18	500-ER-05	ACT_CMD_B3_2	CONTROLLER	Comando bomba2 activa para un total de tres bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
19	500-ER-05	ACT_CMD_B3_3	CONTROLLER	Comando bomba3 activa para un total de tres bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
20	500-ER-05	ACT_CMD_B3_4	CONTROLLER	Comando bomba4 activa para un total de tres bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
21	500-ER-05	ACT_CMD_B4_1	CONTROLLER	Comando bomba1 activa para un total de cuatro bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
22	500-ER-05	ACT_CMD_B4_2	CONTROLLER	Comando bomba2 activa para un total de cuatro bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
23	500-ER-05	ACT_CMD_B4_3	CONTROLLER	Comando bomba3 activa para un total de cuatro bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
24	500-ER-05	ACT_CMD_B4_4	CONTROLLER	Comando bomba4 activa para un total de cuatro bomba	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
25	500-ER-05	HAB_B01	CONTROLLER	habilitar Bomba1 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
26	500-ER-05	HAB_B02	CONTROLLER	habilitar Bomba2 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----

27	500-ER-05	HAB_B03	CONTROLLER	habilitar Bomba3 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
28	500-ER-05	HAB_B04	CONTROLLER	habilitar Bomba4 en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	BOOL	IN-OUT	----
29	500-ER-05	N_Pump_Act	CONTROLLER	N° bombas Habilitadas en modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	INTEGER	IN-OUT	----
30	500-ER-05	Id_Pump_On	CONTROLLER	Identificador que bombas estan Activas	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEL_CBD01_PIDE	BASE	DINT	IN-OUT	----
31	500-ER-05	CMD1_B1_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 1 para una bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
32	500-ER-05	CMD1_B2_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 2 para una bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
33	500-ER-05	CMD1_B3_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 3 para una bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
34	500-ER-05	CMD1_B4_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 4 para una bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
35	500-ER-05	CMD2_B2_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 2 para dos bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
36	500-ER-05	CMD2_B3_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 3 para dos bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
37	500-ER-05	CMD2_B3_OFF2	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 3 para dos bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
38	500-ER-05	CMD2_B4_OFF2	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 4 para dos bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
39	500-ER-05	CMD2_B4_OFF3	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 4 para dos bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
40	500-ER-05	CMD3_B3_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 3 para tres bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
41	500-ER-05	CMD3_B2_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 2 para tres bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
42	500-ER-05	CMD3_B4_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 4 para tres bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
43	500-ER-05	CMD3_B2_OFF2	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 2 para tres bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
44	500-ER-05	CMD3_B4_OFF2	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 4 para tres bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
45	500-ER-05	CMD4_B4_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 4 para cuatro bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
46	500-ER-05	CMD4_B3_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 3 para cuatro bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
47	500-ER-05	CMD4_B2_OFF1	CONTROLLER	Comando de Apagar Bomba 2 para cuatro bomba habilitada	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
48	500-ER-05	CMD_B1_OFF	CONTROLLER	Comando Apagar Bomba 1 en Modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
49	500-ER-05	CMD_B2_OFF	CONTROLLER	Comando Apagar Bomba 2 en Modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
50	500-ER-05	CMD_B3_OFF	CONTROLLER	Comando Apagar Bomba 3 en Modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
51	500-ER-05	CMD_B4_OFF	CONTROLLER	Comando Apagar Bomba 4 en Modo PID-Auto	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / SEC_CTRL_PUMP	BASE	BOOL	IN-OUT	----
52	500-ER-05	ACT_CBD01A	CONTROLLER	Estado de Activacion del controlador de bomba 1	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD01	BASE	BOOL	IN-OUT	----
53	500-ER-05	ACT_CBD01B	CONTROLLER	Estado de Activacion del controlador de bomba 2	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD02	BASE	BOOL	IN-OUT	----

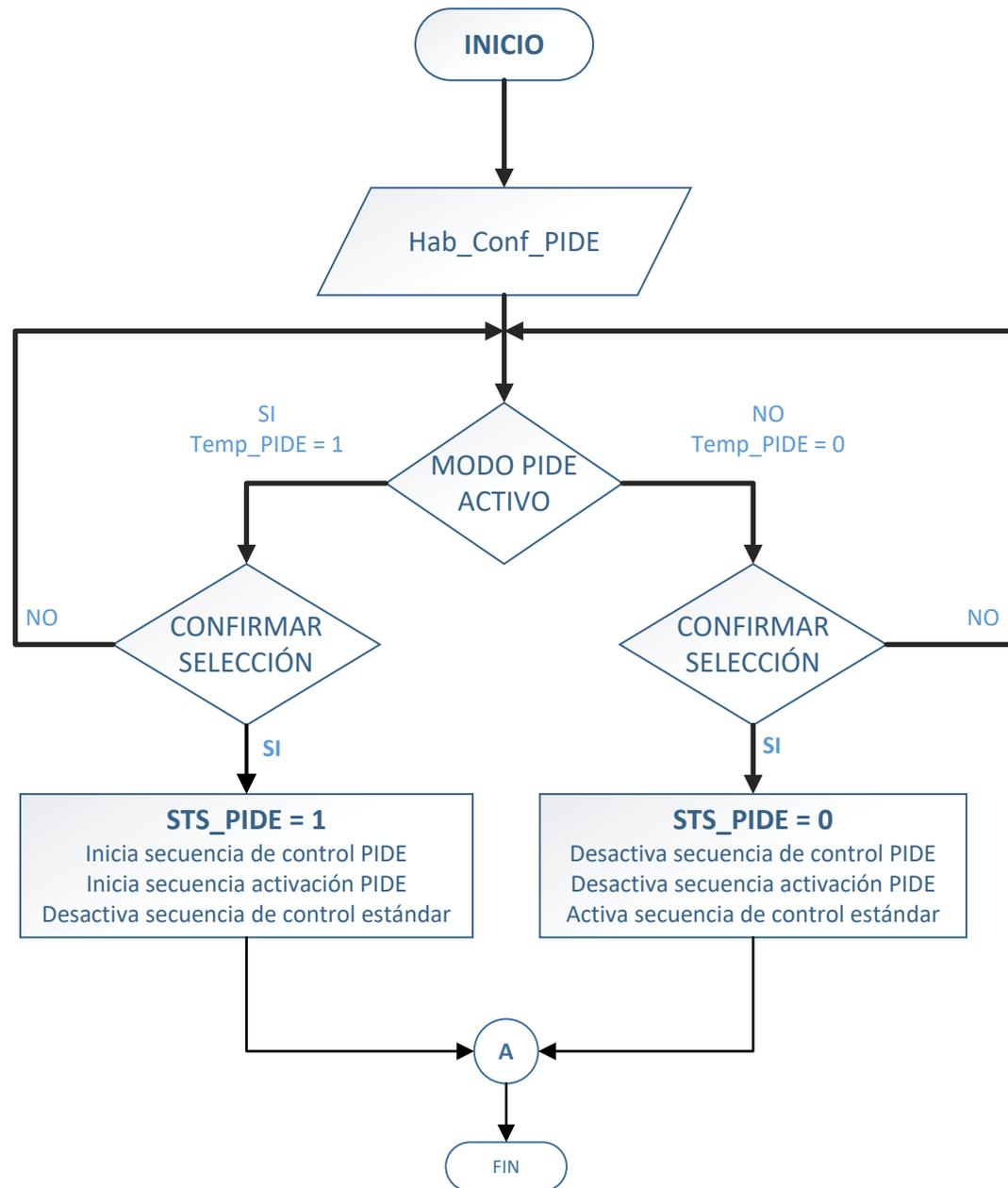
54	500-ER-05	ACT_CBD01C	CONTROLLER	Estado de Activacion del controlador de bomba 3	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD03	BASE	BOOL	IN-OUT	----
55	500-ER-05	ACT_CBD01D	CONTROLLER	Estado de Activacion del controlador de bomba 4	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD04	BASE	BOOL	IN-OUT	----
56	500-ER-05	Cod_B1_PIDE	CONTROLLER	Codigo de Estado del Controlador Bomba 1	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD05	BASE	INTEGER	IN-OUT	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)
57	500-ER-05	Cod_B2_PIDE	CONTROLLER	Codigo de Estado del Controlador Bomba 2	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD06	BASE	INTEGER	IN-OUT	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)
58	500-ER-05	Cod_B3_PIDE	CONTROLLER	Codigo de Estado del Controlador Bomba 3	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD07	BASE	INTEGER	IN-OUT	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)
59	500-ER-05	Cod_B4_PIDE	CONTROLLER	Codigo de Estado del Controlador Bomba 4	SEC_CTRL_PIDE / CONTROL_PIDE / ACT_PIDE_CBD08	BASE	INTEGER	IN-OUT	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)
60	500-ER-05	AN_LIT_510.COMM_OK	CONTROLLER	Estado de Comunicacion del transmisor LIT-510	COMUNICACIONES / PROFIBUS	BASE	BOOL	OUT	----
61	500-ER-05	B_BFP502A	SECUENCIA_MOTOR	ADD-ON SECUENCIA MOTOR 1	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
62	500-ER-05	B_BFP502A.Motor_Rdy	SECUENCIA_MOTOR	Motor Listo del Bloque B_BFP502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	OUT	----
63	500-ER-05	B_BFP502A.Motor_Iniciand	SECUENCIA_MOTOR	Motor Iniciando Bloque B_BFP502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	OUT	----
64	500-ER-05	B_BFP502A.Motor_Run	SECUENCIA_MOTOR	Motor Run del Bloque B_BFP502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	OUT	----
65	500-ER-05	B_BFP502A.HMI_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502A EN MODO L-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	OUT	----
66	500-ER-05	B_BFP502A.SCD_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502A EN MODO R-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	OUT	----
67	500-ER-05	B_BFP502A.sts_LK_CBD01	SECUENCIA_MOTOR	Estado de Bloqueo del bloque B_BFP502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	IN	----
68	500-ER-05	B_BFP502A.Reset_Hab_Motor	SECUENCIA_MOTOR	Reconocimiento de falla del bloque B_BFP502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	IN	----
69	500-ER-05	B_BFP502A.Stop_PID	SECUENCIA_MOTOR	Parrar Bomba del bloque B_BFP502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	IN	----
70	500-ER-05	B_BFP502A.LK_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Bloqueo de Inicio de Secuencia del bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	BOOL	IN	----
71	500-ER-05	B_BFP502B	SECUENCIA_MOTOR	ADD-ON SECUENCIA MOTOR 2	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
72	500-ER-05	B_BFP502B.Motor_Rdy	SECUENCIA_MOTOR	Motor Listo del Bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	OUT	----
73	500-ER-05	B_BFP502B.Motor_Iniciand	SECUENCIA_MOTOR	Motor Iniciando Bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	OUT	----
74	500-ER-05	B_BFP502B.Motor_Run	SECUENCIA_MOTOR	Motor Run del Bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	OUT	----
75	500-ER-05	B_BFP502B.HMI_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502B EN MODO L-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	OUT	----
76	500-ER-05	B_BFP502B.SCD_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502B EN MODO R-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	OUT	----
77	500-ER-05	B_BFP502B.sts_LK_CBD01	SECUENCIA_MOTOR	Estado de Bloqueo del bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	IN	----
78	500-ER-05	B_BFP502B.Reset_Hab_Motor	SECUENCIA_MOTOR	Reconocimiento de falla del bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	IN	----
79	500-ER-05	B_BFP502B.Stop_PID	SECUENCIA_MOTOR	Parrar Bomba del bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	IN	----
80	500-ER-05	B_BFP502B.LK_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Bloqueo de Inicio de Secuencia del bloque B_BFP502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	BOOL	IN	----

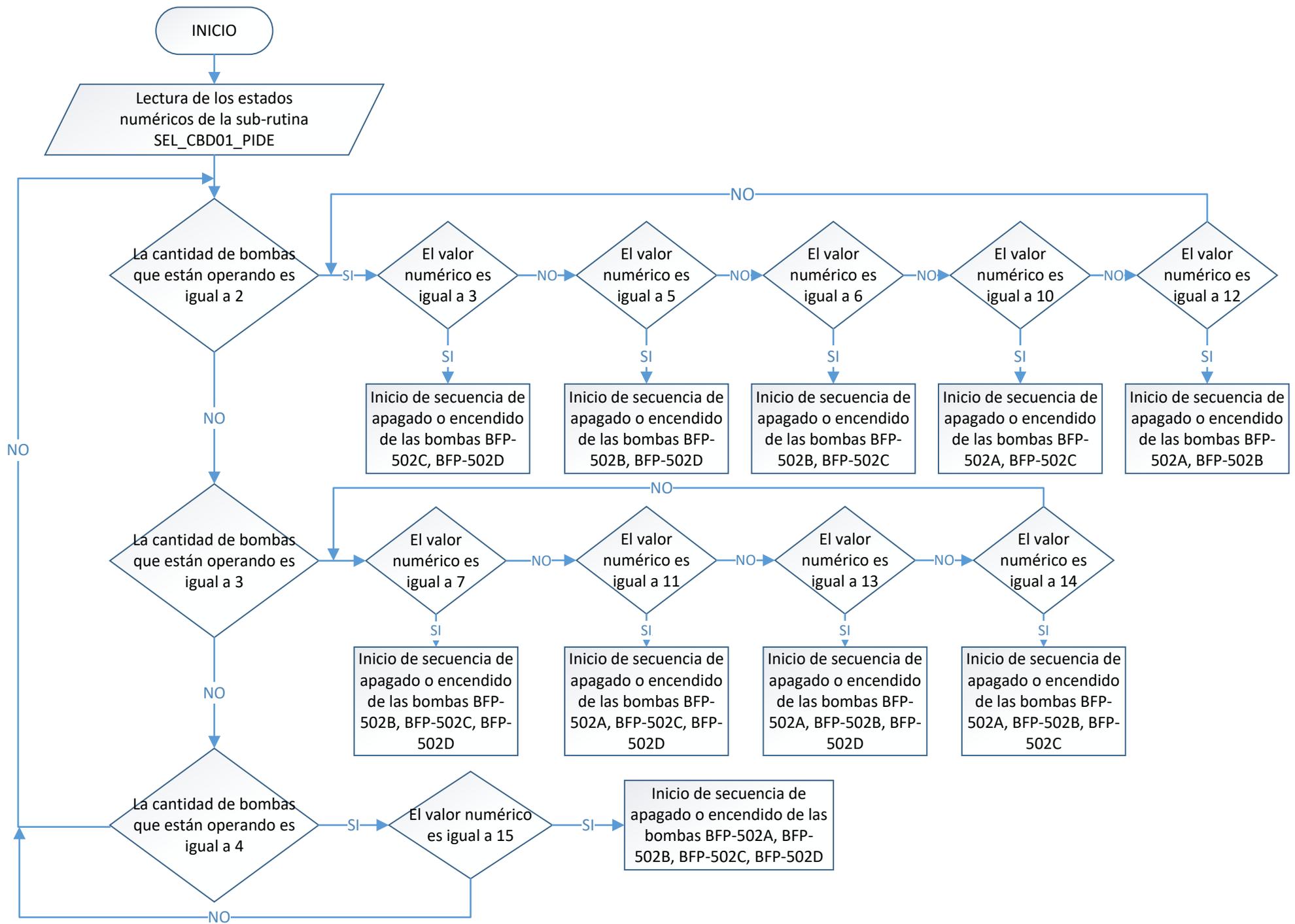
81	500-ER-05	B_BFP502C	SECUENCIA_MOTOR	ADD-ON SECUENCIA MOTOR 3	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
82	500-ER-05	B_BFP502C.Motor_Rdy	SECUENCIA_MOTOR	Motor Listo del Bloque B_BFP502C	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	OUT	----
83	500-ER-05	B_BFP502C.Motor_Iniciand	SECUENCIA_MOTOR	Motor Iniciando Bloque B_BFP502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	OUT	----
84	500-ER-05	B_BFP502C.Motor_Run	SECUENCIA_MOTOR	Motor Run del Bloque B_BFP502C	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	OUT	----
85	500-ER-05	B_BFP502C.HMI_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502C EN MODO L-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	OUT	----
86	500-ER-05	B_BFP502C.SCD_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502C EN MODO R-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	OUT	----
87	500-ER-05	B_BFP502C.sts_LK_CBD01	SECUENCIA_MOTOR	Estado de Bloqueo del bloque B_BFP502C	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	IN	----
88	500-ER-05	B_BFP502C.Reset_Hab_Motor	SECUENCIA_MOTOR	Reconocimiento de falla del bloque B_BFP502C	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	IN	----
89	500-ER-05	B_BFP502C.Stop_PID	SECUENCIA_MOTOR	Parrar Bomba del bloque B_BFP502C	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	IN	----
90	500-ER-05	B_BFP502C.LK_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Bloqueo de Inicio de Secuencia del bloque B_BFP502C	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	BOOL	IN	----
91	500-ER-05	B_BFP502D	SECUENCIA_MOTOR	ADD-ON SECUENCIA MOTOR 4	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
92	500-ER-05	B_BFP502D.Motor_Rdy	SECUENCIA_MOTOR	Motor Listo del Bloque B_BFP502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	OUT	----
93	500-ER-05	B_BFP502D.Motor_Iniciand	SECUENCIA_MOTOR	Motor Iniciando Bloque B_BFP502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	OUT	----
94	500-ER-05	B_BFP502D.Motor_Run	SECUENCIA_MOTOR	Motor Run del Bloque B_BFP502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	OUT	----
95	500-ER-05	B_BFP502D.HMI_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502D EN MODO L-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	OUT	----
96	500-ER-05	B_BFP502D.SCD_RUN	SECUENCIA_MOTOR	ARRANCAR BLOQUE PRINCIPAL DE BOMBA BFP_502D EN MODO R-AP	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	OUT	----
97	500-ER-05	B_BFP502D.sts_LK_CBD01	SECUENCIA_MOTOR	Estado de Bloqueo del bloque B_BFP502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	IN	----
98	500-ER-05	B_BFP502D.Reset_Hab_Motor	SECUENCIA_MOTOR	Reconocimiento de falla del bloque B_BFP502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	IN	----
99	500-ER-05	B_BFP502D.Stop_PID	SECUENCIA_MOTOR	Parrar Bomba del bloque B_BFP502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	IN	----
100	500-ER-05	B_BFP502D.LK_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Bloqueo de Inicio de Secuencia del bloque B_BFP502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	BOOL	IN	----
101	500-ER-05	B_BFP502A.Estado_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Código Estado del Motor_Sec BFP-502A	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502A	----	DINT	OUT	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)
102	500-ER-05	B_BFP502B.Estado_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Código Estado del Motor_Sec BFP-502B	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502B	----	DINT	OUT	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)
103	500-ER-05	B_BFP502C.Estado_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Código Estado del Motor_Sec BFP-502C	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502C	----	DINT	OUT	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)
104	500-ER-05	B_BFP502D.Estado_Sec	SECUENCIA_MOTOR	Código Estado del Motor_Sec BFP-502D	ADD-ON / SECUENCIA_MOTOR / B_BFP502D	----	DINT	OUT	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)
105	500-ER-05	PID_BFP_502A	PIDE_VFD_CBD01	ADD ON DEL CONTROLADOR PID BFP-502A	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
106	500-ER-05	PID_BFP_502A.Run	PIDE_VFD_CBD01	CONTROLADOR PID DE BOMBA 1 LISTO	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502A	----	BOOL	IN	----
107	500-ER-05	PID_BFP_502A.RDY	PIDE_VFD_CBD01	Controlador PID ejecutandose de bomba 1	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502A	----	BOOL	OUT	----

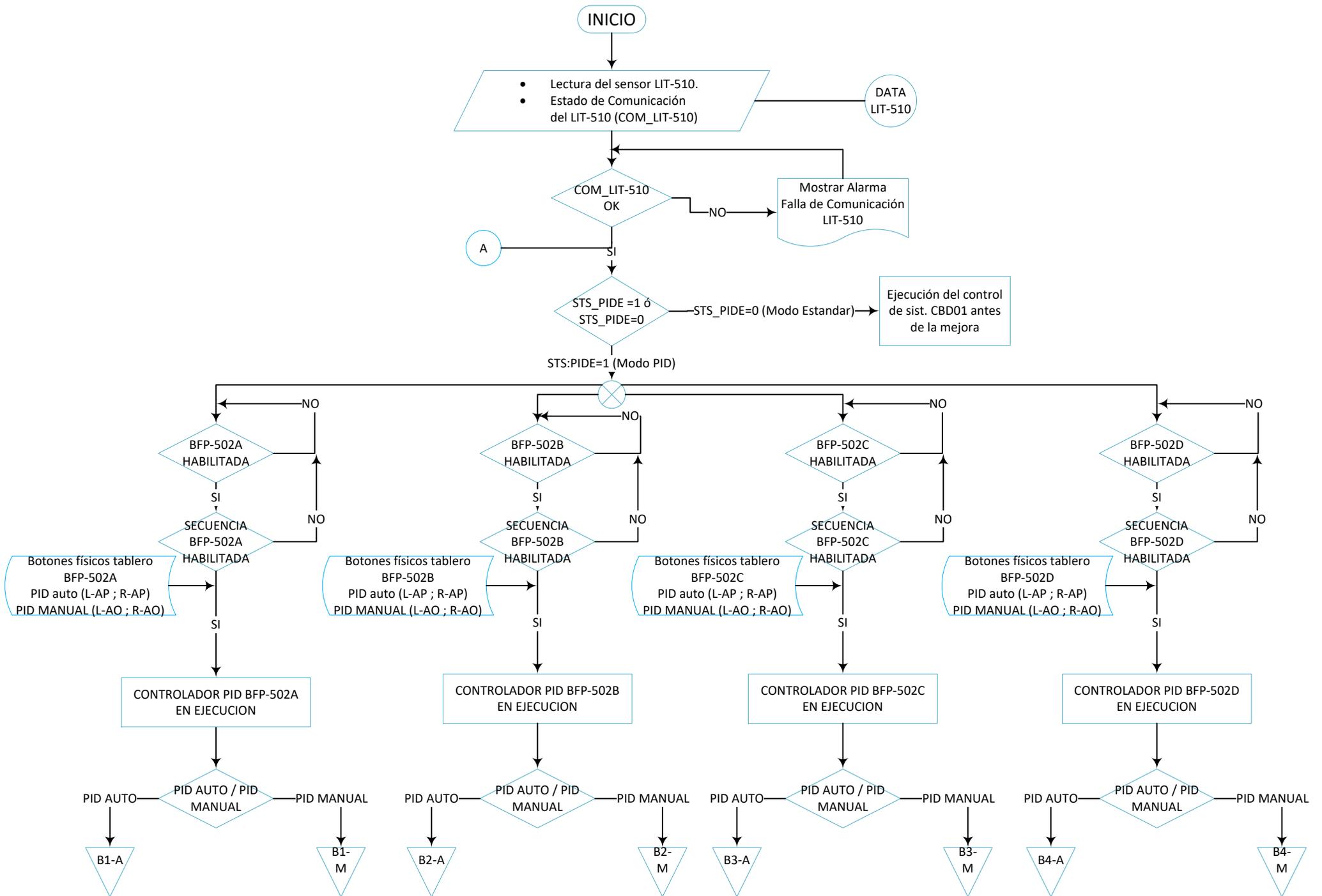
108	500-ER-05	PID_BFP_502A.CV_VFD	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Auto bomba 1	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502A	----	REAL	OUT	----
109	500-ER-05	PID_BFP_502A.Cv_Manual	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Manual bomba 1	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502A	----	REAL	IN	----
110	500-ER-05	PID_BFP_502A.Mod_Auto	PIDE_VFD_CBD01	Modo Automatico del Controlador PID de bomba 1	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502A	----	BOOL	IN-OUT	----
111	500-ER-05	PID_BFP_502A.Mod_Hand	PIDE_VFD_CBD01	Modo Manual del Controlador PID de bomba 1	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502A	----	BOOL	IN-OUT	----
112	500-ER-05	PID_BFP_502A.PID_Fault	PIDE_VFD_CBD01	Estado de Falla Del controlador PID Bomba 1	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502A	----	BOOL	OUT	----
113	500-ER-05	PID_BFP_502B	PIDE_VFD_CBD01	ADD ON DEL CONTROLADOR PID BFP-502B	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
114	500-ER-05	PID_BFP_502B.Run	PIDE_VFD_CBD01	CONTROLADOR PID DE BOMBA 2 LISTO	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502B	----	BOOL	IN	----
115	500-ER-05	PID_BFP_502B.RDY	PIDE_VFD_CBD01	Controlador PID ejecutandose de bomba 2	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502B	----	BOOL	OUT	----
116	500-ER-05	PID_BFP_502B.CV_VFD	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Auto bomba 2	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502B	----	REAL	OUT	----
117	500-ER-05	PID_BFP_502B.Cv_Manual	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Manual bomba 2	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502B	----	REAL	IN	----
118	500-ER-05	PID_BFP_502B.Mod_Auto	PIDE_VFD_CBD01	Modo Automatico del Controlador PID de bomba 2	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502B	----	BOOL	IN-OUT	----
119	500-ER-05	PID_BFP_502B.Mod_Hand	PIDE_VFD_CBD01	Modo Manual del Controlador PID de bomba 2	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502B	----	BOOL	IN-OUT	----
120	500-ER-05	PID_BFP_502B.PID_Fault	PIDE_VFD_CBD01	Estado de Falla Del controlador PID Bomba 2	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502B	----	BOOL	OUT	----
121	500-ER-05	PID_BFP_502C	PIDE_VFD_CBD01	ADD ON DEL CONTROLADOR PID BFP-502C	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
122	500-ER-05	PID_BFP_502C.Run	PIDE_VFD_CBD01	CONTROLADOR PID DE BOMBA 3 LISTO	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502C	----	BOOL	IN	----
123	500-ER-05	PID_BFP_502C.RDY	PIDE_VFD_CBD01	Controlador PID ejecutandose de bomba 3	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502C	----	BOOL	OUT	----
124	500-ER-05	PID_BFP_502C.CV_VFD	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Auto bomba 3	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502C	----	REAL	OUT	----
125	500-ER-05	PID_BFP_502C.Cv_Manual	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Manual bomba C	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502C	----	REAL	IN	----
126	500-ER-05	PID_BFP_502C.Mod_Auto	PIDE_VFD_CBD01	Modo Automatico del Controlador PID de bomba 3	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502C	----	BOOL	IN-OUT	----
127	500-ER-05	PID_BFP_502C.Mod_Hand	PIDE_VFD_CBD01	Modo Manual del Controlador PID de bomba 3	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502C	----	BOOL	IN-OUT	----
128	500-ER-05	PID_BFP_502C.PID_Fault	PIDE_VFD_CBD01	Estado de Falla Del controlador PID Bomba 3	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502C	----	BOOL	OUT	----
129	500-ER-05	PID_BFP_502D	PIDE_VFD_CBD01	ADD ON DEL CONTROLADOR PID BFP-502D	ADD-ON INSTRUCTIONS	ADD-ON	----	----	----
130	500-ER-05	PID_BFP_502D.Run	PIDE_VFD_CBD01	CONTROLADOR PID DE BOMBA 4 LISTO	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502D	----	BOOL	IN	----
131	500-ER-05	PID_BFP_502D.RDY	PIDE_VFD_CBD01	Controlador PID ejecutandose de bomba 4	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502D	----	BOOL	OUT	----
132	500-ER-05	PID_BFP_502D.CV_VFD	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Auto bomba 4	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502D	----	REAL	OUT	----
133	500-ER-05	PID_BFP_502D.Cv_Manual	PIDE_VFD_CBD01	Variable manipulada del controlador PID-Manual bomba 4	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502D	----	REAL	IN	----
134	500-ER-05	PID_BFP_502D.Mod_Auto	PIDE_VFD_CBD01	Modo Automatico del Controlador PID de bomba 4	ADD-ON / PIDE_VFD_CBD01 / PID_BFP_502D	----	BOOL	IN-OUT	----

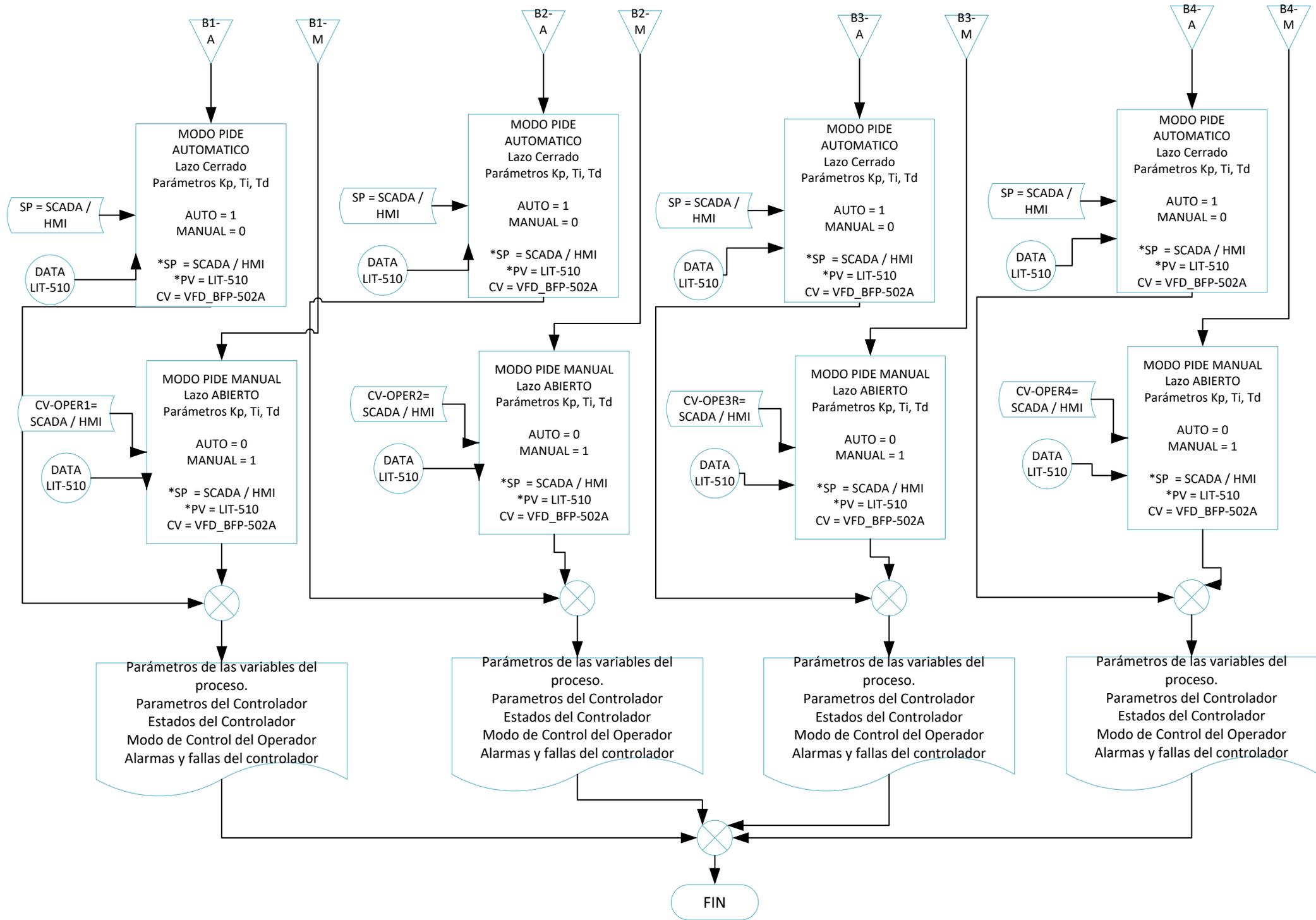
ANEXO E

Flujograma de secuencia lógica de control









ANEXO F

Lista de variables de entradas y salidas para el diseño de HMI Panel View Plus 1000.

N°	VARIABLE DEL HMI	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	TIPO DE ACCESO	TIPO VARIABLE PLC	LOCALIZACIÓN PLC	OBSERVACIÓN	ANIMACIÓN 1	ANIMACIÓN 2
1	Hab1_Conf_PIDE	Bit de Habilitación del modo PIDE	S/U	Write	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	indicador verde =1
2	Hab2_Conf_PIDE	Bit de Deshabilitación del modo PIDE	S/U	Write	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	indicador verde =0
3	STS_PIDE	Estatus de del modo PID activo	S/U	Read	Bool	Controlador	-----	Indicador verde = 1 ; Indicador gris =0	PID ACTIVO = 1 ; ESTANDAR ACTIVO =0
4	CONF_SEL_PIDE	Contacto de confirmación de la selección del modo PIDE	S/U	Write	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	-----
5	DISCONF_SEL_PIDE	contacto de cancelacion de la selección del modo PIDE	S/U	Write	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	-----
6	B_BFP502A.Estado_Sec	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Read	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
7	B_BFP502B.Estado_Sec	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Read	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
8	B_BFP502C.Estado_Sec	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Read	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
9	B_BFP502D.Estado_Sec	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Read	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
10	Reset_Operad1	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	Read	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
11	Reset_Operad2	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	Read	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
12	Reset_Operad3	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	Read	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
13	Reset_Operad4	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	Read	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
14	Cod_B1_PIDE	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Read	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
15	Cod_B2_PIDE	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Read	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
16	Cod_B3_PIDE	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Read	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
17	Cod_B4_PIDE	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Read	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
18	G_PROPORCIONAL	Parametro de ganancia Proporcional	S/U	Read	REAL	Controlador	-----	Indicador Texto	-----
19	G_INTEGRATIVO	Parametro de ganancia Proporcional	S/U	Read	REAL	Controlador	-----	Indicador Texto	-----

20	G_DERIVATIVO	Parametro de ganancia Proporcional	S/U	Read	REAL	Controlador	----	Indicador Texto	----
21	SET_POINT	Parametro de Punto de Referencia	m	Read/Writte	REAL	Controlador	----	Boton Escritura	Tendencia Grafica
22	SP_FeedBack	Parametro de confirmación del valor de setpoint	m	Read	Bool	Controlador	----	----	----
23	E_Ctrl	Parametro de Error del controlador PID		Read	REAL	Controlador	----	Indicador Texto	----
24	PID_BFP_502A.MOD_AUTO	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
25	PID_BFP_502B.MOD_AUTO	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
26	PID_BFP_502C.MOD_AUTO	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
27	PID_BFP_502D.MOD_AUTO	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
28	PID_BFP_502A.MOD_HAND	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
29	PID_BFP_502B.MOD_HAND	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
30	PID_BFP_502C.MOD_HAND	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
31	PID_BFP_502D.MOD_HAND	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Read	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto
32	PID_BFP_502A.HIGH_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502A.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502A.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
33	PID_BFP_502B.HIGH_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502B.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502B.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
34	PID_BFP_502C.HIGH_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502C.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502C.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
35	PID_BFP_502D.HIGH_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502D.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502D.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
36	PID_BFP_502A.LOW_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502A.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502A.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
37	PID_BFP_502B.LOW_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502B.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502B.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
38	PID_BFP_502C.LOW_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502C.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502C.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
39	PID_BFP_502D.LOW_CV	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Read	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502D.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502D.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas
40	PID_BFP_502A.CV_VFD	Variable Manipulada del BFP-502A	Hz	Read	Real	PIDE_VFD_CBD01	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica
41	PID_BFP_502B.CV_VFD	Variable Manipulada del BFP-502B	Hz	Read	Real	PIDE_VFD_CBD02	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica
42	PID_BFP_502C.CV_VFD	Variable Manipulada del BFP-502C	Hz	Read	Real	PIDE_VFD_CBD03	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica
43	PID_BFP_502ADC.V_VFD	Variable Manipulada del BFP-502D	Hz	Read	Real	PIDE_VFD_CBD04	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica

ANEXO G

Lista de variables de entradas y salidas para el diseño de sistema SCADA VTScada

v10.2

N°	VARIABLE SCADA	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	TIPO VARIABLE SCADA	TIPO DE ACCESO	LOCALIZACIÓN SCADA	VARIABLE DEL CONTROLADOR	TIPO VARIABLE PLC	LOCALIZACIÓN PLC	OBSERVACIÓN	ANIMACIÓN 1	ANIMACIÓN 2
1	HAB_MOD0_PID	Bit de Habilitación del modo PIDE	S/U	Digital Control/Bool	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/SELECCIÓN	Hab1_Conf_PIDE	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	indicador verde =1
2	DESHAB_MOD0_PID	Bit de Deshabilitación del modo PIDE	S/U	Digital Control/Bool	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	Hab2_Conf_PIDE	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	indicador verde =0
3	STS_PID_ACT	Estatus de del modo PID activo	S/U	Digital Status/Bool	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	STS_PIDE	Bool	Controlador	-----	Indicador verde = 1 ; Indicador gris =0	PID ACTIVO = 1 ; ESTANDAR ACTIVO =0
4	-----	Contacto de confirmación de la selección del modo PIDE	S/U	-----	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	CONF_SEL_PIDE	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	-----
5	-----	contacto de cancelación de la selección del modo PIDE	S/U	-----	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	DISCONF_SEL_PIDE	Bool	Controlador	-----	Boton on/off virtual	-----
6	N_PUMP_AUTOM_PID	Estado del numero de bombas activas en modo PID automatico	S/U	Analog Status/INT	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	N_PUMP_ACT	INT	Controlador	-----	Indicador Texto	-----

7	STS_BFP502A_SEC	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	B_BFP502A.Estado_Sec	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
8	STS_BFP502B_SEC	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	B_BFP502B.Estado_Sec	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
9	STS_BFP502C_SEC	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	B_BFP502C.Estado_Sec	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
10	STS_BFP502D_SEC	ESTADOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	B_BFP502D.Estado_Sec	DINT	SECUENCIA_MOTOR	=0 (Motor Stop ; = 1 (Motor Run ; = 2 (Motor Falla ; = 3 (Motor Iniciando)	Indicador Texto	Rojo=0 ; verde=1 ; amarillo-rojo =2 ; azul =3
11	Reset_fault_scd1	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	-----	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	Reset_Operad1	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
12	Reset_fault_scd2	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	-----	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	Reset_Operad2	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
13	Reset_fault_scd3	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	-----	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	Reset_Operad3	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
14	Reset_fault_scd4	Bit de Reconocimiento de Falla	S/U	-----	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_CBD01	Reset_Operad4	Bool	Controlador	-----	Boton virtual On/off	Visible =1 ; no Visible = 0
15	STS_PID_BFP 502A	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	Cod_B1_PIDE	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
16	STS_PID_BFP 502B	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	Cod_B2_PIDE	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
17	STS_PID_BFP 502C	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	Cod_B3_PIDE	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
18	STS_PID_BFP 502D	Estados de Operación del controlador PIDE	S/U	Analog Status	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	Cod_B4_PIDE	DINT	Controlador	= 0 (PID Stop) , = 1 (PID Run) , = 2 (PID en Falla)	Indicador Texto	Listo=1 ; Ejecutando=2 ; Falla =3
19	Kc_PID	Parametro de ganancia Proporcional	S/U	Analog Status	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	G_PROPORCIONAL	REAL	Controlador	-----	Indicador Texto	-----
20	Tl_PID	Parametro de ganancia Proporcional	S/U	Analog Status	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	G_INTEGRATIVO	REAL	Controlador	-----	Indicador Texto	-----
21	Td_PID	Parametro de ganancia Proporcional	S/U	Analog Status	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	G_DERIVATIVO	REAL	Controlador	-----	Indicador Texto	-----
22	SP_REF_CBD01/REAL	Parametro de Punto de Referencia	m	Analog Control	Read/Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	SET_POINT	REAL	Controlador	-----	Boton Escritura	Tendencia Grafica
23	SP_FDBK_REF	Parametro de confirmación del valor de setpoint	m	Analog Status	Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	SP_FeedBack	Bool	Controlador	-----	-----	-----
24	Err_CTRL_PID	Parametro de Error del controlador PID		Analog Status	Write	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	E_Ctrl	REAL	Controlador	-----	Indicador Texto	-----

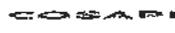
25	STS_AUTO_PID_BFP502A	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502A.MOD_AUTO	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
26	STS_AUTO_PID_BFP502B	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502B.MOD_AUTO	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
27	STS_AUTO_PID_BFP502C	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502C.MOD_AUTO	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
28	STS_AUTO_PID_BFP502D	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502D.MOD_AUTO	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
29	STS_HAND_PID_BFP502A	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502A.MOD_HAND	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
30	STS_HAND_PID_BFP502B	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502B.MOD_HAND	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
31	STS_HAND_PID_BFP502C	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502C.MOD_HAND	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
32	STS_HAND_PID_BFP502D	Estatus del controlador PID en modo Automatico Activo	S/U	Digital Status	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502D.MOD_HAND	Bool	PIDE_VFD_CBD01	----	Codigo Script	Indicador Texto	
33	HIGH_CV_BFP502A	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502A.HIGH_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502A.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502A.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
34	HIGH_CV_BFP502B	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502B.HIGH_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502B.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502B.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
35	HIGH_CV_BFP502C	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502C.HIGH_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502C.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502C.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
36	HIGH_CV_BFP502D	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502D.HIGH_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502D.HH_PV) ; =1 (PID_BFP_502D.LL_PV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
			S/U										
37	LOW_CV_BFP502A	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502A.LOW_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502A.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502A.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
38	LOW_CV_BFP502B	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502B.LOW_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502B.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502B.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
39	LOW_CV_BFP502C	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502C.LOW_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502C.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502C.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
40	LOW_CV_BFP502D	Estado multiple del limite de alarmas del controlador PID	S/U	Digital Status/Alarmas	Read/Writte	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ALARMAS	PID_BFP_502D.LOW_CV	Bool	Controlador	=0 (PID_BFP_502D.HIGH_CV) ; =1 (PID_BFP_502D.LOW_CV)	Indicador Rojo =1 ; indicador Gris = 0	Cuadro de Alarmas	
41	CV_VFD_B1 Real	Variable Manipulada del BFP-502A	Hz	REAL/Analogo control	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502A.CV_VFD	Real	PIDE_VFD_CBD01	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica	
42	CV_VFD_B2 Real	Variable Manipulada del BFP-502B	Hz	REAL/Analogo control	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502B.CV_VFD	Real	PIDE_VFD_CBD02	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica	
43	CV_VFD_B3 Real	Variable Manipulada del BFP-502C	Hz	REAL/Analogo control	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502C.CV_VFD	Real	PIDE_VFD_CBD03	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica	
44	CV_VFD_B4 Real	Variable Manipulada del BFP-502D	Hz	REAL/Analogo control	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	PID_BFP_502ADC.V_VFD	Real	PIDE_VFD_CBD04	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica	
45	CV_Promed	Variable Manipulada Promedio en %	%	REAL/Analogo control	Read	CIP_ER_05/SECUENCIAS/ESTADOS_CTRL_PID	CV_Porcent	Real	Controlador	----	Indicador Texto ; Barra Analogica	Tendencia Grafica	

N°	Tags	Descripción	Valores		
			Normal	Alarma	Bloqueo
1	PID_BFP_502A.HIGH_CV	Alarma de Nivel alto de Frecuencia VFD BFP-502A	< 59	>=59	>60
2	PID_BFP_502B.HIGH_CV	Alarma de Nivel alto de Frecuencia VFD BFP-502B	< 59	>=59	>60
3	PID_BFP_502C.HIGH_CV	Alarma de Nivel alto de Frecuencia VFD BFP-502AC	< 59	>=59	>60
4	PID_BFP_502D.HIGH_CV	Alarma de Nivel alto de Frecuencia VFD BFP-502D	< 59	>=59	>60
5	PID_BFP_502A.LOW_CV	Alarma de Nivel bajo de Frecuencia VFD BFP-502A	>46	<=46	----
6	PID_BFP_502B.LOW_CV	Alarma de Nivel bajo de Frecuencia VFD BFP-502B	>46	<=46	----
7	PID_BFP_502C.LOW_CV	Alarma de Nivel bajo de Frecuencia VFD BFP-502C	>46	<=46	----
8	PID_BFP_502D.LOW_CV	Alarma de Nivel bajo de Frecuencia VFD BFP-502D	>46	<=46	----
9	B_BFP502A.Estado_Sec	Falla de Arranque del Motor BFP-502A	----	= 2	trip
10	B_BFP502B.Estado_Sec	Falla de Arranque del Motor BFP-502B	----	= 2	trip
11	B_BFP502C.Estado_Sec	Falla de Arranque del Motor BFP-502C	----	= 2	trip
12	B_BFP502D.Estado_Sec	Falla de Arranque del Motor BFP-502D	----	= 2	trip
13	PID_BFP_502A.PID_Fault	Falla del Controlador PID BFP-502A	----	= 2	trip
14	PID_BFP_502B.PID_Fault	Falla del Controlador PID BFP-502B	----	= 2	trip
15	PID_BFP_502C.PID_Fault	Falla del Controlador PID BFP-502C	----	= 2	trip
16	PID_BFP_502D.PID_Fault	Falla del Controlador PID BFP-502D	----	= 2	trip
17	AN_LIT_510.COMM_OK	Falla en la Comunicación LIT-510	----	= 0	trip

ANEXO H

Fichas técnicas de Equipos.

- **Sensor Transmisor LIT-510.**
- **Controlador Lógico CompactLogix L33ER**

 Aguas Latinas Perú Tratamiento de Agua en América Latina	TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASONIDO				SPEC. No. ER5	REV B
	NO	BY	DATE	REVISION	SHEET OF	
	1	JR	17/10/2012	A	1	1
			B			DATE 13-11-12 APPR.
						P.O. REQ.

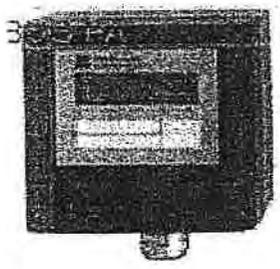
PROYECTO "AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE CUJSCO - COMPONENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN JERÓNIMO- REGIÓN CUSCO"

GENERAL	1	TAG	LIT-510
	2	Descripción	Transmisor indicador de nivel
	3	Función	Medidor indicador de nivel de la cámara CBD-1 (6m)
	4	Certificado y aprobaciones	EN60529, EN61326, NAMUR
TRANSMISOR	5	Número de parte	FMU41-AND2A2
	6	Modelo	FMU41
	7	Descripción	Con indicador local y pantalla de configuración
	8	Tipo	Transmisor compacto sensor y transmisor
	9	Principio de medición	Por pulsos ultrasonicos hacia la superficie de medición
	10	Señal de salida	-
	11	Rango de medida	0.35 a 8 m
	12	Frecuencia	50 kHz
	13	Precisión	1 mm
	14	Temperatura ambiente	-40 a 80°C
	15	Comunicación	Profibus PA
	16	Software de configuración	Field Care
	17	Material de caja	Fundición de aluminio
	18	Grado de protección	IP68 / NEMA 6P
	19	Alimentación	Por el bus de comunicación profibus PA
SENSOR	23	Angulo del haz	11°
	25	Temperatura de proceso	-40 a 80°C
	26	Material	PVDF
INDICADOR	27	Conexión al proceso	Thread ANSI NPT2, PVDF
	28	Número de parte	RID261-A23
	29	Descripción	Display universal en profibus PA; LCD de 7 dígitos
	30	Comunicación	Profibus PA
FABRICANTE	31	Alimentación	Por el bus de comunicación profibus PA
	32	Temperatura Operación	-25 a 60°C
	33	Marca	Endress + Hauser
BENEFICIOS	34	Origen	Alemania
	35		Transmisor de nivel con sensor de temperatura integrado para corregir medición
	36		Con sistema de supresión de ecos
	37		Curva de linealización para medición en canal abierto de hasta 32 puntos

Transmisor de Nivel Ultrasonico



Display Universal Remoto



Empresa	Nombre	Firma	Fecha
COSAPI S.A	Propietario	<i>Juan P. Torres</i>	15-11-12
NIPPON KOEI	Supervisor	<i>A. Gonzalez</i>	20-12-12
Aguas Latinas Perú S.A.C	Contratista		
	Ejecutor		

Desviaciones de la especificación

Revision	Control de Cambios
A	Cambio de protocolo de comunicación de profibus DP a Profibus PA
B	Para revisión y aprobación




MUL ASCENCIO GUTIERREZ
 R 2942 PTAR SJ - SEDACUSCO
 GERENTE DE PROYECTO

Controladores programables de automatización CompactLogix™ 5370 L3



1769-L30ER, -L30ERM, -L30ER-NSE, -L33ER, -L33ERM, -L36ERM

Características y ventajas

Los controladores CompactLogix 5370 L3 ofrecen control escalable y económico para aplicaciones de equipo autónomo pequeño hasta tablas de indexado de alto rendimiento, equipo modular del proceso, embaladoras de cajas y erectores así como aplicaciones de envasado.

Los constructores de máquinas y usuarios finales aprovechan las características que permiten ahorrar costos con estos controladores:

- Compatibilidad con movimiento integrado en Ethernet/IP
- Compatibilidad para topologías de red en anillo a nivel de dispositivos
- Almacenamiento de energía incorporado que elimina la necesidad de baterías de litio
- Acepta la reutilización de las E/S 1769 existentes
- Tarjeta Secure Digital (SD) de 1 GB extraíble que mejora la integridad de los datos
- Opciones flexibles de memoria de hasta 3 MB
- Características adicionales para ambientes peligrosos (versión NSE)
- La compatibilidad con Kinematics elimina la necesidad de software y controladores de robot adicionales
- La capacidad de socket abierto acepta Modbus TCP así como dispositivos tales como impresoras, lectores de códigos de barras y servidores

Reduzca el costo y el tiempo de lanzamiento al mercado con los controladores programables de automatización CompactLogix 5370 L3.



Expandiendo la capacidad de escalado de la familia de controladores Logix, los controladores programables de automatización (PAC) CompactLogix 5370 L3 están diseñados para satisfacer la creciente necesidad de un controlador de mayor rendimiento en un formato compacto y económico.

Como parte del sistema de Arquitectura Integrada, los controladores CompactLogix 5370 L3 utilizan el mismo software de programación, protocolo de red y capacidades de información que todos los controladores Logix, proporcionando un entorno homogéneo de desarrollo para todas las disciplinas de control.

Control de movimiento integrado en Ethernet/IP

El controlador CompactLogix 5370 L3 proporciona una solución de movimiento sólida para los clientes que desean rendimiento y competitividad en el costo.

- Acepta hasta 16 ejes de movimiento integrado
- Junto con el Kinetix 350, ofrece una solución de control de movimiento económica y escalable

Capacidades de conexión en red

Con dos puertos Ethernet y un interruptor Ethernet integrados, estos controladores ahora aceptan topologías de red en anillo a nivel de dispositivos (DLR), simplificando la integración de componentes en su sistema de control y reduciendo el costo del sistema:

- Proporciona poder de recuperación de la pérdida de una conexión de red
- Permite reemplazar los dispositivos uno a la vez sin parar la producción
- Reduce el número de interruptores Ethernet en el sistema de control

Características para ambientes peligrosos

La versión NSE (No Stored Energy) del CompactLogix 5370 L3 ofrece las características adicionales para ambientes peligrosos que se encuentran en industrias tales como las de minería y petróleo y gas.

- Permite un transporte seguro del controlador dentro y fuera de las áreas de minería
- El controlador desactivado tiene menos de 200 uJ de energía residual almacenada en cada componente
- Sin consecuencias que puedan causar una explosión en entornos gaseosos producida por arco o chispas

LISTEN.
THINK.
SOLVE.®

Especificaciones del controlador CompactLogix 5370 L3

	1769-L30ER	1769-L30ERM	1769-L30ER-NSE	1769-L33ER	1769-L33ERM	1769-L36ERM
Memoria de usuario	1 MB	1 MB	1 MB	2 MB	2 MB	3 MB
Tareas del controlador	32	32	32	32	32	32
Programas por tarea	100	100	100	100	100	100
Control de movimiento integrado	--	Eje de lazo de posición de movimiento CIP de 4 ejes	--	--	Eje de lazo de posición de movimiento CIP de 8 ejes	Eje de lazo de posición de movimiento CIP de 16 ejes
Tamaño de formato	55 mm de ancho x 118 mm de alto x 105 mm de profundidad					
Homologaciones	cULH (Clase I División 2), KCC/UL (UL 508), ULH (Clase I y II, División 2 y Clase III, Divisiones 1 y 2)/ATEX, CE, C-Tick, GOST-R y Marino					
Módulos expansores locales	8	8	8	16	16	30
Puntos de E/S de expansión locales	256	256	256	512	512	960
Adiciones de módulos de comunicación	DeviceNet con 1769-SDN o de otros fabricantes					
Tarjeta de memoria Flash	Clasificación industrial y tarjeta de memoria Secure Digital (SD) certificada (1 y 2 opciones); todos los controladores se envían con tarjeta de 1 GB					
Servovariadores (lazo de posición CIP)	--	4	--	--	8	16
Nodos IP de E/S Ethernet	16	16	16	32	32	48
Ejes virtuales	100	100	100	100	100	100
Retroalimentación solamente, par, velocidad, Vhz (variadores de movimiento CIP máx.)	--	16	--	--	32	48
Ejes/ms	--	2	--	--	2	2
Compatibilidad con Kinematics	--	sí	--	--	sí	sí
Software/Firmware	RSLogix 5000 V20 y firmware RSLinx Classic V2.59 v20.1x o posterior					

CompactLogix, Arquitectura Integrada, Kinetix, RSLogix, Integrated Motion on EtherNet/IP son marcas comerciales de Rockwell Automation, Inc. Las marcas comerciales que no pertenecen a Rockwell Automation son propiedad de las respectivas empresas.

www.rockwellautomation.com

Oficinas corporativas de soluciones de potencia, control e información

Américas: Rockwell Automation, 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204-2496 USA, Tel: (1) 414.382.2000, Fax: (1) 414.382.4444

Europa/Medio Oriente/África: Rockwell Automation NV, Pegasus Park, De Kleetlaan 12a, 1831 Diegem, Bélgica, Tel: (32) 2 663 0600, Fax: (32) 2 663 0640

Asia-Pacífico: Rockwell Automation, Level 14, Core F, Cyberport 3, 100 Cyberport Road, Hong Kong, Tel: (852) 2887 4788, Fax: (852) 2508 1846

Argentina: Rockwell Automation S.A., Alem 1050, 5° Piso, CP 1001AAS, Capital Federal, Buenos Aires, Tel.: (54) 11.5554.4000, Fax: (54) 11.5554.4040, www.rockwellautomation.com.ar

Chile: Rockwell Automation Chile S.A., Luis Thayer Ojeda 166, Piso 6, Providencia, Santiago, Tel.: (56) 2.290.0700, Fax: (56) 2.290.0707, www.rockwellautomation.cl

Colombia: Rockwell Automation S.A., Edif. North Point, Carrera 7 N° 156 – 78 Piso 18, PBX: (57) 1.649.96.00 Fax: (57) 649.96.15, www.rockwellautomation.com.co

España: Rockwell Automation S.A., C/ Josep Plà, 101-105, 08019 Barcelona, Tel.: (34) 932.959.000, Fax: (34) 932.959.001, www.rockwellautomation.es

México: Rockwell Automation S.A. de C.V., Bosques de Cierulos N° 160, Col. Bosques de Las Lomas, C.P. 11700 México, D.F., Tel.: (52) 55.5246.2000, Fax: (52) 55.5251.1169, www.rockwellautomation.com.mx

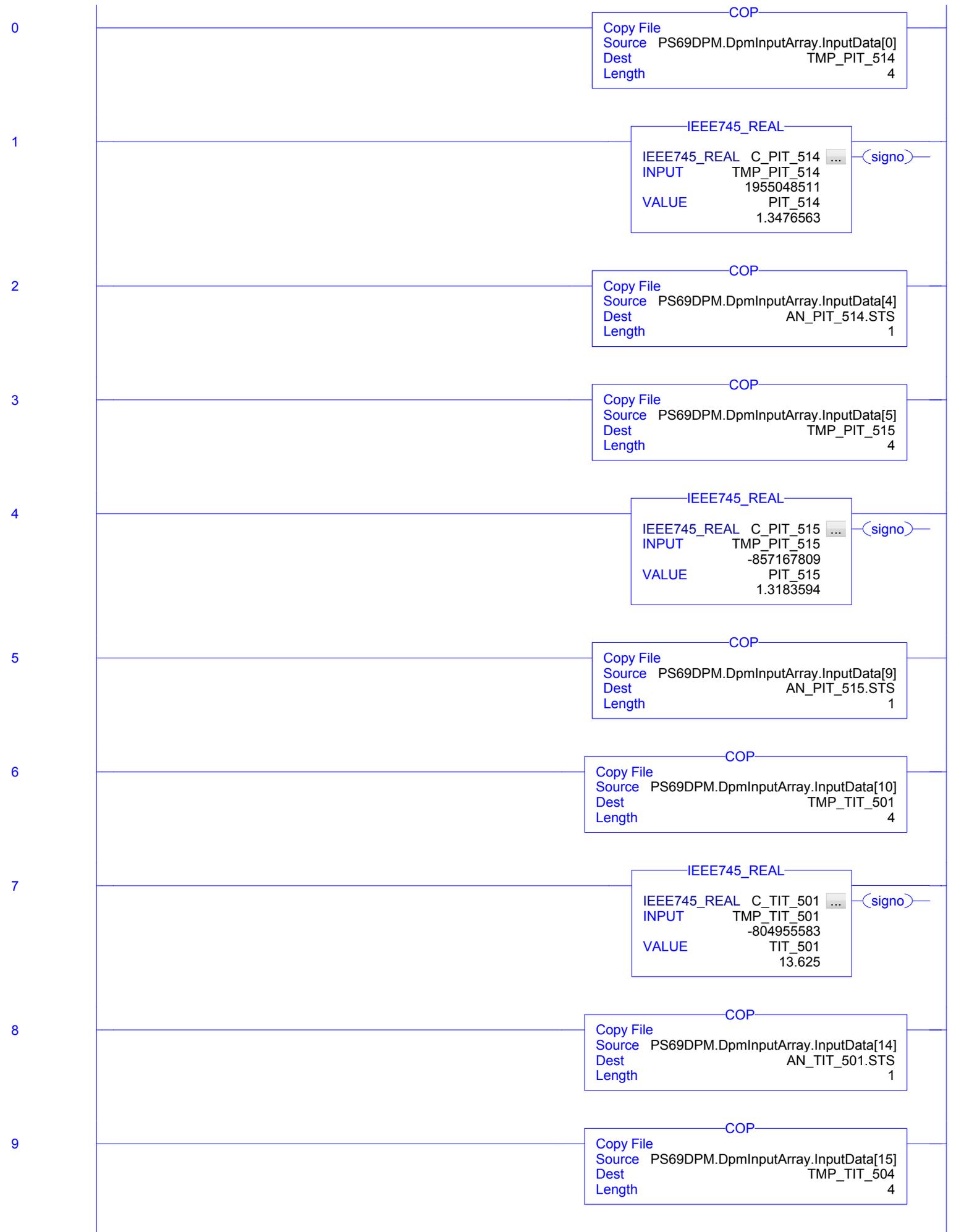
Perú: Rockwell Automation S.A., Av Victor Andrés Belaunde N°147, Torre 12, Of. 102 – San Isidro Lima, Perú, Tel: (511) 441.59.00, Fax: (511) 222.29.87, www.rockwellautomation.com.pe

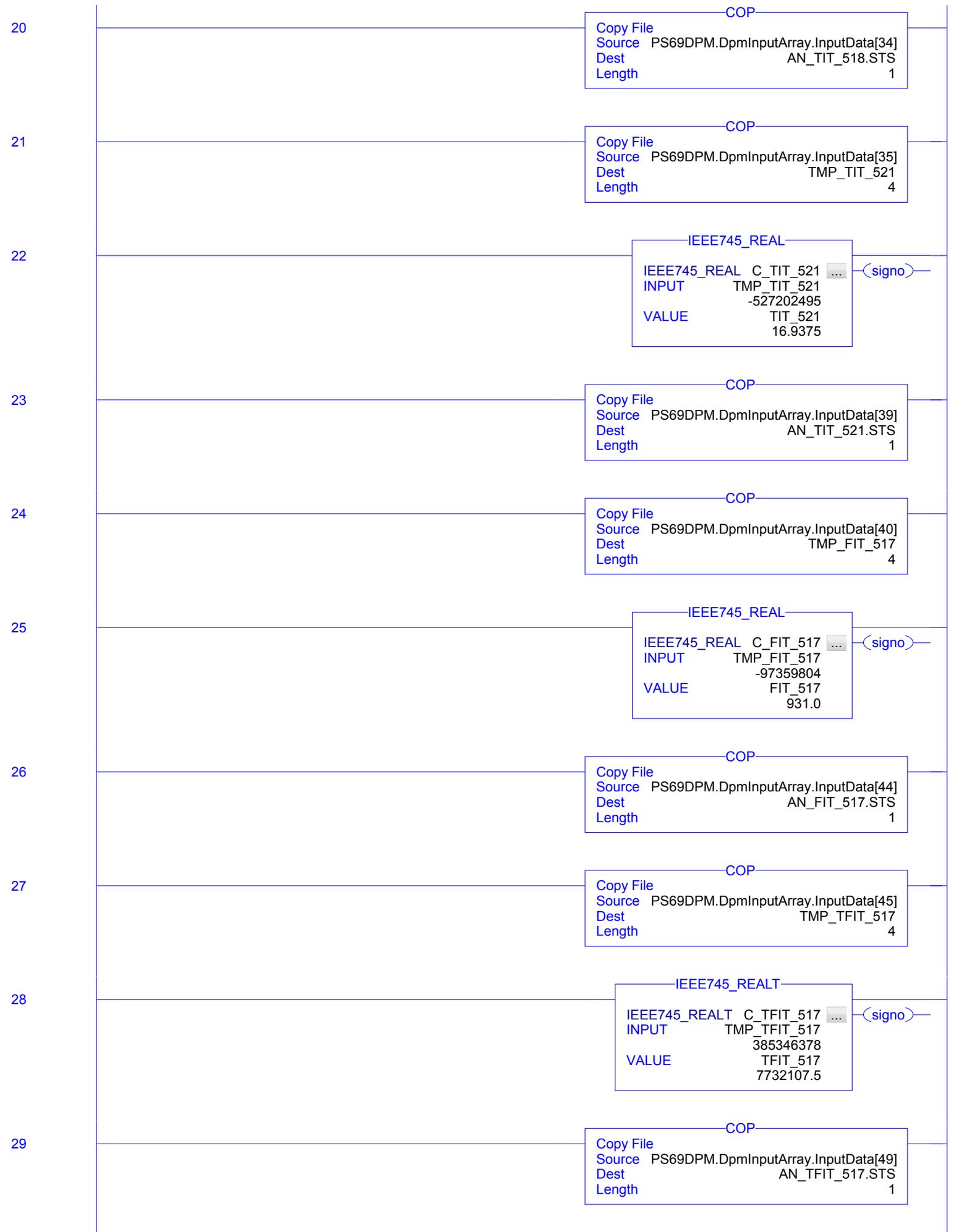
Puerto Rico: Rockwell Automation Inc., Calle I, Metro Office # 6, Suite 304, Metro Office Park, Guaynabo, Puerto Rico 00968, Tel.: (1) 787.300.6200, Fax: (1) 787.706.3939, www.rockwellautomation.com.pr

Venezuela: Rockwell Automation S.A., Edif. Allen-Bradley, Av. González Rincones, Zona Industrial La Trinidad, Caracas 1080, Tel.: (58) 212.949.0611, Fax: (58) 212.943.3955, www.rockwellautomation.com.ve

ANEXO I

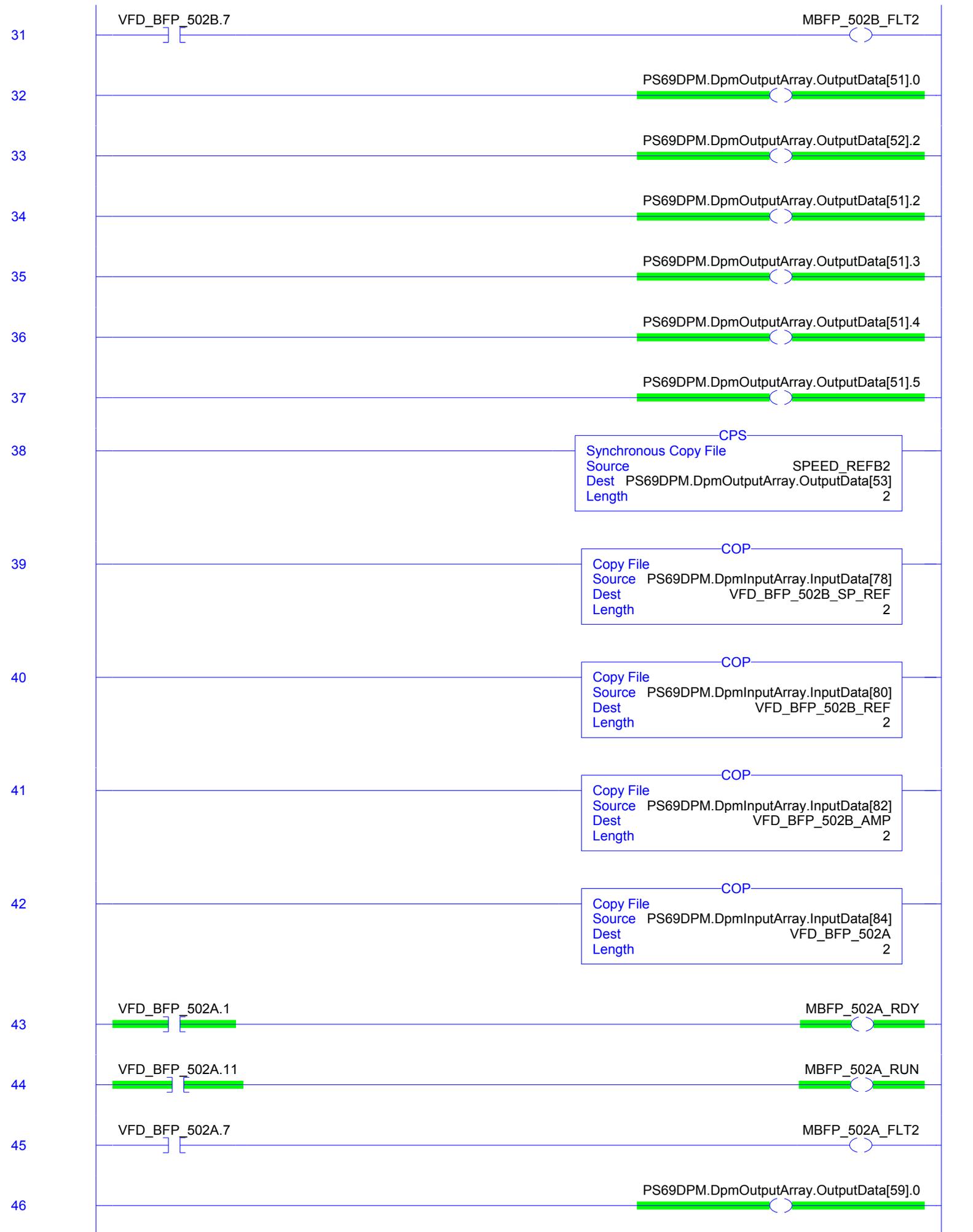
Código lógico en lenguaje Ladder del sistema de control PID en el PLC L33ER.







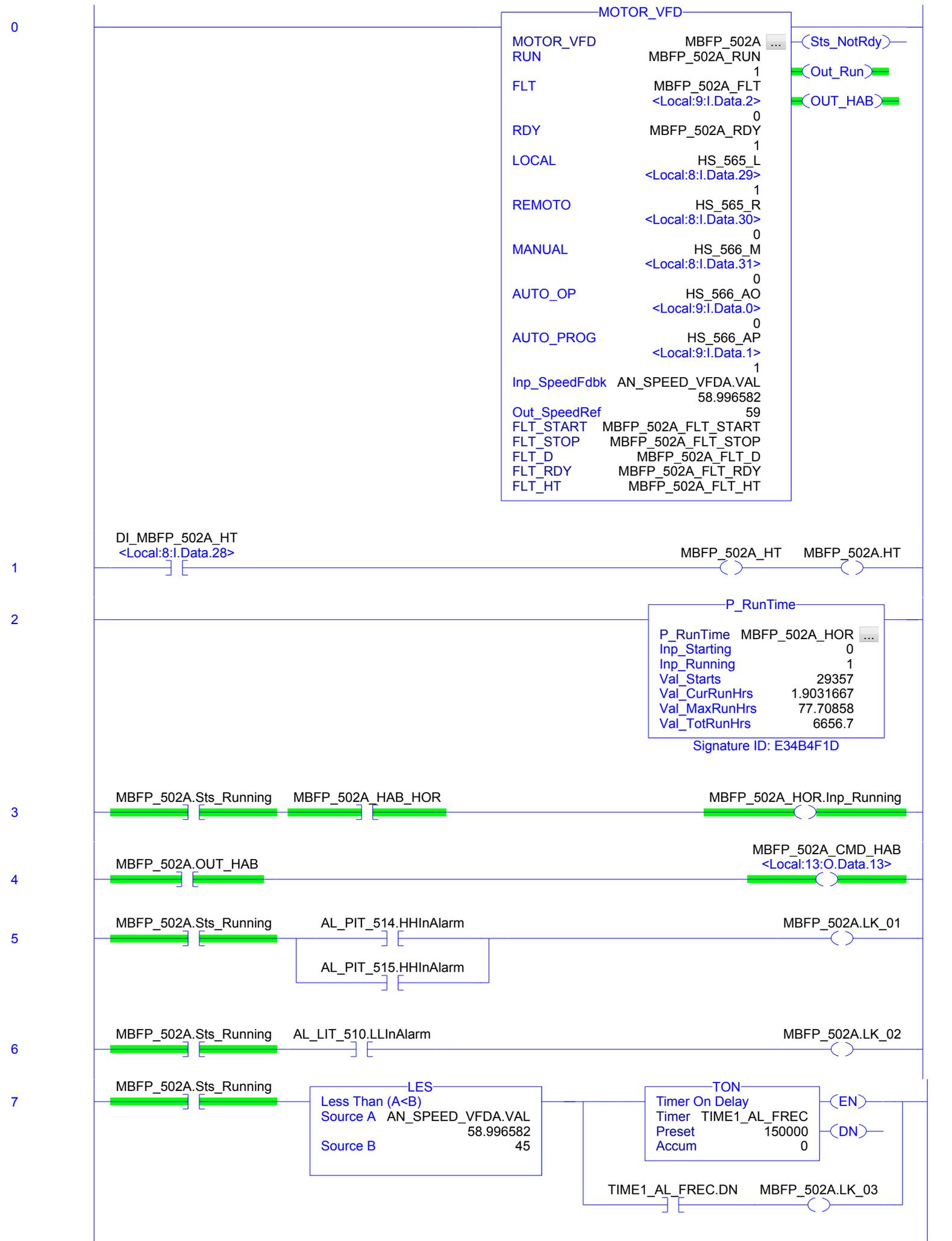


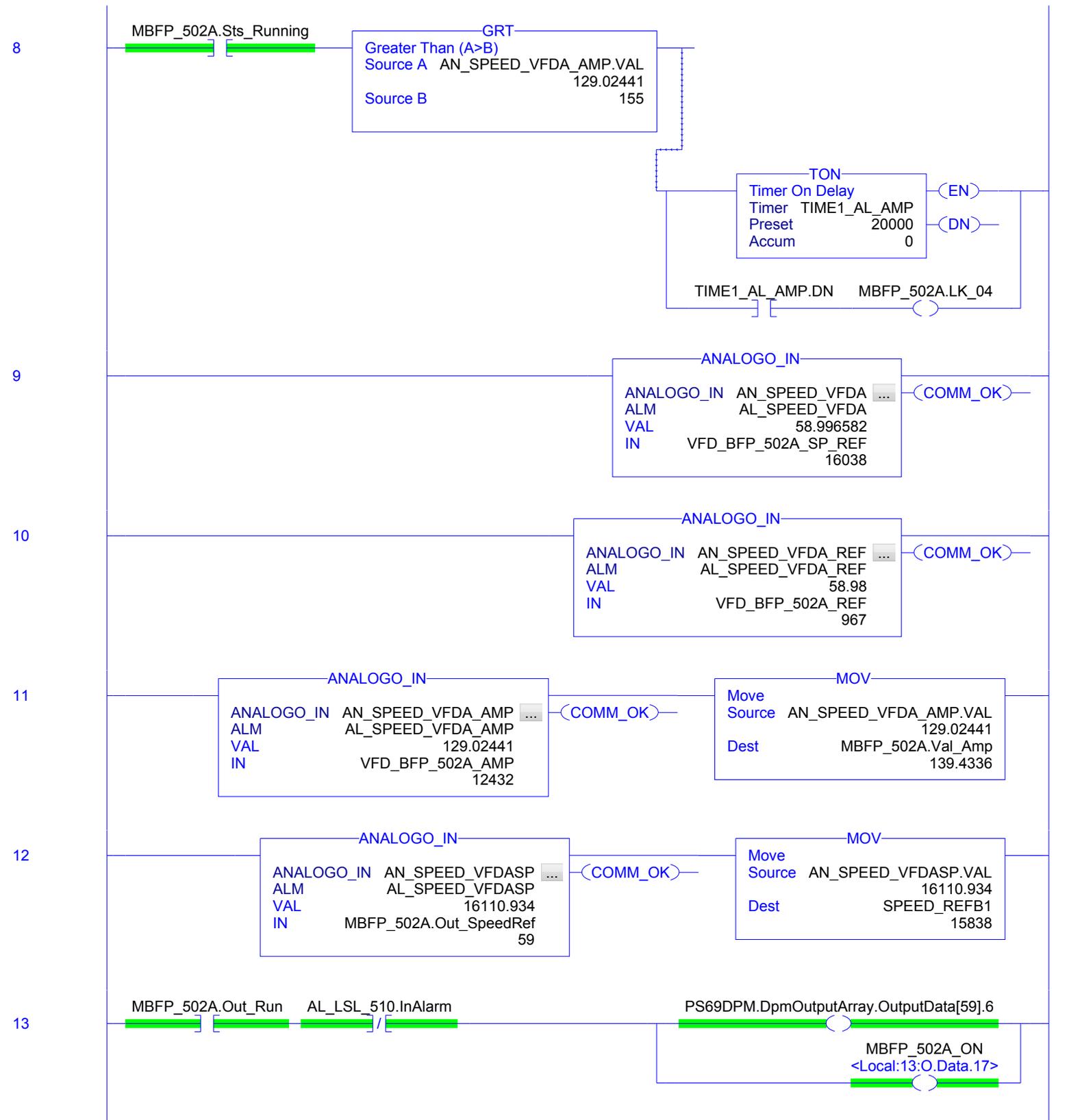


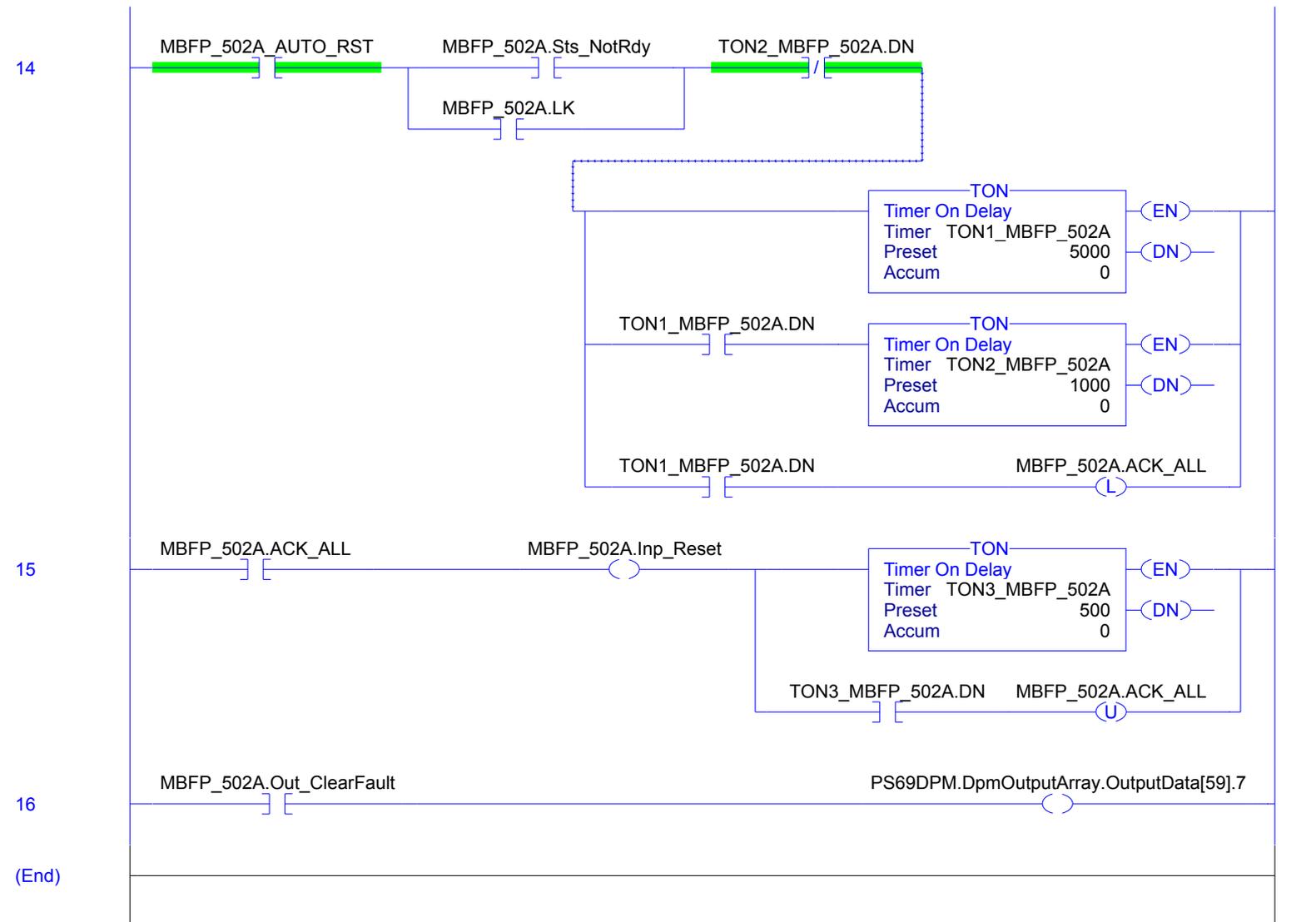


(End)

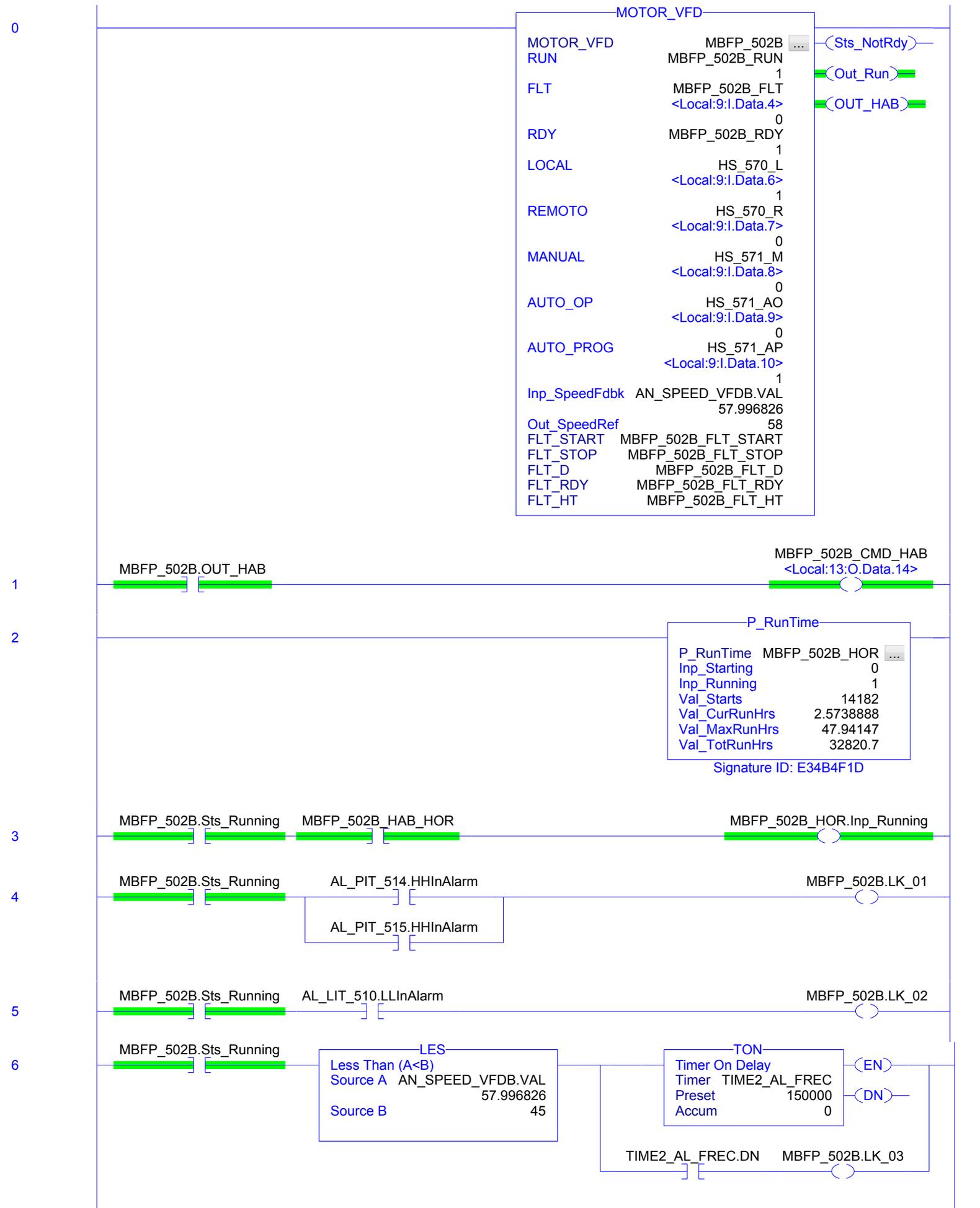


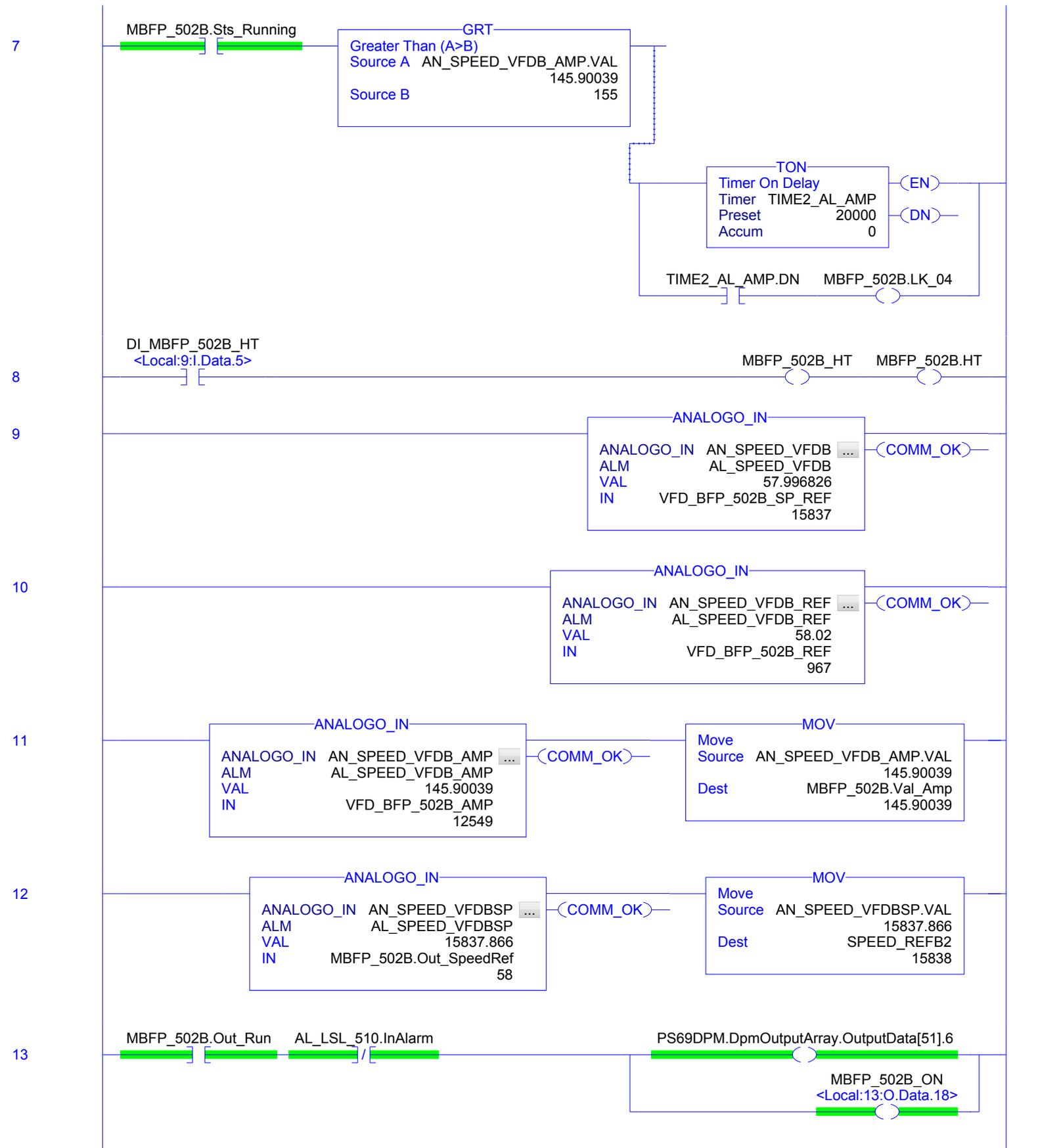


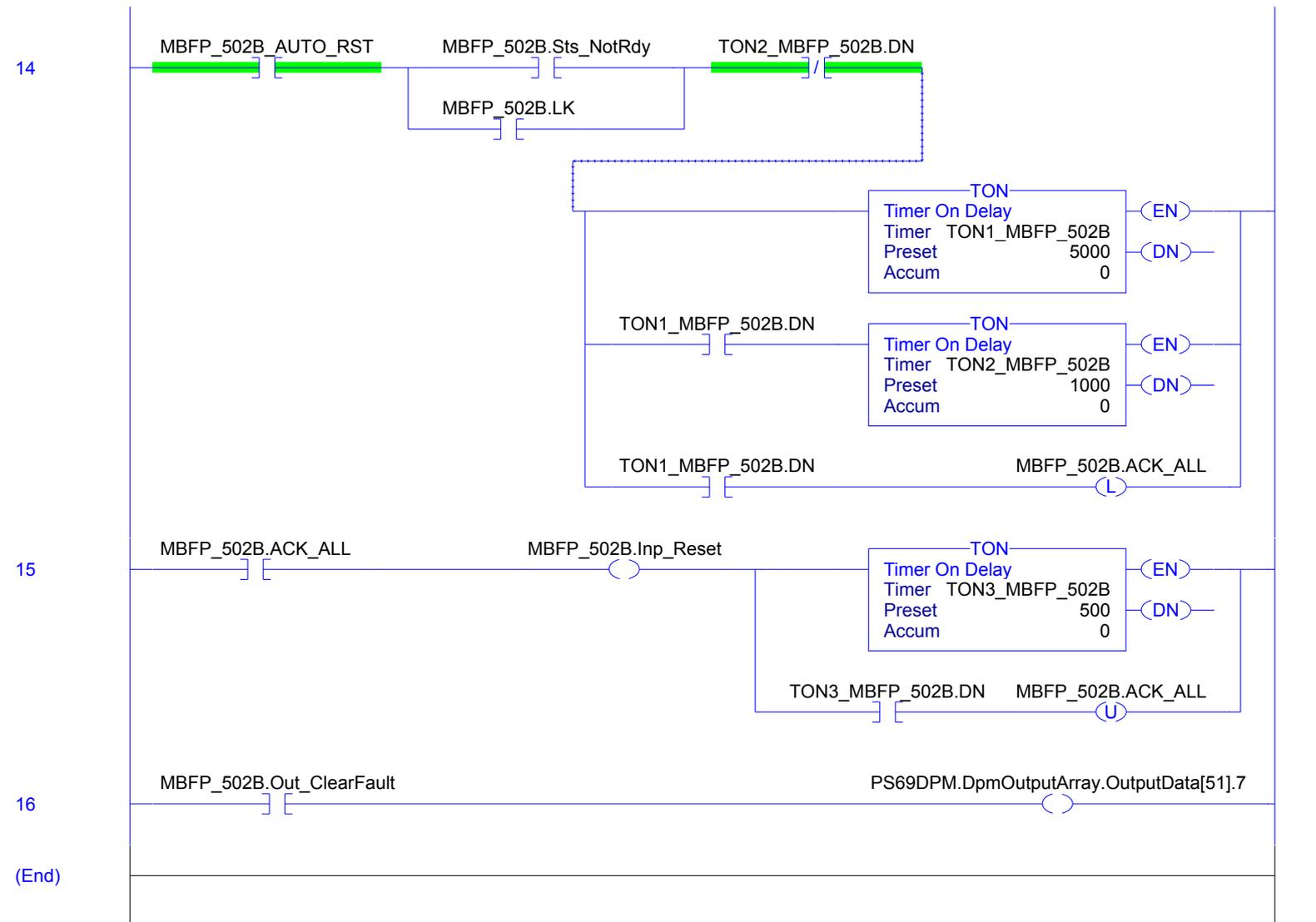




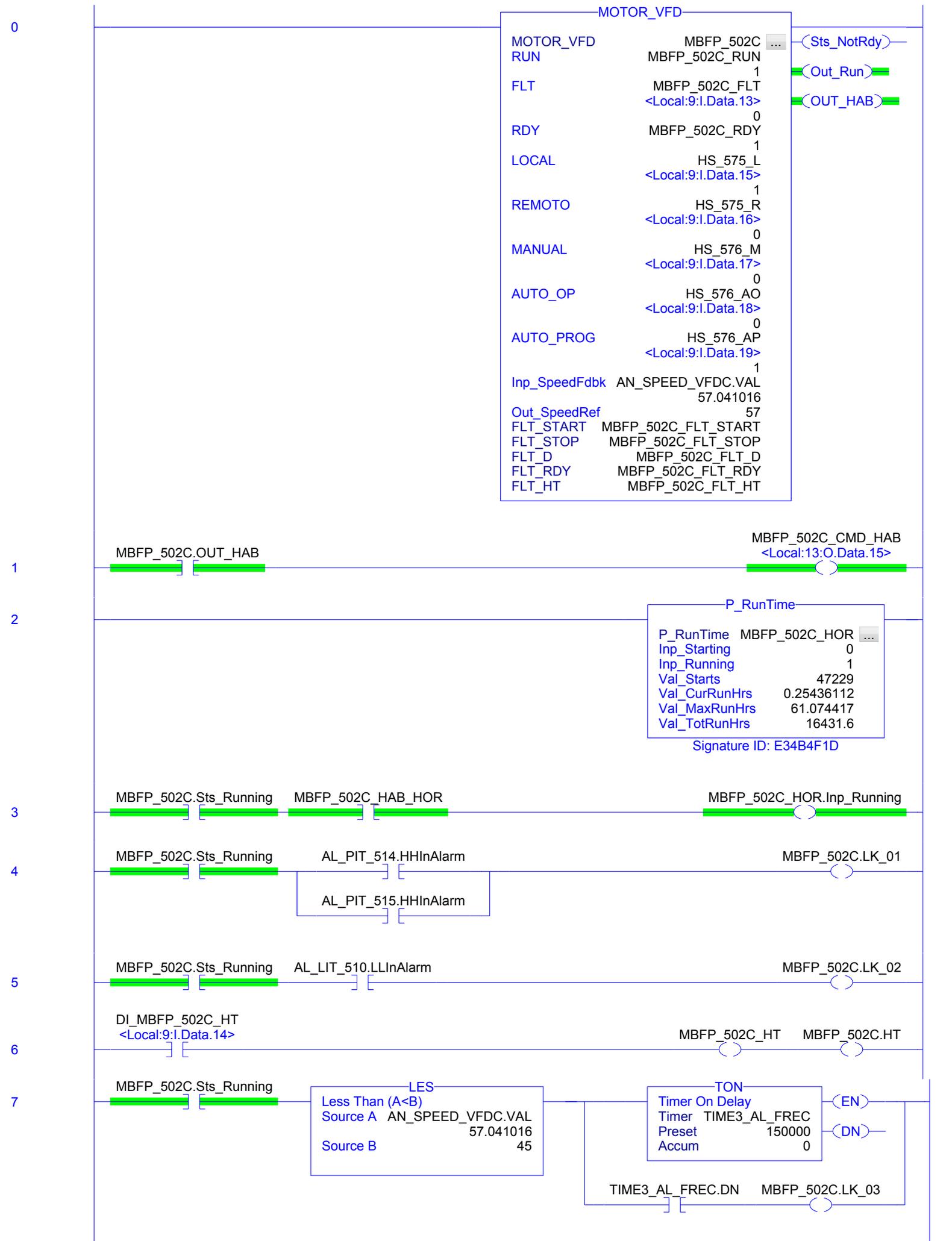
(End)

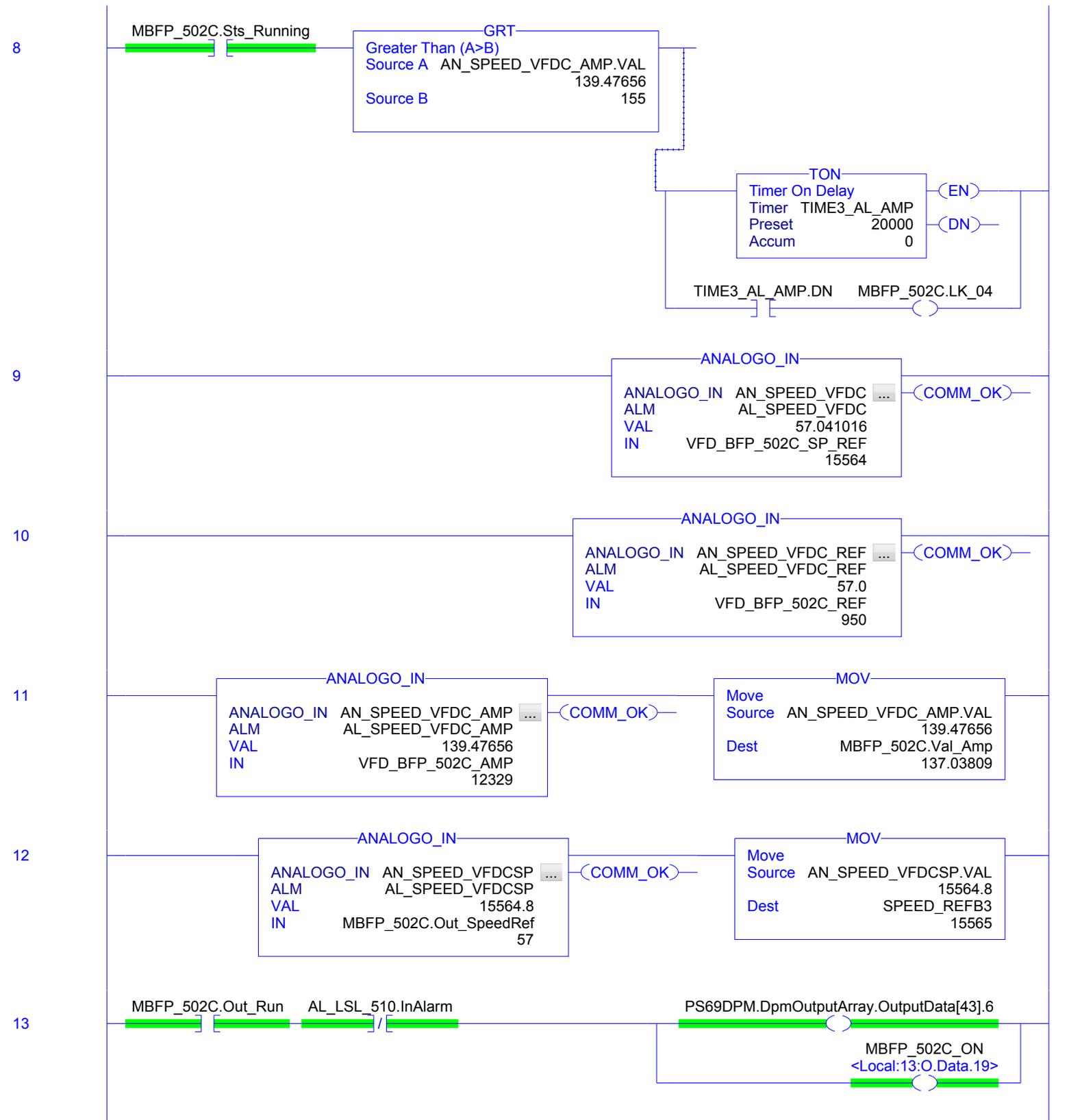


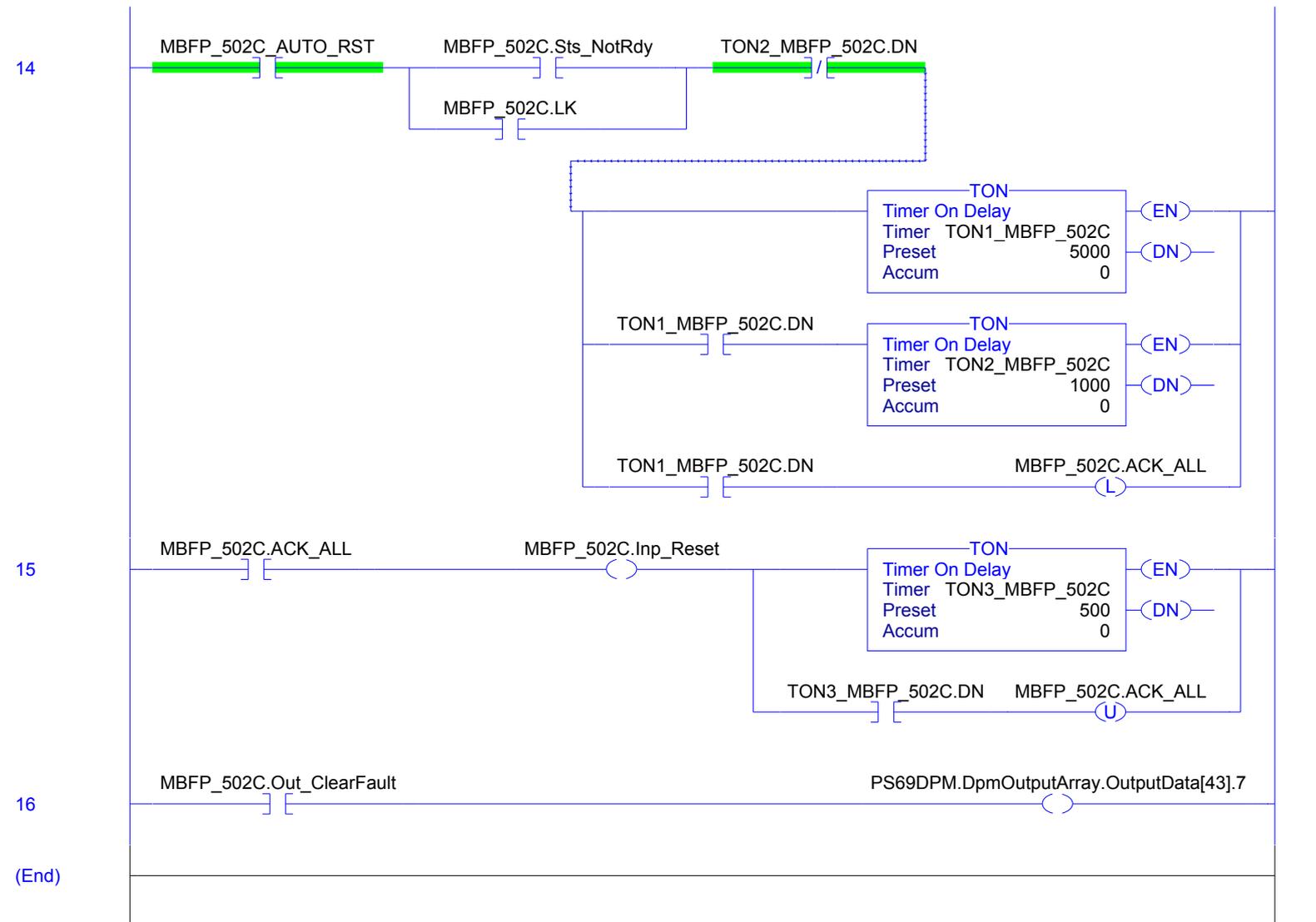




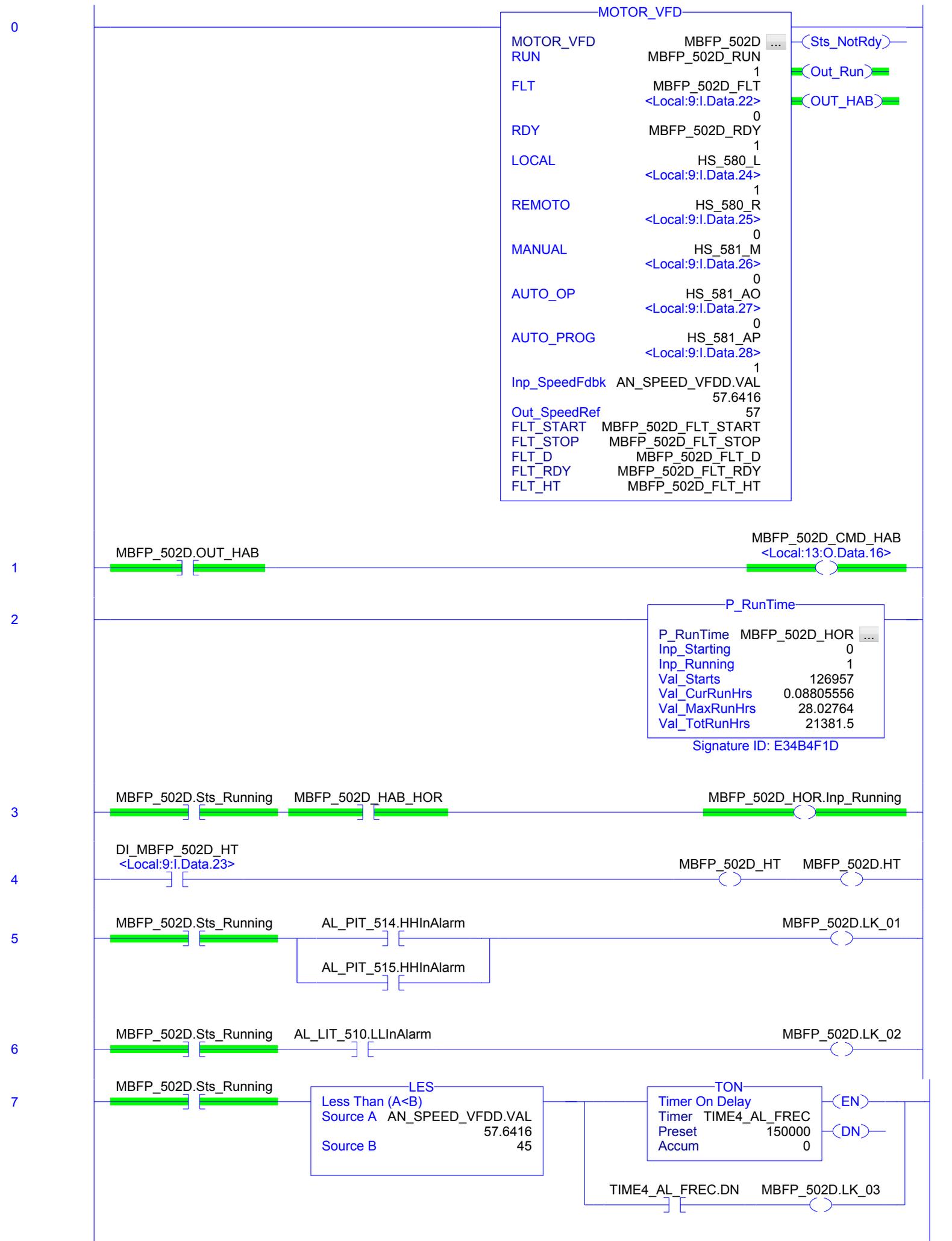
(End)

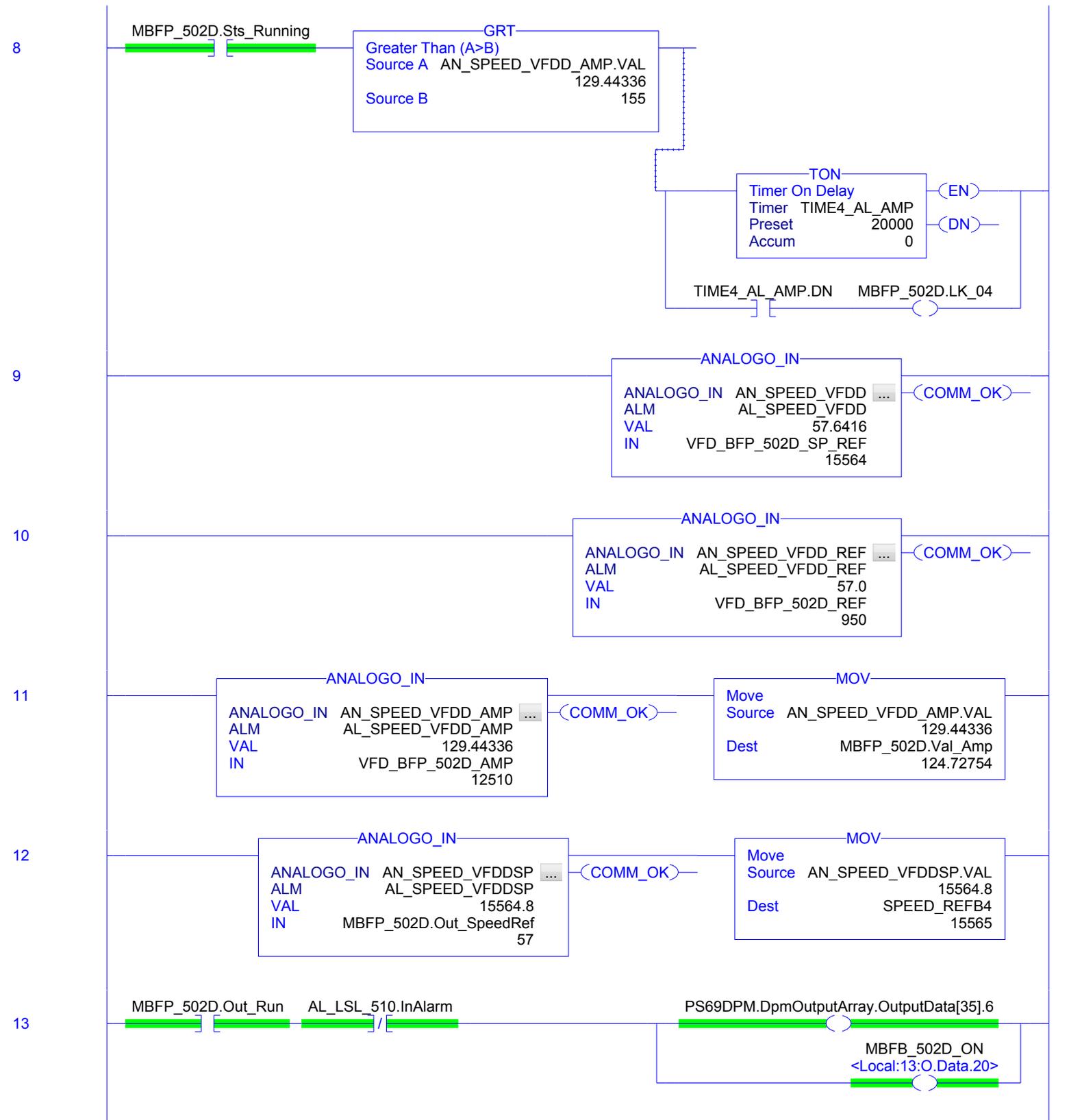


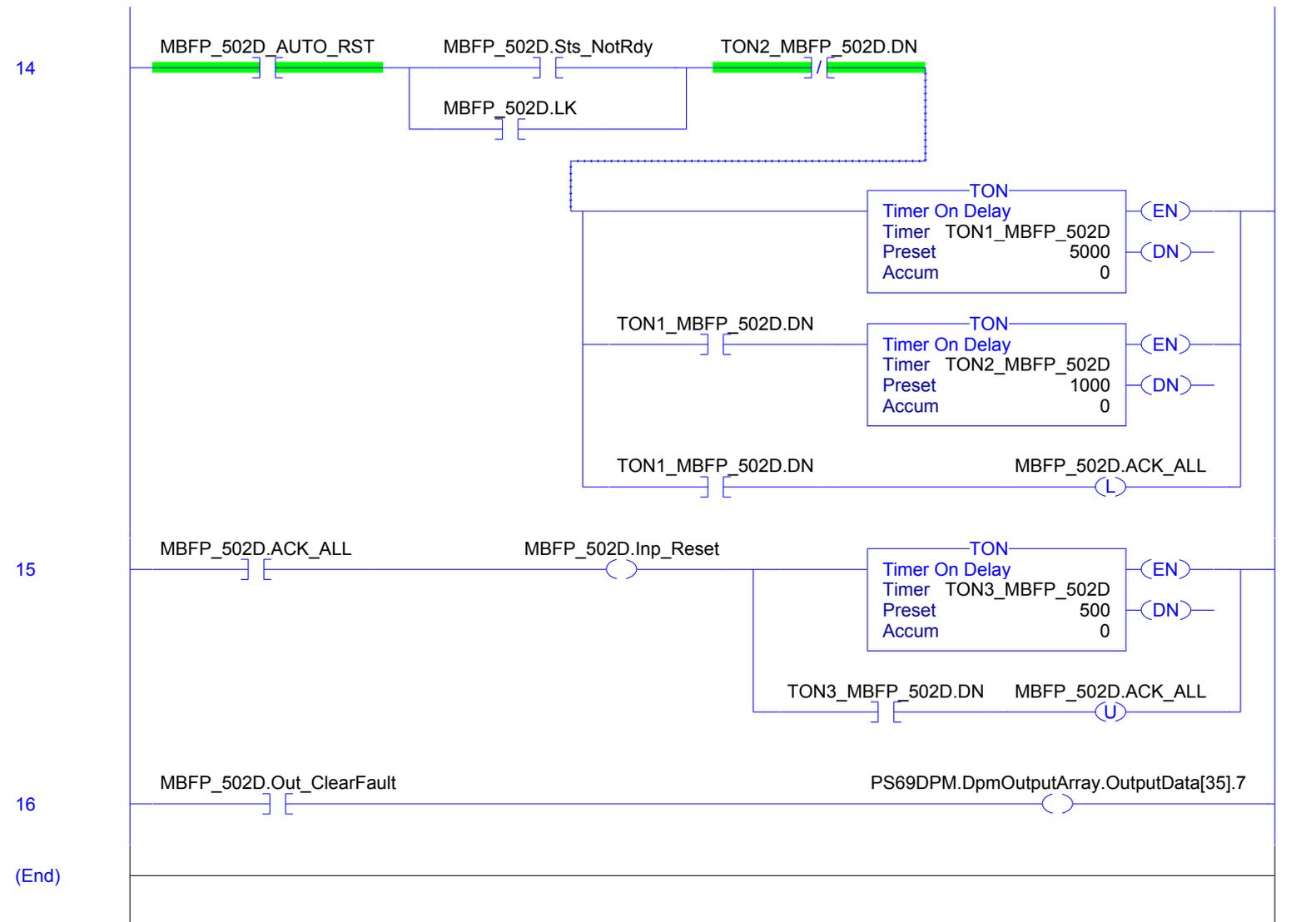




(End)

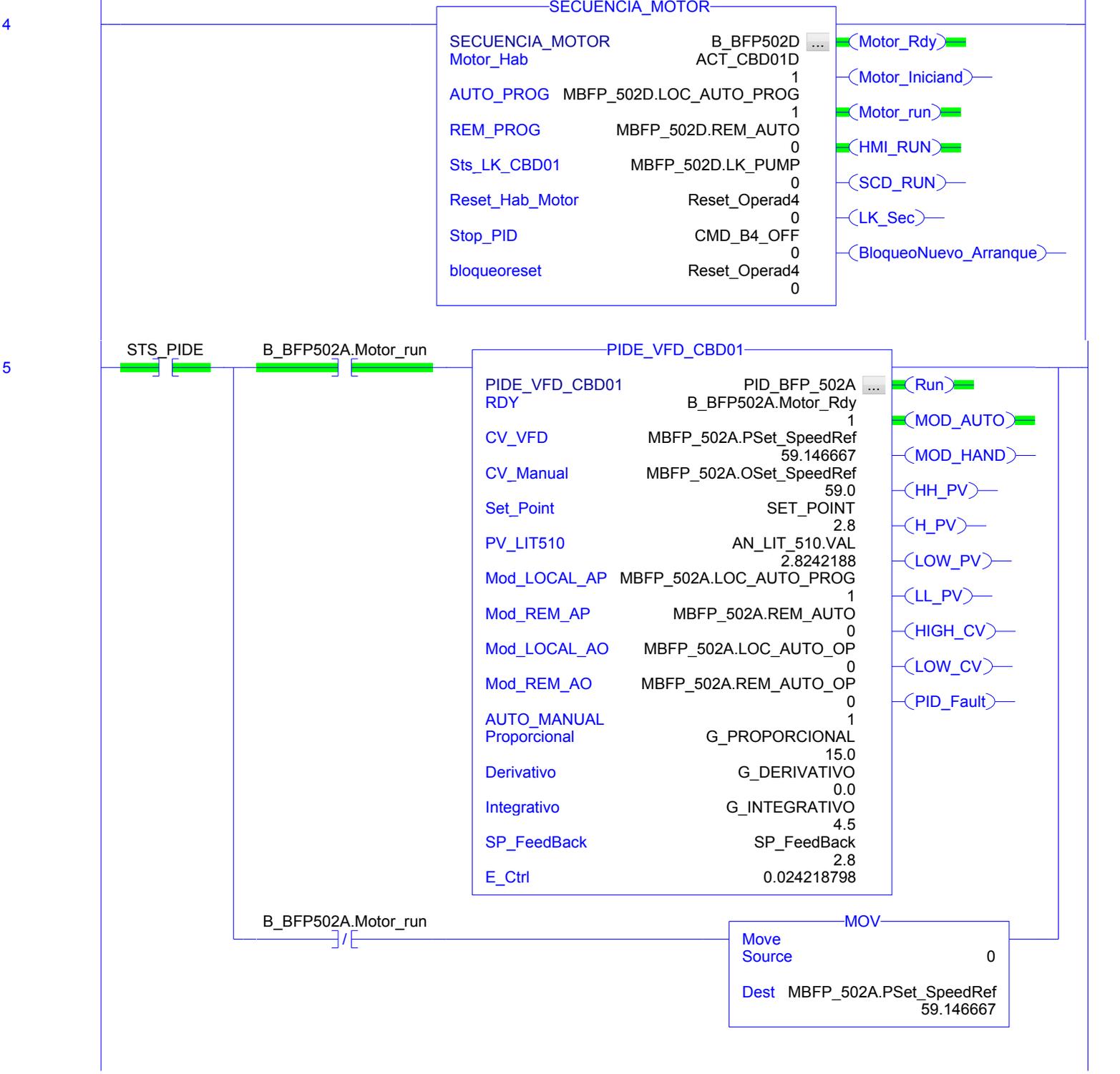


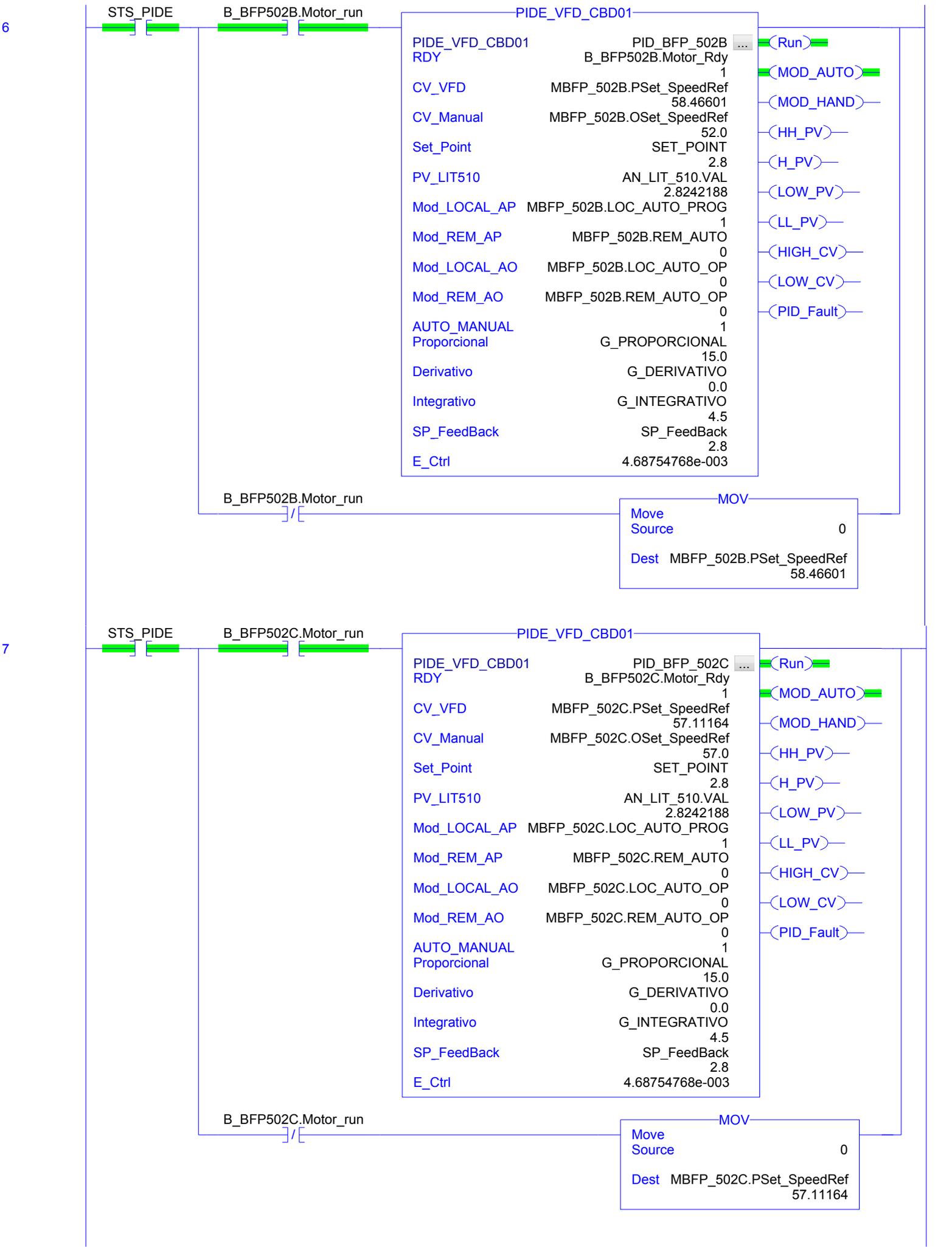


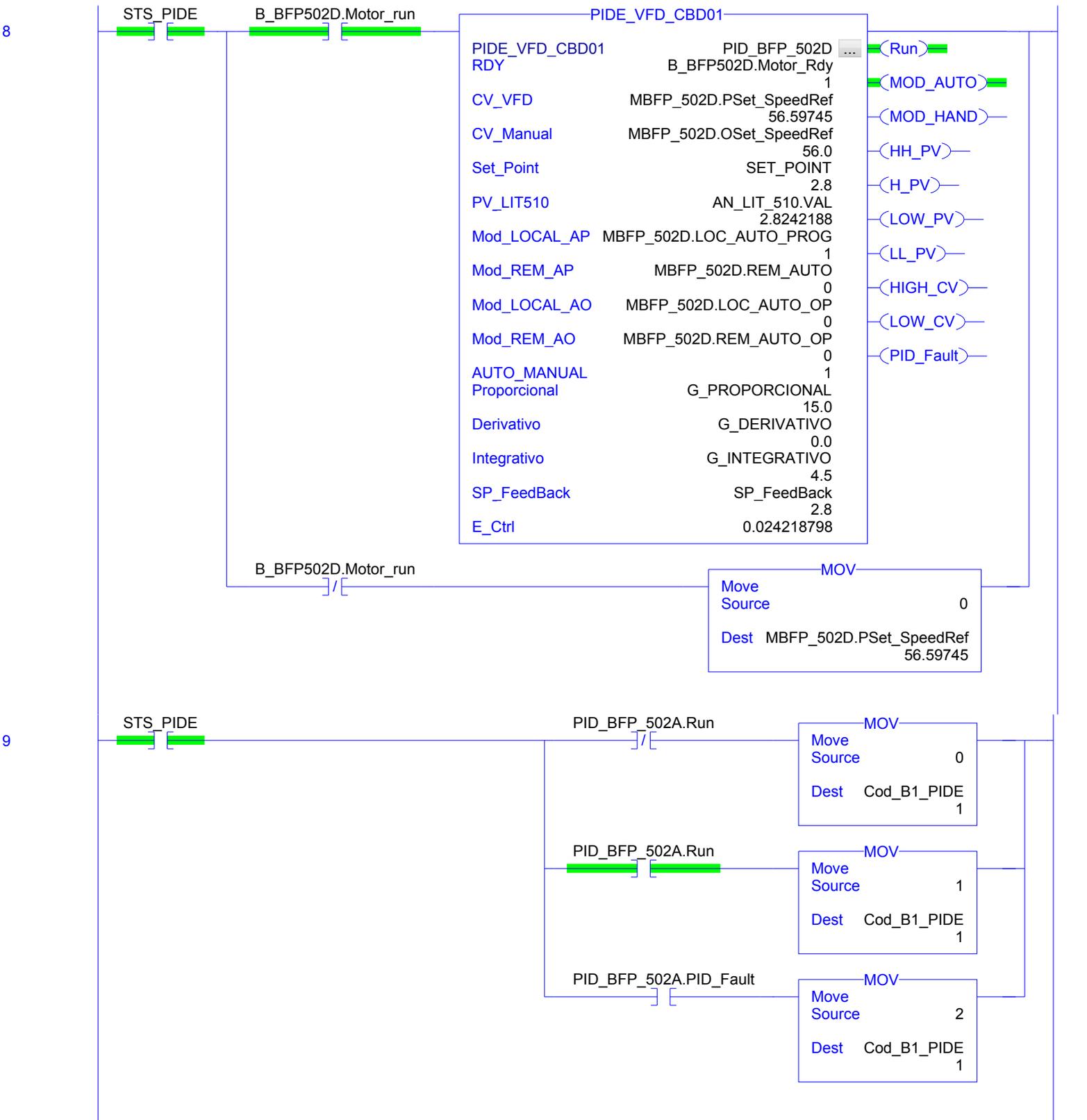


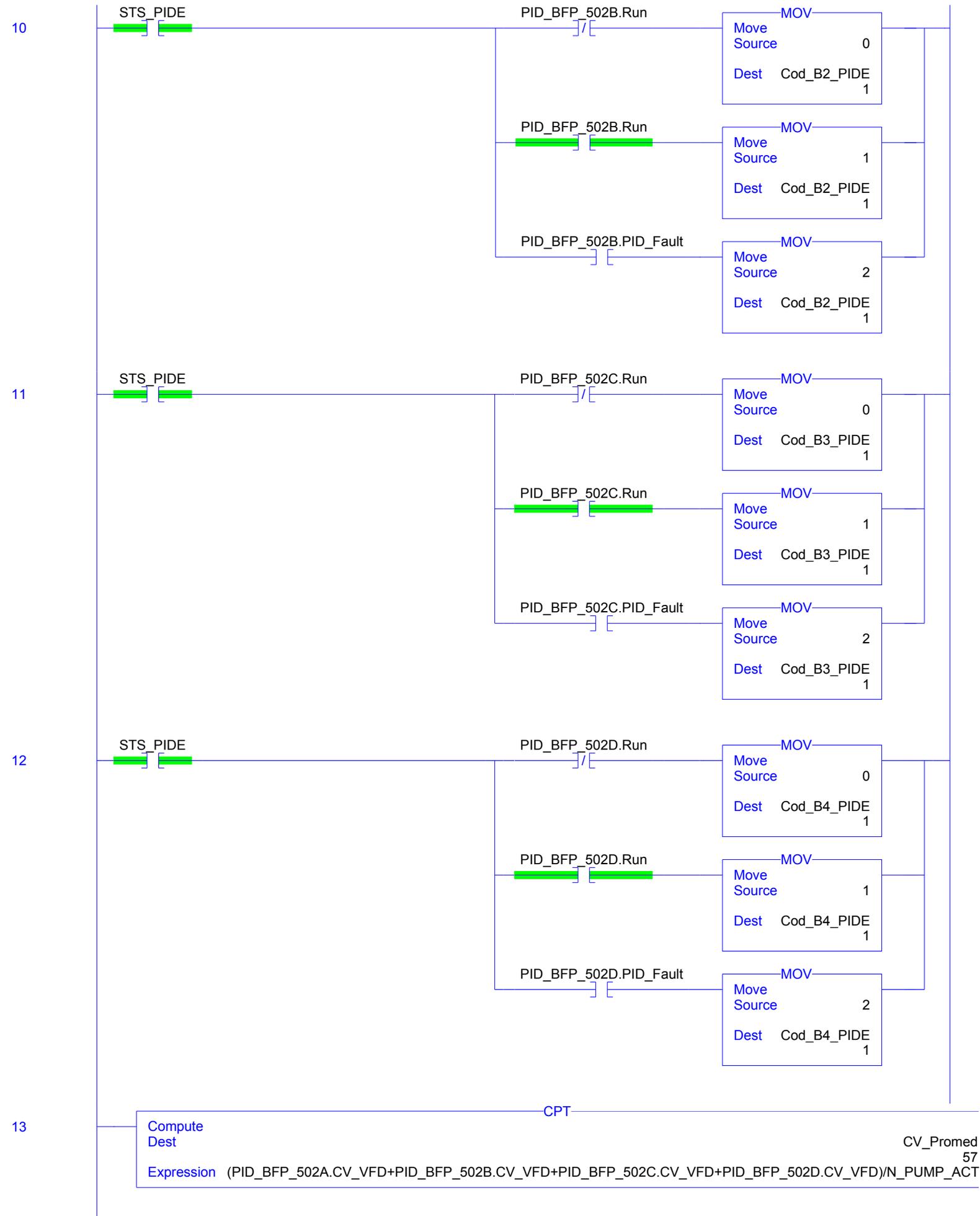
(End)

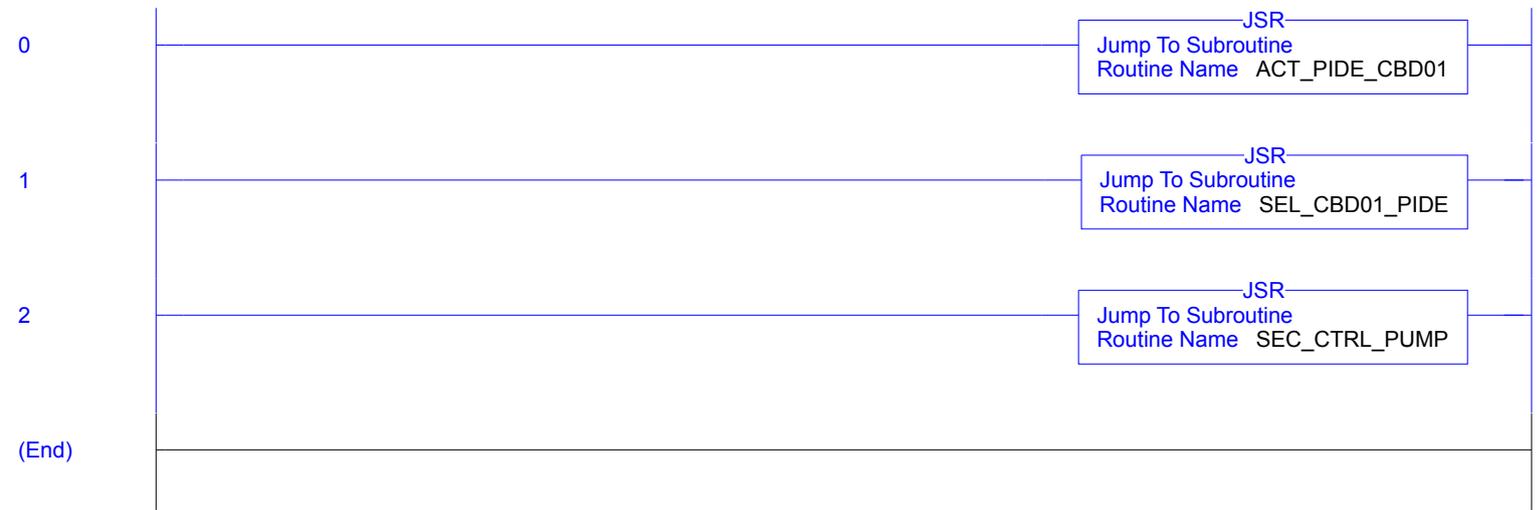




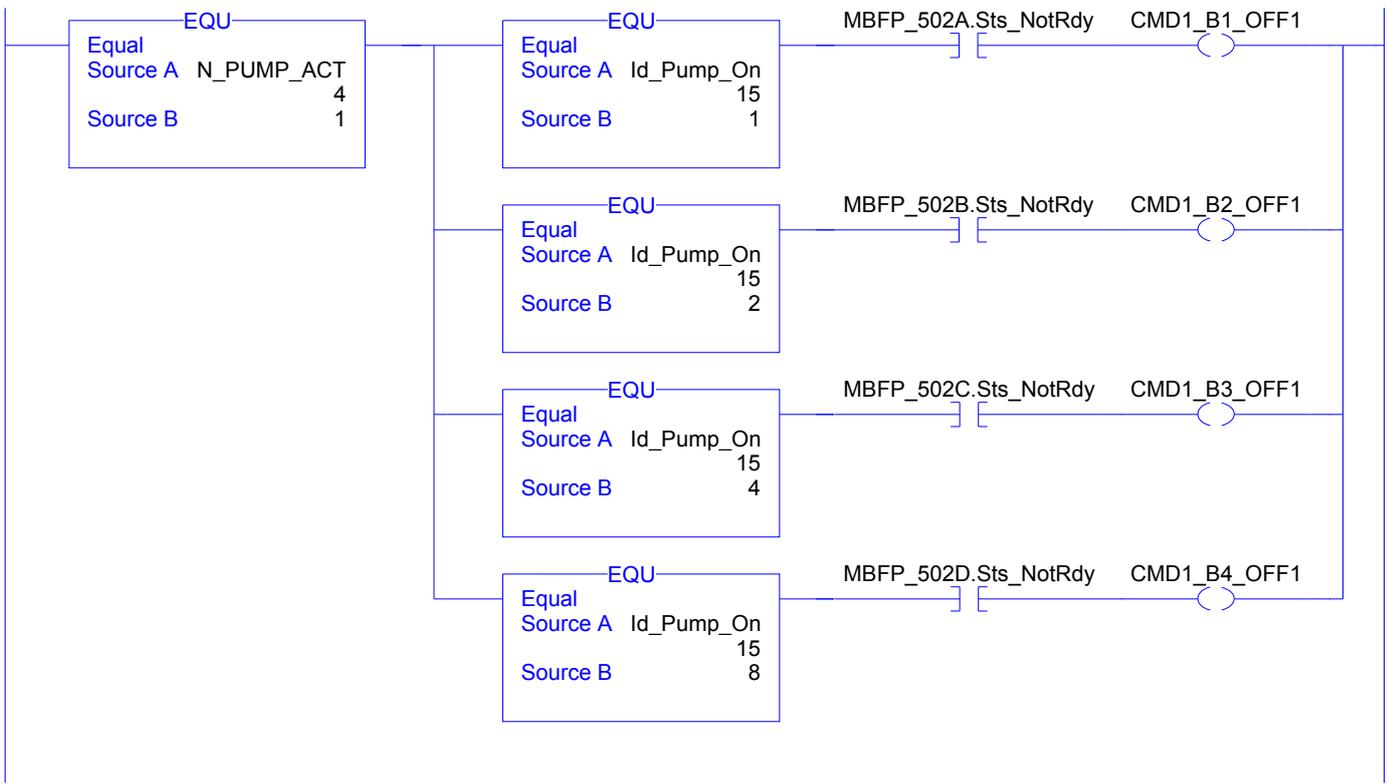




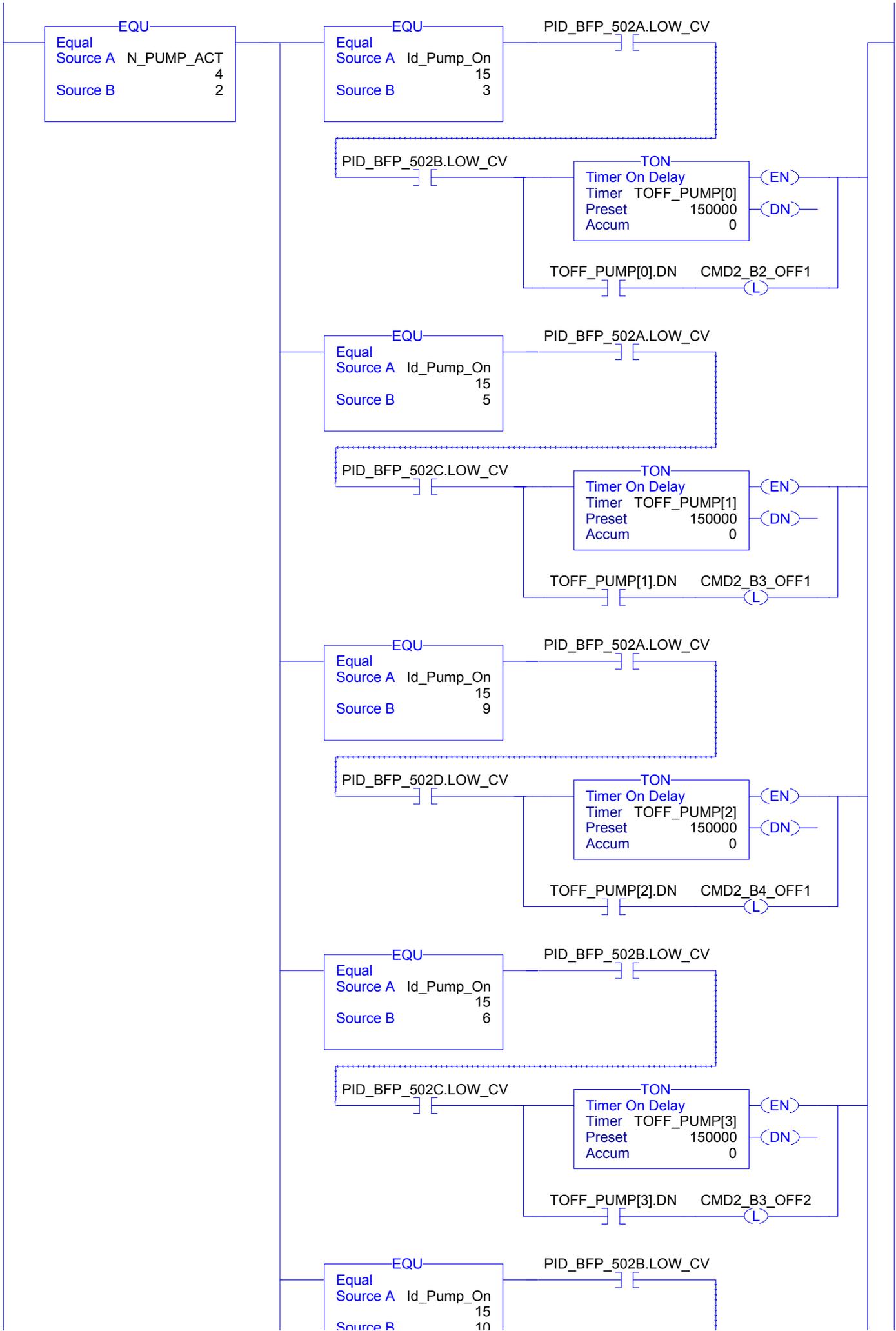


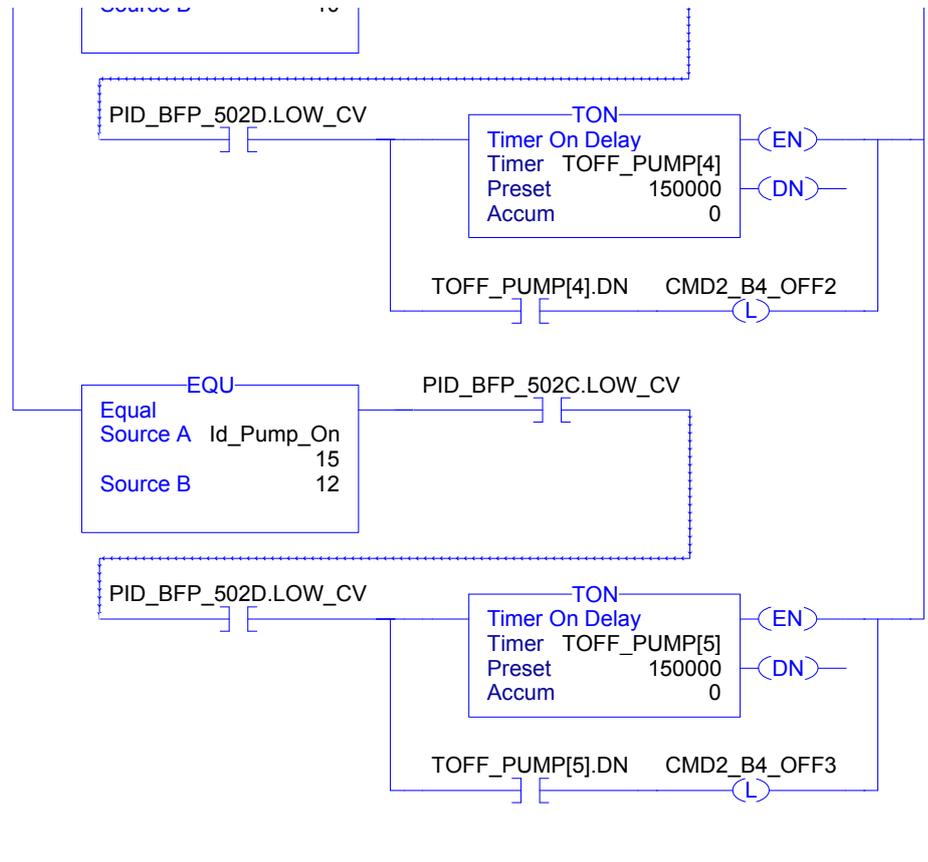


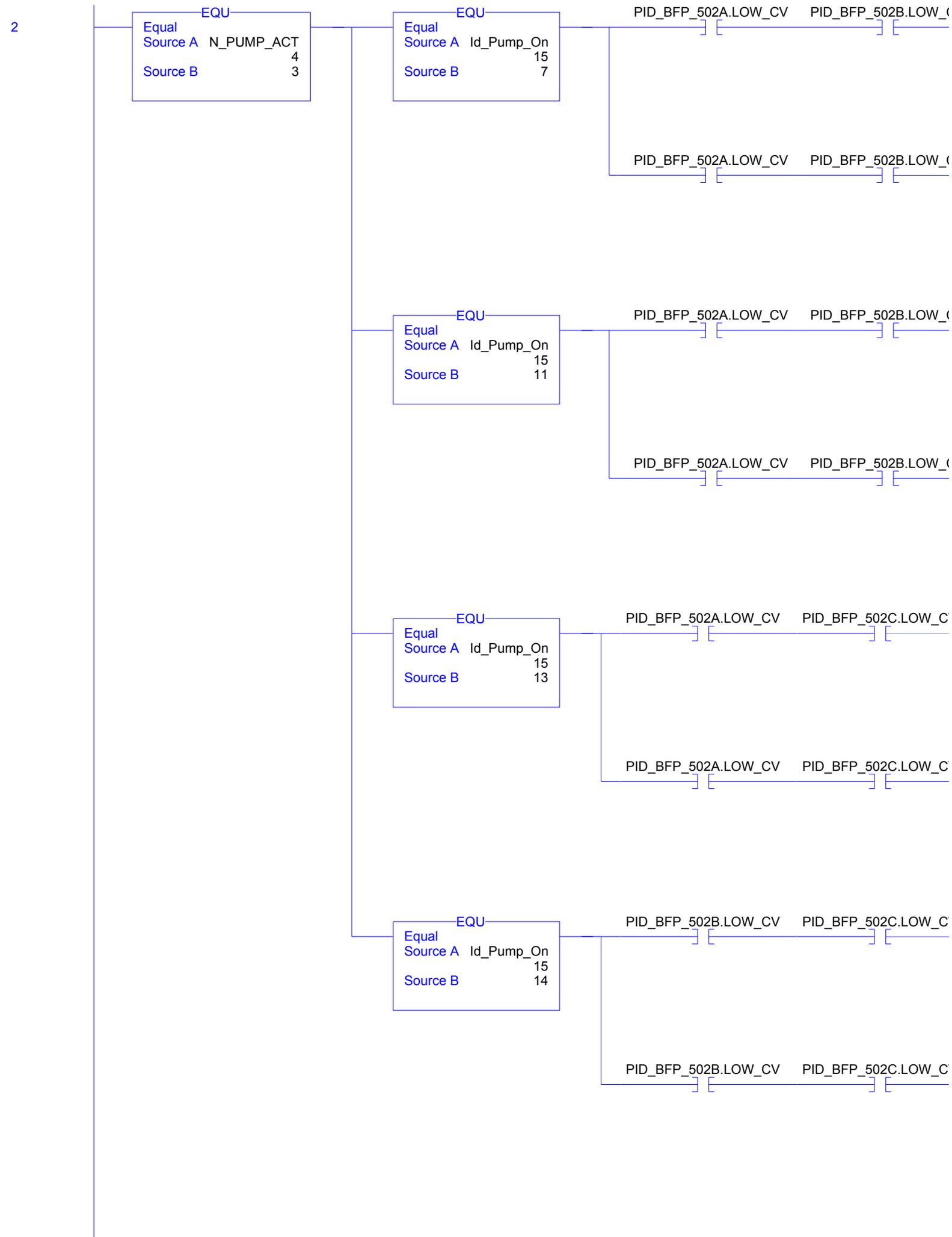
0

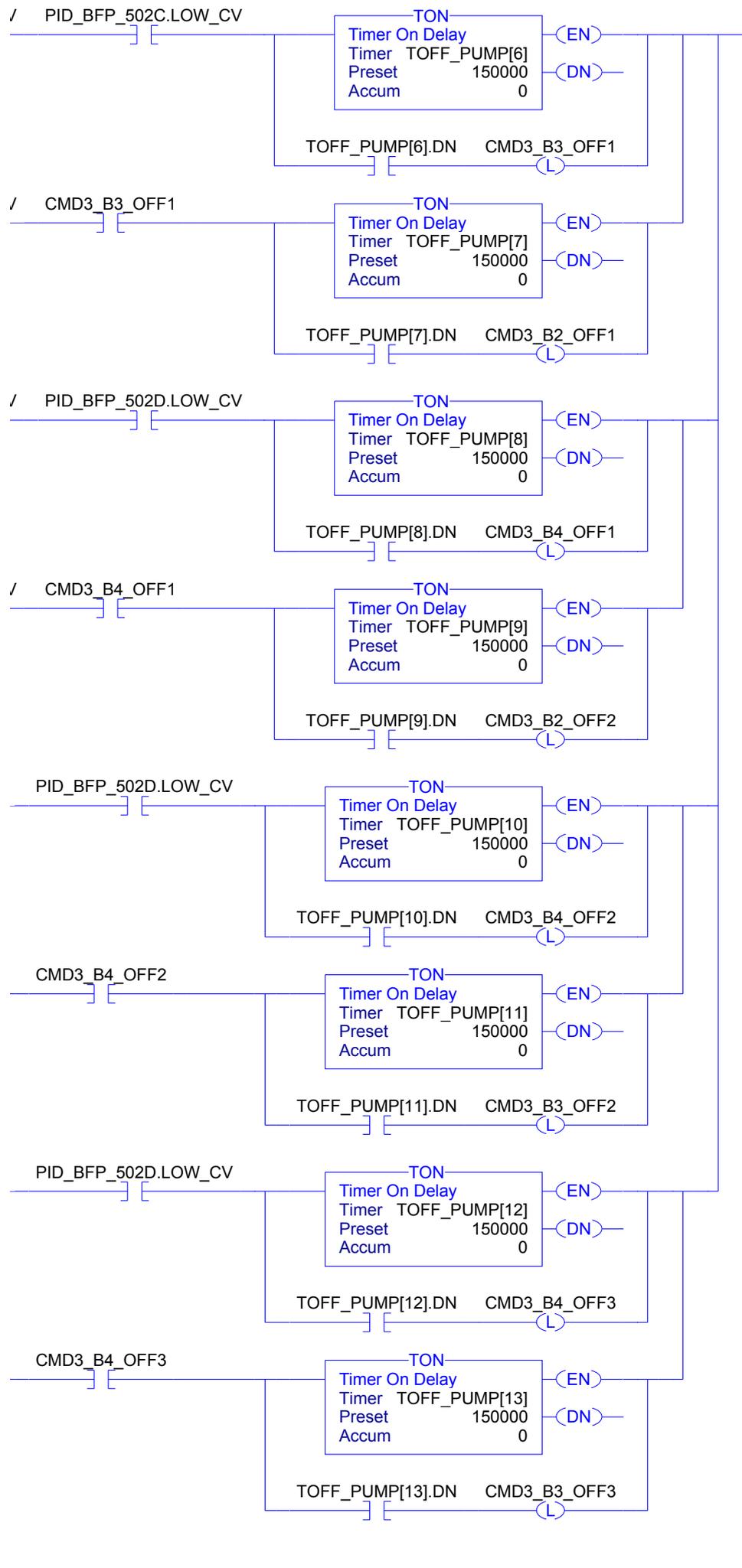


1

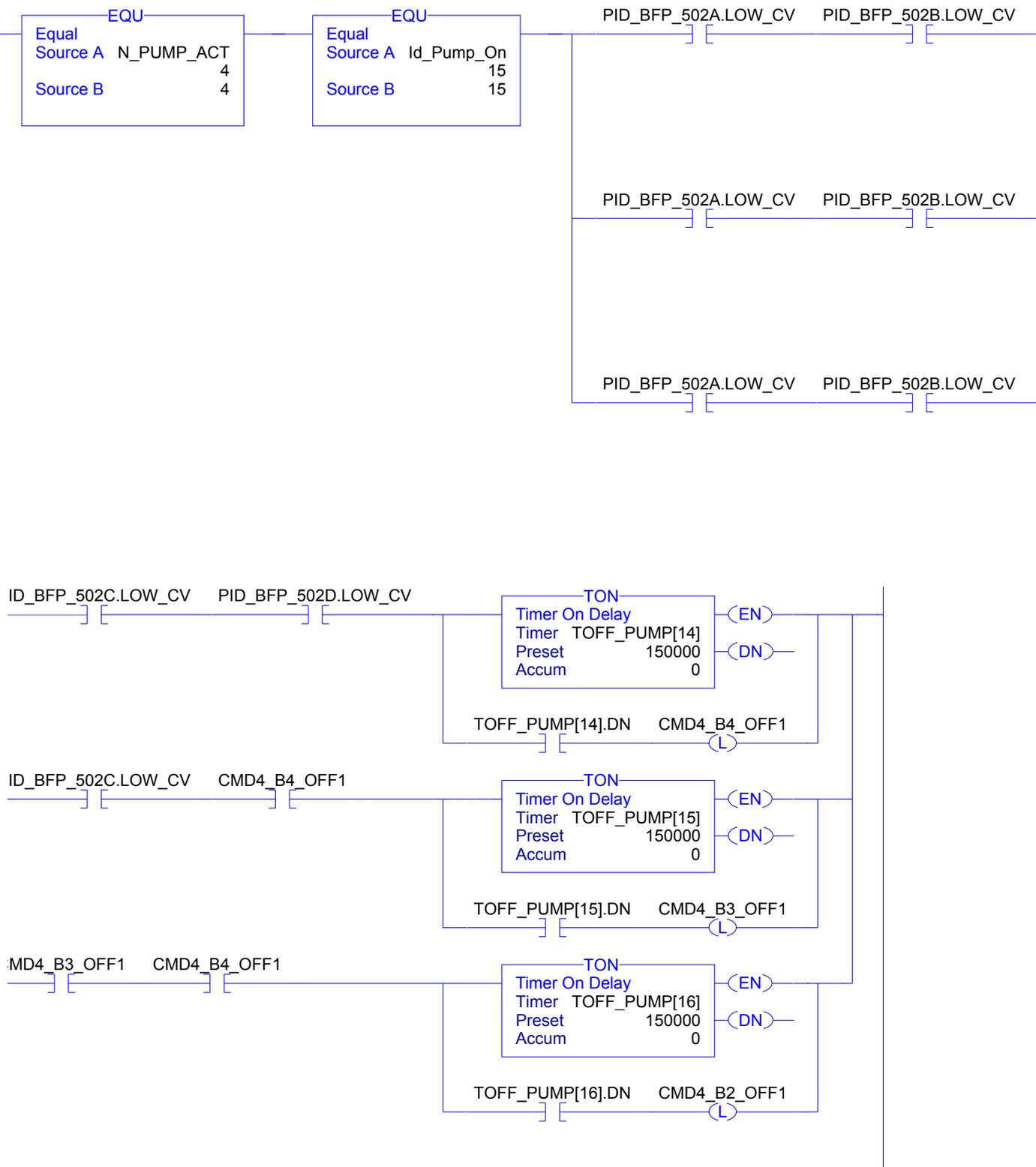






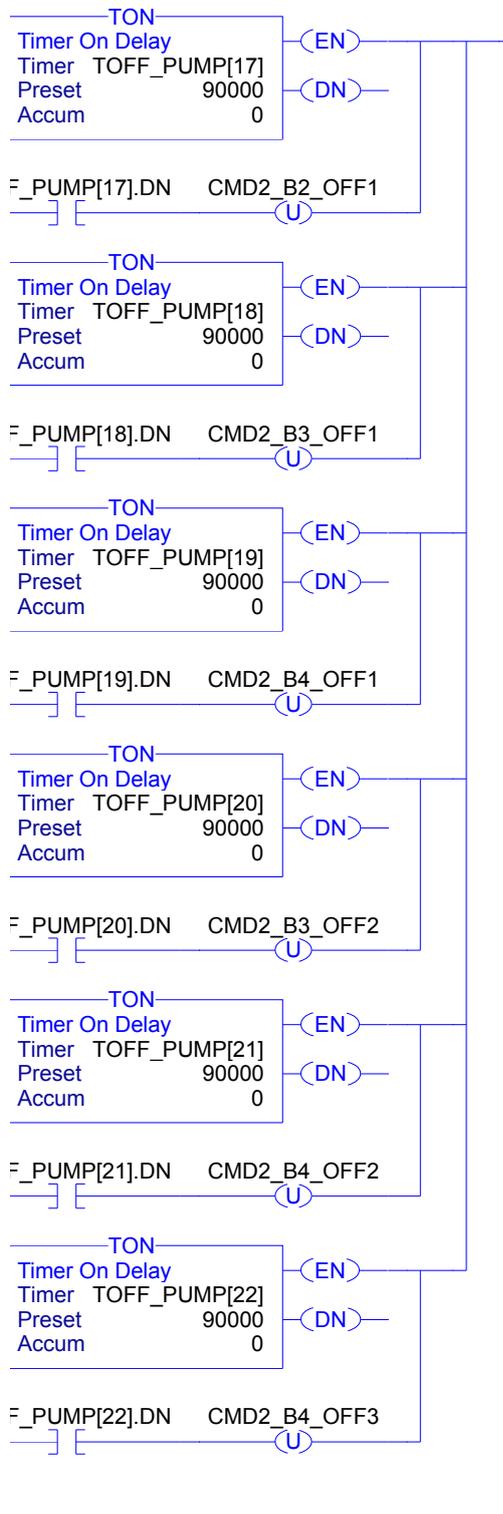


3



4





5

EQU
Equal
Source A N_PUMP_ACT 4
Source B 3

EQU
Equal
Source A Id_Pump_On 15
Source B 7

PID_BFP_502A.HIGH_CV PID_BFP_502B.HIGH_CV
PID_BFP_502A.HIGH_CV CMD3_B2_OFF1 CM

EQU
Equal
Source A Id_Pump_On 15
Source B 11

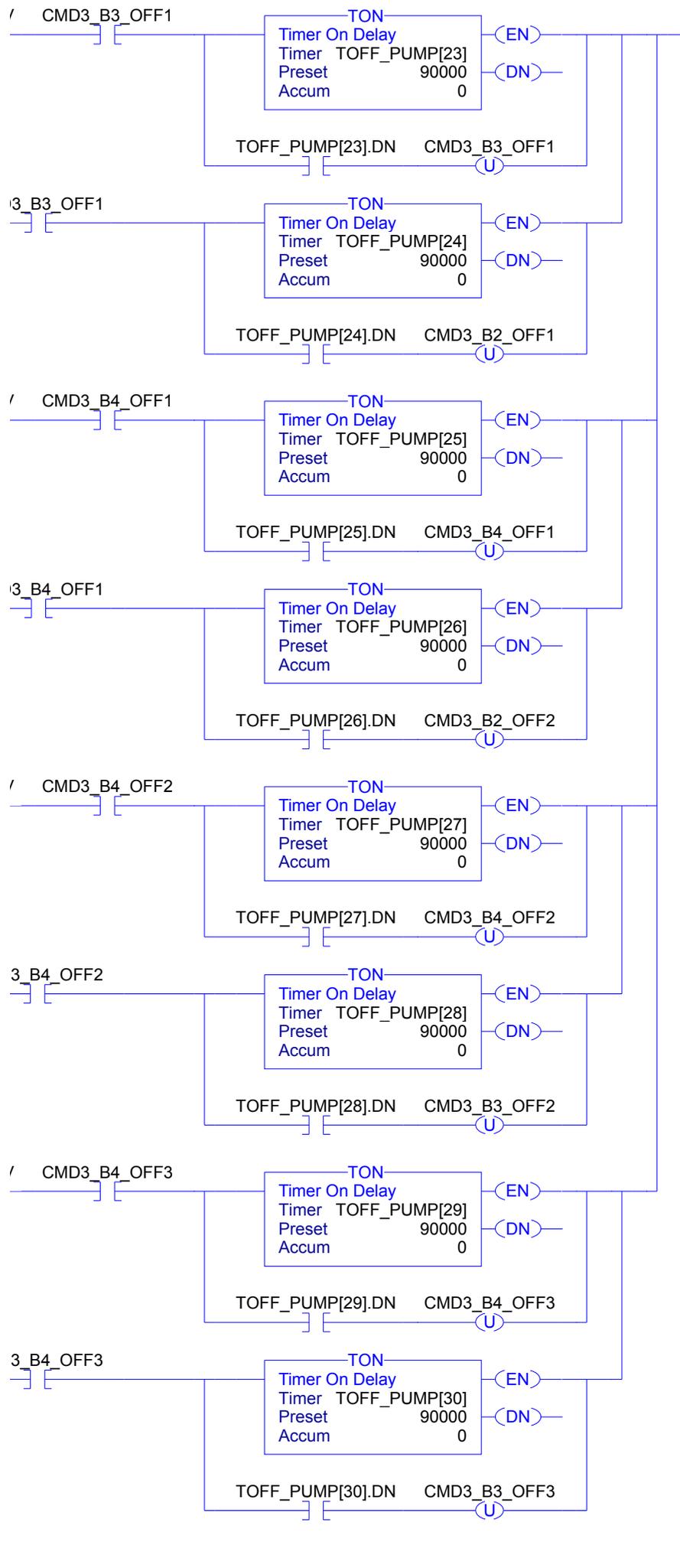
PID_BFP_502A.HIGH_CV PID_BFP_502B.HIGH_CV
PID_BFP_502A.HIGH_CV CMD3_B2_OFF2 CM

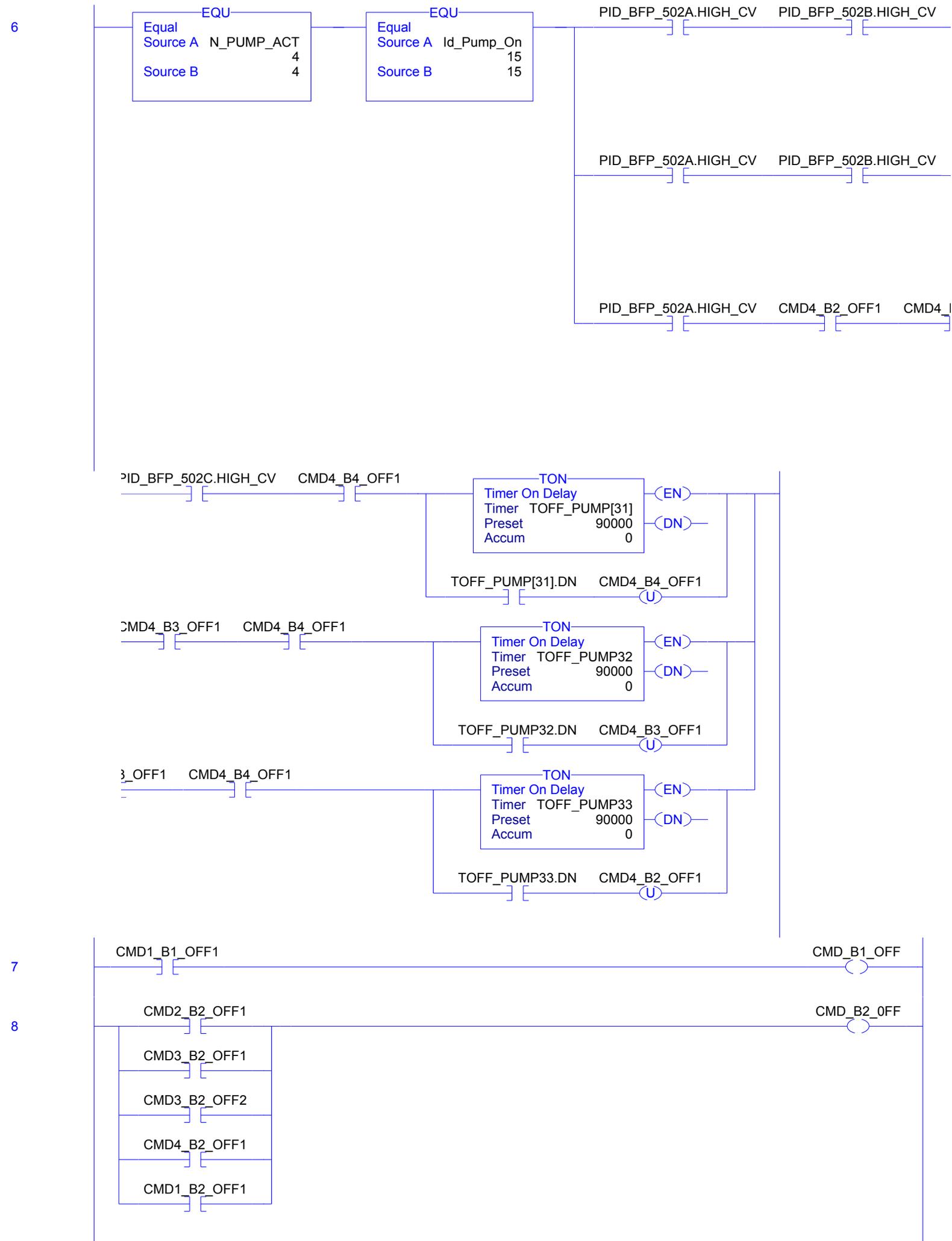
EQU
Equal
Source A Id_Pump_On 15
Source B 13

PID_BFP_502A.HIGH_CV PID_BFP_502C.HIGH_CV
PID_BFP_502A.HIGH_CV CMD3_B3_OFF2 CM

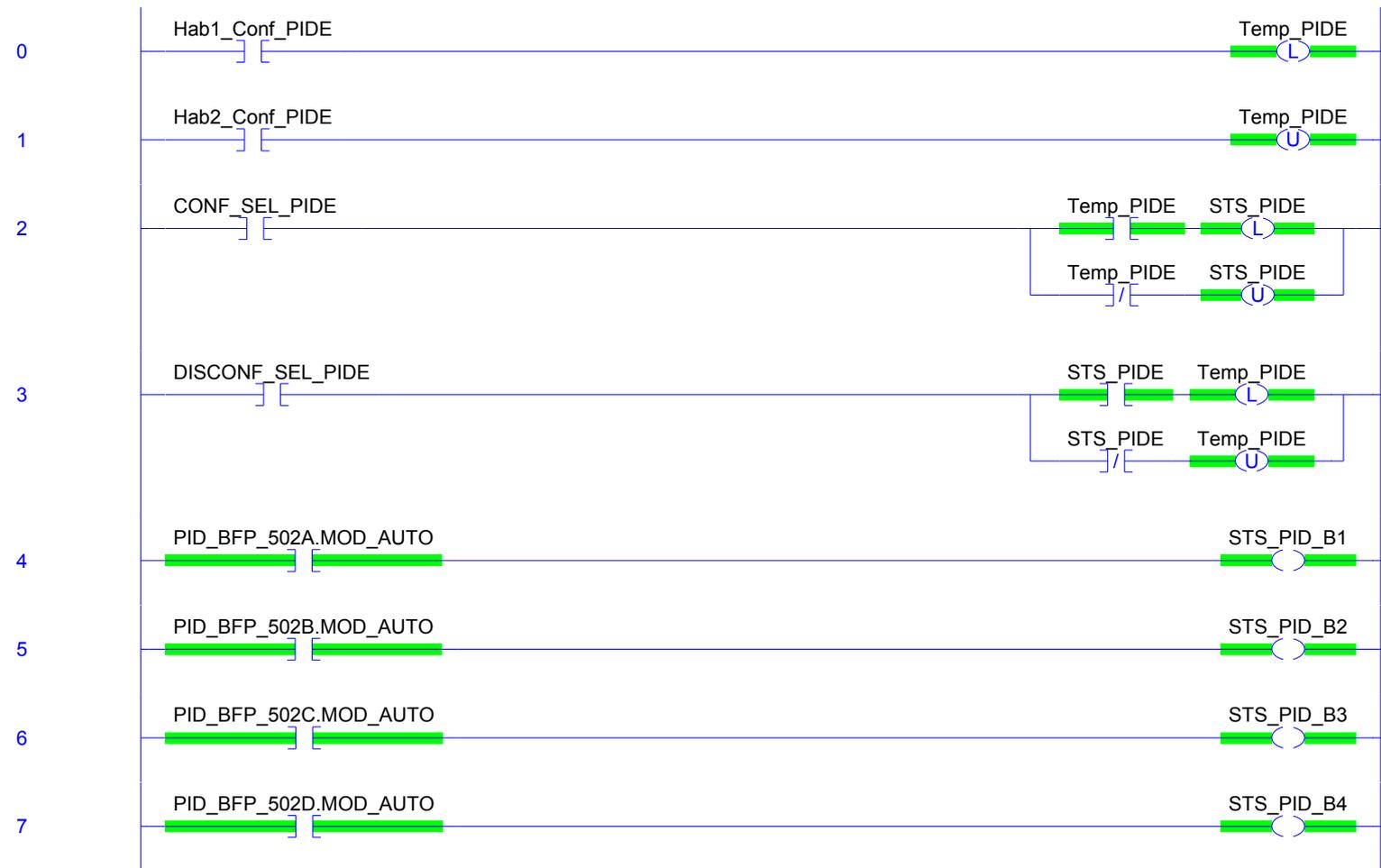
EQU
Equal
Source A Id_Pump_On 15
Source B 14

PID_BFP_502B.HIGH_CV PID_BFP_502C.HIGH_CV
PID_BFP_502B.HIGH_CV CMD3_B3_OFF3 CM

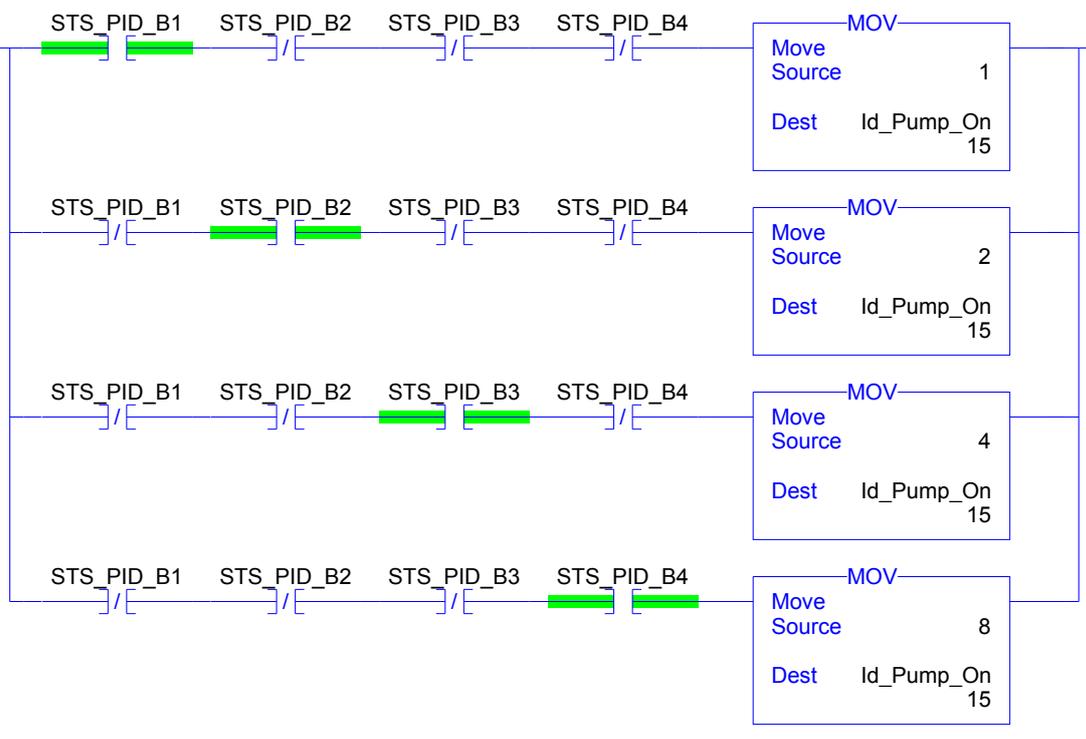




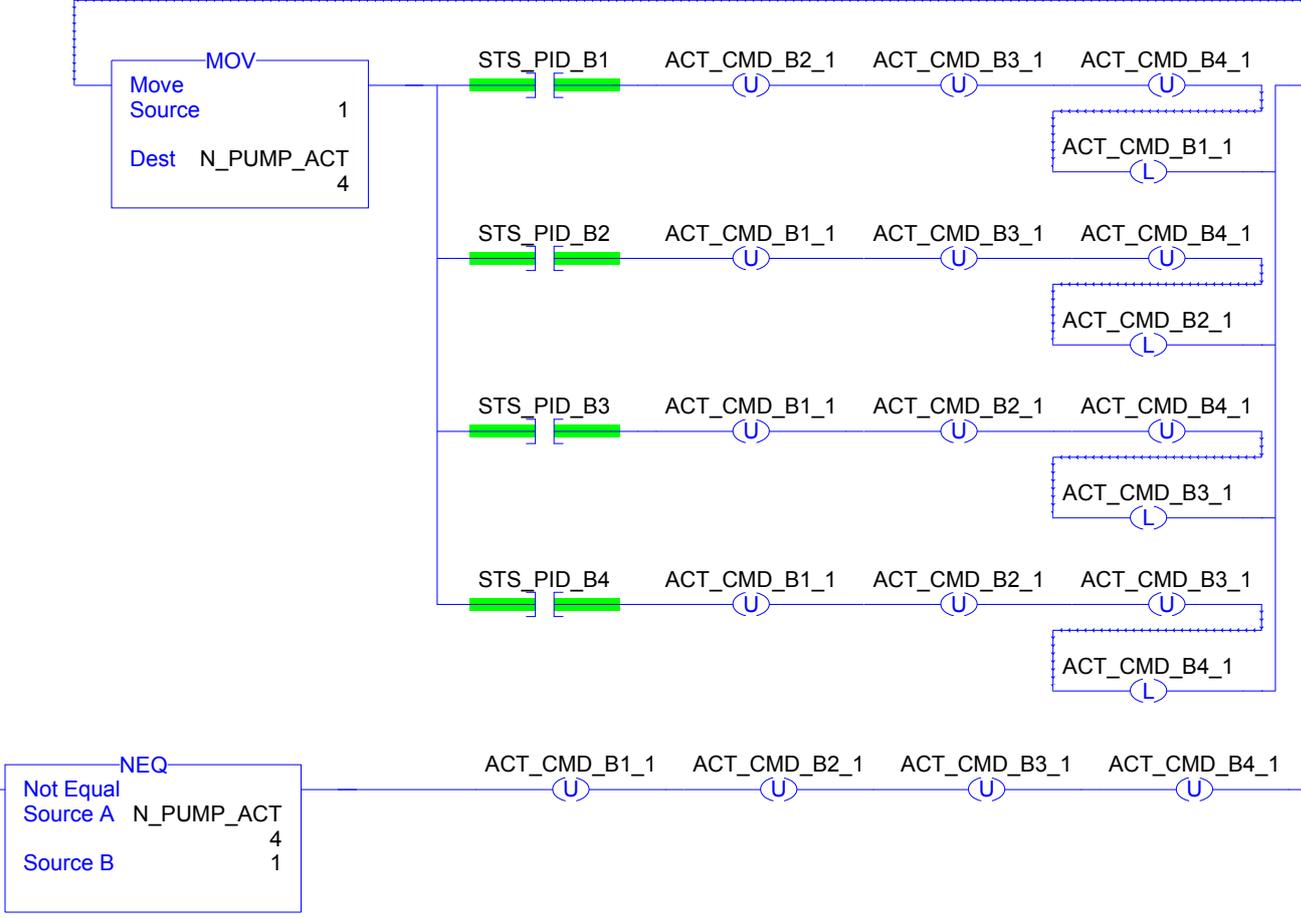




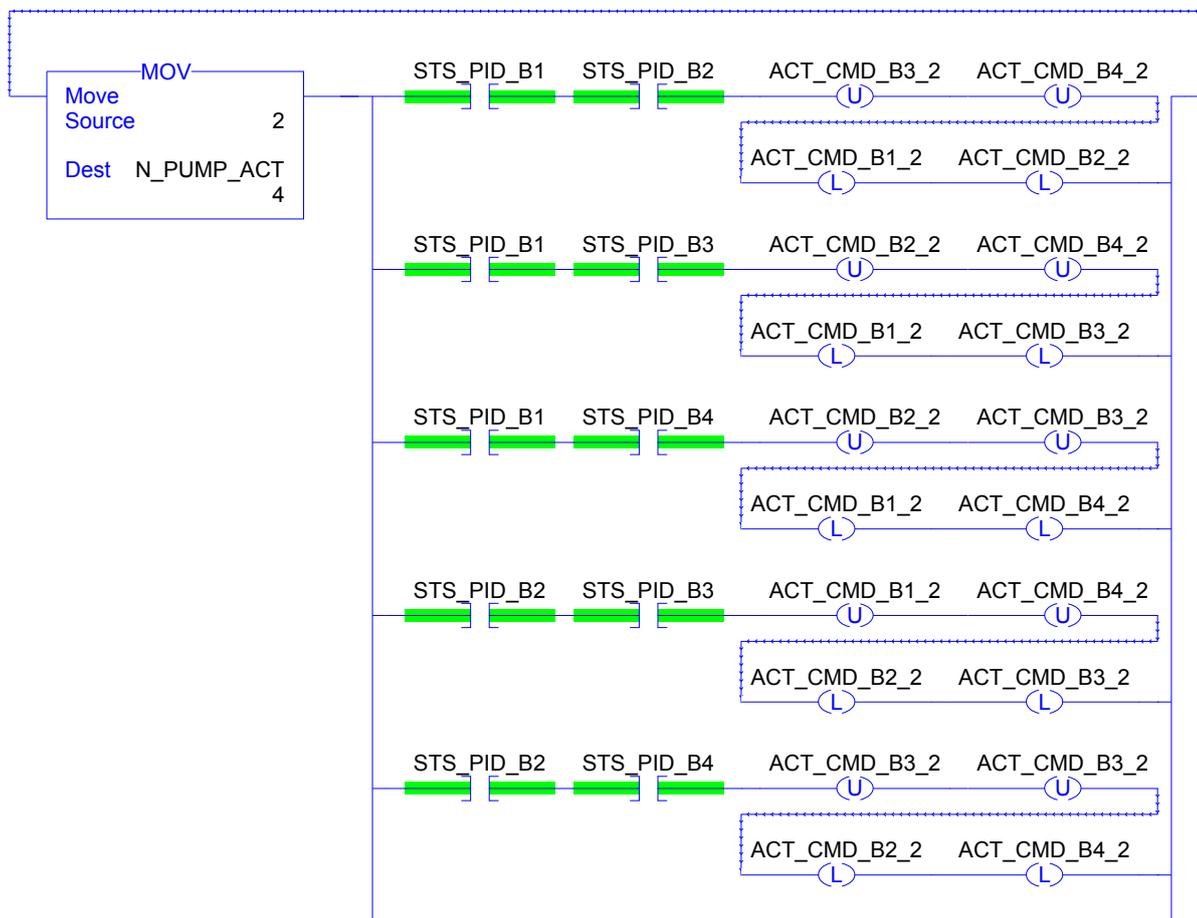
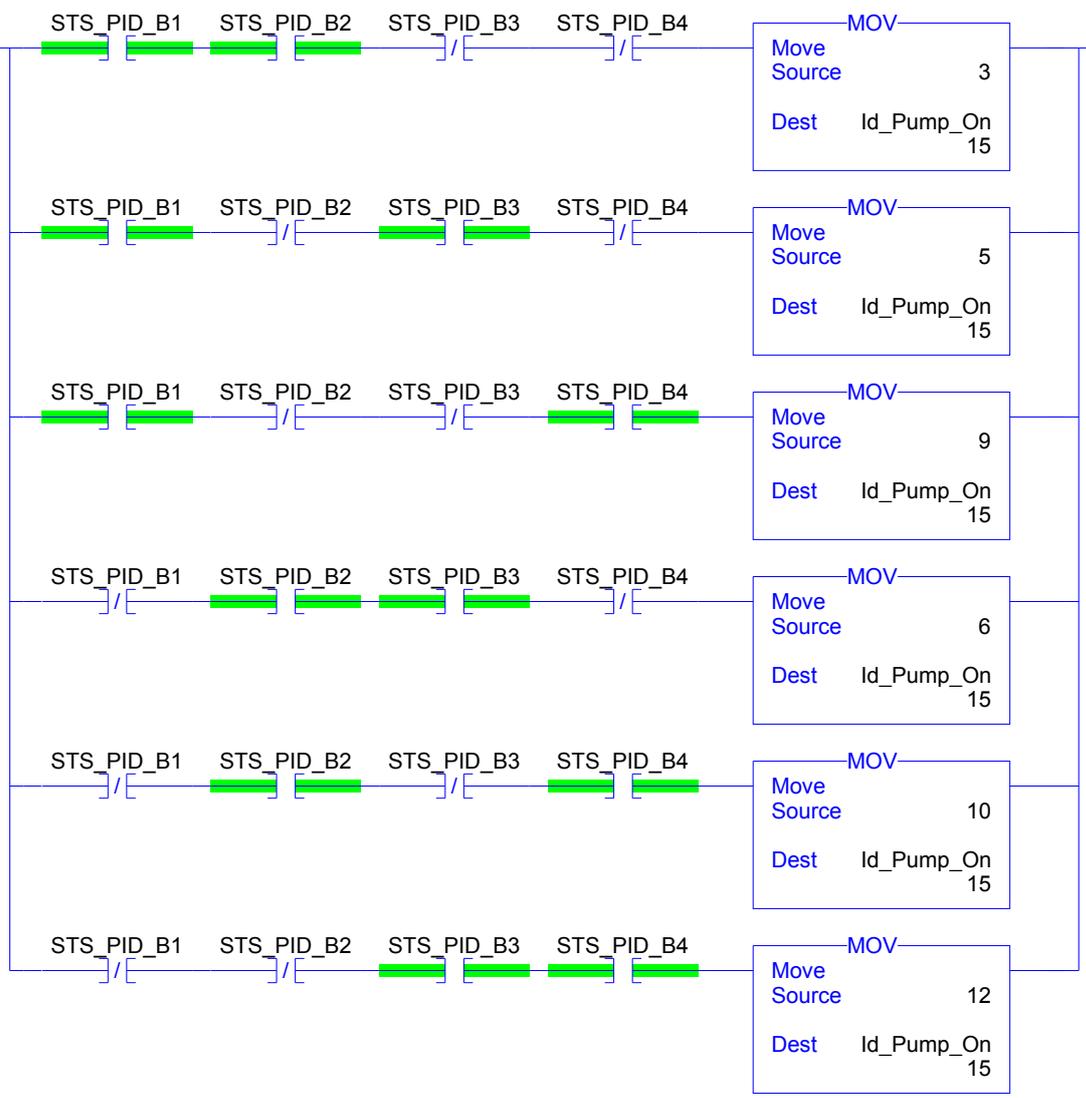
8

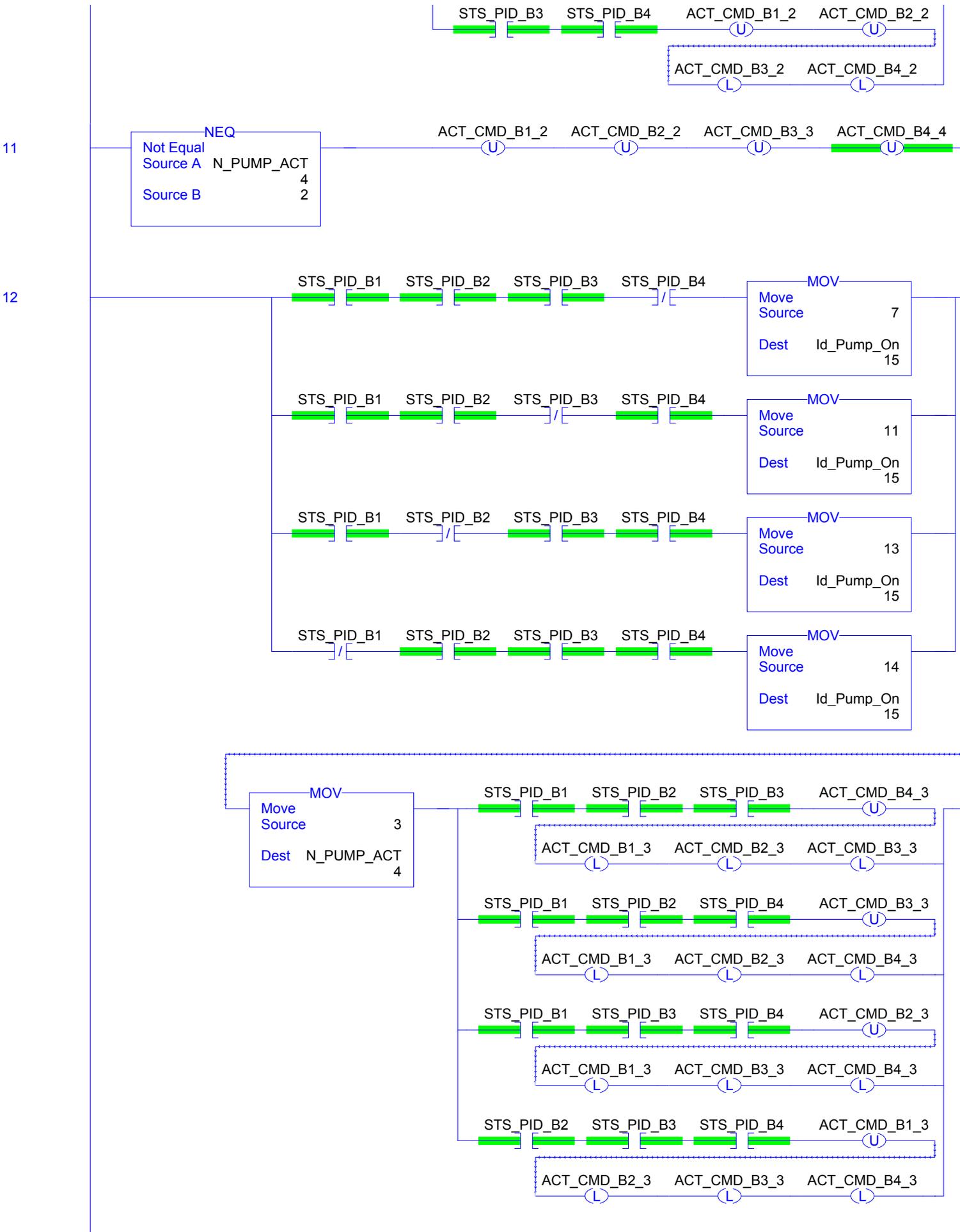


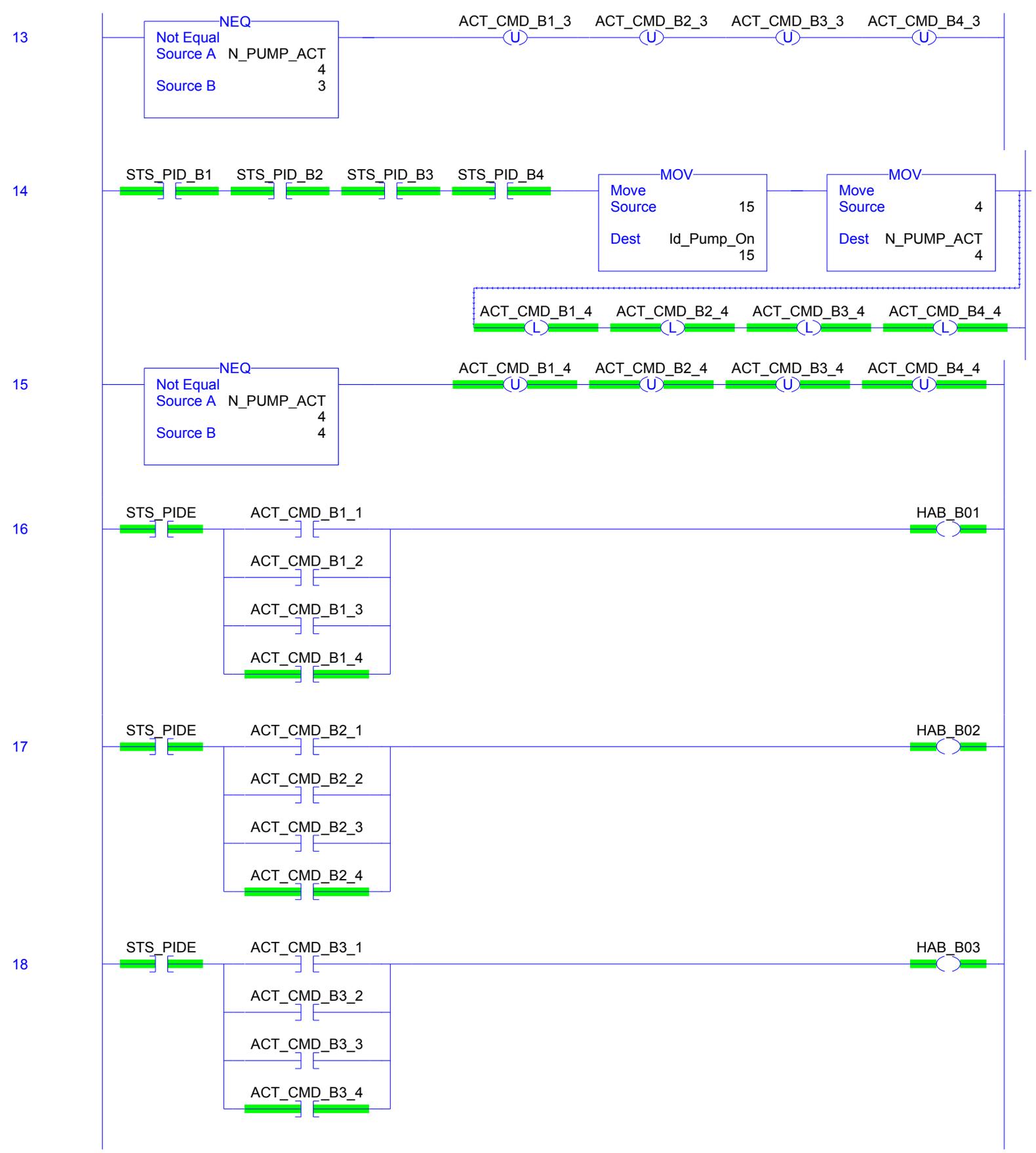
9

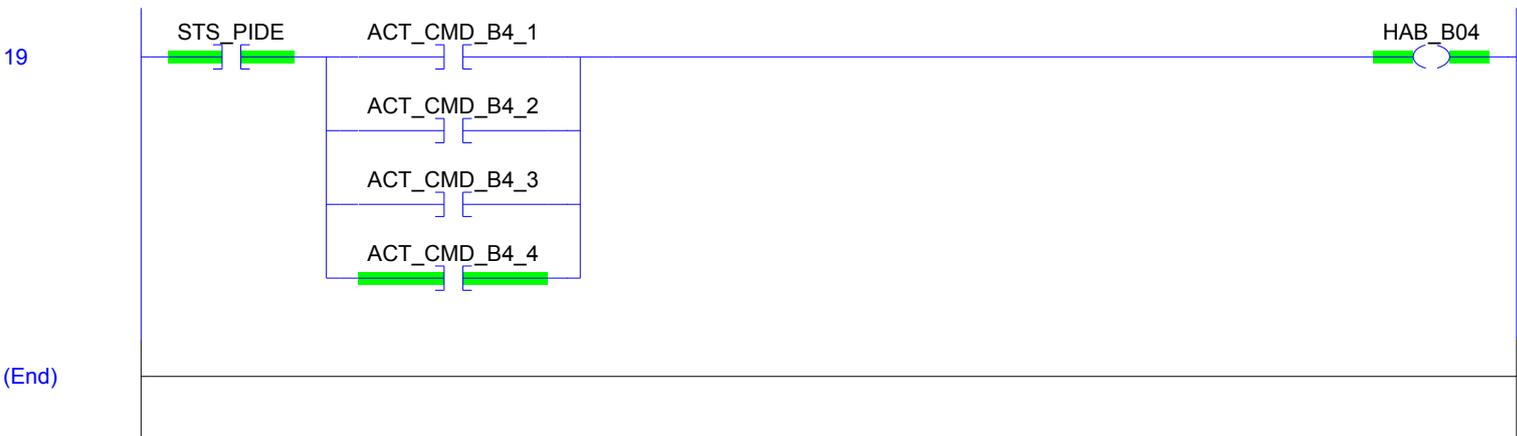


10









PIDE_VFD_CBD01 v1.0

CSO

Available Languages

Relay Ladder

PIDE_VFD_CBD01		
PIDE_VFD_CBD01	?	(Run)
RDY	?	(MOD_AUTO)
	??	(MOD_HAND)
CV_VFD	?	(HH_PV)
	??	(H_PV)
CV_Manual	?	(LOW_PV)
	??	(LL_PV)
Set_Point	?	(HIGH_CV)
	??	(LOW_CV)
PV_LIT510	?	(PID_Fault)
	??	
Mod_LOCAL_AP	?	
	??	
Mod_REM_AP	?	
	??	
Mod_LOCAL_AO	?	
	??	
Mod_REM_AO	?	
	??	
AUTO_MANUAL	?	
Proporcional	?	
	??	
Derivativo	?	
	??	
Integrativo	?	
	??	
SP_FeedBack	?	
	??	
E_Ctrl	?	

Function Block

PIDE_VFD_CBD01		
RDY	Run	
CV_Manual	CV_VFD	
Set_Point	MOD_AUTO	
PV_LIT510	MOD_HAND	
Mod_LOCAL_AP	HH_PV	
Mod_REM_AP	H_PV	
Mod_LOCAL_AO	LOW_PV	
Mod_REM_AO	LL_PV	
AUTO_MANUAL	HIGH_CV	
Proporcional	LOW_CV	
Derivativo	SP_FeedBack	
Integrativo	E_Ctrl	
	PID_Fault	

Structured Text

PIDE_VFD_CBD01(RDY, CV_VFD, CV_Manual, Set_Point, PV_LIT510, Mod_LOCAL_AP, Mod_REM_AP, Mod_LOCAL_AO, Mod_REM_AO, Proporcional, Derivativo, Integrativo, SP_FeedBack);

Parameters

Required	Name	Data Type	Usage	Description
X	PIDE_VFD_CBD01	PIDE_VFD_CBD01	InOut	

	EnableIn	BOOL	Input
	EnableOut	BOOL	Output
	Run	BOOL	Output
X	RDY	BOOL	Input
X	CV_VFD	REAL	Output
X	CV_Manual	REAL	Input
X	Set_Point	REAL	Input
X	PV_LIT510	REAL	Input
	MOD_AUTO	BOOL	Output
	MOD_HAND	BOOL	Output
X	Mod_LOCAL_AP	BOOL	Input
X	Mod_REM_AP	BOOL	Input
X	Mod_LOCAL_AO	BOOL	Input
X	Mod_REM_AO	BOOL	Input
	AUTO_MANUAL	BOOL	Input
X	Proporcional	REAL	Input
X	Derivativo	REAL	Input
X	Integrativo	REAL	Input
	HH_PV	BOOL	Output
	H_PV	BOOL	Output
	LOW_PV	BOOL	Output
	LL_PV	BOOL	Output
	HIGH_CV	BOOL	Output
	LOW_CV	BOOL	Output
X	SP_FeedBack	REAL	Output
	E_Ctrl	REAL	Output
	PID_Fault	BOOL	Output

Extended Description

Execution

Condition Description

EnableIn is true

Revision v1.0 Notes

Name	Default	Data Type	Scope
AUTO_MANUAL	0	BOOL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Input Parameter		
Required:	No		
Visible:	Yes		
External Access:	Read/Write		
<i>AUTO_MANUAL - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *2-E2(OREF,AUTO_MANUAL), 1-A2(IREF,AUTO_MANUAL), 1-B2(BNOT,BNOT_01.In), 1-C1(PIDE,PIDE_01.ProgAutoReq), 2-D1(TOFR,TOFR_01.DN)</i>			
CV_Manual	0.0	REAL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Input Parameter		
Required:	Yes		
Visible:	Yes		
External Access:	Read/Write		
<i>CV_Manual - PIDE_VFD_CBD01/Logic - 1-B1(IREF,CV_Manual), 1-C1(PIDE,PIDE_01.CVProg)</i>			
CV_VFD	0.0	REAL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Output Parameter		
Required:	Yes		
Visible:	Yes		
External Access:	Read Only		
<i>CV_VFD - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-E1(OREF,CV_VFD), 1-C1(PIDE,PIDE_01.CVEU)</i>			
Derivativo	0.0	REAL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Input Parameter		
Required:	Yes		
Visible:	Yes		
External Access:	Read/Write		
<i>Derivativo - PIDE_VFD_CBD01/Logic - 1-A2(IREF,Derivativo), 1-C1(PIDE,PIDE_01.DGain)</i>			
E_Ctrl	0.0	REAL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Output Parameter		
Required:	No		
Visible:	Yes		
External Access:	Read/Write		
<i>E_Ctrl - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-E2(OREF,E_Ctrl), 1-C1(PIDE,PIDE_01.E)</i>			
HH_PV	0	BOOL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Output Parameter		
Required:	No		
Visible:	Yes		
External Access:	Read Only		
<i>HH_PV - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-E2(OREF,HH_PV), 1-C1(PIDE,PIDE_01.PVHHAAlarm)</i>			
HIGH_CV	0	BOOL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Output Parameter		
Required:	No		
Visible:	Yes		
External Access:	Read Only		
<i>HIGH_CV - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-E1(OREF,HIGH_CV), 1-C1(PIDE,PIDE_01.CVHAlarm)</i>			
H_PV	0	BOOL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Output Parameter		
Required:	No		
Visible:	Yes		
External Access:	Read Only		
<i>H_PV - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-E2(OREF,H_PV), 1-C1(PIDE,PIDE_01.PVHAlarm)</i>			
Integrativo	0.0	REAL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Input Parameter		
Required:	Yes		
Visible:	Yes		
External Access:	Read/Write		
<i>Integrativo - PIDE_VFD_CBD01/Logic - 1-A2(IREF,Integrativo), 1-C1(PIDE,PIDE_01.IGain)</i>			
LL_PV	0	BOOL	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Output Parameter		

LL_PV (Continued)

Required: No
 Visible: Yes
 External Access: Read Only
*LL_PV - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E2(OREF,LL_PV), I-C1(PIDE,PIDE_01.PVLLAlarm)*

LOW_CV 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Output Parameter
 Required: No
 Visible: Yes
 External Access: Read Only
*LOW_CV - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E2(OREF,LOW_CV), I-C1(PIDE,PIDE_01.CVLAAlarm)*

LOW_PV 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Output Parameter
 Required: No
 Visible: Yes
 External Access: Read Only
*LOW_PV - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E2(OREF,LOW_PV), I-C1(PIDE,PIDE_01.PVLAAlarm)*

MOD_AUTO 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Output Parameter
 Required: No
 Visible: Yes
 External Access: Read/Write
*MOD_AUTO - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E2(OREF,MOD_AUTO), I-C1(PIDE,PIDE_01.Auto)*

MOD_HAND 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Output Parameter
 Required: No
 Visible: Yes
 External Access: Read/Write
*MOD_HAND - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E3(OREF,MOD_HAND), I-C1(PIDE,PIDE_01.Manual)*

Mod_LOCAL_AO 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter
 Required: Yes
 Visible: Yes
 External Access: Read/Write
Mod_LOCAL_AO - PIDE_VFD_CBD01/Logic - 2-A2(IREF,Mod_LOCAL_AO), 2-B2(BOR,BOR_02.In1)

Mod_LOCAL_AP 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter
 Required: Yes
 Visible: Yes
 External Access: Read/Write
Mod_LOCAL_AP - PIDE_VFD_CBD01/Logic - 2-A1(IREF,Mod_LOCAL_AP), 2-B1(BOR,BOR_01.In1)

Mod_REM_AO 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter
 Required: Yes
 Visible: Yes
 External Access: Read/Write
Mod_REM_AO - PIDE_VFD_CBD01/Logic - 2-A2(IREF,Mod_REM_AO), 2-B2(BOR,BOR_02.In2)

Mod_REM_AP 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter
 Required: Yes
 Visible: Yes
 External Access: Read/Write
Mod_REM_AP - PIDE_VFD_CBD01/Logic - 2-A1(IREF,Mod_REM_AP), 2-B1(BOR,BOR_01.In2)

PID_Fault 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Output Parameter
 Required: No
 Visible: Yes
 External Access: Read/Write

PID_Fault (Continued)

*PID_Fault - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E3(OREF,PID_Fault), I-C1(PIDE,PIDE_01.InstructFault)*

Proporcional 0.0 REAL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter

Required: Yes

Visible: Yes

External Access: Read/Write

Proporcional - PIDE_VFD_CBD01/Logic - I-A2(IREF,Proporcional), I-C1(PIDE,PIDE_01.PGain)

PV_LIT510 0.0 REAL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter

Required: Yes

Visible: Yes

External Access: Read/Write

PV_LIT510 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - I-B1(IREF,PV_LIT510), I-C1(PIDE,PIDE_01.PV)

RDY 1 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter

Required: Yes

Visible: Yes

External Access: Read/Write

RDY - PIDE_VFD_CBD01/Logic - I-C1(IREF,RDY), I-C1(PIDE,PIDE_01.EnableIn)

Run 0 BOOL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Output Parameter

Required: No

Visible: Yes

External Access: Read Only

*Run - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E1(OREF,Run), I-C1(PIDE,PIDE_01.EnableOut)*

Set_Point 0.0 REAL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Input Parameter

Required: Yes

Visible: Yes

External Access: Read/Write

Set_Point - PIDE_VFD_CBD01/Logic - I-B1(IREF,Set_Point), I-C1(PIDE,PIDE_01.SPProg)

SP_FeedBack 0.0 REAL PIDE_VFD_CBD01

Usage: Output Parameter

Required: Yes

Visible: Yes

External Access: None

*SP_FeedBack - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *I-E2(OREF,SP_FeedBack), I-C1(PIDE,PIDE_01.SP)*

Name	Default	Data Type	Scope
AutoTune_PIDE		PIDE_AUTOTUNE	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>AutoTune_PIDE - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-C1(PIDE,PIDE_01)</i>			
BAND_01		FBD_BOOLEAN_AND	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>BAND_01 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *2-B1(BOR,BOR_01.Out), *2-B2(BNOT,BNOT_02.Out), *2-C1(BAND,BAND_01), *2-D1(TOFR,TOFR_01.TimerEnable)</i>			
BNOT_01		FBD_BOOLEAN_NOT	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>BNOT_01 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-A2(IREF,AUTO_MANUAL), *1-B2(BNOT,BNOT_01), *1-C1(PIDE,PIDE_01.ProgManualReq)</i>			
BNOT_02		FBD_BOOLEAN_NOT	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>BNOT_02 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *2-B2(BNOT,BNOT_02), *2-B2(BOR,BOR_02.Out), *2-C1(BAND,BAND_01.In2)</i>			
BOR_01		FBD_BOOLEAN_OR	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>BOR_01 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *2-A1(IREF,Mod_LOCAL_AP), *2-A1(IREF,Mod_REM_AP), *2-B1(BOR,BOR_01), *2-C1(BAND,BAND_01.In1)</i>			
BOR_02		FBD_BOOLEAN_OR	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>BOR_02 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *2-A2(IREF,Mod_LOCAL_AO), *2-A2(IREF,Mod_REM_AO), *2-B2(BNOT,BNOT_02.In), *2-B2(BOR,BOR_02)</i>			
PIDE_01		PID_ENHANCED	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>PIDE_01 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *1-A2(IREF,AUTO_MANUAL), *1-A2(IREF,Derivativo), *1-A2(IREF,Integrativo), *1-A2(IREF,Proporcional), *1-B1(IREF,CV_Manual), *1-B1(IREF,PV_LIT510), *1-B1(IREF,Set_Point), *1-B2(BNOT,BNOT_01.Out), *1-B2(IREF,1), *1-C1(IREF,RDY), *1-C1(PIDE,PIDE_01), *1-E1(OREF,CV_VFD), *1-E1(OREF,HIGH_CV), *1-E1(OREF,Run), *1-E2(OREF,E_Ctrl), *1-E2(OREF,H_PV), *1-E2(OREF,HH_PV), *1-E2(OREF,LL_PV), *1-E2(OREF,LOW_CV), *1-E2(OREF,LOW_PV), *1-E2(OREF,MOD_AUTO), *1-E2(OREF,SP_FeedBack), *1-E3(OREF,MOD_HAND), *1-E3(OREF,PID_Fault)</i>			
TOFR_01		FBD_TIMER	PIDE_VFD_CBD01
Usage:	Local Tag		
External Access:	None		
<i>TOFR_01 - PIDE_VFD_CBD01/Logic - *2-C1(BAND,BAND_01.Out), *2-D1(TOFR,TOFR_01), *2-D2(IREF,3000), *2-E2(OREF,AUTO_MANUAL)</i>			

