

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTROTÉCNIA



**REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE  
CONTROL DE UNA PLANTA DE SEPARACIÓN PRIMARIA  
DE HIDROCARBUROS**

Informe de Proyecto Integrador Profesional presentado por:

GONZALEZ, VICTOR MARTIN

Ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue para acceder al  
título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Dirección

Director: ING. COLON, DANIEL

Codirector: ING. MARTÍNEZ COYA, EDGARDO MAX

Neuquén, Mayo 2025

La calidad empieza con la educación y  
termina con la educación

Kaoro Ishikawa

## **Dedicatorias y Agradecimientos**

En esta sección quiero agradecer a mis padres en primer lugar, que desde niño me inculcaron los valores de la educación y me motivaron para tener una mejor calidad de vida.

Por otro lado, quiero agradecer a mi familia en general por su incondicional apoyo para terminar esta tesis y por ser pilar en todos los desafíos de mi vida.

Quiero dedicarles esta tesis a mis hijos, a quienes amo profundamente y espero ser fuente de inspiración para sus vidas.

Quiero hacer una mención a mi director de tesis, que desde que éramos compañeros de estudio siempre se mostró comprometido con la educación siendo entusiasta y proactivo, motivándome a finalizar este trabajo.

Por último y para no ser muy extensivo, en esta sección quería agradecer a mi codirector de tesis por su apoyo incondicional en los desafíos tanto de la tesis como del trabajo diario.

## Resumen

El objetivo del presente proyecto es rediseñar el sistema de control de una planta de separación primaria de hidrocarburos ubicada en la cuenca neuquina.

El sistema de control actual, basado en un controlador Fisher ROC 364, está quedando obsoleto, ya que éste y sus periféricos son de fabricación discontinuadas dificultando su mantenimiento. Por otro lado, no permite hacer modificaciones de manera remotas ni parciales en su programación sin afectar el normal funcionamiento del proceso.

La actualización de la tecnología, como la implementación de un controlador lógico programable (PLC), permitirá una mayor capacidad de memoria, una programación amigable para futuras modificaciones, mayor velocidad de procesamiento de la CPU, mayor capacidad de manejos de entradas y salidas, mayor velocidad de transmisión de datos al sistema SCADA entre otras. Además, esta tecnología permite instalar un panel HMI (PanelView) en el lugar, lo que facilitará el monitoreo por parte del operador, la elección de operaciones y configuraciones desde el panel sobre el PLC. Para ello se realizará la ingeniería inversa del actual sistema de control y el relevamiento de equipos e instrumentos existentes en la instalación. Se obtendrá el listado de señales y se desarrollará la matriz de causa & efecto que se implementará en el sistema de control.

Después se continuará con la selección de un PLC como unidad central del nuevo sistema de control y sus periféricos, luego se definirá la ingeniería del tablero.

Posteriormente se realizará el diseño y programación del PLC y Panel HMI.

Para finalizar, se hará el precomisionado, comisionado y puesta en marcha del nuevo sistema de control. También se llevará a cabo el análisis de las mejoras debido al cambio de tecnología, en el control del proceso, seguridad de las personas e instalaciones. Además, se realizarán recomendaciones para futuras mejoras.

**Palabras clave:** Batería, PMP (puente medición de petróleo), RTU (unidad terminal remota), PLC(controlador lógico programable), HMI(interfaz maquina humano), PMG(puente medición de gas), LIC(indicador y controlador de nivel). SCADA(supervisión, control y adquisición de datos)

## **Abstract**

The objective of this project is to redesign the control system of a primary hydrocarbon separation plant located in the Neuquén basin.

The current control system, based on a Fisher ROC 364 controller, is becoming obsolete, since it and its peripherals are discontinued, making maintenance difficult. On the other hand, it does not allow remote or partial modifications to be made to its programming without affecting the normal functioning of the process.

The technology update, such as the implementation of a programmable logic controller (PLC), will allow greater memory capacity, friendly programming for future modifications, higher CPU processing speed, greater input and output handling capacity, higher speed of data transmission to the SCADA system among others. In addition, this technology allows an HMI panel (PanelView) to be installed on site, which will facilitate monitoring by the operator, choosing operations and configurations from the panel on the PLC. To do this, reverse engineering of the current control system will be carried out and a survey of existing equipment and instruments in the facility will be carried out. The list of signals will be obtained and the cause & effect matrix will be developed that will be implemented in the control system.

Afterwards, the selection of a PLC as the central unit of the new control system and its peripherals will continue, then the engineering of the board will be defined.

Subsequently, the design and programming of the PLC and HMI Panel will be carried out.

Finally, the pre-commissioning, commissioning and implementation of the new control system will be carried out. The analysis of improvements due to the change in technology will also be carried out, in process control, safety of people and facilities. Additionally, recommendations will be made for future improvements.

## Índice general

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Índice general.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1 Introducción.....</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1 <i>introducción</i> .....   | 4         |
| 1.1 <i>Estado del arte</i> .....  | 4         |
| 1.2 <i>Objetivos</i> .....  | 6         |
| <b>2 Marco General.....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1 <i>Descripción de la batería</i> .....                                    | 7         |
| 2.2 <i>Descripción de los procesos realizados en la Batería</i> .....         | 8         |
| 2.3 <i>Estándares de bloques de programación para PLC y HMI</i> .....         | 13        |
| 2.3.1 <i>Estándares de bloques de programación para PLC</i> .....             | 13        |
| 2.3.2 <i>Bloque de entrada digital</i> .....                                  | 16        |
| 2.3.3 <i>Bloque de entrada analógica</i> .....                                | 16        |
| 2.3.4 <i>Bloque de motor</i> .....  | 16        |
| 2.3.5 <i>Bloque de Interlock de motor</i> .....                               | 17        |
| 2.3.6 <i>Bloque de control PID</i> .....                                      | 17        |
| 2.4 <i>Desarrollo de las aplicaciones</i> .....                               | 17        |
| 2.4.1 <i>Lenguajes de programación</i> .....                                  | 18        |
| 2.4.2 <i>Instrucciones Add-On</i> .....                                       | 18        |
| 2.5 <i>Criterios de configuración de HMI</i> .....                            | 19        |
| 2.6 <i>Diagrama de Flujo de arranque y paro de bombas a implementar</i> ..... | 19        |
| <b>3 Metodología y Desarrollo.....</b>  | <b>21</b> |
| 3.1 <i>Metodología o diseño</i> .....   | 21        |
| 3.2 <i>Desarrollo</i> .....   | 22        |
| 3.3 <i>Desarrollo de la programación del PLC</i> .....                        | 24        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.3.1    | <i>Procedimiento para la determinación de la arquitectura de hardware</i> | 24        |
| 3.3.2    | <i>Racionalización de alarmas y elaboración de la matriz causa efecto</i> | 26        |
| 3.3.3    | <i>Elección de Controlador y periféricos</i>                              | 28        |
| 3.3.4    | <i>Programación del controlador</i>                                       | 30        |
| 3.4      | <i>Pantallas y operación del HMI</i>                                      | 38        |
| 3.4.1    | <i>Pantallas</i>  | 38        |
| 3.4.2    | <i>Pruebas de aceptación en sitio y Puesta en marcha</i>                  | 45        |
| 3.5      | <i>Desarrollo de configuración de UPS</i>                                 | 46        |
| <b>4</b> | <b>Resultados</b>   | <b>47</b> |
| <b>5</b> | <b>Conclusiones y Recomendaciones o trabajos futuros</b>                  | <b>50</b> |
| 5.1      | <i>Conclusiones</i>   | 50        |
| 5.2      | <i>Medición de nivel</i>  | 51        |
| 5.3      | <i>Seguridad de las personas</i>  | 51        |
| 5.4      | <i>Calefacción de la RTU</i>  | 52        |
| 5.5      | <i>Test de baterías en forma remota</i>                                   | 52        |
| <b>6</b> | <b>Anexo</b>  | <b>53</b> |
| 6.1      | <i>Descripción del bloque motor</i>                                       | 53        |
| 6.2      | <i>Desarrollo de como realizar las pantallas HMI</i>                      | 53        |
| 6.2.1    | <i>Criterios globales de diseño HMI</i>                                   | 53        |
| 6.2.2    | <i>Secciones de visualización</i>   | 53        |
| 6.2.3    | <i>Jerarquía de pantallas de proceso</i>                                  | 54        |
| 6.2.4    | <i>Capas de visualización</i>   | 54        |
| 6.2.5    | <i>Matriz causa efecto</i>  | 55        |
| 6.2.6    | <i>Pantallas emergentes</i>   | 55        |
| 6.2.7    | <i>Navegación entre pantallas</i>   | 55        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 6.2.8    | <i>Permisos de usuario</i> .....  | 56        |
| 6.3      | <i>Programación del PLC</i> .....   | 56        |
| 6.3.1    | <i>Organización y programación</i> .....  | 56        |
| 6.3.2    | <i>Data Types importados y configurados</i> .....                               | 58        |
| 6.3.3    | <i>Asignación de Hardware al programa</i> .....                                 | 60        |
| 6.3.4    | <i>Instrucciones Add On</i> .....   | 60        |
| 6.3.5    | <i>Programación de Bloques de entradas digitales en DBF</i> .....               | 61        |
| 6.3.6    | <i>Asignación de salidas digitales programadas en DBF</i> .....                 | 62        |
| 6.3.7    | <i>Programación Bloques de entradas analógicas en DBF</i> .....                 | 62        |
| 6.3.8    | <i>Programación de la asignación de salidas analógicas en DBF</i> .....         | 63        |
| 6.3.9    | <i>Programación en Ladder del control de bombas</i> .....                       | 63        |
| 6.3.10   | <i>Programación de los bloques de motor en DBF</i> .....                        | 64        |
| 6.3.11   | <i>Disposición y Configuración de los puertos de comunicación Prosoft</i> ..... | 65        |
| 6.3.12   | <i>Disposición y Programación de masicos y scanners</i> .....                   | 66        |
| 6.3.13   | <i>Disposición y Programación del PID</i> .....                                 | 66        |
| 6.3.14   | <i>Hardware y software necesarios para conectarse al PLC</i> .....              | 67        |
|          | <b>Lista de figuras y símbolos</b> .....  | <b>68</b> |
|          | <b>Lista de tablas</b> .....  | <b>72</b> |
|          | <b>Glosario o terminología</b> .....  | <b>74</b> |
| <b>7</b> | <b>Bibliografía</b> .....   | <b>75</b> |

# 1 Introducción

## 1.1 introducción

La mayor parte de los yacimientos maduros poseen sistemas de control y comunicación antiguos. El problema fundamental, tanto los sistemas de control como sus periféricos, es la discontinuidad de fabricación. La ROC 364 se discontinuo en el año 2008 y quedó fuera del periodo de sostenimiento de los repuestos en el mercado.

En este proyecto se llevará a cabo el rediseño del sistema de control de una planta de separación primaria de hidrocarburos. El sistema de control actual no permite hacer modificaciones remotas en su programación sin afectar el normal funcionamiento del proceso.

La implementación de un controlador lógico programable (PLC) no solo permitirá solucionar el punto planteado sino que permitirá: una mayor capacidad de memoria, una programación amigable para futuras modificaciones, mayor velocidad de procesamiento de la CPU, mayor capacidad de entradas-salidas y mayor velocidad de transmisión de datos al sistema SCADA. Además, esta tecnología permite instalar un panel HMI (PanelView) en el lugar, lo que facilitará el monitoreo por parte del operador, la elección de operaciones y configuraciones desde el panel sobre el PLC.

Las limitaciones en cuanto a la elección del controlador y panel HMI vienen dadas por los materiales provistos por la empresa, de los cuales se adoptarán los más adecuados para el proceso. En cuanto a la programación, se utilizarán librerías con bloques estándares provistos por la empresa, facilitando el mantenimiento y modificaciones de las instalaciones que posean los mismos controladores.

## 1.1 Estado del arte

Antecedentes y contexto:

Las baterías pueden funcionar de manera local, con sistemas de control locales neumáticos en los separadores y eléctricos manuales para las bombas, pero requieren la presencia de una persona en el campo para constatar el normal funcionamiento de esta. De hecho, habían trailers para las personas que se encargaban de este trabajo y por su función se los llama bateristas. Luego se implementaron sistemas de control con telemetría mediante controladores ROC364 con radios 9810 que posee comunicación serial 232 con el controlador. Esto permitió el monitoreo de las baterías mediante SCADA(Supervisión, Control y Adquisición de Datos) y ya

no fue necesaria la presencia del baterista full time en la batería sino solo cuando la maniobra lo requiera. Con el tiempo estos controladores comenzaron a fallar, tanto en sus canales de entradas y salidas como en sus placas de comunicación, además de las radios. Al principio no hubo problema en reemplazar los componentes, pero luego se dejaron de fabricar con lo cual se tuvo que recurrir a tecnologías vigentes con respaldo en repuestos. La automatización industrial ha avanzado significativamente en la industria petrolera, permitiendo mejorar la eficiencia y reducir costos. Los PLC juegan un papel crucial en este proceso, ya que permiten controlar y monitorear procesos complejos en tiempo real. Además, los sistemas de comunicación han avanzado de comunicación serial a ethernet.

#### Aplicaciones de PLC en la industria petrolera:

- Control de procesos: Los PLC se utilizan para controlar y automatizar procesos como extracción, procesamiento y distribución de petróleo.
- Monitoreo y supervisión: Los sistemas SCADA se integran con PLC para recopilar datos y monitorear el rendimiento de la batería de petróleo.

#### Tecnologías y Desarrollos Recientes

- Como primera medida para solucionar el problema de las entradas y salidas que no podían ser reemplazados en los controladores ROC364 la empresa productora agregó PLC económicos master logic 50.
- Luego para solucionar los problemas de comunicación se reemplazaron las radios 9810 por radios redline ethernet.
- Los controles de pozos realizados en las baterías debían realizarse mediante un display de la ROC364. Estos comenzaron a fallar con el tiempo y al no poder reemplazarlos por la discontinuidad de su fabricación en primera medida se repararon. Luego al no poder repararse y agregado a la necesidad de operación en forma remota de las bombas se propuso el cambio de tecnología a la utilizada en las instalaciones nuevas mediante PLC y HMI desarrollada en esta tesis.

#### Investigación y Desarrollo Futuro:

- Integración con tecnologías emergentes: La integración de PLC con tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial

(IA)podría mejorar aún mas la eficiencia y la toma de decisiones en la industria petrolera.

## 1.2 Objetivos

El objetivo del presente proyecto es rediseñar el sistema de control de una planta de separación primaria de hidrocarburos ubicada en la cuenca neuquina. Para esto se llevarán a cabo los siguientes objetivos parciales:

- Realizar la ingeniería inversa del actual sistema de control y el relevamiento de equipos e instrumentos existentes en la instalación. Obtener el listado de señales y desarrollar la matriz de causa & efecto que se implementará en el sistema de control.
- Seleccionar un PLC como unidad central del nuevo sistema de control y sus periféricos, luego definir la ingeniería del tablero.
- Diseñar y programar el PLC y Panel HMI.
- Pre comisionar, comisionar y poner en marcha el nuevo sistema de control.
- Analizar las mejoras debido al cambio de tecnología, en lo que es el control del proceso, seguridad de las personas e instalaciones. Además, se realizarán recomendaciones para futuras mejoras.

## 2 Marco General

En esta sección se introducirá al lector en cómo está conformada la batería y que procesos se llevan a cabo para comprender el desarrollo de la tesis. Además de mostrar y explicar cuáles son los elementos o dispositivos para migrar. Por otro lado, se hará un resumen de los estándares de programación de PLC y HMI dejando los detalles en el anexo.

### 2.1 Descripción de la batería

La batería es la locación que recibe la producción del campo y donde se realizan diversos procesos como se observa en la Figura 2.1. En la izquierda se encuentra el ingreso con un colector. Luego se dirige a los separadores bifásicos (separan líquido de gas), enviando el líquido almacenado en los tanques mediante bombas a la planta de tratamiento de crudo (PTC) y el gas al gasoducto o a la fosa de quema.

Como partes fundamentales se encuentran:

- Colector de entrada: reúne los pozos que proveen la producción a la batería.
- Separador Bifásico de Control (SBC-01) y Separador Bifásico General (SBG-01): separan el gas (cañería amarilla) de la fase líquida (petróleo y H<sub>2</sub>O).
- Puentes de medición (PM): hace referencia a la medición tanto de líquido (PMP-01 y PMP-02) como de gas (PMG-01 y PMG-02).
- Tanque de Control (TKAC-01) y Tanque General (TKAG-01): reciben el líquido de los separadores.
- Bombas (BP-01 y BP-02): bombean el líquido de los tanques hacia el oleoducto.

Fosa de quema: quema el gas que no se envía al gasoducto.

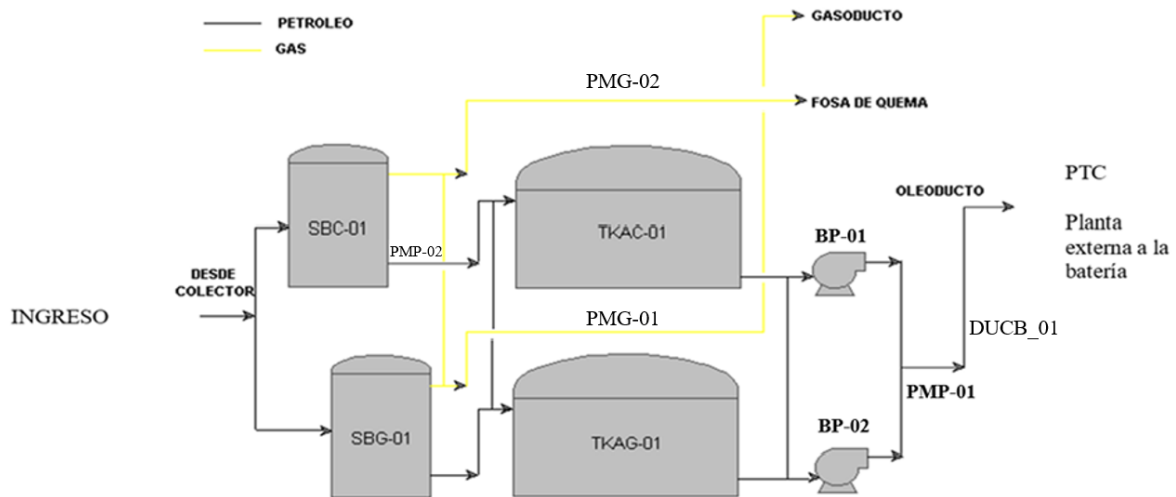


Figura 2.1 Batería de separación de fases de producción

## 2.2 Descripción de los procesos realizados en la Batería

El ingreso a la batería de los pozos termina en un colector general que recibe la producción. Se procede a la separación de la fase líquida y gaseosa ingresando a un “separador general-control”, del cual se obtiene un caudal de gas proveniente de la parte superior del mismo y un caudal líquido que ingresa a los tanques de almacenamiento. Para nombrar los tags de los instrumentos se utiliza la norma Norma ISA S5.1[6] y el criterio de la empresa productora. Siguiendo estos lineamientos se coloca primero el nombre del equipo, luego la denominación del instrumento y por último el número de equipo. El separador se encuentra presurizado monitoreado de manera local, por un indicador de presión (SCB\_PI\_01) o remoto por un transmisor de presión (SCB\_PT\_01) como se muestra en la figura 2.2. Asimismo, cuenta con un indicador local de nivel (SCB\_LI\_01) y un switch de nivel (SCB\_LSH\_01) que advierte si el líquido se acerca a la cañería de gas (normal-alto) como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.2 Indicador local y remoto de presión del separador de control

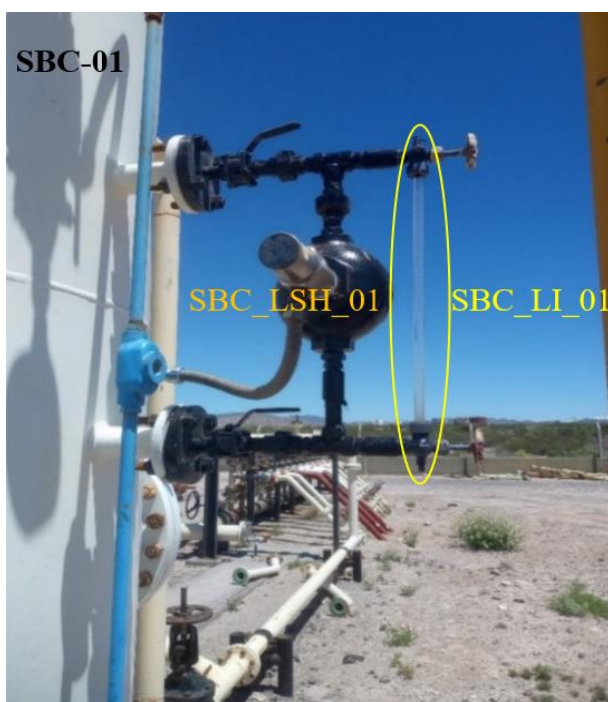


Figura 2.3 Visor de nivel e indicador remoto de nivel

El nivel se encuentra controlado por un controlador neumático de nivel, que actúa con la válvula neumática de salida de líquido. Al salir del separador de control el líquido es medido por un

“máscico de control” para determinar de la producción de los pozos por el PMP-02 que se muestra en la Figura 2.4 conformado por el sensor y el trasmisor. Luego ingresa al tanque de control TKAC-01.

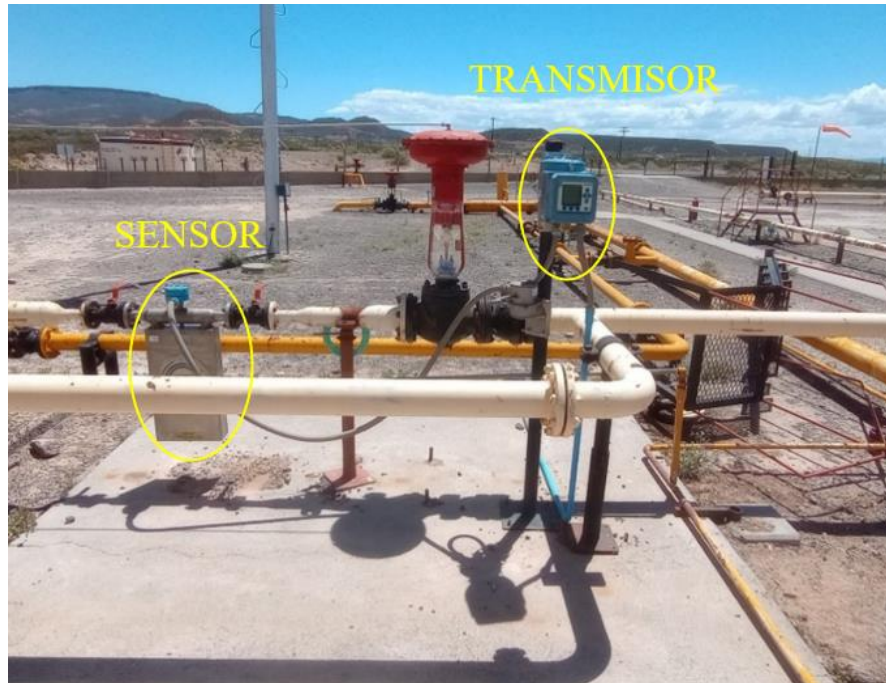


Figura 2.4 PMP-02

El recorrido desde el colector hacia el TKAG-01 pasando por el separador general es igual en lo que respecta al proceso, las diferencias es que no tiene montado un transmisor de presión porque lo tiene montado sobre la cañería de gas en el PMG-01 como se ve en la Figura 2.5(PMG\_PT\_01) y no posee puente de medición de caudal antes de ingresar al TKAG-01.

El gas se puede reutilizar para generar energía eléctrica mediante plantas generadoras como así también, para suministrar gas a los instrumentos neumáticos (hoy en día se utiliza aire por ser más limpio y seguro) que lo requieran. Este gas, es medido antes de salir de la batería mediante puentes de medición de gas (PMG-01 y PMG-02) con placa orificio que realiza un cálculo AGA de las siglas en ingles American Gas Association, como se muestra en la figura 2.5. Para ello, cuenta con un transmisor de presión estática, un transmisor de presión diferencial y un instrumento que mide temperatura o un instrumento que mide caudal de gas como puede ser un Floboos o un Scanner 2000. El Scanner necesita la medición de temperatura del gas para el cálculo mediante una RTD.

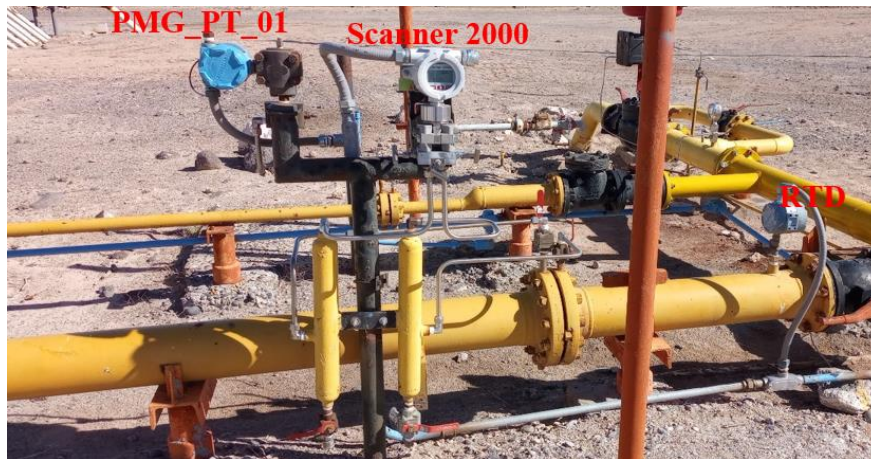


Figura 2.5 PMG-01

La fase líquida es transportada por oleoducto a la planta de tratamiento de crudo (PTC), que se encuentra fuera de la batería, mediante bombas que funcionan en forma manual o con sistema de control, con lo cual requiere de una lógica de control suministrada por el controlador ubicado en dicha batería más precisamente en lo que se denomina RTU (de sus siglas en inglés Remot Terminal Unit), Figura 2.6 y Figura 2.7. Las medidas de la RTU a rediseñar y reubicar que se presenta son: ancho 82cm, alto 102cm y profundidad: 32cm. Dentro de ella se encuentra el backplane (color blanco) de la RTU: controlador ROC Fischer 364 con display, PLC MasterLogic 50; conversor de protocolo 485 a 232 serial, fuente de alimentación 24 volt, radio serial 9810, fuente de alimentación 12 volt, térmica, zapatilla, borneras y cableados necesarios.



Figura 2.6 Exterior RTU a rediseñar.

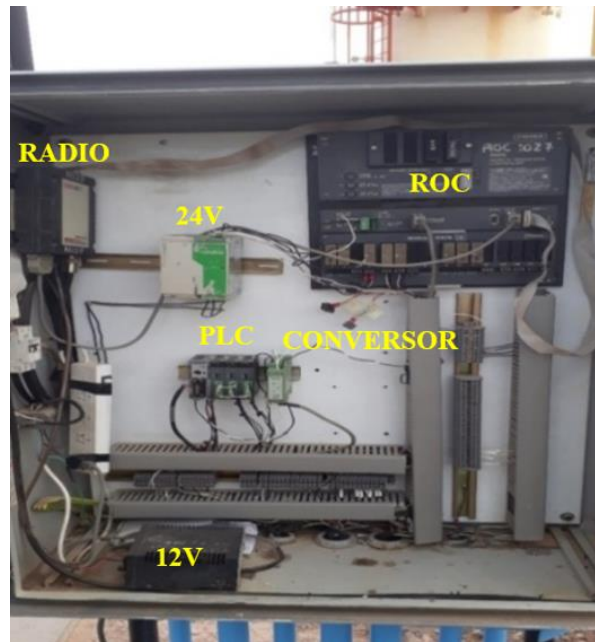


Figura 2.7 Interior RTU a rediseñar.

Antes de salir de la batería el caudal de líquido es medido mediante un “Másico”, que cuenta con un sensor y un transmisor, en el puente de medición PMP-01, Figura 2.8. La presión de salida es medida por un transmisor de presión en el caño que se dirige al oleoducto (DUCB\_PT\_01), Figura 2.8

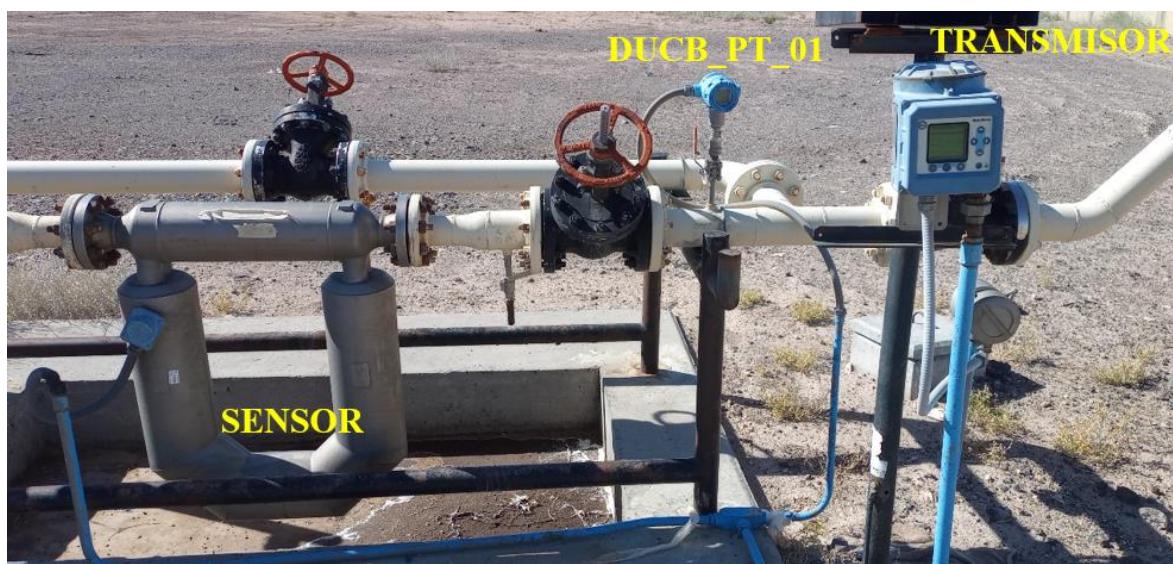


Figura 2.8 PMP-01 y DUCB-01

### 2.3 Estándares de bloques de programación para PLC y HMI

En base a la finalidad de acelerar procesos de desarrollo y mantenimiento de programación de aplicaciones de PLC-HMI para instalaciones es que se realizan estándares. Estos, se elaboran en base a los lineamientos de la empresa de sustentabilidad, rentabilidad, producción, eficiencia y seguridad entre otros. Los beneficios son:

- Unificar criterios no solamente para nuestro sector (Ingeniería de mantenimiento) sino también para Ingeniería y Obra, Sistemas (Information Technology) más el cliente (Energía, Sala de control, Producción)
- Mejorar la seguridad de las personas, instalaciones, activos y ciber seguridad. Por ejemplo, con normas internacionales como son la norma IEC 61511 para seguridad de procesos y norma 62443 de ciber seguridad, además de las normativas propias de la productora.
- Aumentar la calidad
- Identificar desvíos
- Incrementar la productividad
- Reducir costos
- Estabilizar los tiempos de entrega

#### 2.3.1 Estándares de bloques de programación para PLC

Cada bloque está constituido por variables de entrada y salida. Estas pueden configurarse para verse o pueden estar ocultas dentro del bloque. Así, cada una de éstas, tiene en su nombre su tipo, a modo de prefijo, y posteriormente su función específica. Los prefijos se pueden observar en la **Tabla 2.1**

| Tipo    | Función       | Descriptor | Descripción                 | Ejemplo             |
|---------|---------------|------------|-----------------------------|---------------------|
| Entrada | Entrada       | "in_xx"    | Entradas de función         | "in_PV"             |
|         | Configuración | "cfg_xx"   | Parámetros de configuración | "cfg_hab_modo_auto" |
|         | Operador      | "op_xx"    | Comandos de operador        | "op_Set_Modo"       |
| Salida  | Salida        | "out_xx"   | Salidas de función          | "out_CV"            |

*Tabla 2.1 Prefijos de entrada y salida de los bloques de programación*

La compañía productora tiene estandarizados los siguientes bloques de programación que se utilizarán en el proyecto:

- Bloque de entradas digitales (DIN)
- Bloque de entradas analógicas (AIN)
- Bloque de motor (MTR)
- Interlock de motor (MTR\_Intlk)
- Bloque de Control PID (PID)

Cada bloque, tiene un arreglo de datos definido para la comunicación con SCADA y HMI. Dentro del bloque, se ubican los tags locales con el nombre “Data[xx]”. La cantidad y el tipo de datos varían en cada uno, teniendo los siguientes arreglos según la **Tabla 2.2**

| Nombre    | Data [xx] |
|-----------|-----------|
| AIN       | REAL [20] |
| DIN       | BOOL [32] |
| MTR       | INT [21]  |
| MTR_Intlk | -         |
| PID       | REAL [20] |

*Tabla 2.2 Cantidad y tipo de datos en cada bloque*

Cada bloque utiliza alguno de los 5 modos posibles de la **Tabla 2.3**

| Número | Módulo                   |
|--------|--------------------------|
| 0      | Automático               |
| 1      | Mantenimiento o Simulado |
| 2      | Manual                   |
| 3      | Cascada o programa       |
| 4      | Bloqueado u Override     |

*Tabla 2.3 Modos de operación de los bloques*

0. Automático: El control de lazo es llevado a cabo por el bloque teniendo en cuenta un set point, o estado deseado del operador, que se especifica a través de HMI o SCADA. Así el bloque realizará su función para cumplir con el objetivo que propone el operador.

1. Mantenimiento o Simulado: El programador puede simular un estado para pruebas en lógica o HMI. Esto sucede sin afectar el comando de campo, señales de alarma y paros para el ensayo de lógicas.

2. Manual: El operador controla directamente la salida de campo en el lazo de control. Así, sin tener en cuenta la variable de control, se fija la salida.
3. Cascada: El bloque realiza el control de la misma forma que en modo automático, pero el set point es fijado por otro bloque y no por el operador. Para esto, se detalla una señal específica de entrada que realiza esta función.
4. Bloqueado: El lazo de control se ve afectado por alguna condición anormal y se modifica la salida para llevarla a un modo seguro. Esta condición anormal puede ser un interlock activo o alguna señal de entrada inhabilitando el control. Para salir de este modo, el operador debe reconocer esta condición reseteando el bloque si la condición anormal ya desapareció.

En la **Tabla 2.4** se detallan con cruces los modos disponibles en cada uno.

| Bloque | Modo   |        |       |       |        |
|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
|        | 0-Auto | 1-Mant | 2-Man | 3-Cas | 4-Bloq |
| AIN    | X      | X      |       |       |        |
| DIN    | X      | X      |       |       |        |
| MTR    | X      | X      | X     |       | X      |
| PID    | X      |        | X     | X     | X      |

*Tabla 2.4 Modos de operación para cada bloque*

Toda lógica desarrollada permite obtener estados de alarma que deben ser reportados al HMI y al SCADA, para tratamiento del operador. Así, por ejemplo, un bloque de señales analógicas puede tener niveles de alarma. Estas alarmas pueden ser condición de paro de sus mismos bloques o de otros, por ejemplo, el nivel de paro por alto de tanque puede producir el paro de una bomba. Es por esto, que tanto señales analógicas, digitales o bloques de función producen salidas de alarma y paros.

Las alarmas son configuradas según necesidad por el programador, los bloques disponen de distintas opciones posibles. Así, para una señal que no requiere cierta alarma, se dispone de una opción de habilitación o no. Algo similar sucede con los paros además de tener la opción bypass. Este último, cumple la misma función que la deshabilitación, pero tiene al operador como responsable. Así el programador es el encargado de dejar habilitados los paros necesarios y el operador de activar el bypass según la maniobra que esté realizando en la locación.

Las alarmas y paros generan un bit de salida que indica que se actuó por alguna razón, pero las alarmas al desvanecerse la condición inicial desaparecen, los paros no. Esto sucede debido a que los paros tienen como objetivo realizar una acción correctiva parando o modificando el

estado de algún equipo en la locación. Así en un HMI o SCADA el bloque que obtuvo un paro se alarmará con un símbolo “P” y no desaparecerá hasta que el operador reconozca la falla y resetee las mismas. Posteriormente se podrán normalizar las condiciones de la instalación.

### **2.3.2 Bloque de entrada digital**

El bloque típico DIN tiene como función realizar el tratamiento de una entrada digital de campo realizando generación de alarmas, enclavamientos y posibilidad de simular un valor. Entonces se adquiere la señal de campo hacia una entrada digital del controlador en *Input\_IO*. Según se configura en el bloque la condición de normal y la de falla, se producen alarmas y paros generando los bits a la salida. Las alarmas aparecen y desaparecen según la condición y los paros quedan enlazados hasta un próximo reset en la señal *op\_XR* (Reset de Fallas).

### **2.3.3 Bloque de entrada analógica**

El bloque típico AIN tiene como función realizar el tratamiento de una entrada analógica de campo realizando escalado, simulación de valores, generación de alarmas y enclavamientos. Para ello, adquiere la señal de campo desde una entrada analógica de un módulo AI y la escala según el rango configurado en el instrumento. La entrada de campo es introducida en *in\_CV* escalada según su rango en cuentas (*cfg\_XEL\_Raw* a *cfg\_XEH\_Raw*) y el rango en unidades ingeniería (*cfg\_XEL* a *cfg\_XEH*). También se compara el valor escalado con valores de alarmas y paros, generando los bits correspondientes a cada seteo. Las habilitaciones de alarmas se realizan con 0 y se deshabilitan con 1. Las salidas de alarma con 0 indican alarma y en 1 sin alarma. Las salidas de paros si están en 0 indican paro y 1 OK. Los paros quedan enlazados hasta un próximo reset en la señal *in\_XR*(la poseen todos los bloques).

### **2.3.4 Bloque de motor**

Se lo utilizará para el control digital de motor de dos estados para variable del proceso *out\_PV*, marcha (representado por 1 binario) y parado (representado por 0 binario). El retorno en la variable *in\_YMP* se tomará 1 para marcha y 0 para parado. Además, se ingresa señal de control local (binario 0) o remoto (binario 1) de la celda eléctrica en la variable *in\_YLR* que permitirá el manejo o no desde del PLC. En el anexo 6.1 se desarrolla su funcionamiento.

### 2.3.5 Bloque de Interlock de motor

Anexo de bloque de motor que realiza el tratamiento de los enclavamientos de motores. Para ello analiza el estado de las causas de paro y las vincula con este mismo bloque.

Las causas de interlocks:

- Falla externa, introducida por el variador.
- Enclavamiento por muy bajo nivel de Tk seleccionado para el control de nivel.
- Baja y alta presión de oleoducto.

A la salida se puede observar el permisivo en *out\_IntlkOK* y la salida del bloque que se conecta a la entrada del bloque MTR *in\_Ilocks*.

### 2.3.6 Bloque de control PID

El bloque típico PID tiene como función realizar el control Proporcional *op\_XKP*, Integral *op\_XTI* y Derivativo *op\_XTD* de una variable analógica *in\_PV*, valor crudo obtenido a través del canal de entrada digital del controlador escalado en *cfg\_XEH* y *cgf\_XEL*, a través del manejo de una salida analógica *out\_CV* (salida física al campo en cuentas de 4000 a 20000, configurar en el módulo AO este mismo rango) y *out\_YZT* (es el valor de salida actual PID en unidades de ingeniería).

Realiza el control continuo de lazo PID permitiendo control manual *op\_XZT* (salida escalada de bloque del PID en unidades de CV, su máximo y mínimo se especifica en *cfg\_CVHLim* y *cfg\_CVLLim* respectivamente), automático con un set point *op\_XSP*, en unidades de la entrada PV y limitado por *cfg\_XSH* y *cfg\_XSL*.

## 2.4 Desarrollo de las aplicaciones

Siguiendo [1] se explica el desarrollo de las aplicaciones. El sistema operativo del controlador es un sistema multitareas que permite la priorización de tareas y cumple con [2]. A continuación, se resumirán las mismas para la interpretación de la programación del PLC elegido para este trabajo.

Una aplicación de control está compuesta por varios elementos que requieren planificación para una eficiente ejecución. Los elementos de la aplicación incluyen:

- Tareas: Se permiten usar múltiples tareas ejecutando solo una a la vez. Una tarea puede interrumpir la ejecución de otra tarea y tomar el control. En una tarea

determinada es posible usar múltiples programas ejecutándose uno por vez. La tarea se puede configurar como continua (se ejecuta siempre), periódica (intervalo establecido por ejemplo cada 100 ms) o eventual. Una tarea de evento o periódica interrumpe la tarea continua, que tiene la más baja prioridad.

- Programas (para agrupar datos y lógicas). Cada programa contiene: tags locales, parámetros, una rutina principal ejecutable, otras rutinas, una rutina de fallo opcional.
- Rutinas(conjunto de instrucciones lógicas en un solo lenguaje de programación, por ejemplo ladder)
- Parámetros y tags(nombres alfanuméricos): Se utilizan para direccionar datos(variables) permitiendo organizarlos y documentarlos.

#### 2.4.1 Lenguajes de programación

El controlador CompactLogix admite los lenguajes de programación, en línea y fuera de línea: Ladder; DBF, entre otros. La tabla 2.5 describe los lenguajes de programación.

| Lenguaje                               | Se utiliza mejor en programas con  |
|--|--|
| Escalera de relés<br>(Ladder)          | Ejecución continua o paralela de múltiples operaciones (no secuenciadas)   |
|  | Operaciones booleanas o basadas en bits  |
|  | Operaciones lógicas complejas  |
|  | Procesamiento de mensajes y comunicaciones   |
|  | Enclavamiento de la máquina  |
|  | Operaciones que el personal de servicio o mantenimiento puede tener que interpretar para solucionar problemas de la máquina o el proceso |
| Diagrama de bloques de funciones (DBF) | Control continuo de procesos y accionamientos  |
|  | Lazo de control  |
|  | Cálculos en el flujo del circuito  |

*Tabla 2.5 Características de los lenguajes*

#### 2.4.2 Instrucciones Add-On

Es posible diseñar y configurar conjuntos de instrucciones usados comúnmente para aumentar la coherencia del proyecto. Al igual que las instrucciones incorporadas que contienen los controladores Logix5000, estas instrucciones creadas por el usuario se conocen con el nombre de “instrucciones Add-On”.

Se pueden usar instrucciones Add-On en varios proyectos, definir sus instrucciones, obtenerlas a través de otra persona o copiarlas de otro proyecto.

Una vez definidas en un proyecto, las instrucciones Add-On se comportan de manera similar a las instrucciones incorporadas en los controladores Logix 5000.

## 2.5 Criterios de configuración de HMI

Los documentos de ingeniería formales de los que se debe obtener la definición sobre el desarrollo del HMI, son los siguientes documentos básicos del Activo Industrial:

- P&ID
- Matriz Causa Efecto
- Lista de señales
- Filosofía de operación

Los criterios globales de diseño de HMI se aclaran en el anexo 6.2.1, las secciones de visualización en el anexo 6.2.2, las jerarquías de pantallas en el anexo 6.2.3, las capas de visualización en el anexo 6.2.4, la matriz causa efecto en el anexo 6.2.5, las pantallas emergentes en el anexo 6.2.6, la navegación entre pantallas en el anexo 6.2.7 y los permisos de usuario en el anexo 6.2.8.

## 2.6 Diagrama de Flujo de arranque y paro de bombas a implementar

El variador de velocidad del motor que este acoplado a la bomba tiene dos maneras de configuración, local y remoto. Para poder arrancar se deben dar ciertas condiciones. El PLC tiene una señal DO que ingresa al variador como permisivo de arranque (XE). Por otro lado, el variador tiene una señal que indica al PLC que tiene una falla (YF) con lo cual tampoco arranca el motor en estas condiciones. Si XE o YF están activadas la bomba quedará en interlock (Intlk) hasta que se resetee y desaparezca la inhibición o la falla. Si las condiciones están dadas habrá dos maneras de operar el variador, local o remoto. En forma local se refiere operar desde el variador y remoto desde HMI o SCADA. En la Figura 2.9 se muestra un diagrama de flujo para una mejor interpretación.

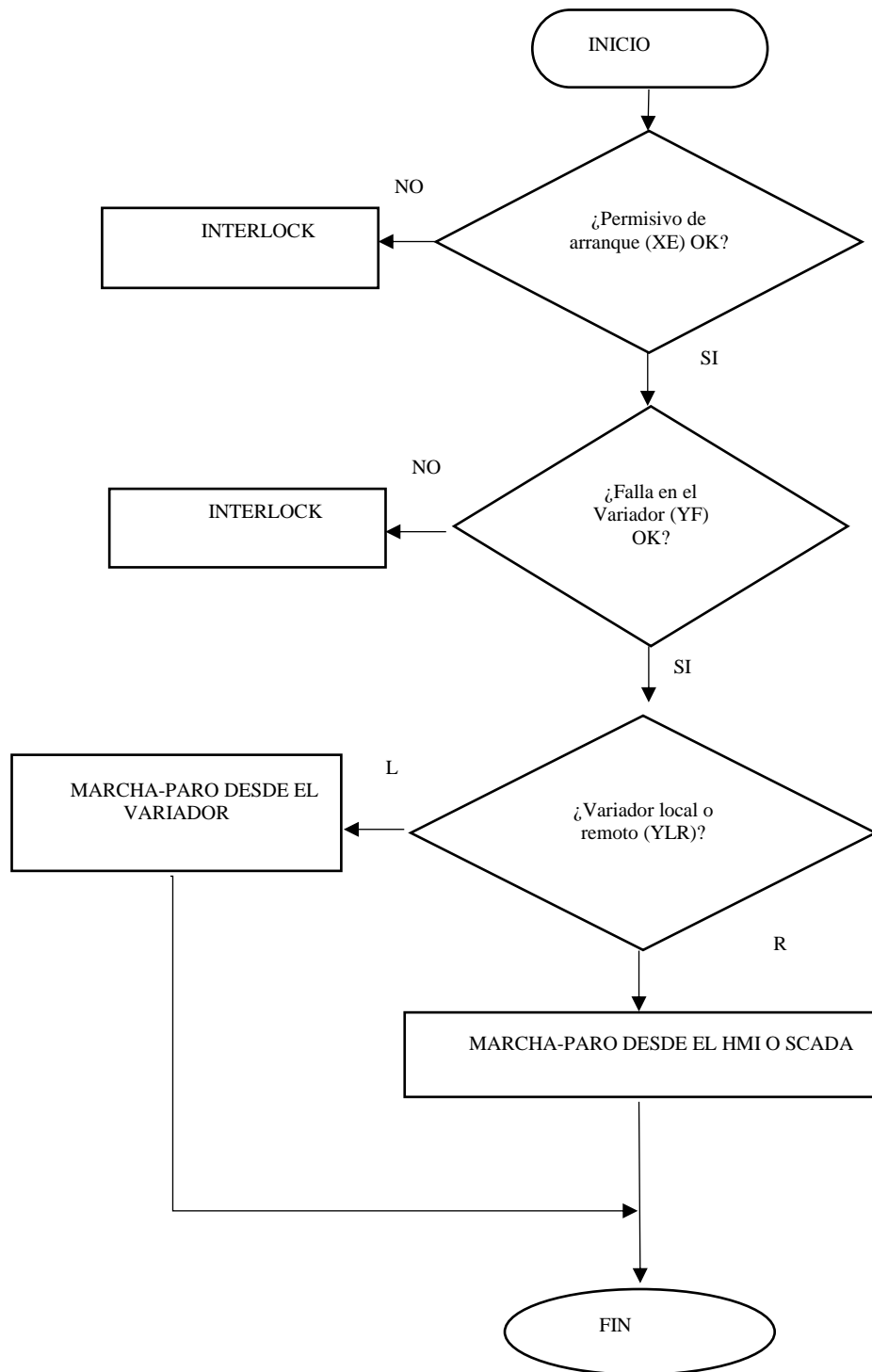


Figura 2.9 Diagrama de flujo de operación de variadores

### 3 Metodología y Desarrollo

#### 3.1 Metodología o diseño

De acuerdo con el estudio de: Diagrama de flujo (DF); Filosofía de operación (FO); Lay Out o Disposición (LY), Diagrama de Proceso e Instrumentación (P&ID); programación existente antes de la migración y [6] se realizó la ingeniería inversa obteniéndose el listado de señales (Tabla 3.1).

| TAGS        | DESCRIPCION                         |
|-------------|-------------------------------------|
| SBC_LSH_01  | ALTO NIV SEP CTROL SBC-01           |
| SBG_LSH_01  | ALTO NIV SEP GRAL SBG-01            |
| BP_YMP_01   | ESTADO P/M BBA PET BP-01            |
| BP_YMP_02   | ESTADO P/M BBA PET BP-02            |
| PMP_DENS_02 | DENSIDAD MASICO DE CONTROL          |
| PMP_TT_02   | TEMPERATURA MASICO DE CONTROL       |
| PMP_PUL_02  | PULSOS MASICO DE CONTROL            |
| TKAC_LT_01  | NIVEL TK CTROL TKAC-01              |
| TKAG_LT_01  | NIVEL TK GRAL TKAG-01               |
| SBC_PT_01   | PRES SEP CTROL SBC-01               |
| PMG_PT_01   | PRES PMG_01                         |
| PMG_DPT_01  | PRES DIF PMG_01                     |
| PMG_TT_01   | TEMP PMG_01                         |
| PMG_DPT_02  | PRES DIF PMG_02                     |
| PMG_TT_02   | TEMP PMG_02                         |
| DUCB_PT_01  | PRES OLEODUCTO DUCB-01              |
| BP_XST_01   | COMANDO VEL. BBA PET BP-01          |
| BP_XST_02   | COMANDO VEL. BBA PET BP-02          |
| PMP_FQT_01  | MASICO DE SALIDA PTE MED PET PMP-01 |

*Tabla 3.1 Listado de señales existentes en la Batería*

Por otro lado, independientemente del controlador seleccionado para llevar a cabo la migración, se recomendó instalar un sistema de energía alternativa por medio de baterías para respaldar el sistema de control ante un corte de energía. Además de establecer un switch de puerta, ya que en varias oportunidades se encontró la puerta abierta en las instalaciones, con el peligro de que se mojen o se ensucien los componentes electrónicos por razones climáticas. En base a este requerimiento se sumarán las señales típicas para este tipo de respaldo según la empresa productora como se detalla en la Tabla 3.2. Además, en esta tabla se tendrán en cuenta entradas y salidas del VDF (variador de frecuencia).

| TAGS        | DESCRIPCION                              |
|-------------|--|
| RTU_YSH_01  | PROTECCION SOBRE TENSION 220 VAC         |
| RTU_ESS_01A | FALLA ENERGÍA 220 VAC                    |
| RTU_ESS_01B | FALLA ENERGÍA 24 VDC                     |
| RTU_YSA_01A | FALLA UPS                                |
| RTU_YSA_01B | UPS MODO BATERIA                         |
| RTU_YSA_01C | UPS CARGANDO                             |
| RTU_XF_01   | SALIDA RELE CORTE 220 VAC PRUEBA BATERIA |
| RTU_ZSO_01A | ESTADO DE PUERTA DE GABINETE             |
| BP_YF_01    | FALLA GRAL BBA PET BP-01                 |
| BP_YLR_01   | ESTADO L/R BBA PET BP-01                 |
| BP_YF_02    | FALLA GRAL BBA PET BP-02                 |
| BP_YLR_02   | ESTADO L/R BBA PET BP-02                 |
| BP_XE_01    | PERMITIR BBA PET BP-01                   |
| BP_XMP_01   | CDO PAR/ARR BBA PET BP-01                |
| BP_XE_02    | PERMITIR BBA PET BP-02                   |
| BP_XMP_02   | CDO PAR/ARR BBA PET BP-02                |
| BP_ST_01    | VELOC BBA PET BP-01                      |
| BP_ST_02    | VELOC BBA PET BP-02                      |

*Tabla 3.2 Listado de señales a agregar*

### 3.2 Desarrollo

Como primera medida se analizó con el personal de seguridad e higiene el lugar físico donde se encuentra la RTU actual. Se concluyó que se encuentra en un lugar con muchos peligros y riesgos entre ellos la cercanía con las cañerías de gas y tanques que emanan gas sulfhídrico. Además, la empresa encargada de montar y probar los radioenlaces aprobó la línea de vista de la antena de la radio redline con la repetidora. Este lugar quedo definido en el ingreso, alejado de las energías y gases peligrosas. A continuación, se procede a llevar una base segmentada ya que no hay cimientos sólidos y seguros para contener la RTU más el mástil con la antena de comunicación.

Con respecto al informe de lo precisado, la empresa productora decide enviar un tablero nuevo (ancho:78cm; alto:162; profundidad:43cm) con la tecnología de respaldo de energía de 24 volt dc (gabinete extra para baterías). El tablero cuenta con protecciones de energía en 220 volt ac como disyuntor más térmica, borneras con fusibles tanto para proteger al controlador como a los instrumentos, calefacción, soporte para panel view con gabinete independiente mediante soporte hidráulico en su puerta, iluminación interna, mástil nuevo para sistema de comunicación mediante redline. Debido a que el cableado de las señales que llegan a la RTU a migrar no alcanza la RTU nueva se procede a pedir una JB (caja de conexiones de paso

antiexplosiva) (ancho 74cm; altura:50cm; profundidad:33cm), cañerías y cableado nuevo para alcanzarla. La distancia es aproximadamente de 15 m con 3 metros de cañería socavada 40 cm mediante cinta poliguard, un sistema de revestimiento que brinda gran protección anticorrosiva y mecánica a las superficies metálicas. Los cableados van por distintas cañerías por seguridad según el tipo de señal como por ejemplo alimentación de 220 volt ac, comunicación de 4 a 20 ma dc, digitales o señal de comunicación 485. A continuación, se observa en la figura 3.1 y figura 3.2 las instalaciones correspondientes.



Figura 3.1 Base segmentada-RTU con sistema de comunicación mediante redline



Figura 3.2 JB ubicada donde se encontraba la RTU antigua

### 3.3 Desarrollo de la programación del PLC

#### 3.3.1 Procedimiento para la determinación de la arquitectura de hardware

Luego se realizó el análisis de la programación y señales para ver el hardware necesario asociado al PLC (los módulos o tarjetas). Uno de los puntos más importantes para resaltar fue, que el PLC no tiene un cálculo asociado de caudal de gas como si lo tenía la ROC. Consecuentemente, mediante un módulo de comunicación 485 que es utilizado para la comunicación con el másico se ingresarán los medidores de caudal de gas Scanner 2000 marca Nuflo. Así se agregaron a la lista las señales que se muestran en la tabla 3.2.1. Por otro lado, se dan de baja las variables y cableados TT y PDT de gas ya que estas magnitudes las mide el scanner. Para ello, posee un manifold o colector de 3 vías, con una cámara H de alta y L de baja que indica el sentido de circulación del fluido de gas con la cual se mide la presión estática y diferencial. El computador de flujo también posee una entrada para sensor de temperatura y no requiere transmisor debido a que envía los datos tanto de temperatura como de presión estática y diferencial por comunicación 485. Los cableados del puente de gas se utilizarán para el conexionado de los nuevos medidores (un par para alimentación y el otro para comunicación). De todas formas, se optó por seguridad, dejar los medidores de presión de gas de 4 a 20 ma dc, como medida de respaldo por si en algún momento se produce una pérdida de esa comunicación 485.

Debido a que el cálculo de líquido que sale del separador ya no se va a poder realizar con la ROC debido a su migración, se pidió a la productora colocar un modelo del másico de salida Micro Motion Altus 3700[7] mediante comunicación 485 para su medición. Con lo cual se agregan 3 entradas de comunicación 485, 2 para medir gas y una para medir petróleo. En la tabla 3.3 se observan sus tags a implementar respectivamente.

|            |   |
|------------|---|
| PMG_FQT_01 | COMPUTADOR DE CAUDAL PTE MED GAS PMG-01 |
| PMG_FQT_02 | COMPUTADOR DE CAUDAL PTE MED GAS PMG-02 |
| PMP_FQT_02 | MASICO DE CONTROL PTE MED PET PMP-02    |

*Tabla 3.3 Señales nuevas a implementar con instrumentos nuevos*

Teniendo en cuenta lo analizado se lleva a cabo el listado final para analizar la arquitectura del hardware ordenado en las tablas 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8.

Se respetaron los colores de los módulos correspondientes a la RTU provista por la empresa para la elaboración de tablas.

| DI          | DESCRIPCION                      |
|-------------|----------------------------------|
| SBC_LSH_01  | ALTO NIV SEP CTROL SBC-01        |
| SBG_LSH_01  | ALTO NIV SEP GRAL SBG-01         |
| BP_YMP_01   | ESTADO P/M BBA PET BP-01         |
| BP_YMP_02   | ESTADO P/M BBA PET BP-02         |
| BP_YF_01    | FALLA GRAL BBA PET BP-01         |
| BP_YLR_01   | ESTADO L/R BBA PET BP-01         |
| BP_YF_02    | FALLA GRAL BBA PET BP-02         |
| BP_YLR_02   | ESTADO L/R BBA PET BP-02         |
| RTU_YSH_01  | PROTECCION SOBRE TENSION 220 VAC |
| RTU_ESS_01A | FALLA ENERGÍA 220 VAC            |
| RTU_ESS_01B | FALLA ENERGÍA 24 VDC             |
| RTU_YSA_01A | FALLA UPS                        |
| RTU_YSA_01B | UPS MODO BATERIA                 |
| RTU_YSA_01C | UPS CARGANDO                     |
| RTU_ZSO_01A | ESTADO DE PUERTA DE GABINETE     |

Tabla 3.4 Señales de entradas digitales DI

| DO        | Descripción                              |
|-----------|--|
| BP_XE_01  | PERMITIR BBA PET BP-01                   |
| BP_XMP_01 | CDO PAR/ARR BBA PET BP-01                |
| BP_XE_02  | PERMITIR BBA PET BP-02                   |
| BP_XMP_02 | CDO PAR/ARR BBA PET BP-02                |
| RTU_XF_01 | SALIDA RELE CORTE 220 VAC PRUEBA BATERIA |

Tabla 3.5 Señales de salidas digitales DO

| AI         | DESCRIPCION            |
|------------|------------------------|
| TKAC_LT_01 | NIVEL TK CTROL TKAC-01 |
| TKAG_LT_01 | NIVEL TK GRAL TKAG-01  |
| SBC_PT_01  | PRES SEP CTROL SBC-01  |
| PMG_PT_01  | PRES PMG_01            |
| BP_ST_01   | VELOC BBA PET BP-01    |
| BP_ST_02   | VELOC BBA PET BP-02    |
| DUCB_PT_01 | PRES OLEODUCTO DUCB-01 |

Tabla 3.6 Señales de entradas analógicas AI

| AO        | DESCRIPCION                |
|-----------|----------------------------|
| BP_XST_01 | COMANDO VEL. BBA PET BP-01 |
| BP_XST_02 | COMANDO VEL. BBA PET BP-02 |

Tabla 3.7 Señales de salidas analógicas AO

| 485        | DESCRIPCION                             |
|------------|---|
| PMP_FQT_01 | MASICO DE SALIDA PTE MED PET PMP-01     |
| PMP_FQT_02 | MASICO DE CONTROL PTE MED PET PMP-02    |
| PMG_FQT_01 | COMPUTADOR DE CAUDAL PTE MED GAS PMG-01 |
| PMG_FQT_02 | COMPUTADOR DE CAUDAL PTE MED GAS PMG-02 |

Tabla 3.8 Señales de comunicación 485

La arquitectura necesaria requerida se observa en la tabla 3.9

| ARQUITECTURA | DESCRIPCION                  | CANTIDAD DE CANALES |
|--------------|------------------------------|---------------------|
| DI           | Entradas digitales           | 15                  |
| DO           | Salidas digitales            | 5                   |
| AI           | Entradas Analógicas          | 7                   |
| AO           | Salidas Analógicas           | 2                   |
| 485          | Equipos con comunicación 485 | 4                   |

*Tabla 3.9 Arquitectura necesaria*

### 3.3.2 Racionalización de alarmas y elaboración de la matriz causa efecto

Para la racionalización de alarmas se convocó a una reunión donde participaron: coordinador de sala, operador de telemetría, supervisor de producción, jefe de producción, ingeniero de mantenimiento, especialista y jefe de proyectos. Se realizó un documento MDA (maestro de alarmas racionalizadas) que muestra el resultado del análisis y observaciones en base a los lineamientos establecidos por el procedimiento de la productora en conformidad a la operación actual de proceso y control para cada una, con información obtenida de las bases descargadas de SCADA y de la Roc en funcionamiento a la fecha, como así también de su correspondiente P&ID. A continuación, se enumeran algunas de las tareas que se realizaron durante la reunión y que se deben realizar para dar por finalizada la racionalización:

- ✓ Comisionar la señal de fin de control de pozos. Comisionar los estados digitales con sus alarmas.
- ✓ Programar una lógica en el PLC que reciba la señal de selección del tanque y que automáticamente se actualice en la pantalla del SCADA.
- ✓ Habilitar las alarmas del switch de nivel de los separadores y por HI y HIII de presión de separador de control y general. Lo mismo con las de LO LOLO.
- ✓ Tener en cuenta que las inhibiciones de alarmas se requieren por solicitud formal y aprobadas por el responsable de producción, de acuerdo con normativa vigente.
- ✓ Realizar verificación y comisionado en campo de equipos en servicio. Específicamente se pide: existencia; ubicación; si requiere o no habilitación de alarmas; unidades de ingeniera del instrumento; rangos; sets de alarmas. Todas las observaciones y comentarios deben quedar editado sobre la planilla de Excel.
- ✓ Actualizar de la documentación de ingeniería (P&ID, MCE-PLC, FO).

Cualquier modificación posterior al presente análisis debe ser aprobado por el jefe de la instalación con la validación de los parámetros por parte del personal de procesos.

Del relevamiento en el campo de los instrumentos más los datos de programación se contrastaron los rangos de los instrumentos analógicos como se puede observar en la siguiente tabla 3.10 donde además se pueden observar las alarmas implementadas de la racionalización de alarmas y enclavamientos (ILK).

| N° | TAG SEÑAL  | DESCRIPCIÓN            | Rango mín | Rango máx | Unid.  | AHH | AH  | AL  | ALL | Enc. H | Enc. L | Enc. E/S |
|----|------------|------------------------|-----------|-----------|--------|-----|-----|-----|-----|--------|--------|----------|
| 1  | TKAC_LT_01 | NIVEL TK CTROL TKAC-01 | 32        | 332       | cm     | 180 | 150 | 60  |     |        | 40     | SI       |
| 2  | TKAG_LT_01 | NIVEL TK GRAL TKAG-01  | 13        | 313       | cm     | 180 | 150 | 60  |     |        | 40     | SI       |
| 3  | SBC_PT_01  | PRES SEP CTROL SBC-01  | 0         | 30        | Kg/cm2 | 3   | 2,8 | 1,2 | 1   |        |        | NO       |
| 4  | PMG_PT_01  | PRES PMG_01            | 0         | 6         | Kg/cm2 | 3   | 2,8 | 1,2 | 1   |        |        | NO       |
| 5  | BP_ST_01   | VELOC BBA PET BP-01    | 0         | 50        | Hz     |     |     |     |     |        |        | NO       |
| 6  | BP_ST_02   | VELOC BBA PET BP-02    | 0         | 50        | Hz     |     |     |     |     |        |        | NO       |
| 7  | DUCB_PT_01 | PRES OLEODUCTO DUCB-01 | 0         | 100       | Kg/cm2 | 20  | 15  | 5   | 2   | 20     | 2      | SI       |

Tabla 3.10 Señales AI con sus rangos, alarmas y enclavamiento

La matriz causa efecto de la tabla 3.11 requerirá la lista de señales de entrada más las generadas por el programa (filas) y el efecto producido en las salidas (columnas). También se ven reflejadas las alarmas que se desprenden del estudio de racionalización de alarmas.

| MATRIZ CAUSA EFECTO |  |           |           | EFECTO     |        | DESCRIPCIÓN |          | PERMITIR BBA PET BP-01 | CDO PAR/ARR BBA PET BP-01 | PERMITIR BBA PET BP-02 | CDO PAR/ARR BBA PET BP-02 | COMANDO VEL. BBA PET BP-01 | COMANDO VEL. BBA PET BP-02 |
|---------------------|--|-----------|-----------|------------|--------|-------------|----------|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| CAUSA               |  |           |           |            |        | ITEM        | BP_XE_01 | BP_XMP_01              | BP_XE_02                  | BP_XMP_02              | BP_XST_01                 | BP_XST_02                  |                            |
| ITEM                | TAG  | DETALLE   | VALOR     | EVENTO     |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
| 1                   | BP_YF_01<br>FALLA GRAL BBA PET BP-01<br>DI | Estado 1  | OK        |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Estado 0  | FALLA     | ILK        | 0      |             | ILK      |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma    | 0         |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  |           |           |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
| 2                   | BP_YF_02<br>FALLA GRAL BBA PET BP-02<br>DI | Estado 1  | OK        |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Estado 0  | FALLA     | ILK        | 0      |             |          |                        | ILK                       |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma    | 0         |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  |           |           |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
| 3                   | TKAC_LT_01<br>NIVEL TK CTROL TKAC-01<br>AI | Rango     | 32 cm     | 332 cm     | ILK IO | SI          |          | ILK                    |                           | ILK                    |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma HH | 180 cm    |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma H  | 150 cm    |            | SP     | 90          |          |                        |                           |                        | AUTO                      | AUTO                       |                            |
|                     |  | Alarma L  | 60 cm     |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma LL | -         |            | ILK L  | 40 cm       |          | ILK                    |                           | ILK                    |                           |                            |                            |
| 4                   | TKAG_LT_01<br>NIVEL TK GRAL TKAG-01<br>AI  | Rango     | 13 cm     | 313 cm     | ILK IO | SI          |          | ILK                    |                           | ILK                    |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma HH | 180 cm    |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma H  | 150 cm    |            | SP     | 90          |          |                        |                           |                        | AUTO                      | AUTO                       |                            |
|                     |  | Alarma L  | 60 cm     |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma LL | -         |            | ILK L  | 40 cm       |          | ILK                    |                           | ILK                    |                           |                            |                            |
| 5                   | DUCB_PT_01<br>PRES OLEODUCTO DUCB-01<br>AI | Rango     | 0 Kg/cm2  | 100 Kg/cm2 |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma HH | 20 kg/cm2 |            | ILK HH | 20 kg/cm2   |          | ILK                    |                           | ILK                    |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma H  | 15 kg/cm2 |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma L  | 5 kg/cm2  |            |        |             |          |                        |                           |                        |                           |                            |                            |
|                     |  | Alarma LL | 2 kg/cm2  |            | ILK LL | 2 kg/cm2    |          | ILK                    |                           | ILK                    |                           |                            |                            |

Tabla 3.11 Matriz causa efecto con sus rangos, alarmas y enclavamientos

### 3.3.3 Elección de Controlador y periféricos

En base a estos requisitos mínimos, se evaluó el PLC a utilizar en la migración dentro de los que se encuentran disponibles en Stock y que se adaptan a los tipos de programación y comunicación que exigen las tecnologías actuales de la compañía.

De este análisis surge:

Phoenix contact: ILC191:

- Debido a problemas con el soporte técnico la empresa no continua con el contrato.

- Para modificaciones de programa se debe parar el plc con lo cual lleva a problemas en el proceso.
- Si bien se utilizó la programación estándar de la empresa productora, al discontinuar el contrato no se siguió con la mejora del estándar para este plc.
- Utiliza bloques modbus para levantar los datos con lo cual hay que redireccionar las variables para que scada pueda levantarlas.

Alan Bradley: Compact Logic:

- El contrato está en vigencia con soporte técnico.
- Se pueden hacer modificaciones sin parar el PLC con lo cual no genera problemas en el proceso.
- Se utiliza el estándar de la empresa (se está trabajando en la nueva versión) con lo cual se pueden aplicar mejoras a corto plazo.
- Permite levantar en scada los datos directamente del PLC con el estándar sin necesidad de redireccionar en modbus.

Debido a todo esto es que se decide implementar el controlador Compac logic.

Antes de enviar el tablero con lo solicitado para la migración se realizaron las pruebas FAT (pruebas de aceptación en fábrica). Allí se realizaron ensayos sobre hardware del tablero de control para asegurar que satisfacen los requisitos indicados en la ingeniería. El objetivo de las FAT es identificar y corregir los errores en los equipos antes de su instalación en el campo.

Hardware de PLC y módulos recibidos en la locación (batería):

Slot 0: 1769-L33ER

Slot 1: 1769-IQ32/ADI1(Color Azul)

Slot 2: 1769-OB32/ADO1(Color Verde)

Slot 3: 1769-IF16C/A AI1(Color marron)

Slot 4: 1769-IF16C/A AI2(Color marron)

Slot 5: 1769-OF8C/A AO1(Color Amarillo)

Slot 6: MVI69E-MBS/A MVI69E\_MBS (PROSOFT, Color LILA)

A continuación, en la figura 3.3 se observa el hardware adquirido para la RTU mencionada anteriormente.



Figura 3.3 Hardware Recibido desde la productora

### 3.3.4 Programación del controlador

Para comenzar con la elaboración del programa del PLC se utilizará el siguiente hardware y software:

- Pc provisto por la empresa con procesador Core i7 y sistema operativo Windows 10 Enterprise Versión 22H2.
- Máquina Virtual VMware WorkStation 16 Player, es la única virtual aprobada para utilizar y que provee instalada la empresa, con sistema operativo Windows 7 Profesional Service Pack 1. En la misma se encuentra instalado el programa Studio 5000 Logix Designer Versión 28.01-Profesional Edition para la programación del PLC.

Se hará un breve resumen de cómo y que se programó en el PLC y los detalles quedaran en el Anexo 6.3

Se comienza a elaborar el proyecto generando uno nuevo con nombre Tesis y aquí es donde se determina el hardware para programar, 1769-L33ER y su versión (en este caso la 29 es la más nueva).

En la figura 6.1 del Anexo 6.3.1 se muestra como quedan ordenadas y programadas las tareas en el proyecto. Se comenzará a trabajar con el programa principal, en el cual se agregarán las rutinas con espaciado y numeradas (que es la forma en que el programa permite escribirlas y ayuda a mantener el orden). Los nombres de las rutinas se ven en las figuras 6.2, 6.3, 6.4 del Anexo 6.3.1. En la rutina principal se configuró el reset de fallas, para ello se generó un tag en controller tag (edit tag) definiéndolo como data type bool nombre RTU\_XR, generando un timer para definir el tiempo de pulso de reset y se llama a las subrutinas generadas anteriormente como muestra en la figura 6.5 ubicada en el Anexo 6.3.1

Para las fallas de los módulos, se tuvo que importar el Data type Falla Módulo con extensión. L5X provisto por la empresa genérico y se lo adapto a la cantidad de módulos del proyecto de tesis como se muestra en la figura 6.6 y 6.7 ubicadas en el Anexo 6.3.2. También se importó el data type provisto por la empresa con nombre FechaYHora y Caudalimetro\_Masico (Bloque de Datos para Lectura/Escritura de datos en Masicos Micromotion) como se muestra en las figuras 6.8 y 6.9 ubicadas en el Anexo 6.3.2.

Se asignará al PLC los módulos según el slot que corresponda debido a su arquitectura. En la figura 6.10 del Anexo 6.3.3 se observa el cuadro que se despliega al seleccionar nuevo módulo en el icono del PLC. En la figura 6.11 del Anexo 6.3.3 se observa cómo queda la configuración de módulos en el programa según la arquitectura.

Para poder comenzar la programación de bloques se importarán las instrucciones Add-On como se muestra en la figura 6.12 en el Anexo 6.3.4. Una vez que se importan las librerías, el programa queda como se observa en la figura 6.13 del Anexo 6.3.4 donde ya están cargadas para comunicación 485 (se puede descargar de la página oficial de prosoft [8] o importar de un proyecto existente), módulos analógicos de entrada, digitales de entrada, bloques de motor, interlock de motor y pid.

Al ingresar al programa de diagrama de bloques \_02\_DI\_01 que se encuentra en la carpeta entradas/salidas, agregamos un bloque Di para cada variable digital, configuramos el canal por el cual ingresará y definimos la variable en el controller tags. También se configuran las características de cada señal, como se explicó en el capítulo 2.4.2, cada bloque tendrá asignado el reset de fallas RTU\_XR como se muestra en la figura 6.14 en el Anexo 6.3.5.

Se añade una hoja 2 de programación como se muestra en la figura 6.15 del Anexo 6.3.5 y se agrega un bloque Di para cada variable de RTU digital de entrada como se muestra en la figura 6.16 del Anexo 6.3.5.

En el caso de las Do (permisivo de arranque de ambas bbas, marcha-paro de ambas bbas y salida relé corte 220 vac prueba batería) se definen las variables (tags) y se asocian a las salidas físicas del PLC (canales 0,1,2,3 y 4 del módulo 2 DI) como se muestra en la figura 6.17 del Anexo 6.3.6.

Para las AI\_01 se utilizará la hoja 1 de programación, con las señales de tanques, presiones y la variable de 4 a 20 ma que viene del variador con las revoluciones de las bombas. Para ello, se definen las variables, se asignan las entradas físicas a un bloque de AI donde también se configuran las características de cada señal, como se explicó en el capítulo 2.4.3 y se observa en la figura 6.18 del anexo 6.3.7. En la hoja 2 (cálculo de volumen) de programación de la AI\_01 se calcula el volumen de los tanques, para ello se crea una variable

(TKAC\_01\_OUT\_PV, TKAG\_01\_OUT\_PV) para ingresar a una multiplicación de la altura del tk por su cte (TKAC\_VOL\_01\_Cte (0.325), TKAG\_VOL\_01\_Cte (0.650)), guardando el valor en una variable (TKAC\_VOL\_01, TKAG\_VOL\_01) para luego poder leer el dato en el HMI, así como también en el Scada como se ve en la figura 6.19 del anexo 6.3.7. Para el caso de la AI\_02 se dejará como back up para señales futuras y para reemplazo en caso de que falle alguna entrada o el módulo completo.

En el caso de los AO\_01 se definen las variables provenientes del PID (BP\_XST\_01 y BP\_XST\_02, en cuentas de 4000(para 4ma) a 20000(20ma)) y asociadas a una salida física (canal 0 y 1 del módulo 5 AO) del PLC. En la figura 6.20 del Anexo 6.3.8 se observa la hoja de programa donde quedan asignadas a las ubicaciones físicas correspondientes.

Se deja programado en la hoja de programación 02\_Control\_Bombas un Timer con un tiempo de inhibición del paro por baja presión de descarga (impulsión) de ambas bombas durante el arranque, además se crean variables de bypass (BP\_01\_BYPASS\_YPL y BP\_02\_BYPASS\_YPL), para ello se sigue el diagrama de flujo de la Figura 3.4 para las dos bbas.

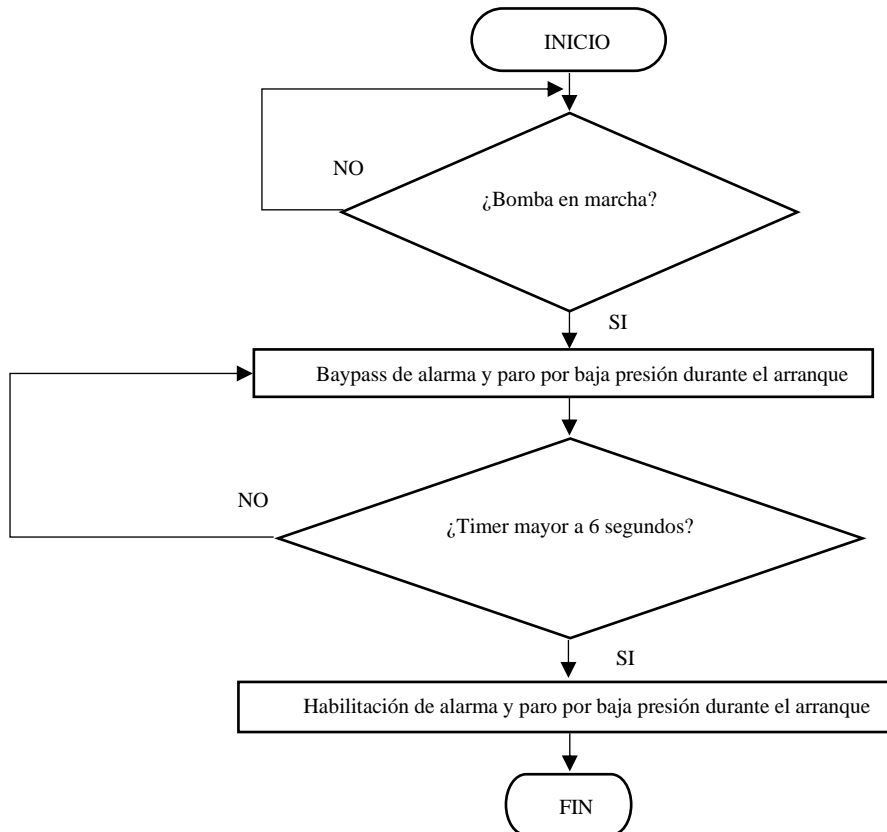


Figura 3.4 Inhibición por baja presión en el arranque de la bomba

También se asigna el valor de la salida (LIC\_01.out\_YZT) a comando manual (LIC\_01.op\_XZT) para evitar saltos como se muestra en las figuras 6.21 y 6.22 del anexo 6.3.9.

En la programación de \_03\_Seleccion\_TK se selecciona el tanque (donde se encuentra el LT) a controlar el PID con su respectivo rango (límites de ingeniería XEH y HEL) y se realizan enclavamientos por bajo nivel de tanque y por falla I/O.

En la programación \_04\_Cierre se guarda el nivel y volumen de los tanques a la hora de contrato.

En la programación de 05\_BP\_01 y de 06\_BP\_02 se dejan configurados los bloques MTR y MTR\_Intlk para cada bomba como se ve en la figura 6.23 y 6.24 del anexo 6.3.10.

Los másticos General y de Control son marca Micromotion y modelo 3700. Se utilizó la programación de la placa de comunicación prosoft MVI69E-MBS con el software Prosoft Configuration Builder. La extensión del archivo generado por el programa es .ppf

EL módulo prosoft es un módulo de comunicación serie modbus y se lo utiliza en este proyecto para la comunicación 485 que proviene de los masicos y scanners 2000 con el plc.

Para su configuración se debe realizar una selección de switches en el módulo ya que de fábrica vienen configurados en comunicación 232. Por otro lado, posee de fábrica, un switch de selección de protección de escritura para firmware.

Antes de conectar el módulo al rack, junto al plc y fuente, se debe asegurar que no esté con energía ya que puede dañarlo.

Para agregar el módulo en el programa Studio 5000 primero se debe crear un proyecto nuevo, posteriormente agregarlo. Para lo cual, hay que utilizar la función Add\_On mediante el programa ProSoft Configuration Builder (PCB) y exportarla a Studio 5000, el archivo generado tiene la siguiente extensión (.L5X). Una vez generado el archivo, se importa en el programa Studio 5000. El archivo. L5X tiene la instrucción Add\_on, user-defined data types, controller tags y ladder logic requerida para configurar el módulo MVI69E-MBS.

En la configuración del módulo prosoft, se selecciona el slot 6 donde quedará ubicado en el rack. Así mismo, posee 2 puertos de entrada que se configuran como máster donde el puerto 1 encuestará a 2 esclavos (2 másticos) y el puerto 2 encuestará 2 scanners 2000 como se ve en la figura 6.25 del Anexo 6.3.11.

La comunicación es mediante protocolo RTU y Baud rate 9600 para ambos puertos como se muestra en la Figura 6.26 y 6.27 del Anexo 6.3.11.

Para finalizar, se selecciona las direcciones modbus a leer de las variables de los esclavos 2 (Másico general), 3 (Másico de control) en el puerto 1 como se muestra en la tabla 3.12 y tabla 3.13 respectivamente.

| Dirección del nodo | Direcciones del Masico | Dirección en PLC | Modbus Función                             | Recuento de registros | Comentario                |
|--------------------|------------------------|------------------|--|-----------------------|---------------------------|
| 2                  | 154                    | 200              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 10                    | Constantes                |
| 2                  | 278                    | 210              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 16                    | Medidas Tubos             |
| 2                  | 246                    | 226              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 20                    | Valores Instantáneos      |
| 2                  | 1568                   | 246              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 20                    | Variabes Promedios        |
| 2                  | 1546                   | 266              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 12                    | Variabes reales           |
| 2                  | 1674                   | 278              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 6                     | Densidad                  |
| 2                  | 406                    | 284              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 2                     | Flow Factors              |
| 2                  | 302                    | 286              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 2                     | FD                        |
| 2                  | 1656                   | 288              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 10                    | Totalizadores             |
| 2                  | 1538                   | 298              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 8                     | Densidad Real             |
| 2                  | 1678                   | 600              | FC 16-Preset (Write) Multiple Register(4x) | 2                     | Densidad a cargar del H2O |
| 2                  | 1674                   | 602              | FC 16-Preset (Write) Multiple Register(4x) | 2                     | Densidad a cargar Oil     |
| 2                  | 270                    | 11200            | FC 5 Force (Write) Single Coil (0X)        | 1                     | Reset                     |

Tabla 3.12 Variables mapeadas del masico general en el prosoft

| Dirección del nodo | Direcciones del Masico | Dirección en PLC | Función Modbus                             | Recuento de registros | Comentario                |
|--------------------|------------------------|------------------|--|-----------------------|---------------------------|
| 3                  | 154                    | 306              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 10                    | Constantes                |
| 3                  | 278                    | 316              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 16                    | Medidas Tubos             |
| 3                  | 246                    | 332              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 20                    | Valores Instantáneos      |
| 3                  | 1568                   | 352              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 20                    | Variabes Promedios        |
| 3                  | 1546                   | 372              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 12                    | Variabes reales           |
| 3                  | 1674                   | 384              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 6                     | Densidad                  |
| 3                  | 406                    | 390              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 2                     | Flow Factors              |
| 3                  | 302                    | 392              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 2                     | FD                        |
| 3                  | 1656                   | 394              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 10                    | Totalizadores             |
| 3                  | 1538                   | 404              | FC 3-Read Holding Register(4x)             | 8                     | Densidad Real             |
| 3                  | 1678                   | 604              | FC 16-Preset (Write) Multiple Register(4x) | 2                     | Densidad a cargar del H2O |
| 3                  | 1674                   | 606              | FC 16-Preset (Write) Multiple Register(4x) | 2                     | Densidad a cargar Oil     |
| 3                  | 270                    | 11216            | FC 5 Force (Write) Single Coil (0X)        | 1                     | Reset                     |

Tabla 3.13 Variables mapeadas del masico de control

Para el puerto 2, los scanners tienen un paquete de datos que se configura en el instrumento con los datos que se quieren leer del mismo. La dirección de los esclavos del puerto 2 serán 11 (scanner 2000, puente de gas general) y 12 (scanner 2000, puente de gas de control) quedando la configuración del puerto como se muestra en la tabla 3.14.

| Dirección del nodo | Direcciones del Scanner | Dirección en PLC | Función Modbus                 | Recuento de registros | Comentario  |
|--------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|
| 11                 | 9100                    | 400              | FC 3-Read Holding Register(4x) | 12                    | PMG_FQIT_01 |
| 12                 | 9100                    | 412              | FC 3-Read Holding Register(4x) | 12                    | PMG_FQIT_02 |

Tabla 3.14 Variables mapeadas de los scanners

Para ver los datos de los másicos y scanners se utilizó variables creadas en Data Types-User Defined, en las cuales se direccionan los valores que provienen de la comunicación 485 para luego leer los datos en el HMI y en SCADA.

Con respecto a la programación de la última carpeta, dentro de principales tareas (main task) se encuentra Masico\_Ctrol. En ella se comienza llamando a las subrutinas en la rutina principal (\_01\_Main\_Masico\_Ctrol) en programación Ladder. Con lo que respecta a 02\_Densidades\_Cargadas, se ejecuta cuando se inicia el control desde el HMI y se asocia a cada pozo una densidad. Por el momento, es la del másico de salida para todos (densidad de referencia del agua a 15 °C, 1.08875 y densidad de referencia del petróleo a 15 °C, 0.8559). Se le asigna un valor del 0-8 para los 9 pozos de la batería. En la programación de \_03\_Seleccion\_Pozo, se tiene en cuenta el inicio y fin del control de pozo desde el HMI y se reinicia el másico para contar desde 0. En la subrutina 04\_Tiempo\_Control se configura el tiempo desde que se inicia el control y cuando finaliza, se guarda el tiempo de control acumulado.

Otra de las tareas, aparte de la principal que desarrollaremos a continuación, es PeriodicTask\_400ms que tiene el árbol de programación como se ve en la figura 6.28 del anexo 6.3.12.

Dentro de MB\_Comm está la subrutina \_01\_Main\_Comm donde se utiliza la librería Add On (AOI69E\_MBS\_60) importada del módulo de prosoft MVI69E-MBS y se llama a las demás subrutinas.

En \_02\_PMP\_FQIT\_01 se configuran los errores de comunicación, se mapean las variables del másico de salida que se presentan en la tabla 3.15 y se dividen en 24 los valores de caudal para obtenerlos en m<sup>3</sup>/h.

| Tag                                  | Descripción                                       |
|--------------------------------------|---|
| PMP_FQT_01.D1                        | densidad para calibración de baja densidad(g/cm2) |
| PMP_FQT_01.Factor_Mass               | factor de medidor para caudal másico              |
| PMP_FQT_01.Caudal_Masico             | caudal masico instantáneo                         |
| PMP_FQT_01.Densidad_Prom             | densidad promedio                                 |
| PMP_FQT_01.Caudal_Neto_Petroleo_Real | caudal neto petróleo promedio hoy (volumen)       |
| PMP_FQT_01.Densidad_Petroleo_Ref     | densidad de referencia de petróleo a 15 °C        |
| PMP_FQT_01.Flow_Cal                  | flow calibration factor                           |
| PMP_FQT_01.FD                        | cte de calibracion de densidad fluyente           |
| PMP_FQT_01.Vol_total_bruto           | gross volumen total                               |
| PMP_FQT_01.Densidad_Real             | densidad real                                     |
| PMP_FQT_01.Densidad_H2O_Ref          | densidad a cargar H2O mc                          |
| PMP_FQT_01.Densidad_Oil_Ref          | densidad a cargar Oil mc                          |
| PMP_FQT_01.CMD_Reset_Masico          | masico control reset                              |

Tabla 3.15 Variables mapeadas del másico de salida

En la figura 6.11 del anexo 6.3.8 se muestra el ejemplo del mapeo de una variable en el programa del Plc.

En \_03\_PMG\_FQIT\_01 se toma el valor instantáneo de puente de medición de gas general y se lo guarda en PMG\_FQT\_01\_FT

En \_04\_PMG\_FQIT\_02 se toma el valor instantáneo de puente de medición de gas general y se lo guarda en PMG\_FQT\_02\_FT

En \_05\_PMP\_FQIT\_02 se realiza el mapeo modbus de las variables del másico de control a PMP\_FQT\_02 y se envía a SCADA el siguiente listado para levantar los datos en las pantallas como se muestra en la tabla 3.16

| TAG SEÑAL                   | DESCRIPCIÓN                                     | TIPO |
|-----------------------------|---|------|
| BOCA_DE_POZO                | Selección de Pozo en Control (del 0 al 8)       | DINT |
| BOCA_DE_POZO_ANTERIOR       | Anterior Pozo en Control (del 0 al 8)           | DINT |
| MC_INICIO_CONTROL           | Inicio de control de Pozo                       | BOOL |
| MC_FIN_CONTROL              | Fin de control de Pozo                          | BOOL |
| MC_INICIO_Fecha_Hora.DIA    | Indica el día de inicio del control             | DINT |
| MC_INICIO_Fecha_Hora.MES    | Indica el mes de inicio del control             | DINT |
| MC_INICIO_Fecha_Hora.HORA   | Indica la hora de inicio del control            | DINT |
| MC_INICIO_Fecha_Hora.MINUTO | Indica los minutos de inicio del control        | DINT |
| MC_FIN_Fecha_Hora.DIA       | Indica el día de fin del control                | DINT |
| MC_FIN_Fecha_Hora.MES       | Indica el mes de fin del control                | DINT |
| MC_FIN_Fecha_Hora.HORA      | Indica la hora de fin del control               | DINT |
| MC_FIN_Fecha_Hora.MINUTO    | Indica el minuto de fin del control             | DINT |
| MC_TIEMPO_CONTROL_H.ACC     | Indica las horas acumuladas del pozo en control | DINT |

|  |   |      |
|--|---|------|
| MC_TIEMPO_CONTROL.ACC                      | Indica los minutos acumulados del pozo en control | DINT |
| PMP_FQT_02.Total_Bruta_Ayer                | Total bruta del pozo anterior                     | Real |
| PMP_FQT_02.Total_Neta_Ayer                 | Total Neta petróleo pozo anterior                 | Real |
| PMP_FQT_02.Total_Agua_Ayer                 | Total Neta agua pozo anterior                     | Real |
| PMP_FQT_02.Densidad_Agua_Ref_Escritura     | Densidad de agua cargada                          | Real |
| PMP_FQT_02.Densidad_Petroleo_Ref_Escritura | Densidad de petróleo cargada                      | Real |
| PMP_FQT_02.Caudal_Bruto_Real               | Caudal Bruta real de pozo en control              | Real |
| PMP_FQT_02.Caudal_Neto_Petroleo_Real       | Caudal Neto Petróleo de pozo en control           | Real |
| PMP_FQT_02.Caudal_Agua_Real                | Caudal Neto Agua de pozo en control               | Real |
| PMP_FQT_02.Vol_Total_Bruto                 | Volumen Bruto acumulado                           | Real |
| PMP_FQT_02.Petroleo_Total_Neto             | Volumen neto Petróleo acumulado                   | Real |
| PMP_FQT_02.Agua_Total_Neta                 | Volumen neto Agua acumulado                       | Real |

*Tabla 3.16 Variables mapeadas del masico de control*

En la figura 6.30 del anexo 6.3.13 se muestra el árbol de programación de la tarea PeriodicTask\_700ms. En la rutina Ladder se llama a la subrutina \_02\_LIC\_01 y su programación en DBF queda como en la figura 6.31 del anexo 6.3.13 donde la entrada al bloque es la del TK seleccionado mediante HMI, al seleccionar el TK se seleccionan los valores de rango de ingeniera de alto y bajo. A la salida del bloque se controla la velocidad de las bombas. Para conectarnos al PLC, se debe seguir un procedimiento para el cual debemos contar con un hardware y software determinado que se encuentra en el anexo 6.3.14. Una vez conectados al PLC podemos ver su estado (en modo Run) y tarjetas I/O(OK) en el programa como se muestra en la figura 6.32 del Anexo 6.3.14.

Una vez descargado el programa en el PLC, se procede a las pruebas CAT (aceptación del software de control). En estas pruebas se ensayan las lógicas de control y seguridad implementadas para asegurar que satisfacen los requisitos indicados en la ingeniería. El objetivo es identificar y corregir cualquier discrepancia antes de comenzar con el comisionado en planta. Esto facilita la rectificación y disminuye al mínimo retrasos en el comisionado y puesta en marcha (PEM).

Con respecto a la arquitectura de comunicación se muestra en la siguiente figura 3.5 para independizar e interpretar mejor los elementos participantes.

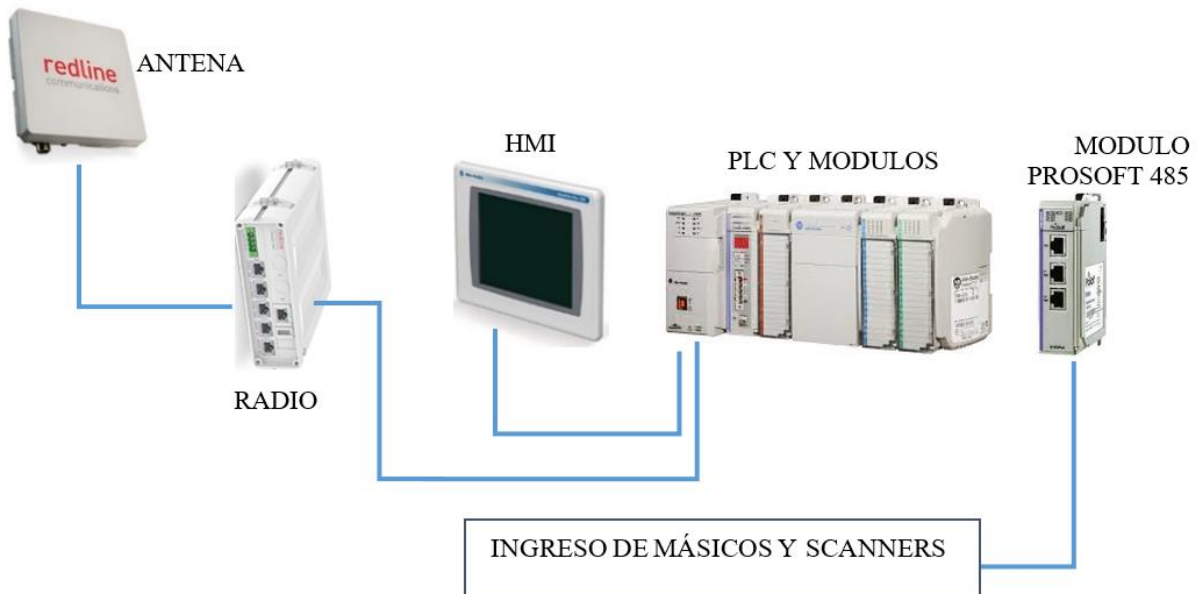


Figura 3.5 Arquitectura de Comunicación

### 3.4 Pantallas y operación del HMI

Para la elaboración de las pantallas se utilizó un HMI Allen Bradley modelo PVPlus7 10". El criterio de programación se desarrolló en base al estándar visto en el punto 2.5 mediante el Software Factory Talk Studio. El PLC es el encargado de monitorear las señales de los tanques y separadores, además de realizar el control de las bombas. Por otra parte, realiza la lectura de datos del másico (salida y control) y scanner (separador general y control). Para controlar la velocidad de las bombas (LIC-01), se utiliza la señal analógica proveniente del tanque seleccionado mediante el HMI, y se modulan las señales de referencia de velocidad de cada uno de los variadores [9].

#### 3.4.1 Pantallas

Al encender el panel, la aplicación inicia en el menú principal, como se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6 Pantalla inicial

En la parte inferior derecha de la pantalla, se puede visualizar el usuario con el cual se han registrado, y los botones “Login” y “Logout”. El primero de ellos permite registrarse con un usuario diferente, mientras que el segundo se utiliza para terminar la sesión y volver al usuario “DEFAULT”. En caso de que no haya actividad durante un período de 30 minutos, se terminará la sesión que se ha iniciado, y el usuario volverá a “DEFAULT”.

Al presionar Login, emerge una pantalla como se observa en la figura 3.7 Al presionar User Name o Password, emerge una pantalla con un teclado alfanumérico. En User Name se escribe el nombre del usuario que operara el Panel HMI, y en Password la clave de este usuario. Luego de escribir usuario y contraseña, se debe presionar el botón Login [Enter].

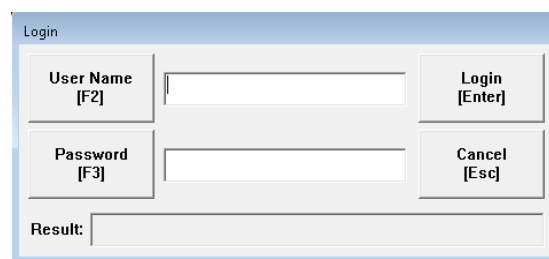


Figura 3.7 Pantalla Login

En el caso el usuario tenga los privilegios se da acceso a una pantalla donde se observan más opciones que en la de inicio como se muestra en la figura 3.8



Figura 3.8 Pantalla principal

La Figura 3.9 muestra el estado de la batería completa. En esta se puede visualizar, de manera general, los niveles de tanque, caudal de bombeo, presión de gas, estados de separadores y bombas Centrífugas.

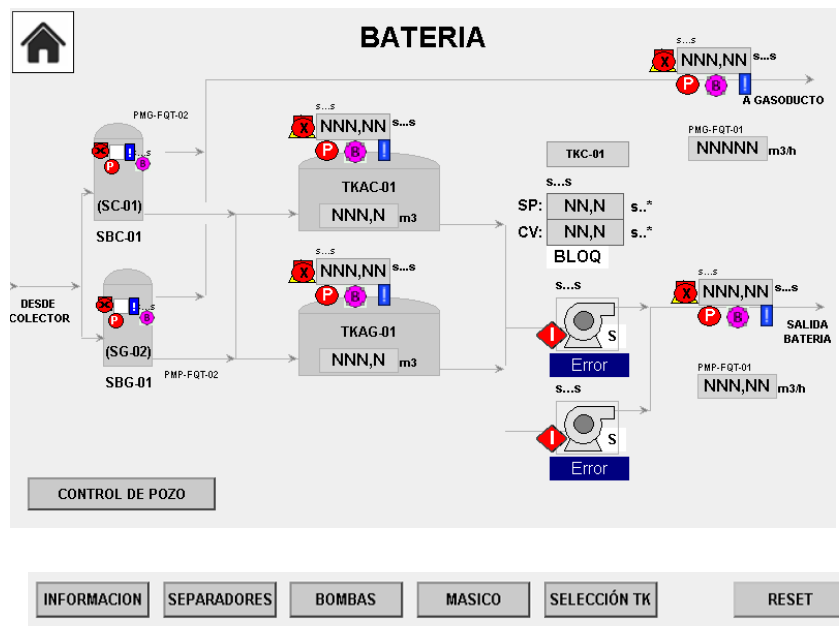


Figura 3.9 Pantalla Batería

El Botón RESET permite reconocer y normalizar los paros y alarmas de equipos, siempre que no sigan activos. Debajo se configuran botones de acceso rápido a otras pantallas como por ejemplo la figura 3.10 de bombas.

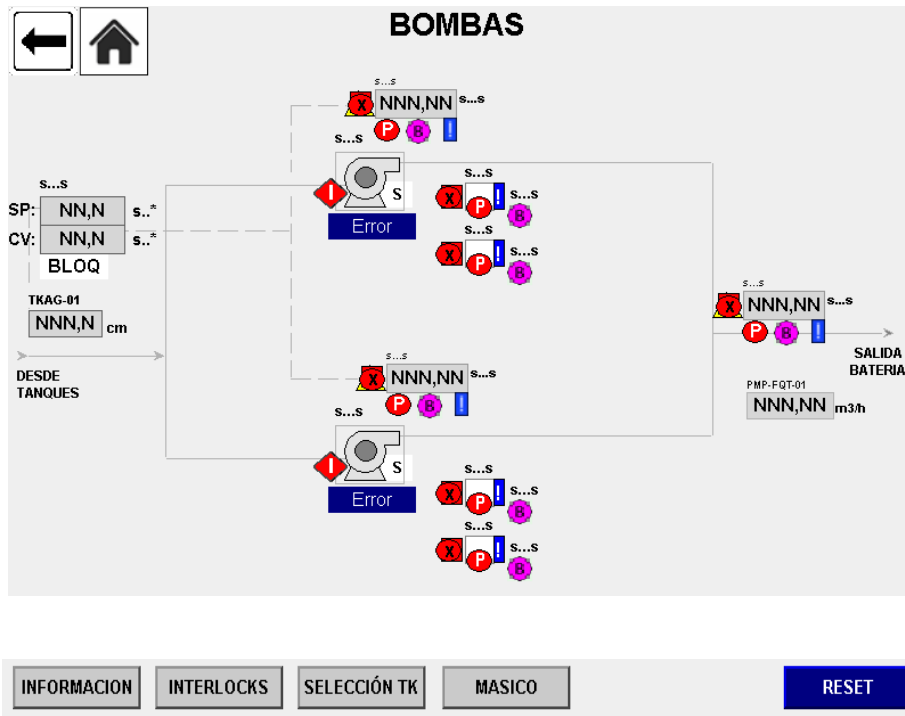


Figura 3.10 Pantalla Bombas

Los botones de navegación se encuentran en la parte superior izquierda y permiten volver a la pantalla de batería o el menú principal. Al presionar Selección de Tk se despliega la ventana de selección de tanque a controlar por el lazo PID como se muestra en la figura 3.11.

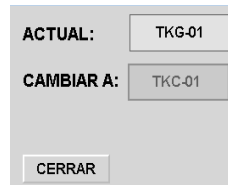


Figura 3.11 Pantalla Selección de Tanques

Información brinda una descripción de los bloques utilizados en la pantalla como se muestra en las figuras 3.12 para motor y 3.13 para las variables digitales y analógicas.

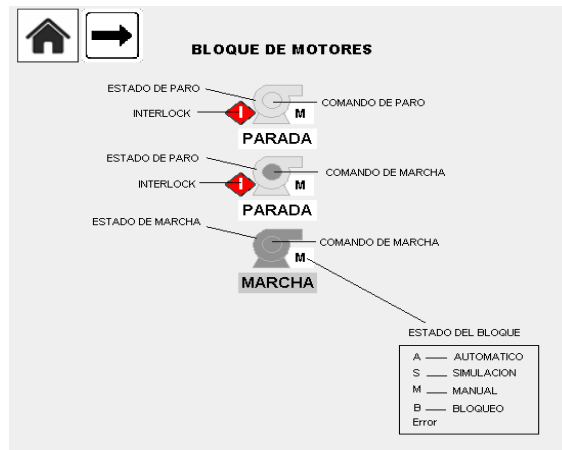


Figura 3.12 Pantalla Información

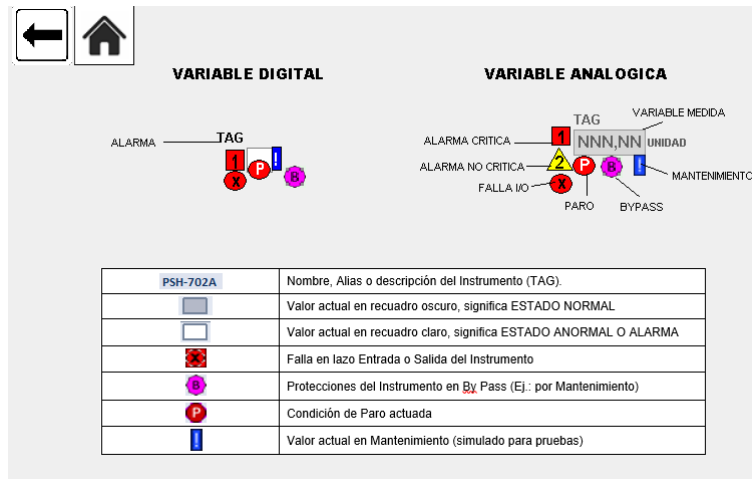


Figura 3.13: Pantalla Información\_01

Interlocks muestra la pantalla de la figura 3.14 con los paros presentes en las bombas. La primera columna indica todos los paros que generan un enclavamiento (bloqueo de bomba). Si el estado es “NO”, el paro no está activo. Por el contrario, si indica “SI”, el paro está activo e impide arrancar la bomba. En la parte superior de la tabla se visualizan los comandos de salida de permisivo y marcha de las bombas. Cuando el permisivo (XE) se encuentra en estado “OK”, la bomba está habilitada. Sin embargo, cuando el permisivo indica “ILK”, la bomba se encuentra bloqueada. Cuando la señal de comando de marcha (XMP) se encuentra en “M”, la bomba tiene comando de marcha desde el PLC, en remoto. Si se encuentra en “P”, la bomba no tiene comando de marcha. En las intersecciones de las señales descritas anteriormente, se visualiza la matriz de causa/efecto.

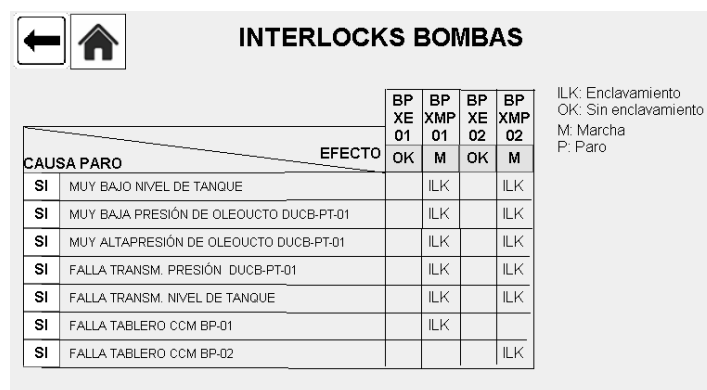


Figura 3.14 Pantalla Interlocks

En las figuras 3.15 y 3.16 se muestran las pantallas con los datos del másico de salida.



Figura 3.15 Pantalla Másico salida



Figura 3.16 Pantalla Másico salida

Desde la pantalla principal tanto como de otras pantallas se puede acceder por ejemplo a Separadores como en la figura 3.17 y a Control de Pozo como en la figura 3.18

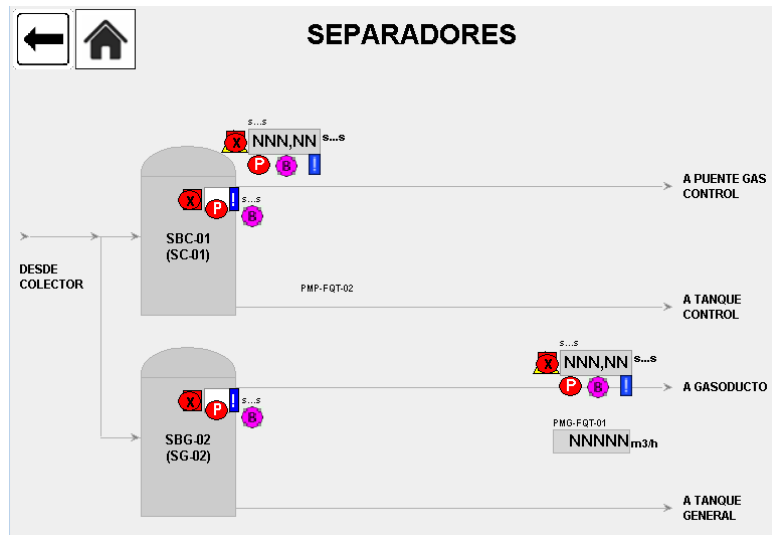


Figura 3.17 Pantalla Separadores

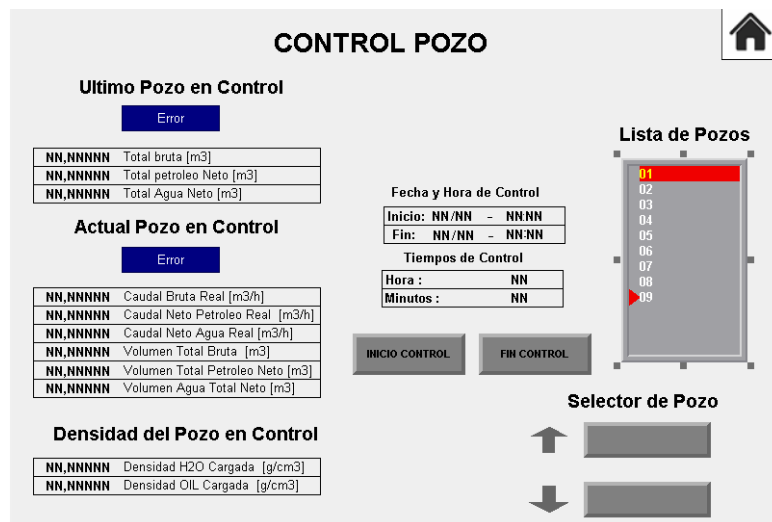


Figura 3.18 Pantalla Control de pozos

Se puede ingresar a esta Pantalla desde la pantalla BATERIA o SEPARADORES. En esta pantalla se realiza el control de pozo. Antes de iniciar el control se debe seleccionar de la Lista de Pozos, que pozo se va a poner en control, para realizar la selección se debe presionar el botón que está debajo de la leyenda Selector de Pozo, en la lista de pozo se pondrá en rojo el pozo que este seleccionado. Una vez seleccionado se presiona el botón INICIO CONTROL. Mientras el pozo este control no aparecerá el botón de selección de pozo y el de Inicio de control. Mientras el control de Pozo este parado, no estará visible el botón de FIN CONTROL. Cuando se detenga el control (FIN CONTROL), los valores de acumulados se pegarán en Ultimo Pozo en Control.

Desde la pantalla principal se puede acceder a la pantalla mantenimiento si se tiene los privilegios de usuario como se muestra en la figura 3.19



Figura 3.19 Pantalla Mantenimiento

Desde donde se accederá a la configuración de todas las variables ya sean analógicas o digitales ya sea de campo o Rtu.

### 3.4.2 Pruebas de aceptación en sitio y Puesta en marcha

Para el montaje final, a realizar en el día, se requirió de la programación de la tarea con el supervisor y los equipos necesarios para la misma. Las tareas realizadas fueron las siguientes:

- ✓ Se procedió al corte de energía para trabajar sin riesgos y se colocaron los variadores de las bombas en manual en una frecuencia que el baterista determino necesaria para evacuar la producción del tanque en base a la entrada.
- ✓ Desvincular todos los cables de la RTU a migrar para su retiro.
- ✓ Se cortaron los caños que llevan los cableados y se procedió a realizar la rosca para el acople con la cañería antiexplosiva hacia la nueva JB que vincula las señales con la RTU nueva. Luego de la vinculación se llevó a cabo la conexión de las señales en la nueva JB.

Luego se hicieron las pruebas de aceptación en sitio (SAT). Verificación que se realiza en la locación una vez finalizada la instalación y montaje del sistema de control para validar su correcta instalación y verificar que no se produzco deterioro en ninguno de sus componentes durante su transporte y posterior montaje. Las pruebas fueron las siguientes:

- ✓ Se procede a la alimentación de la RTU con las térmicas bajas para la verificación de energía alterna de 220 volt (medición con multímetro industrial marca FLUKE 87 V de verdadero valor eficaz). Este mismo multímetro se utilizará para las mediciones que se detallan a continuación.
- ✓ Luego se verifica la Energía proporcionada por la fuente de 24 volt de continua en vacío, para ello se levantan todos los fusibles.

- ✓ Se procede a chequear todos los fusibles con multímetro antes de brindar alimentación para detectar algún posible cortocircuito en la conexión.
- ✓ Conexión final de fusibles y verificación de correcto funcionamiento del controlador, instrumentos y sistema de comunicación.

Pruebas con el operador de la batería y coordinador de SCADA.

- ✓ Se realizan las pruebas de arranque y paro en forma remota desde el HMI y desde la sala de control.
- ✓ Capacitación para la utilización del HMI para los operadores de la batería.
- ✓ Asistencia para interpretación de pantalla de SCADA al coordinador.
- ✓ Entrega de instructivo para manejo de HMI.

### **3.5 Desarrollo de configuración de UPS**

El tablero cuenta con un sistema ininterrumpido de alimentación (UPS) con las siguientes características:

- UPS Phoenix Contact QUINT DC-UPS.
- PLC con entradas digitales.

Se define como 24Vcc el umbral mínimo de tensión. Este método es preferido frente a una descarga a fondo de la batería con el fin de no deteriorar su vida útil.

Con este sistema se minimizan los tiempos y la cantidad de intervenciones a los equipos.

Se conectan las 3 señales de UPS (Falla, modo batería y batería cargando) o una señal que resume todas las fallas, según la disponibilidad de entradas digitales en el PLC. Esta última señal es un contacto seco de la UPS a una entrada digital del PLC para indicar que la UPS no está en falla, que no se estén cargando las baterías y que la tensión del banco sea superior a 24Vcc.

## 4 Resultados

La posibilidad de la conexión remota es una ventaja en el día a día, pero mucho más para cuando hay una guardia nocturna por alguna falla de comunicación de algún instrumento etc. (fuera de horario de trabajo) que es cuando no hay especialistas en PLC en el campo. De esta manera se pueden solucionar o diagnosticar problemas desde cualquier lugar que haya red de la empresa productora.

Con el nuevo sistema de control se optimizó el tiempo de detección de una falla de comunicación de un instrumento. Muchas veces había un problema en el PLC que recibía las señales de entradas del sistema anterior, y se veía reflejado en la comunicación (aquí podía ser un problema del controlador o cableado-instrumento). Se reduce la cantidad de interfaces de 3 a 1, ya que antes se necesitaban: una para la Roc, otra para el PLC anterior y una para la radio. Actualmente con un cable de red se puede acceder al plc y a la radio redline. La cantidad de softwares necesarios para solucionar problemas se reduce de 3 (Roc, PLC anterior y radio) a 2(PLC nuevo y radio).

Anteriormente, el personal en la instalación (baterista o trabajador de mantenimiento, etc.) solicitaba por teléfono al coordinador, que observa las pantallas en un lugar alejado del yacimiento dependiendo de la señal de teléfono y de su disponibilidad, los valores de las variables necesarias para diagnósticos locales. Hoy en día el operador no solo puede ver las variables a través del HMI sino que selecciona operaciones y configuraciones desde el panel sobre el PLC. Con lo cual el operador puede determinar por ejemplo la falla en un transmisor de nivel y prevenir un derrame ya que el LT controla la velocidad de las bombas.

Además del acceso al PLC se puede acceder a la radio redline en forma remota identificando problemas en los puertos de esta o si hay un problema en el controlador. Esto tiene la ventaja de hacer alguna maniobra en forma remota para devolver la comunicación y en caso de ser necesario subir al campo a solucionar en el sitio con un diagnóstico del problema.

Uno de los problemas recurrentes en una guardia era que no se sabía si había energía en el lugar cuando se perdía la comunicación. Con lo cual había que movilizar un móvil hasta el lugar que en general no podía dar solución a ese problema. Con la tecnología de respaldo (UPS) el sistema sigue funcionando con el banco de baterías hasta agotarse y se puede ver en el sistema SCADA a qué hora se cortó la energía de 220 volt ac, cuando comenzó a actuar el sistema de energía secundario de baterías etc. Con lo cual no solo se puede dar un diagnóstico del problema, sino que además se puede dar una estimación del tiempo en que se puede

resolver el problema de la energía sin que el sistema se apague. Por otro lado, la RTU tiene protecciones no solo para los instrumentos (fusibles) sino para las personas (disyuntor).

Interior de RTU migrada operando se muestra en la Figura 4.1



Figura 4.1 Interior RTU

Borneras fronteras de Módulos de PLC y alimentación de instrumentos en operación se muestran en la figura 4.2



Figura 4.2 Borneras fronteras de módulos del PLC-alimentación de instrumentos

Borneras 24 volt dc; Térmicas de UPS y Baterías; Toma 220 volt ac en operación se muestran en la figura 4.3

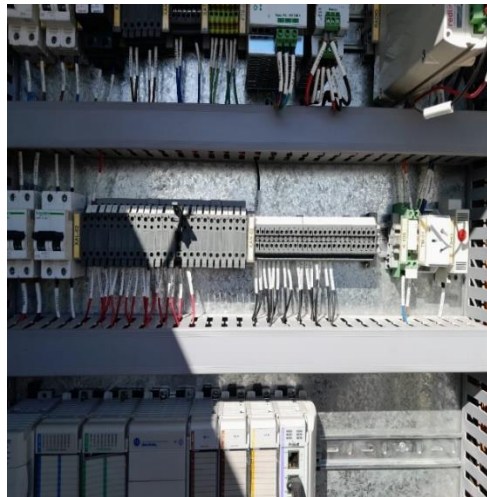


Figura 4.3 Térmicas y borneras del sistema de 24 volt, toma de 220 volt  
Sistema de alimentación y respaldo UPS-Sistema de comunicación en operación se muestran en la figura 4.4

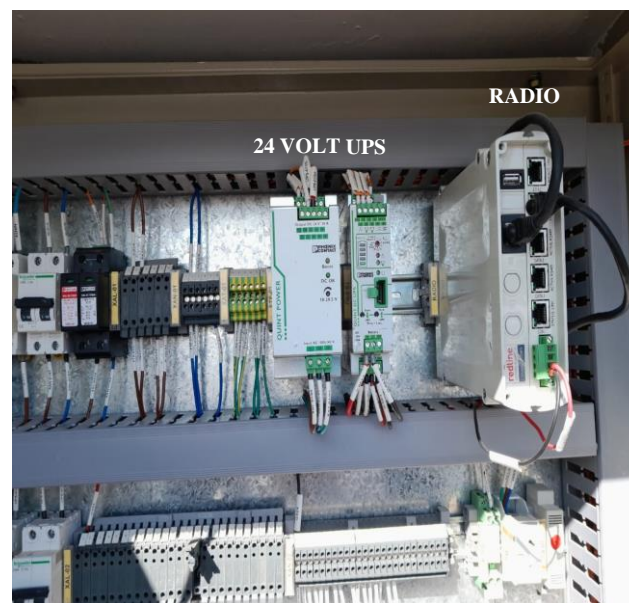


Figura 4.4 Térmicas 220volt-Fuente 24 volt- Sistema de comunicación Redline  
JB (juntion box) nueva antiexplosiva-ex ubicación de la Rtu se muestra en la figura 3.2.

## 5 Conclusiones y Recomendaciones o trabajos futuros

### 5.1 Conclusiones

En la tabla 5.1 se muestra un cuadro comparativo de las principales conclusiones:

| Previo a la migración  | Ventajas de la migración  |
|--|---|
| Imposibilidad de conectarse de manera remota   | Permite conectarse, hacer modificaciones de manera remotas y parciales en su programación sin afectar el normal funcionamiento del proceso            |
| Falta de repuestos, utilización de otros controladores para el manejo de entradas y salidas  | Mayor capacidad de manejo de entradas y salidas. Utilización de un solo controlador, interfaz y software.   |
| Por falta de instrumentos con display el operador debía llamar por teléfono al coordinador que observa las pantallas de scada para saber de alguna medición como por ejemplo la medición de un tanque. | Posibilidad de ver variables en instrumentos sin display. Realizar operaciones de selección de tanques para control de variadores y pozos en control. |
| Radio MDS9810 serial sin acceso remoto   | Posibilidad de acceso a la radio con lo cual se puede observar si el desperfecto está en la radio o en el plc en el caso de falta de comunicación.    |
| Térmica de 220-v Fuente de 24volt-fuente de 12 volt-   | Disyuntor-Térmica-fuente de 24-UPS-Baterías-fusibles, Sistema de alimentación seguro y con respaldo.  |

|   |   |
|---|---|
| Medición de petróleo incorrecta por instrumento no apropiado para la medición   | Instrumento apropiado para el alto porcentaje de agua que se maneja en este yacimiento maduro   |
| El operador tenía que arrancar o parar las bombas de manera local con lo cual si había una contingencia climática como corte de camino por cañadones con agua había peligro de derrame o daño de las bombas por funcionar en vacío. | Se pueden arrancar y parar las bombas en forma remota además de garantizar mediante la programación e implementación la seguridad de las mismas.                    |
| El valor que llegaba a SCADA era el valor escalado de la variable.  | Se puede ver el valor que llega del campo antes de ser escalado con lo cual se puede llegar a la conclusión si hay un problema en las señales de campo o en el PLC. |

*Tabla 5.1 Tabla comparativa de la migración*

## 5.2 Medición de nivel

Cuando solo queda un tanque operativo en servicio, en la batería solo queda una medición de nivel. En caso de que se pierda la comunicación o haya una medición errónea se expondría a un riesgo de derrame. Por ello se recomienda agregar un transmisor de nivel de seguridad además del de control con el que ya cuentan los tanques.

Para poder realizar esta mejora se requiere de la modificación del tk para montaje de LT de seguridad. En el PLC-HMI hay disponibilidad de entradas para realizar la implementación en los 2 tanques.

## 5.3 Seguridad de las personas

Colocar detectores de gas sulfhídrico y mezcla explosiva en los puntos críticos como al pie de tanques. En condiciones normales de operación los separadores se encargan de separar los gases de los líquidos antes de llegar al tk, pero ante una necesidad de usar bypass del separador para el ingreso a los tanques es posible la aparición de estos gases con lo cual es muy peligroso trabajar cerca o arriba del tanque ya que poseen tapas de alivio para liberarlos.

Una vez medidos estos gases se recomienda la programación PLC-HMI en consulta con el especialista en seguridad e higiene para alarmar con baliza más sirena localmente y en forma remota del peligro.

Con lo cual la mejora solo depende de su montaje y cableado ya que en el PLC-HMI hay disponibilidad de entradas-pantallas.

#### **5.4 Calefacción de la RTU**

Cuando se procedió a las pruebas de tablero en campo se detectó que faltaba la calefacción, pero se encontraba el cableado con lo que se llevó a cabo su desconexión para evitar accidentes con 220 volt ac. Por lo cual se recomienda pedir a la empresa provisoria del tablero, el equipo faltante y su reconexión cuando este montado.

#### **5.5 Test de baterías en forma remota**

Con respecto al sistema de respaldo UPS, se recomienda configurar el PLC para hacer test de baterías en forma remota. Para ello se debe conectar una salida del PLC a un relé para conmutar la alimentación 220 volt, que alimentan la fuente de 24 volt, a baterías con 24 volt cargadas desde UPS. Se debe conectar la salida de la UPS a un conversor de medios para consultar vía Modbus los parámetros internos, registro de la corriente de descarga del banco de baterías, esto se produce desde el instante posterior al corte de alimentación hasta que la tensión de batería llegue al umbral mínimo. Esto generará la curva de descarga de la batería y la dejará registrada en el sistema PI determinando el reemplazo de ellas según el resultado de la comparación entre los datos obtenidos y las curvas del fabricante.

## 6 Anexo

### 6.1 Descripción del bloque motor

Para manejar la celda eléctrica se utiliza la salida física *out\_Arrancar* (1 para marcha y 0 para, con *cfg\_Salida\_Pulso*=1 la salida dura un tiempo *cfg\_KA\_Arrancar* en segundos y después se cae) u *out\_Parar* (1 para parar y 0 marcha si es salida continua, con salida por pulso (*cfg\_Salida\_Pulso*=1) la salida siempre se mantiene en 1 y el pulso en 0 dura un tiempo *cfg\_KA\_Parar* en segundos). La variable *in\_YLR* también funciona de permisivo de arranque y ante un cambio a local puede producir paro (*cfg\_LR\_Cmd*=0) o seguir en el mismo estado (*cfg\_LR\_Cmd*=1). También se ingresan entradas de permisos en *in\_Perm* que habilitan (0=OK) o no (con otro valor indica el permiso que falta) el arranque del equipo y entrada de interlocks en *in\_Ilocks* que produce el paro del equipo por alguna protección, si es 0=OK y con otro indica el interlock actuado, generando el paro siempre que esté habilitado el interlock en *op\_Hab\_Paros*, por otro lado, se muestra en *out\_Ilock* (0=OK, >0 el interlock que se actuó).

### 6.2 Desarrollo de como realizar las pantallas HMI

#### 6.2.1 Criterios globales de diseño HMI

El diseño de las pantallas de operación deberá apoyar el reconocimiento de patrones y destacar la información importante para el operador. Toda la información esencial para el monitoreo y operación del proceso deberá ser presentada y agrupada de manera estructurada para facilitar las tareas de los operadores.

La densidad de la información mostrada deberá ser menos del 50% y preferentemente cerca del 25-30% (por ejemplo, menos del 50% del área disponible debería estar cubierta con texto y gráficos). Recomendación tomada del documento [3].

#### 6.2.2 Secciones de visualización

La pantalla cabecera o menú será fija. La misma se deberá ubicar en la parte superior y funcionará como contenedor de información general del sistema. Deberá poseer botones de acceso rápido a las principales funciones de la interfaz de operación como ser:

- Acceso directo a la pantalla general o de nivel 1
- Ingreso a navegación general
- Acceso a configuración

- Acceso directo a la pantalla de históricos
- Cambio de usuario
- Ayuda
- Fecha y hora del sistema.

Hay tablas que especifican los colores para los diferentes objetos que, por cuestión de espacio, no se agregaran a la tesis.

### **6.2.3 Jerarquía de pantallas de proceso**

Las pantallas de proceso deberán proporcionar diferentes niveles de detalles y estar dispuestas para facilitar el acceso al operador según su necesidad. La jerarquía de pantalla deberá tener forma de árbol formado por un máximo de cuatro niveles. Esto significa que el usuario del sistema debería poder llegar a la información deseada navegando a lo sumo, en cuatro pantallas diferentes. El panorama, es una única pantalla, donde se mostrará el proceso completo y que debe controlar el operador. Es un indicador general de cómo se está ejecutando el proceso. Proporcionará una indicación clara del desempeño actual de la operación, mediante el seguimiento de los indicadores claves. Las interacciones de control no se realizarán desde esta pantalla. En esta tesis, será el diagrama de batería en yacimiento. Cada operación consiste en el control de unidades más pequeñas. Existe una pantalla de Nivel 2 para la operación de cada unidad principal. Estarán diseñadas para contener toda la información y controles necesarios para que el operador pueda realizar todas las tareas asociadas a esa sección. Las pantallas de nivel 3 proporcionarán todos los detalles acerca de una sola parte del equipo. Estas se utilizan para un diagnóstico detallado de los problemas. Muestran todos los instrumentos, estado de las condiciones de paro y/o seguridad del dispositivo y otros detalles. Un esquema del equipo es a menudo deseable para una pantalla de nivel 3. Las pantallas de Nivel 4 proporcionarán detalles de subsistemas, sistemas auxiliares, sensores individuales, componentes o equipos. Mostrarán la información con el mayor detalle posible de diagnóstico o misceláneas, posibilidad de configuración de ajustes o envío de comandos a equipos. Estas pantallas serán siempre del estilo emergentes (pop ups).

### **6.2.4 Capas de visualización**

La información deberá ser ordenada y presentada por capas de acuerdo con la estructura que define [4]. Los objetos estáticos se deberán representar como formas 2D y siguiendo [5],

manteniendo los detalles al mínimo, utilizándolos sólo para que sea fácil de identificar los diferentes tipos.

### **6.2.5 Matriz causa efecto**

La CAUSA deberá contener el nombre del instrumento y su descripción, el valor actual, el tipo de causa que genera la acción, y el valor del límite al cual se dispara el enclavamiento.

La ACCION que se toma, deberá estar representada de forma abreviada con el fin de evitar que se extienda innecesariamente la tabla.

El EFECTO deberá contener el nombre del equipo al que se le está generando la acción y NO el nombre de la salida digital del PLC/RTU. En el caso de que se trate de una acción global que afecte varios equipos se deberá colocar también como una CAUSA y describir así las acciones que toma con los distintos equipos.

### **6.2.6 Pantallas emergentes**

Las pantallas PopUp o Emergentes son pantallas de nivel 4, y tienen como finalidad brindar más información sobre un instrumento o equipo, modificar seteos de configuración (seteos de alarma, criticidad, etc.) y realizar comandos de equipos como ser “arranque”, “paro” de una bomba o “abrir”. Para acceder a dichas pantallas, se deberá hacer clic con el mouse (dedo) sobre el instrumento/equipo en la pantalla de operación. Una vez abierta la pantalla emergente, esta podrá ubicarse según la preferencia del operador. La limitación en la cantidad de aperturas de las pantallas PopUp, quedará determinada por la aplicación en la cual se desarrolle el proyecto. Por defecto, para sistemas con un solo Monitor, dicha pantalla se abrirá cerca de donde se realizó el clic de apertura. “Es importante destacar que bajo ningún concepto deben programarse apertura de pantallas PopUp disparadas por eventos automáticos (ej. alarmas) o temporizadores”. Todas las aperturas de pantallas emergentes deberán ser abiertas mediante el comando del operador.

### **6.2.7 Navegación entre pantallas**

La navegación por las pantallas de operación deberá facilitar el acceso rápido y directo a las pantallas primarias (nivel 1 y 2) y desde ahí a las pantallas secundarias y asociadas (nivel 3 y 4). La flexibilidad en la navegación entre pantallas deberá ser tal, que el operador no tenga necesidad de recordar cómo llegar a un gráfico específico. Una función muy útil, es registrar

una historia de pantallas navegadas para que de esta forma el operador tenga una herramienta para moverse en el sistema. El navegador deberá estar dispuesto en forma de árbol, mostrando áreas, yacimientos, instalaciones y pantallas de las instalaciones. Tanto la pantalla de nivel 1 como las de nivel 2 deberán tener una cabecera donde muestren información general de la instalación que se está observando.

### 6.2.8 Permisos de usuario

La navegación por las pantallas, la modificación de ajustes, la configuración de instrumentos, de equipos, de sistemas y la ejecución de comandos, deberán estar restringidas para cada usuario según los permisos que se hayan asignado.

## 6.3 Programación del PLC

### 6.3.1 Organización y programación

Al desplegar el menú de Task encontramos las 3 tareas como se muestra en el Controller Organizer de la Figura 6.1.

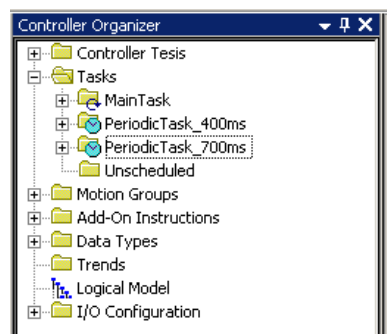


Figura 6.1 Carpetas del organizador del controlador para la tesis

La tarea MainTask va a contener el programa principal, con sus respectivas rutinas como se muestra en la Figura 6.2

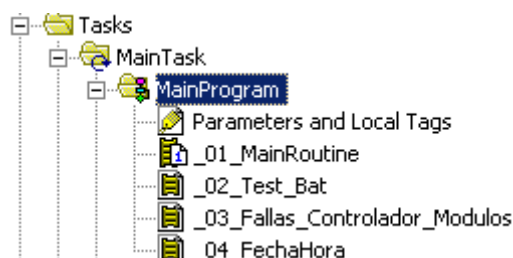


Figura 6.2 Rutinas del programa principal-1

Además, Maintask va a contener los programas Entradas\_Salidas, Bombas, Masico\_Ctrol como se muestra en la Fig. 6.2. También se muestra en la figura la tarea PeriodicTask\_400ms que es utilizada para la programación de los instrumentos que vienen por comunicación 485.

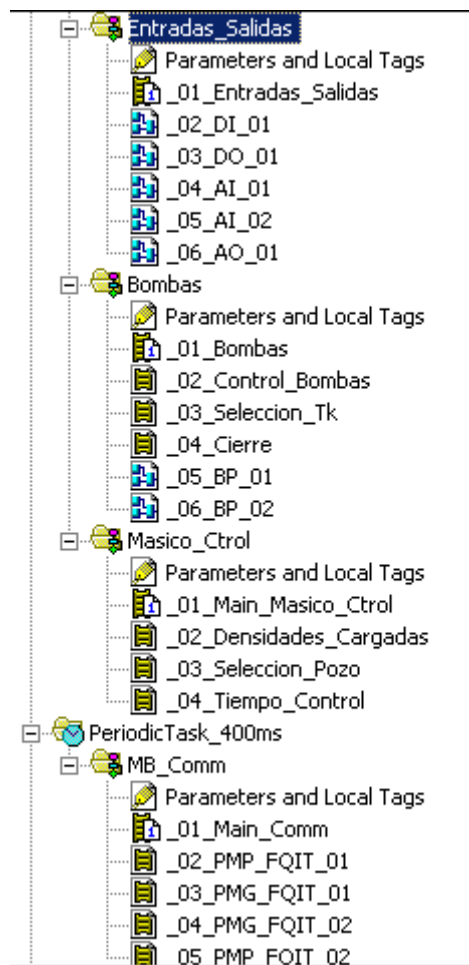


Figura 6.3 Configuración del árbol de programación-1

La tarea PeriodicTask\_700ms contiene el programa PID de bombas como se muestra en la Fig. 6.3.

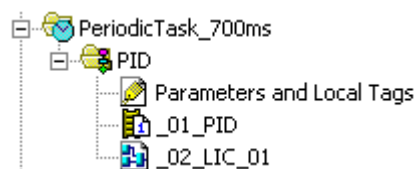


Figura 6.4 Configuración del árbol de programación-2

Se activa mediante un contador el reset general de fallas. Además, se activan las subrutinas programadas a continuación.

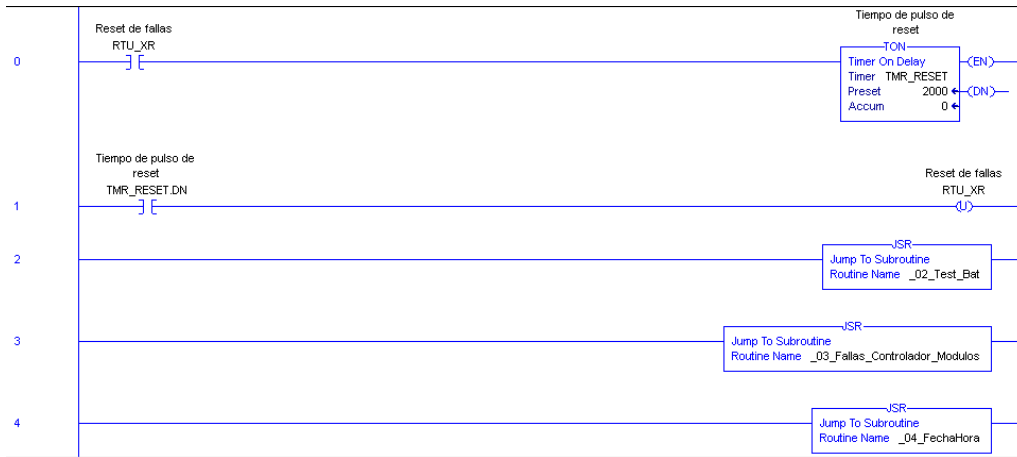


Figura 6.5 Programación de \_01\_MainRoutine

### 6.3.2 Data Types importados y configurados

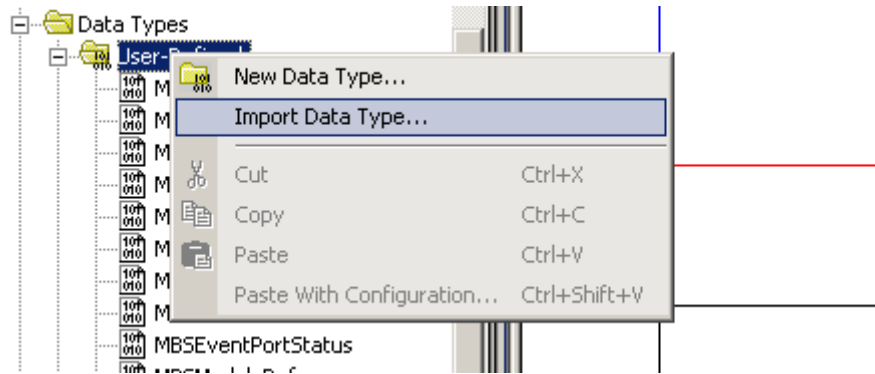


Figura 6.6 Importar data type Falla Módulo

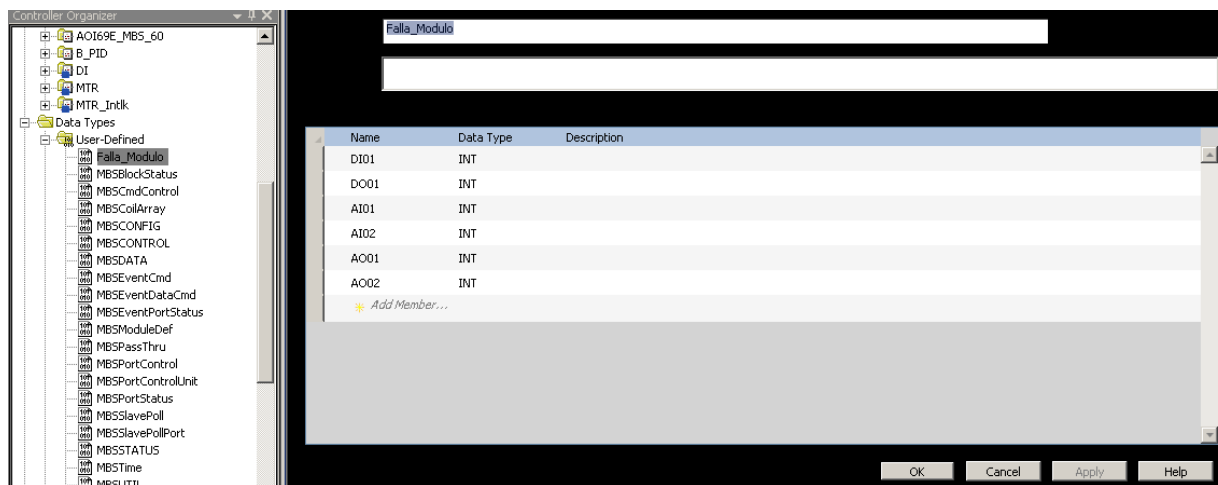


Figura 6.7 Configuración data type Falla\_Modulo

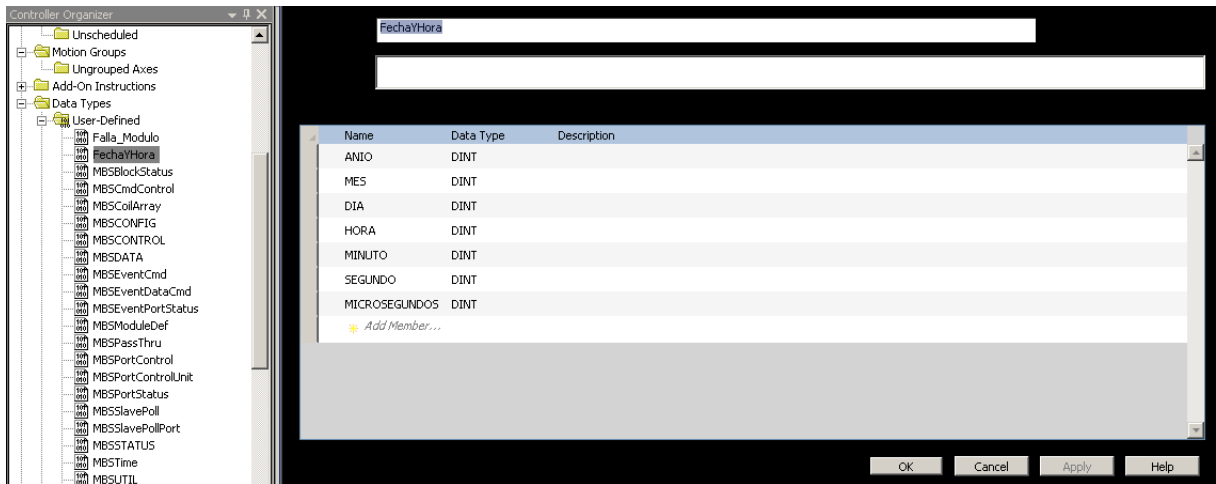


Figura 6.8 Propiedades data type FechaYHora

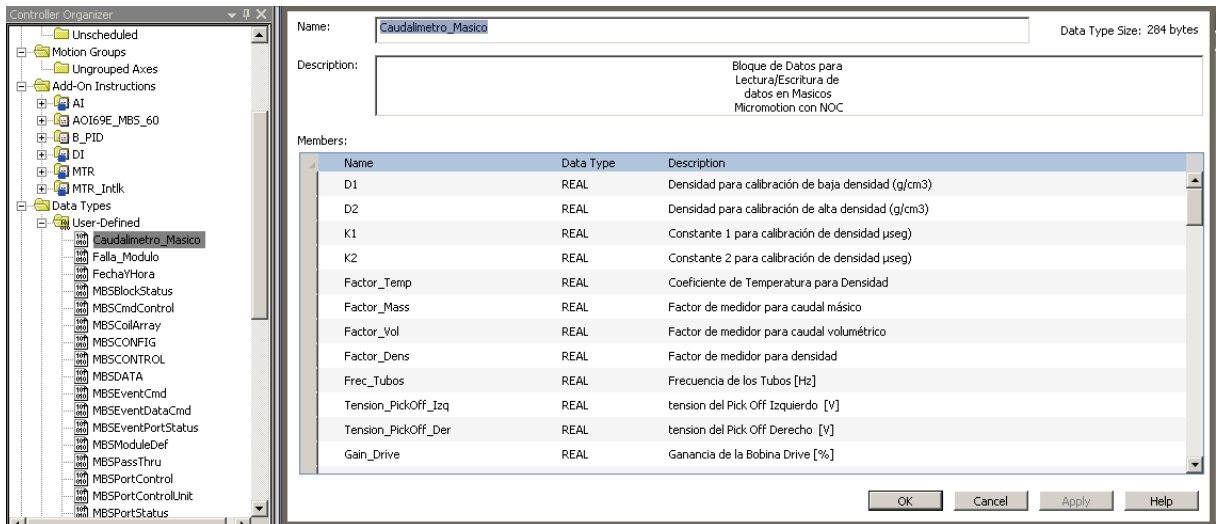


Figura 6.9 Propiedades data type Caudalimetro\_Masico

### 6.3.3 Asignación de Hardware al programa

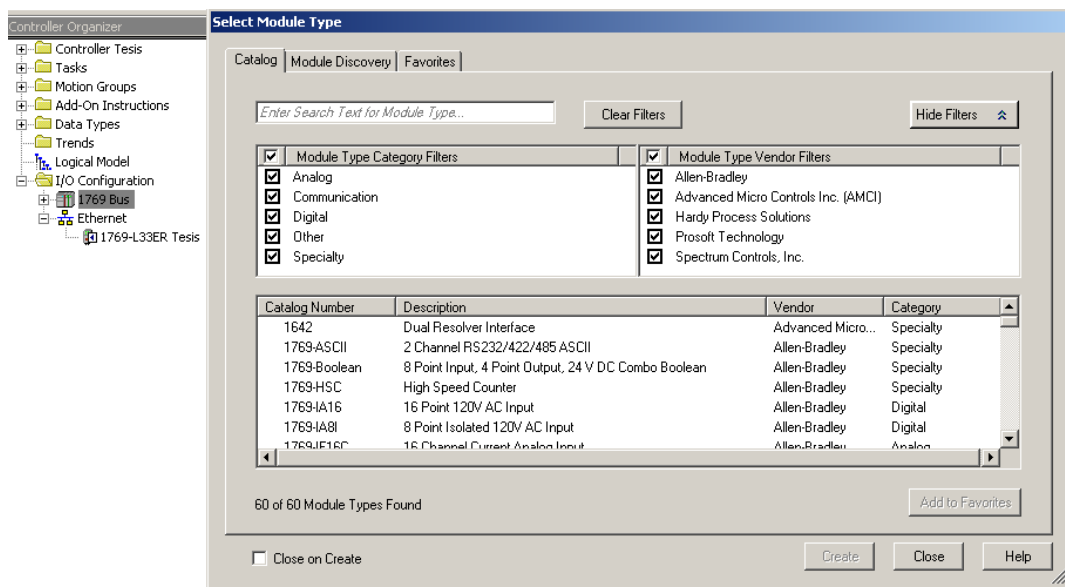


Figura 6.10 Asignación de módulos para el plc según la arquitectura

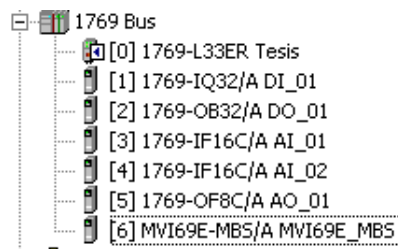


Figura 6.11 Configuración de módulos en el programa según arquitectura

### 6.3.4 Instrucciones Add On

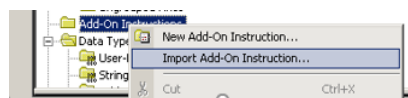


Figura 6.12 Importar una instrucción Add-on

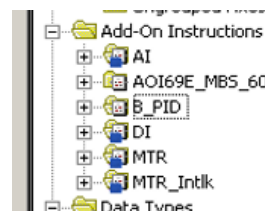


Figura 6.13 Instrucciones Add-on importadas en el controller organizer

### 6.3.5 Programación de Bloques de entradas digitales en DBF

Cada variable digital es asignada al canal y modulo dentro del bloque. Todos los bloques poseen el reset de fallas.

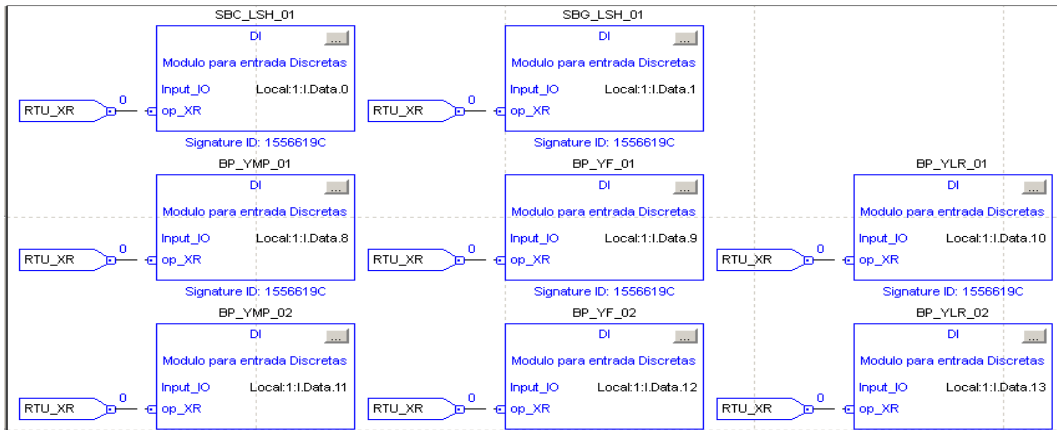


Figura 6.14 Programación de \_02\_DI\_01-Hoja 1

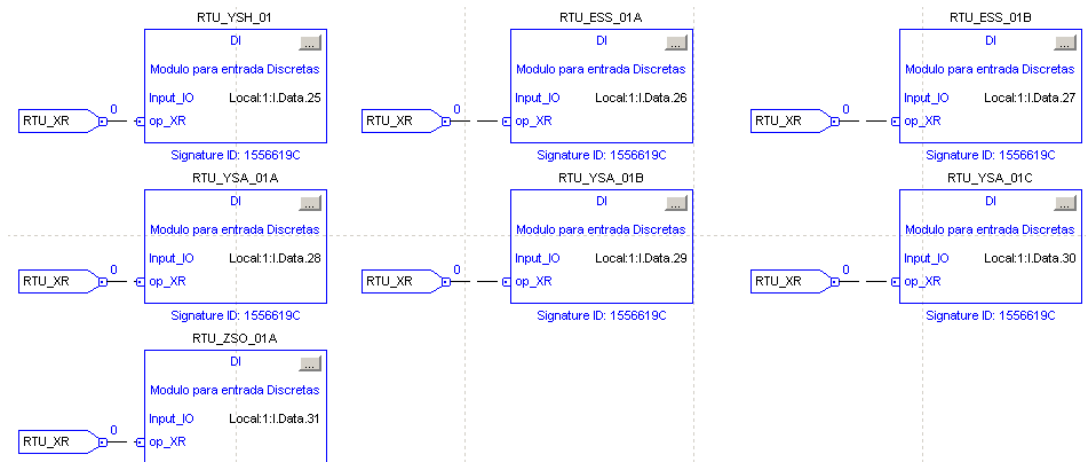


Figura 6.15 Programación de \_02\_DI\_01-Hoja 2

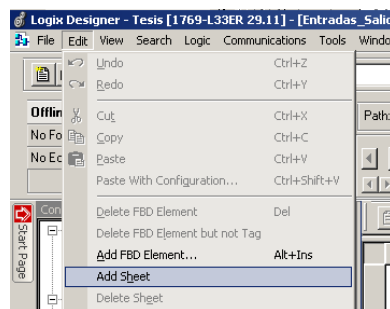


Figura 6.16 Agregar Hoja de programación

### 6.3.6 Asignación de salidas digitales programadas en DBF

Cada variable digital de salida es asignada a un canal y modulo determinado.

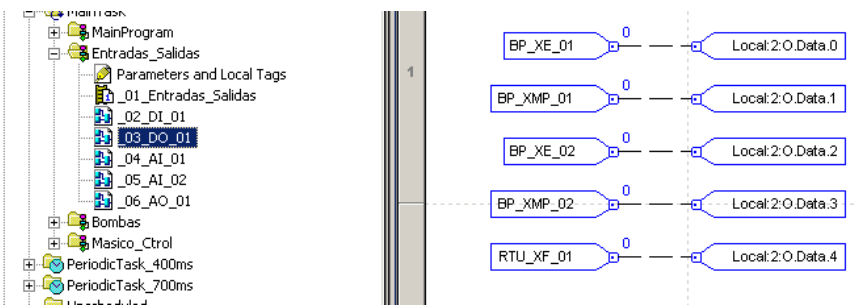


Figura 6.17 Programación \_03\_DO\_01

### 6.3.7 Programación Bloques de entradas analógicas en DBF

Cada variable de entrada analógica es asignada a un canal y modulo del plc. El bloque asignado a la entrada es configurado para su escalado con su respectivo reset de fallas.

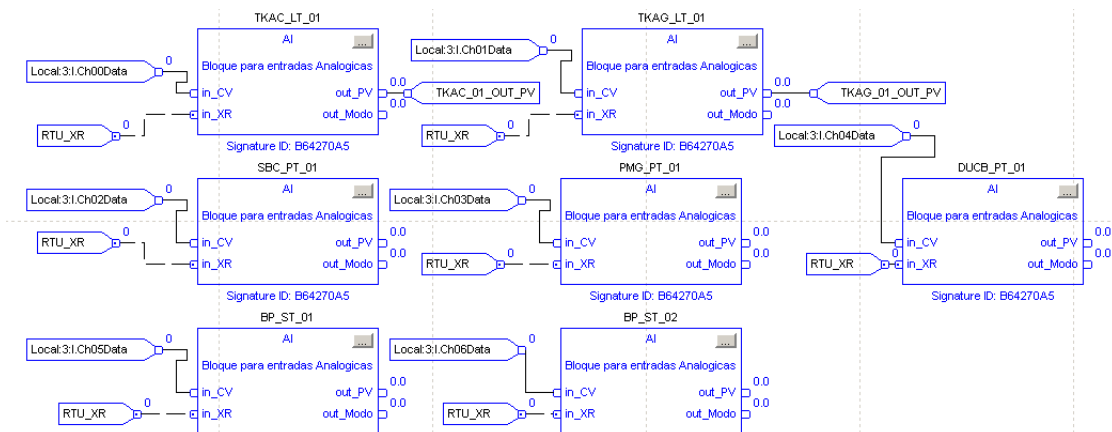


Figura 6.18 Programación 04\_AI\_01 Hoja 1

Para el cálculo de volumen se multiplican las variables de altura de tk por su constante y se guarda el resultado en una variable.

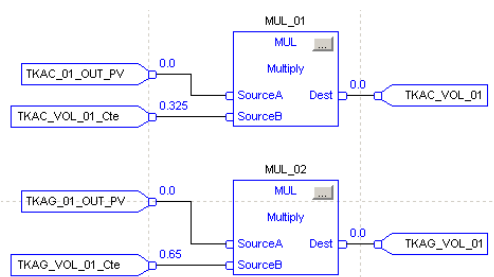


Figura 6.19 Programación 04\_AI\_01 Hoja 2

### 6.3.8 Programación de la asignación de salidas analógicas en DBF

Las variables de salidas analógicas se asignan al canal y modulo del plc.

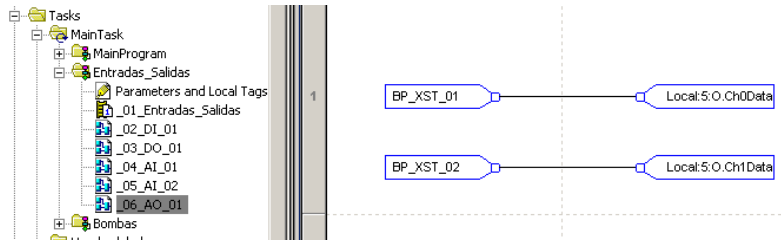


Figura 6.20 Programación \_06\_AO\_01

### 6.3.9 Programación en Ladder del control de bombas

Si el comando de marcha está activo y la devolución de estado de marcha también, se enciende el timer de inhibición de paro durante el arranque.

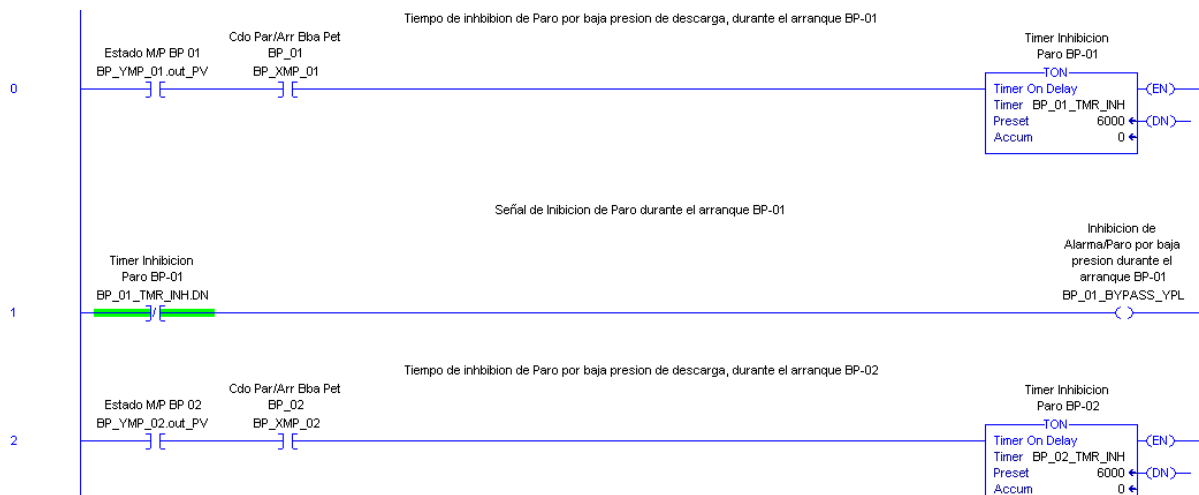


Figura 6.21 Programación 02\_Control\_Bombas-1

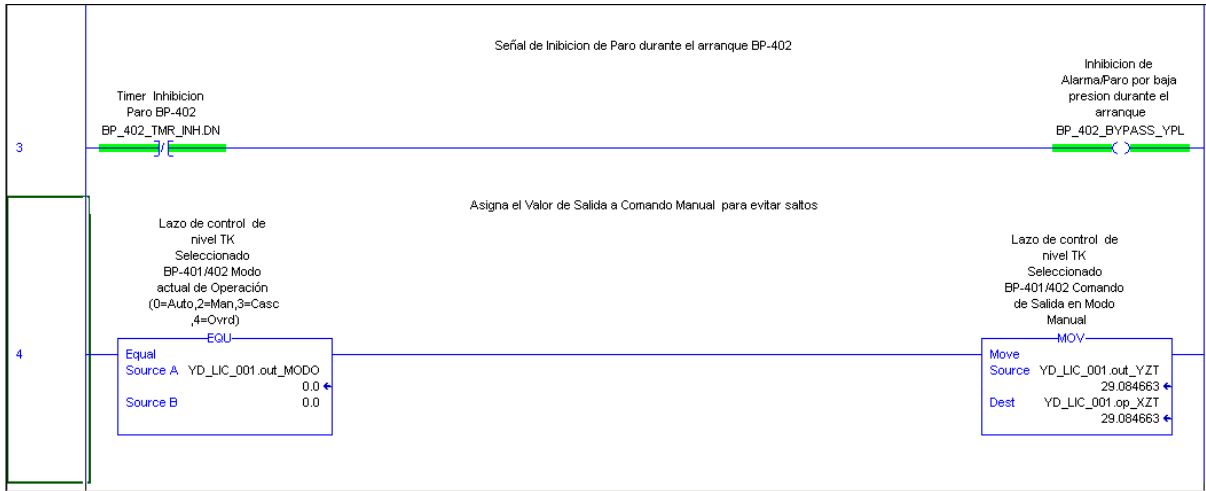


Figura 6.22 Programación 02\_Control\_Bombas-2

### 6.3.10 Programación de los bloques de motor en DBF

El bloque de interlock posee todos los posibles paros de bbas asociados por seguridad. Estos ingresan al bloque de motor en in\_ilocks. Además, el bloque motor cuenta con la entrada de marcha paro, la configuración local, remoto, falla por i/o, reset de fallas y la salida marcha paro.

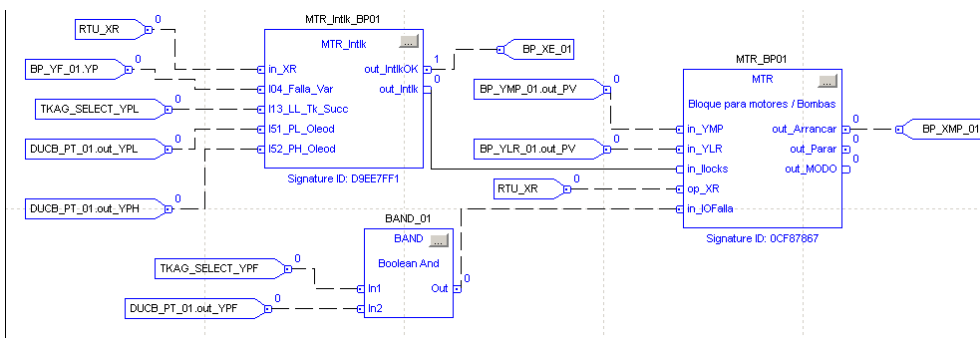


Figura 6.23 Programación 05\_BP\_01

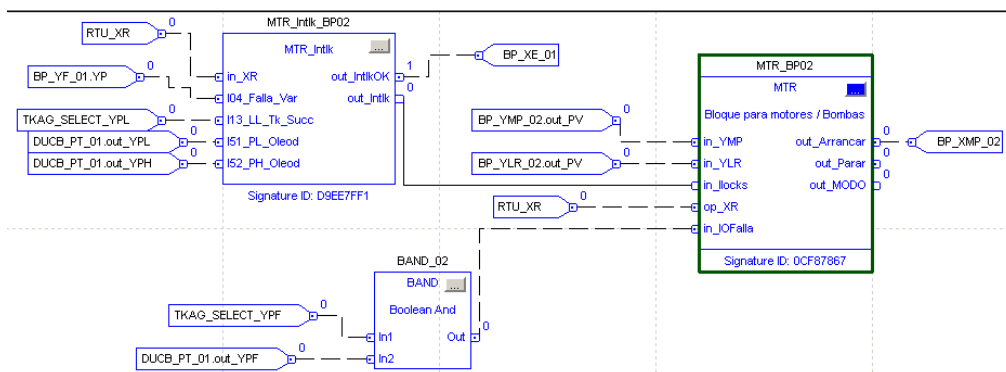


Figura 6.24 Programación 06\_BP\_02

### 6.3.11 Disposición y Configuración de los puertos de comunicación Prosoft

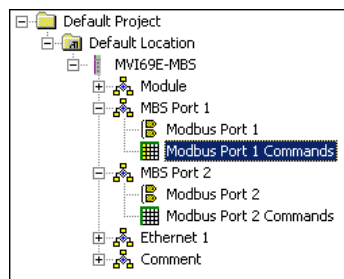


Figura 6.25 Árbol de programación de la placa prosoft

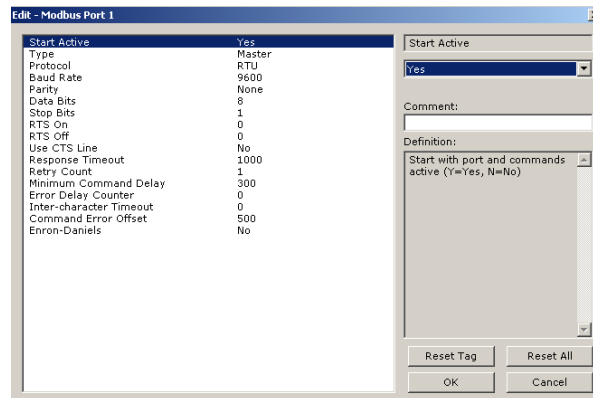


Figura 6.26 Configuración puerto 1 de la placa prosoft

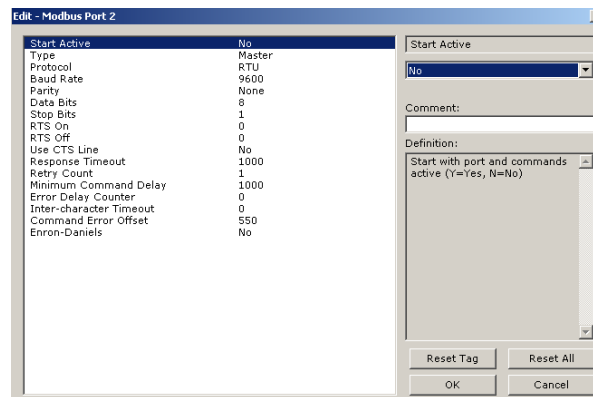


Figura 6.27 Configuración puerto 2 de la placa prosoft

### 6.3.12 Disposición y Programación de maticos y scanners

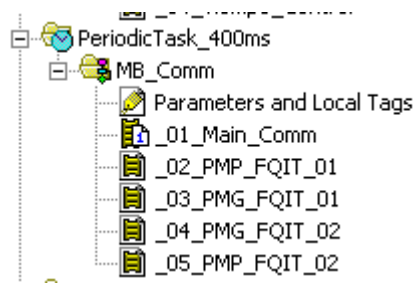


Figura 6.28 Árbol de programación de modbus

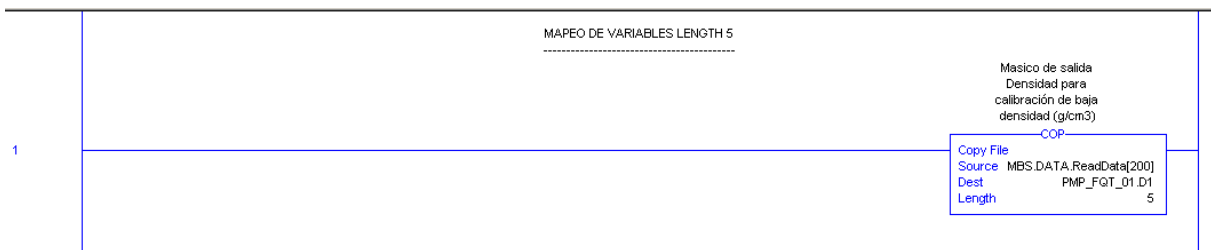


Figura 6.29 Ejemplo del mapeo de una variable modbus del PMP-01

### 6.3.13 Disposición y Programación del PID

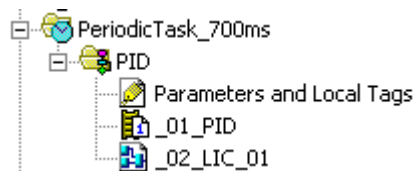


Figura 6.30 Árbol de programación de PID

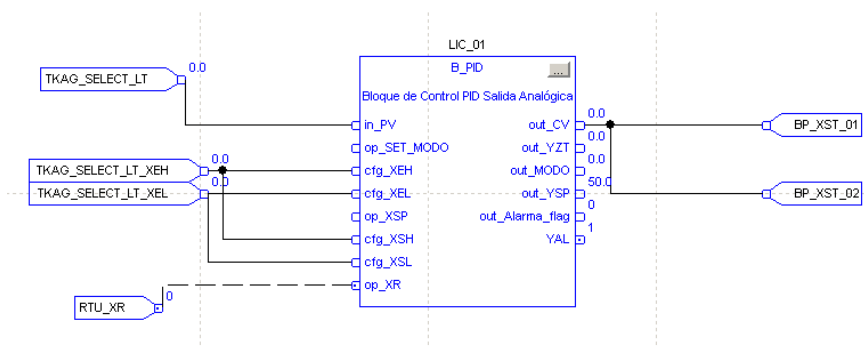


Figura 6.31 Árbol de programación de PID

### 6.3.14 Hardware y software necesarios para conectarse al PLC

Se realiza mediante cable de red, abrimos el programa de Rockwell Automation, RSLink Classic Lite, Revision 3.81.00 CPR 9 SR 8.1 dentro de la red de la empresa productora o configurando la red de la PC en el dominio del PLC a conectarnos. También, en el caso de conectarnos con el cable USB, abrimos el programa RSLink Classic Lite y veremos el dispositivo conectado. Vale aclarar que, si se está utilizando una máquina virtual, la red se configura en la maquina nativa y si la comunicación es mediante cable usb se debe reconocer la interfaz antes de verse reflejado en RSLink Classic Lite.

Para hacer la conexión mediante IP se abre el programa y se selecciona la solapa configure drivers, se selecciona y configura la IP. Luego hacemos click en la pestaña RSWho y se observa si el PLC está en línea.

En el programa, ya sea por conexión por IP o por cable Usb, se puede observar el hardware de tipo de PLC y módulos o tarjetas asociados.

Ahora, para conectarnos al PLC abrimos el proyecto generado en Studio 5000 Logix Designer Version 28.01-Profesional Edition, se va a la pestaña communications y de ahí who active, para luego seleccionar el PLC al que nos queremos conectar y seleccionándolo elegimos Go Online.

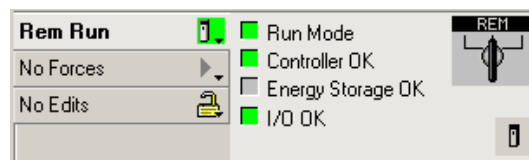


Figura 6.32 Modo de PLC y estado del controlador y las tarjetas I/O

## Lista de figuras y símbolos

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 Batería de separación de fases de producción .....                   | 8  |
| Figura 2.2 Indicador local y remoto de presión del separador de control .....   | 9  |
| Figura 2.3 Visor de nivel e indicador remoto de nivel .....                     | 9  |
| Figura 2.4 PMP-02.....  | 10 |
| Figura 2.5 PMG-01 .....   | 11 |
| Figura 2.6 Exterior RTU a rediseñar. ....                                       | 11 |
| Figura 2.7 Interior RTU a rediseñar. ....                                       | 12 |
| Figura 2.8 PMP-01 y DUCB-01 .....   | 12 |
| Figura 2.9 Diagrama de flujo de operación de variadores .....                   | 20 |
| Figura 3.1 Base segmentada-RTU con sistema de comunicación mediante redline.... | 23 |
| Figura 3.2 JB ubicada donde se encontraba la RTU antigua.....                   | 23 |
| Figura 3.3 Hardware Recibido desde la productora .....                          | 30 |
| Figura 3.4 Inhibición por baja presión en el arranque de la bomba .....         | 32 |
| Figura 3.5 Arquitectura de Comunicación .....                                   | 38 |
| Figura 3.6 Pantalla inicial.....  | 39 |
| Figura 3.7 Pantalla Login .....   | 39 |
| Figura 3.8 Pantalla principal.....  | 40 |
| Figura 3.9 Pantalla Batería.....  | 40 |
| Figura 3.10 Pantalla Bombas.....  | 41 |
| Figura 3.11 Pantalla Selección de Tanques .....                                 | 41 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 3.12 Pantalla Información .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>Figura 3.13: Pantalla Información_01.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>Figura 3.14 Pantalla Interlocks .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>Figura 3.15 Pantalla Másico salida .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>Figura 3.16 Pantalla Másico salida .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>Figura 3.17 Pantalla Separadores .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>Figura 3.18 Pantalla Control de pozos .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>Figura 3.19 Pantalla Mantenimiento .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>Figura 4.1 Interior RTU.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>Figura 4.2 Borneras fronteras de módulos del PLC-alimentación de instrumentos... 48</b> | <b>48</b> |
| <b>Figura 4.3 Térmicas y borneras del sistema de 24 volt, toma de 220 volt .....</b>       | <b>49</b> |
| <b>Figura 4.4 Térmicas 220volt-Fuente 24 volt- Sistema de comunicación Redline .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>Figura 6.1 Carpetas del organizador del controlador para la tesis .....</b>             | <b>56</b> |
| <b>Figura 6.2 Rutinas del programa principal-1 .....</b>                                   | <b>56</b> |
| <b>Figura 6.3 Configuración del árbol de programación-1 .....</b>                          | <b>57</b> |
| <b>Figura 6.4 Configuración del árbol de programación-2 .....</b>                          | <b>57</b> |
| <b>Figura 6.5 Programación de _01_MainRutine.....</b>                                      | <b>58</b> |
| <b>Figura 6.6 Importar data type Falla Módulo.....</b>                                     | <b>58</b> |
| <b>Figura 6.7 Configuración data type Falla_Modulo .....</b>                               | <b>58</b> |
| <b>Figura 6.8 Propiedades data type FechaYHora.....</b>                                    | <b>59</b> |
| <b>Figura 6.9 Propiedades data type Caudalimetro_Masico.....</b>                           | <b>59</b> |

|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| <b>Figura 6.10</b> | <b>Asignación de módulos para el plc según la arquitectura.....</b>     | <b>60</b> |
| <b>Figura 6.11</b> | <b>Configuración de módulos en el programa según arquitectura .....</b> | <b>60</b> |
| <b>Figura 6.12</b> | <b>Importar una instrucción Add-on .....</b>                            | <b>60</b> |
| <b>Figura 6.13</b> | <b>Instrucciones Add-on importadas en el controller organizar .....</b> | <b>60</b> |
| <b>Figura 6.14</b> | <b>Programación de _02_DI_01-Hoja 1 .....</b>                           | <b>61</b> |
| <b>Figura 6.15</b> | <b>Programación de _02_DI_01-Hoja 2 .....</b>                           | <b>61</b> |
| <b>Figura 6.16</b> | <b>Agregar Hoja de programación.....</b>                                | <b>61</b> |
| <b>Figura 6.17</b> | <b>Programación _03_DO_01 .....</b>                                     | <b>62</b> |
| <b>Figura 6.18</b> | <b>Programación 04_AI_01 Hoja 1 .....</b>                               | <b>62</b> |
| <b>Figura 6.19</b> | <b>Programación 04_AI_01 Hoja 2 .....</b>                               | <b>62</b> |
| <b>Figura 6.20</b> | <b>Programación _06_A0_01 .....</b>                                     | <b>63</b> |
| <b>Figura 6.21</b> | <b>Programación 02_Control_Bombas-1.....</b>                            | <b>63</b> |
| <b>Figura 6.22</b> | <b>Programación 02_Control_Bombas-2.....</b>                            | <b>64</b> |
| <b>Figura 6.23</b> | <b>Programación 05_BP_01 .....</b>                                      | <b>64</b> |
| <b>Figura 6.24</b> | <b>Programación 06_BP_02 .....</b>                                      | <b>64</b> |
| <b>Figura 6.25</b> | <b>Árbol de programación de la placa prosoft .....</b>                  | <b>65</b> |
| <b>Figura 6.26</b> | <b>Configuración puerto 1 de la placa prosoft .....</b>                 | <b>65</b> |
| <b>Figura 6.27</b> | <b>Configuración puerto 2 de la placa prosoft .....</b>                 | <b>65</b> |
| <b>Figura 6.28</b> | <b>Árbol de programación de modbus.....</b>                             | <b>66</b> |
| <b>Figura 6.29</b> | <b>Ejemplo del mapeo de una variable modbus del PMP-01.....</b>         | <b>66</b> |
| <b>Figura 6.30</b> | <b>Árbol de programación de PID .....</b>                               | <b>66</b> |

**Figura 6.31** **Árbol de programación de PID** ..... **66**

**Figura 6.32** **Modo de PLC y estado del controlador y las tarjetas I/O**..... **67**

## Lista de tablas

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 2.1 Prefijos de entrada y salida de los bloques de programación .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>Tabla 2.2 Cantidad y tipo de datos en cada bloque .....</b>                       | <b>14</b> |
| <b>Tabla 2.3 Modos de operación de los bloques .....</b>                             | <b>14</b> |
| <b>Tabla 2.4 Modos de operación para cada bloque .....</b>                           | <b>15</b> |
| <b>Tabla 2.5 Características de los lenguajes .....</b>                              | <b>18</b> |
| <b>Tabla 3.1 Listado de señales existentes en la Batería .....</b>                   | <b>21</b> |
| <b>Tabla 3.2 Listado de señales a agregar .....</b>                                  | <b>22</b> |
| <b>Tabla 3.3 Señales nuevas a implementar con instrumentos nuevos.....</b>           | <b>24</b> |
| <b>Tabla 3.4 Señales de entradas digitales DI .....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>Tabla 3.5 Señales de salidas digitales DO.....</b>                                | <b>25</b> |
| <b>Tabla 3.6 Señales de entradas analógicas AI .....</b>                             | <b>25</b> |
| <b>Tabla 3.7 Señales de salidas analógicas AO .....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>Tabla 3.8 Señales de comunicación 485 .....</b>                                   | <b>25</b> |
| <b>Tabla 3.9 Arquitectura necesaria.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>Tabla 3.10 Señales AI con sus rangos, alarmas y enclavamiento.....</b>            | <b>27</b> |
| <b>Tabla 3.11 Matriz causa efecto con sus rangos, alarmas y enclavamientos .....</b> | <b>28</b> |
| <b>Tabla 3.12 Variables mapeadas del masico general en el prosoft .....</b>          | <b>34</b> |
| <b>Tabla 3.13 Variables mapeadas del masico de control .....</b>                     | <b>34</b> |
| <b>Tabla 3.14 Variables mapeadas de los scanners .....</b>                           | <b>35</b> |
| <b>Tabla 3.15 Variables mapeadas del másico de salida.....</b>                       | <b>36</b> |

**Tabla 3.16 Variables mapeadas del masico de control ..... 37**

**Tabla 5.1 Tabla comparativa de la migración ..... 51**

## **Glosario o terminología**

Ac (corriente alterna)

Batería (en contexto de lugar físico se refiere a una locación donde se realiza la separación de la producción en fases líquida y gaseosa)

Dc (corriente continua)

HMI (interfaz máquina humano)

LI (indicador de nivel)

LIC (indicador y controlador de nivel)

LT (transmisor de nivel)

Másico (Computador de flujo)

PI (indicador de presión)

PLC (controlador lógico programable)

PMG (puente medición de gas)

PMP (puente medición de petróleo)

PT (transmisor de presión)

Redline (marca de radio)

RTU (unidad terminal remota)

SCADA (supervisión, control y adquisición de datos)

Scanner (Computador de flujo de gas)

Variador (Equipo programado para la operación de un motor-bomba)

## 7 Bibliografía

- [1] Manual de Rokwell (Rockwell Automation Publication 1769-UM021I-EN-P - May 2018) capítulo 10.
- [2] Norma IEC 1131-1
- [3] ‘Process plant control desks utilizing human-computer-interesrfa’ de la EEMUA, capítulo 3, sección 3.2.1, página 18.
- [4] Norma ISO 11064-5
- [5] Norma ISA-5.5 “*Graphic Symbols for Process Displays*”
- [6] Norma ISA S5.1 Diagramas P&ID
- [7] Micro Motion®Modbus® Interface Tool Instruction Manual P/N MMI-20011275, Rev. AC November 2016
- [8] ProSoft Technology (2021). MVI69E-MBS CompactLogix™ Platform Modbus Serial Enhanced Communication Module.
- [9] Schneider Electric. Altivar 71: Variadores de frecuencia para motores sincrónicos y asincrónicos (2015)
- [10] User Manual. Katsuhiko Ogata (2010). Ingeniería de control moderna. Pearson Educación, S.A.Madrid, España.