

**IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE  
MONITOREO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO  
BOSCONIA E INTERACCIÓN CON EL SISTEMA DE  
CONTROL COMBOS**

Maria Ruth Castrillon Soto

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2012

**IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE  
MONITOREO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO  
BOSCONIA E INTERACCIÓN CON EL SISTEMA DE  
CONTROL COMBOS**

Maria Ruth Castrillon Soto

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Electrónica

Director

PhD. Daniel Alfonso Sierra Bueno

Codirector

MPE. Jairo Fabian Jaimes Rojas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2012

# Contenido

<b>Introducción</b>	<b>12</b>
<b>1. Sistema de Bombeo Bosconia</b>	<b>14</b>
1.1. Generalidades . . . . .	14
1.2. Descripción del Sistema de Bombeo. . . . .	15
1.2.1. Unidades Principales de Bombeo. . . . .	16
1.2.2. Unidad de Llenado . . . . .	18
1.2.3. Tuberías . . . . .	19
1.2.4. Tanques de Succión y Descarga. . . . .	20
1.2.5. Sistema de Protección contra el Golpe de Ariete. . . . .	20
1.2.6. Sistema de Refrigeración. . . . .	23
1.2.7. Central de Lubricación. . . . .	23
1.2.8. Tableros Eléctricos . . . . .	24
1.2.9. Subestación Eléctrica 115 kV / 4.16 kV. . . . .	26
1.2.10. Sistema de Servicios Auxiliares . . . . .	28
1.3. Procedimientos de Operación del Sistema . . . . .	29
<b>2. Selección e implementación de la Instrumentación y Módulo de Comunicación</b>	<b>34</b>
2.1. Instrumentación Planteada Preliminarmente . . . . .	36
2.2. Selección Definitiva de la Instrumentación . . . . .	41
2.3. Instalación, configuración y puesta en marcha de la Instrumentación . . . . .	44
2.4. Configuración de la Comunicación . . . . .	48

2.5. Configuración del PLC . . . . .	53
<b>3. Desarrollo e Implementación de la rutina en LabVIEW</b>	<b>57</b>
3.1. COMUNICACIÓN MODBUS . . . . .	57
3.1.1. Configuración del puerto serial . . . . .	60
3.1.2. Creación de la trama de petición . . . . .	61
3.1.3. Lectura de la trama de respuesta . . . . .	63
3.2. Panel de la Bomba . . . . .	66
3.2.1. Diagrama de bloques Sub VI Arranque . . . . .	66
3.2.2. Interfaz gráfica Sub VI Arranque . . . . .	67
3.3. Gráfico de Tendencias . . . . .	70
3.3.1. Sub VI Graf . . . . .	70
3.3.2. Sub VI Datos Graf . . . . .	72
3.4. Aplicación Principal . . . . .	72
3.5. Panel Frontal . . . . .	80
<b>4. Pruebas y Resultados Obtenidos</b>	<b>83</b>
<b>Observaciones y Recomendaciones</b>	<b>89</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>91</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>93</b>
<b>Apéndice</b>	<b>94</b>
<b>A. Formatos Bombeo Bosconia</b>	<b>94</b>
<b>B. Planos</b>	<b>101</b>
<b>C. Relación de variables e instrumentos instalados - Unidades 2 y 4</b>	<b>111</b>

# Índice de figuras

1.1. Flujo de agua estación de bombeo Bosconia . . . . .	15
1.2. Vista general de la unidad de bombeo . . . . .	17
1.3. Vista General Unidad de Llenado . . . . .	19
1.4. Tubería de conducción sistema bombeo de Bosconia . . . . .	21
1.5. Central de Refrigeración . . . . .	24
1.6. Central de Lubricación . . . . .	24
1.7. Tablero de mando local incluyendo TL, TCLU y TCOM . . . . .	26
1.8. Unidad de bombeo. Distribucion de la instrumentación . . . . .	32
2.1. Esquema representativo del monitoreo y comunicación de la instrumentación . . . . .	35
2.2. Código de orden medidores de presión . . . . .	42
2.3. Códigos de orden Transmisores de temperatura . . . . .	44
2.4. Códigos de orden transmisores de caudal . . . . .	45
2.5. Proceso de implementación de la instrumentación . . . . .	46
2.6. Conexión transmisor de presión . . . . .	46
2.7. Conexión de los transmisores de caudal . . . . .	48
2.8. Conexión del transmisor de temperatura . . . . .	48
2.9. Diagrama RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS . . . . .	50
2.10. Diagrama RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS . . . . .	51
2.11. Radio y módulos instalados en el tablero de comunicacion unidad de bombeo . . . . .	53
2.12. Configuración de la comunicación MODBUS . . . . .	55
2.13. Linealización en ladder de las variables . . . . .	56
3.1. Proceso realizado en la rutina LabVIEW . . . . .	58
3.2. Capas y sistemas de comunicación MODBUS. Fuente:www.modbus.org . . . . .	58
3.3. Estructura del mensaje . . . . .	59
3.4. Configuración puerto serial . . . . .	61
3.5. Envío de trama de petición función tres (3) (Lectura de registros) . . . . .	62

3.6. Diagrama de bloques CRC . . . . .	63
3.7. Diagrama de bloques lectura trama de respuesta . . . . .	64
3.8. Sub VI Leer Puerto . . . . .	65
3.9. Diagrama de bloques Sub VI Arranque . . . . .	68
3.10. Interfaz gráfica Sub VI Arranque . . . . .	69
3.11. Sub VI Graf . . . . .	71
3.12. Sub VI Datos Graf . . . . .	73
3.13. Etapas inicial y final de la aplicación principal . . . . .	74
3.14. Ciclo principal . . . . .	76
3.15. Procesamiento de tareas - frame 0 . . . . .	77
3.16. Procesamiento de tareas - frame 2 . . . . .	78
3.17. Panel Frontal . . . . .	81
3.18. Panel Frontal - Unidades de bombeo encendidas . . . . .	82
4.1. Panel Inicio - COMBBOS . . . . .	86
4.2. Panel bombeo-COMBBOS . . . . .	87
4.3. Panel unidad-COMBBOS . . . . .	88

# Índice de tablas

1.1. Tanques de succión y descarga. . . . .	22
1.2. Equipos de medición en la unidad de Bombeo . . . . .	33
2.1. Medidores digitales de caudal, presión y temperatura para dos (2) unidades de bombeo . . . . .	40
2.2. Configuración de los radios en el software RAD-Link . . . . .	52
3.1. Funciones de control MODBUS. Extraída de [13] . . . . .	60
C.1. Relación de variables e instrumentos instalados - Unidad No. 4 . . . . .	116

## RESUMEN

**TÍTULO:**

IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE MONITOREO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO BOSCONIA E INTERACCIÓN CON EL SISTEMA DE CONTROL COMBOS<sup>1</sup>

**AUTOR:** MARIA RUTH CASTRILLON SOTO <sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** MODBUS, LabVIEW, unidades de bombeo, PLC, comunicación inalámbrica, monitoreo, implementación, instrumentación, amb.

**DESCRIPCIÓN:**

En este documento se presenta la selección e implementación de la instrumentación electrónica que permite monitorear las variables de presión, temperatura y caudal en el funcionamiento de las unidades de bombeo de la estación de bombeo Bosconia del *amb* S.A. Además se proporciona la descripción de las labores de acompañamiento realizadas para dicha instrumentación. Adicionalmente, se muestra el desarrollo de las rutinas de software en LabVIEW que permitieron la adquisición de las señales de instrumentación y la interacción con el sistema COMBBOS (Control y Monitoreo Bombeo Bosconia).

Inicialmente se realiza la descripción del sistema de bombeo Bosconia dando a conocer las características de su operación. Posteriormente, se plantean los requerimientos técnicos del hardware para su respectiva selección, y se describe la instrumentación utilizada en el monitoreo y adquisición de datos. Finalmente, se desarrollan los planos eléctricos, P&ID y de comunicación de los sistemas implementados.

La aplicación desarrollada presenta de forma ordenada el monitoreo de los medidores instalados en la unidad 4 del bombeo de Bosconia, que además permite incluir el monitoreo de la instrumentación de las tres unidades pendientes por implementar.

---

<sup>1</sup>Proyecto de Grado.

<sup>2</sup>Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director PhD. Daniel Alfonso Sierra Bueno

## SUMMARY

**TITLE:**

IMPLEMENTATION OF MONITORING INSTRUMENTATION OF BOSCONIA PUMPING STATION AND ITS INTERACTION WITH COMBBOS CONTROL SYSTEM<sup>3</sup>

**AUTHORS:** MARIA RUTH CASTRILLON SOTO <sup>4</sup>

**KEY WORDS:** MODBUS, LabVIEW, pumping units, PLC, wireless communication, monitoring, implementation, instrumentation, amb.

**DESCRIPTION:**

This document presents the selection and implementation of electronic instrumentation which allows the monitoring of the pressure, temperature and flow in the operation of Bosconia pumping units station of the amb SA. Also it is provided a description of the work performed for such selection and implementation. Additionally, this document shows the development of software routines in LabVIEW that allows the acquisition of instrumentation signals and the interaction with COMBBOS (acronym in spanish: Control y Monitoreo Bombeo Bosconia) system.

The thesis begins with the description of the Bosconia pumping system showing the characteristics of its operation. Subsequently, the hardware technical requirements for their selection are provided, and the instrumentation used in monitoring and data acquisition are described. Finally, the electrical, P&ID and communication systems planes are developed.

The developed application shows in an orderly the monitoring gauges installed in the unit 4 of Bsoconia pumping, which also allows to include the instrumentation monitoring of the three remaining units to deploy.

---

<sup>3</sup>Degree project.

<sup>4</sup>Physics Mechanical Engineering Faculty. Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering School. Advisor PhD. Daniel Alfonso Sierra Bueno

adquirir las señales de la instrumentación empleada en el monitoreo y control del sistema de bombeo Bosconia, y su interacción con el software existente (COMBBOS) para la operación del sistema realizando así la implementación y la configuración del software requerido. Se dividió en 4 capítulos así:

En el capítulo 1 se presenta una descripción del sistema de bombeo Bosconia, con el fin de dar a conocer los parámetros necesarios para su operación.

En el capítulo 2 se describe la instrumentación necesaria para el monitoreo y adquisición de datos. Posteriormente se plantean los requerimientos técnicos necesarios del hardware para así realizar la selección de los equipos. Finalmente se especifica la configuración de la instrumentación y comunicación (módulo de adquisición de datos y PLC).

En el capítulo 3 se presenta el diseño e implementación de la rutina realizada en LabVIEW y en el capítulo 4 se documentan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

Finalmente, se presentan las observaciones, recomendaciones y conclusiones obtenidas con el desarrollo del proyecto.

# Capítulo 1

## Sistema de Bombeo Bosconia

En el presente capítulo se realiza una descripción detallada de cada uno de los componentes del sistema de bombeo de Bosconia y los principales procedimientos para el funcionamiento del mismo con ayuda de manual de descripción [1] y el manual de procedimientos de operación del sistema [2].

### 1.1. Generalidades

Bucaramanga y su área metropolitana cuentan en la actualidad con un sistema de abastecimiento de acueducto calificado de gran calidad a nivel nacional, garantizando continuidad en el suministro hasta el año 2025. La cobertura de las redes del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (**amb**) llega al 100 % de la población, sirviendo a mas de 175.00 usuarios distribuidos en los municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca.

Las fuentes de los ríos Tona y Frío por gravedad aportan el 80 % de la demanda actual y el restante lo aporta el río Suratá a través de la Planta de Bosconia. En tiempo de verano, las fuentes de gravedad disminuyen su producción al 50 % y el 50 % faltante es compensado por el río Suratá.

La planta de Tratamiento de Bosconia inició sus actividades de construcción en el año 1980 y en agosto de 1984 fue implementada la estación de bombeo. El conjunto de bombas y equipos que constituyen la estación impulsan el agua desde el tanque de almacenamiento de agua tratada de Bosconia, hasta los tanques de distribución Morrórico y/o Estadio que se encuentran a una altura de 342 y 372 m respectivamente del tanque de agua tratada.

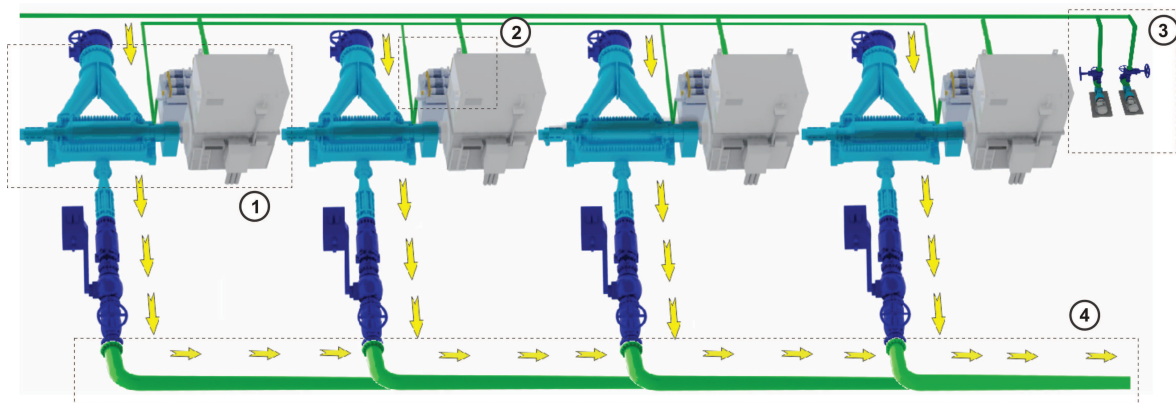


Figura 1.1: Flujo de agua estación de bombeo Bosconia

### Misión del amb S.A.

Satisfacer las necesidades de sus clientes con productos y servicios de calidad, garantizando la conservación de los recursos naturales, generando rendimientos económicos para asegurar su crecimiento y contribuir al desarrollo y bienestar de la comunidad.

### Visión del amb S.A.

Como empresa de carácter mixto, será una organización líder a nivel nacional en la operación, administración, comercialización y la prestación de servicios públicos domiciliarios con sus actividades conexas y complementarias; comprometida con el desarrollo.

## 1.2. Descripción del sistema de bombeo

La planta de Bosconia está dividida en dos (2) partes: Tratamiento y sistema de bombeo. El agua extraída del río Suratá se lleva a la planta de tratamiento realizando allí el debido proceso para la transformación en agua potable y posteriormente se almacena en el tanque de la planta denominado también tanque de succión.

En la Figura 1.1, se encuentra el diagrama esquemático de la ubicación de los principales equipos de la estación de bombeo:

1. Conjunto bomba - motor
2. Central de lubricación
3. Central de refrigeración

#### 4. Tubería de impulsión

El agua disponible en el tanque de almacenamiento Bosconia es suministrada a cada unidad de bombeo de forma independiente por medio de la tubería de succión, donde el conjunto Bomba - Motor eleva su presión y hace posterior entrega a la tubería de impulsión.

A continuación se explican en detalle las características de los principales componentes del funcionamiento de la estación de bombeo:

##### 1.2.1. Unidades Principales de Bombeo

La estación de bombeo Bosconia cuenta con cuatro (4) bombas<sup>1</sup> marca SULZER de eje horizontal, carcasa partida horizontalmente, doble succión, dos (2) etapas modelo HPDM 350-555-3d, velocidad de operación nominal de 1790 r.p.m. y caudal de 700 l/s.

Cada bomba está acoplada a un motor eléctrico de inducción tipo jaula de ardilla marca TIBB de 3780 kW, 4160 V y 60 Hz. El momento de inercia natural del conjunto motor-bomba en cada unidad es de  $206 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ .

En general, cada unidad consta de (Ver Figura 1.2):

- Una válvula de mariposa marca ERHARD con operación manual y 900 mm de diámetro; ésta se encuentra ubicada en la tubería de aspiración.
- Bomba centrífuga multietapa marca SULZER, capacidad de 700 l/s y altura manométrica de 397 m.
- Motor eléctrico marca TIBB BROWNN BOVERI tipo QWS, 630Kb4 de eje horizontal, acoplado directamente a la bomba por medio del acoplamiento tipo AFLH 160.
- Válvula anular de retención, se encuentra ubicada en la tubería de descarga y diámetro nominal 600 mm.
- Válvula tipo bola marca ERHARD, operación automática o manual.
- Válvula de guarda tipo compuerta, ubicada sobre la tubería de impulsión de 600 mm de diámetro, accionamiento manual y pulsadores límites de carrera.
- Dos (2) manómetros, ubicados en la tubería de aspiración y en la tubería de impulsión.

---

<sup>1</sup>En condiciones críticas pueden operar tres (3) bombas en paralelo y una cuarta permanece como reserva.

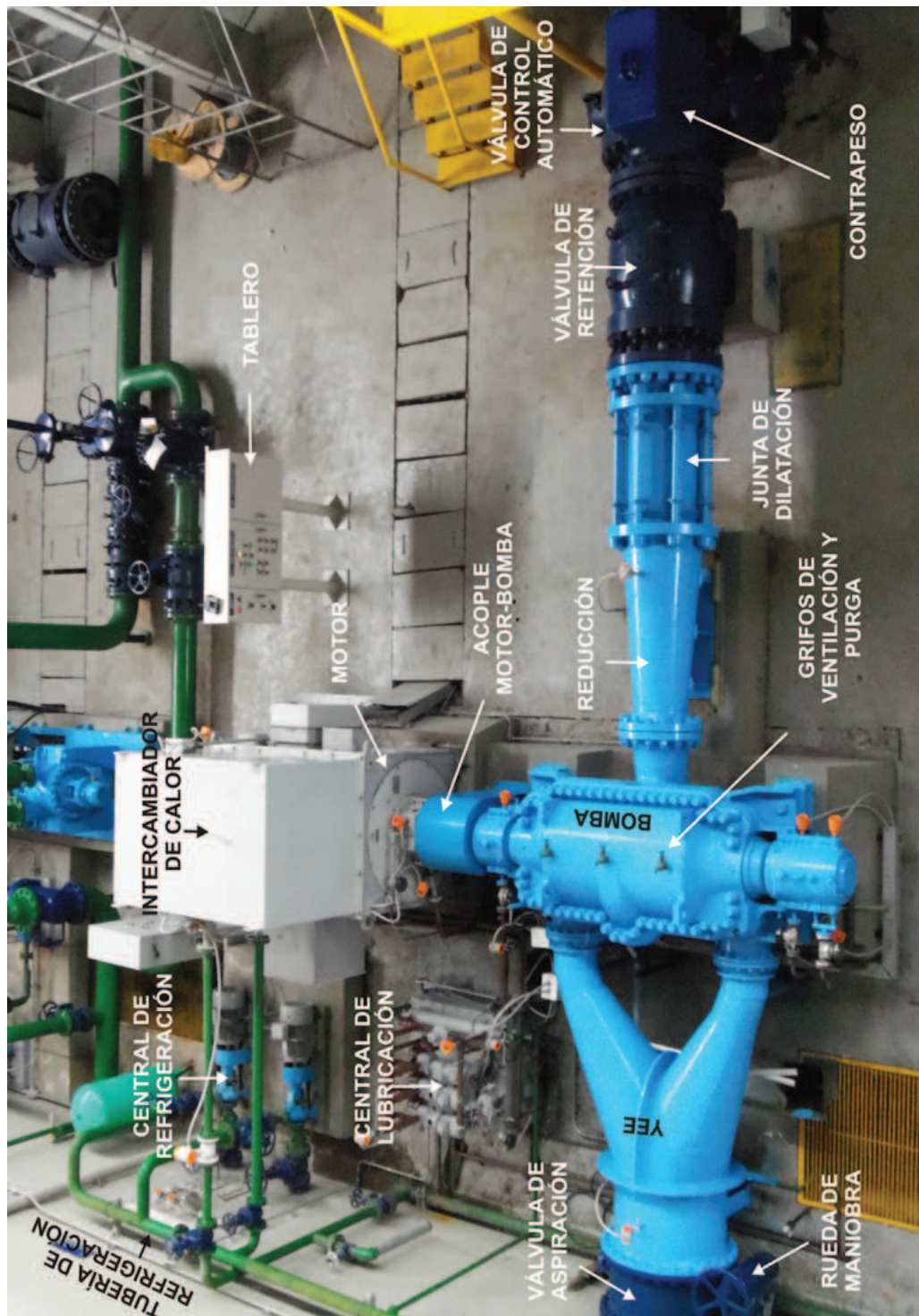


Figura 1.2: Vista general de la unidad de bombeo

- Un (1) detector-indicador de flujo de aceite para cada cojinete (Lado libre y lado acoplado).
- Dos (2) sensores de vibración (Motor-Bomba).
- Tres (3) grifos para desairar la bomba.
- Un (1) Tablero principal dividido en: Tablero local (TL-Unidad), Tablero Central de Lubricación (TCLU-Unidad), Tablero de comunicaciones (TCOM-Unidad).
- Un (1) intercambiador de calor.
- Una (1) junta de dilatación.

### 1.2.2. Unidad de Llenado

Es utilizada para llenar nuevamente la tubería después de haberla desocupado durante algunas operaciones de mantenimiento del bombeo (o de los tanques de succión y descarga). El llenado de la tubería tarda siete (7) horas hasta una altura de 300 mca y el de los tanques hidroneumáticos con aire de presión aproximadamente 10 horas (Figura 1.3). La unidad de llenado consta de:

- Válvula tipo compuerta marca ERHARD de aislamiento, accionamiento manual y diámetro de 250 mm, ésta se encuentra ubicada en la tubería de aspiración.
- Bomba marca SULZER, capacidad de  $252 \text{ m}^3/\text{h}$  y altura manométrica de 380 mca.
- Motor eléctrico de eje horizontal marca BROWN-BOVERI tipo QUNG 500Kb2, su acoplamiento con la bomba de llenado es ARDEX NAN 215/250.
- Válvula anular de retención de 250 mm de diámetro, ubicada sobre la tubería de impulsión.
- Válvula de compuerta de control manual y diámetro de 250 mm.
- Válvula de control manual y diámetro de 250 mm, instalada sobre el by-pass de la bomba de llenado.
- Válvula de control manual marca ERHARD con émbolo de 250 mm e instalada sobre el by-pass de la bomba de llenado.
- Dos (2) grifos de ventilación ubicados a cada lado de la bomba sobre las tuberías de succión e impulsión.
- Tablero local.

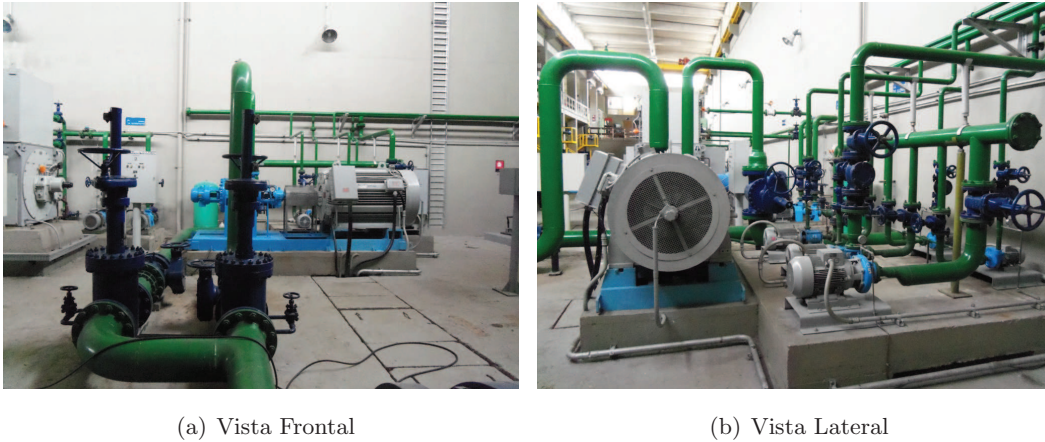


Figura 1.3: Vista General Unidad de Llenado

### 1.2.3. Tuberías

El sistema de bombeo de Bosconia cuenta con tuberías de succión, descarga e impulsión. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de éstas.

#### Tubería de succión

Está conformada por una tubería corta de acero de diámetro 900 mm; en ella se encuentra instalada una válvula de guarda tipo mariposa del mismo diámetro. Esta válvula permanece abierta durante la operación normal de la bomba y sólo se cierra para operaciones especiales de mantenimiento.

#### Tubería de descarga

Las bombas descargan su caudal a una tubería (acero al carbón) de 600 mm de diámetro. En dicha tubería se encuentran las siguientes válvulas:

- Válvula de retención de tipo tubería, 600 mm de diámetro. Permite el paso del agua en un solo sentido, así al apagar la bomba impide que el agua retorne hacia la bomba y el motor gire en sentido contrario.
- Válvula de tipo esférica controlada por un sistema servomotor y contrapeso. Atiende las paradas y arranques normales de la bomba.
- Válvula tipo compuerta. Separa cada ramal de descarga del resto del colector.

### Tubería de Impulsión

Las cuatro (4) bombas descargan a un colector (acero al carbon) de diámetros 600 mm / 800 mm y 1000 mm. El colector entrega el agua a la tubería de impulsión de 3306 m de longitud aproximada, distribuido en dos (2) tramos descritos a continuacion (Ver Figura 1.4).

- Tramo inicial de alta presión, con 1614 m de longitud, 1000 mm de diámetro en acero al carbón y espesor de lámina desde 16 mm a 8 mm. Al final, se conecta a la almenara de 1500 mm de diámetro interno y altura de 64 m respecto al piso.
- Tramo final correspondiente al de baja presión, se encuentra en el sector de la Meseta de Bucaramanga, comprendido entre la almenara (Batallón Caldas) y el tanque de Morrórico. Tramo con 1692 m de longitud y 1067 mm de diámetro interior, tubería tipo CCP (American Pipe).

#### 1.2.4. Tanques de Succión y Descarga

En el sistema de bombeo de Bosconia intervienen los tanques descritos en la Tabla 1.1. La capacidad del tanque de almacenamiento de Bosconia es  $9000 m^3$  y sirve de succión al bombeo. La cámara de succión está construida dentro del tanque de almacenamiento, con profundidad de 5 m y niveles de operación máximo y mínimo de 680 msnm y 684 msnm, respectivamente. El nivel del tanque es medido con una sonda hidrostática y monitoreado desde el centro de control SCADA<sup>2</sup> (ubicado en la planta de tratamiento de Morrórico).

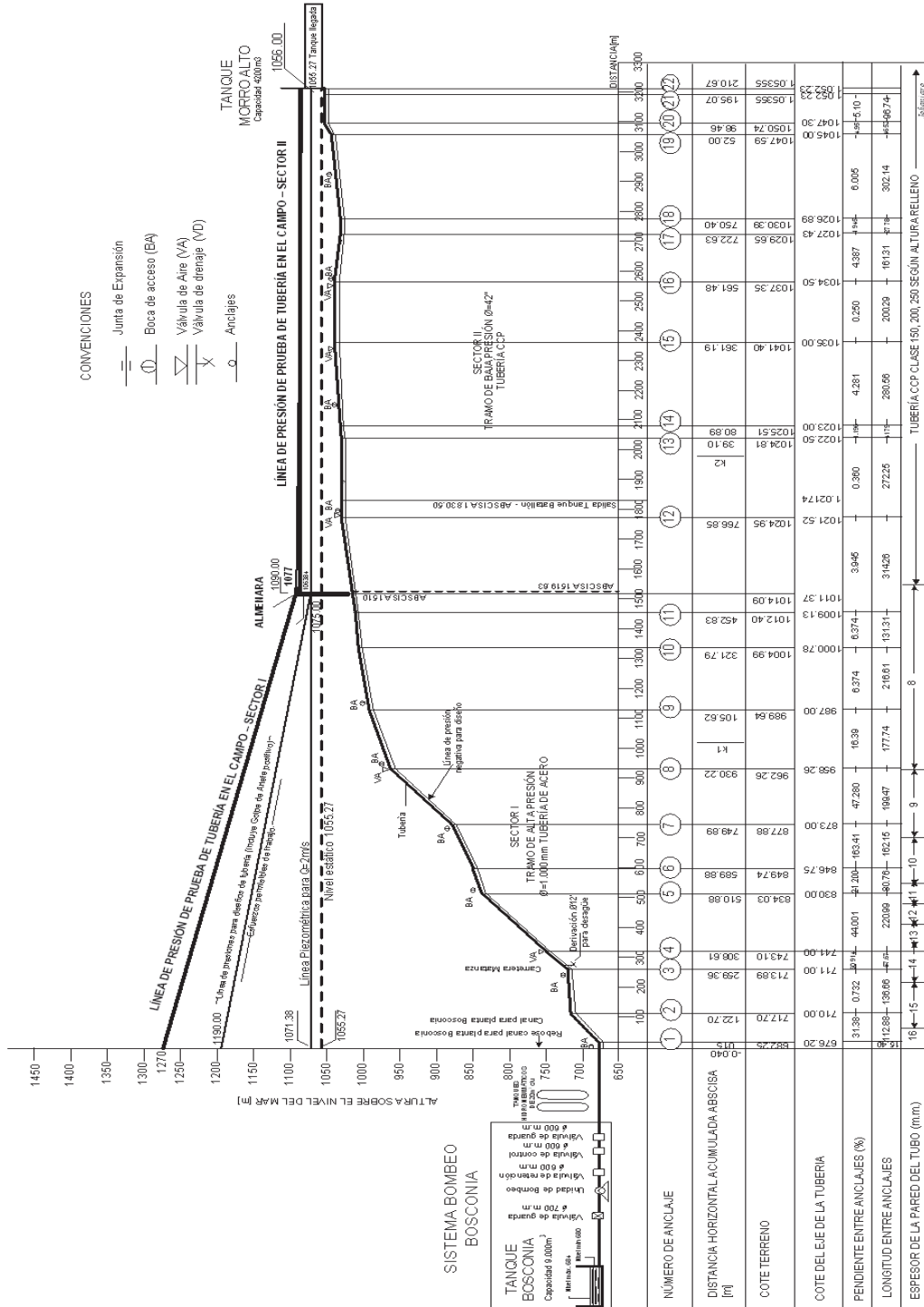
#### 1.2.5. Sistema de Protección contra el Golpe de Ariete

Consiste esencialmente en un sistema de tanques hidroneumáticos y una almenara<sup>3</sup>. El sistema cuenta con dos (2) válvulas de retención de tipo tobera de cierre rápido y 600 m de diámetro que se encuentran instaladas en cada ramal de descarga de las bombas. Dos tanques hidroneumáticos con  $19.8 m^3$  de capacidad, construidos en lámina de acero de 40 mm y 1620 mm de diámetro interior, con tapas abombonadas en sus extremos y 9 m aproximadamente de altura en la parte cilíndrica para un total de altura entre sus extremos abombonados de 10 m.

---

<sup>2</sup>*Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)*, aplicación software diseñada para controlar y supervisar procesos a distancia.

<sup>3</sup>Conducto que disipa las ondas producidas por el flujo cuando se arranca el bombeo o cuando hay una parada rápida; su función es almacenar caudal hasta que llegue la desaceleración.



TANQUE	FUNCIÓN	NIVELES DE OPERACIÓN		CAPACIDAD [m <sup>3</sup> ]
		MÍNIMO [m]	MÁXIMO [m]	
<b>BOSCONIA</b>	Succión	680	684	9000
<b>ESTADIO</b>	Descarga	1022.5	1027	8400
<b>MORRO-ALTO</b>	Descarga	1052.69	1054.89	8200

Tabla 1.1: Tanques de succión y descarga.

Estos tanques se conectan con la tubería de impulsión del sistema de bombeo a través de un ramal de 600 m de diámetro, además contienen un sistema que facilita el flujo de agua desde el tanque hidroneumático hacia la tubería de impulsión y lo restringe en sentido contrario. Esto se logra mediante una válvula de retención del tipo tobera de 600 mm de diámetro que permite el paso de agua desde el tanque hidroneumático hacia la tubería de impulsión y un *bypass* de 200 mm de diámetro para controlar el flujo inverso desde la tubería hacia el tanque. Cabe resaltar que cada ramal cuenta con una válvula de corte de tipo compuerta que permite aislar el tanque en caso de ser necesario algún tipo de mantenimiento.

Los tanques son llenados de aire a presión mediante tres (3) compresores marca ERVOR modelo G 110/50, de desplazamiento positivo y enfriados por aire. Su capacidad de entrega es de 78 m<sup>3</sup>/h (720 r.p.m) cuando descargan contra una presión de entrega de 30 bar y de 74 m<sup>3</sup>/h. Los compresores pueden ser accionados desde un tablero de control de mando local que permite su operación manual o automática.

Adicionalmente el sistema cuenta con:

- Detector de nivel con seis (6) finales de carrera para los tanques hidroneumáticos.
- Dos (2) manómetros colocados en cada uno de los tanques hidroneumáticos.
- Regleta con mira tipo magnética (marca WEKA) con 4 m de altura utilizada para visualizar el nivel de los tanques.
- Almenara o chimenea de equilibrio de doble vía, 61 m de altura y 1500 mm de diámetro, se conecta a la tubería de impulsión en la abscisa 1519.63 m. Su finalidad es recibir la sobrepresión causada en el encendido y apagado de las unidades de bombeo. La onda penetra en la almenara elevando el nivel de agua hasta una sobre-elevación por encima del nivel estático.

- Válvula de seguridad de alivio marca MUNZING con diámetro de 1/2", ubicada en cada tanque hidroneumático en la parte más alta de la tapa superior, diseñada para una presión de apertura de 54 bar.
- Tubería de inyección de aire a presión para cada tanque (acero al carbón), calibre 80 y 1" de diámetro. Ésta entra en cada tanque a una altura de 4.85 m por encima del fondo del tanque; es decir, cuando el nivel del agua sobrepasa dicho nivel, la tubería se llena de agua, lo cual es recomendable.

### 1.2.6. Sistema de Refrigeración

Su finalidad es evitar el calentamiento excesivo de los motores acoplados a las bombas utilizando para tal fin el agua. El sistema, mostrado en la Figura 1.5, consta de:

- Dos (2) motores de 22 kW con capacidad de elevación de 50 m, alimentados a 440 V.
- Dos (2) válvulas manuales de 100 mm de diámetro, instaladas en cada una de las tuberías de aspiración de cada bomba.
- Dos (2) válvulas de impulsión manuales instaladas sobre la tubería de impulsión de cada una de las bombas.
- Dos (2) manómetros, ubicados en la tubería de impulsión de cada bomba.
- Dos (2) manómetros, instalados en la tubería de succión de cada bomba.
- Tablero local eléctrico (TCRE), para el control y operación.
- Caudalímetro ubicado sobre la tubería que va a los intercambiadores de calor.
- Dos (2) transmisores de presión utilizados para el agua de succión y descarga de las bombas.

### 1.2.7. Central de Lubricación

Conformado por tres (3) motores, dos (2) de 1.1 kW alimentados a 440 V y el tercero alimentado a 125 Vdc, encargados de lubricar las cuatro (4) unidades de bombeo (Figura 1.6). El sistema de lubricación cuenta con:

- Tres (3) válvulas de aislamiento en el circuito de succión de la bomba.
- Tres (3) motores (H1, H2 y H3) acoplados con sus respectivas bombas (Figura 1.6).  
**Nota:** El motor de emergencia (H3) es alimentado con tensión continua (125V).



Figura 1.5: Central de Refrigeración



Figura 1.6: Central de Lubricación

- Manómetro ubicado sobre la tubería de alimentación de aceite.
- Accesorios: válvulas, manómetros, interruptores de presión, detectores de temperatura, flujos de aceite y agua.
- Tablero eléctrico para el control y operación de las bombas de lubricación.

### 1.2.8. Tableros Eléctricos

Cada equipo cuenta con un tablero de control que permite efectuar local o remotamente las operaciones de arranque o parada normales, con señalización y dispositivos necesarios para su operación. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

#### Tableros de supervisión y control (TS)

Están destinados a la supervisión y control de los equipos e instrumentos de las unidades de bombeo. El grupo está compuesto por 14 paneles (identificados con las siglas TS1, TS2,..., TS14), ubicados en el cuarto de control y distribuidos así:

- TS1, TS10, TS14 y TS12: Control de las motobombas 1A, 1B, 1C y 1D y se distribuyen para las unidades 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- TS6: Sistema de transmisión de los tanques Estadio y Morrórico.
- TS11: Control y comando de funcionamiento de la unidad de llenado.
- TS3 y TS9: Control y conexión de los transformadores de servicios auxiliares 1 y 2.
- TS4 y TS8: Control y conexión del banco de condensadores.
- TS5 y TS7: Control y comando del interruptor de línea de llegada de energía a las acometidas 1 y 2 respectivamente.

### **Tableros de Equipo de Maniobra (EM)**

Permiten la operación y maniobra de los interruptores de media tensión, están conformados por 19 celdas divididas así:

- EM-2, EM-3 y EM-4: Conjunto de alimentación de potencia del motor de la Unidad 3, son asignados al carro B, carro A y carro C respectivamente.
- EM-14, EM-15 y EM-16: Conjunto de alimentación de potencia del motor de la Unidad 2, son asignados al carro B, carro A y carro C respectivamente.
- EM-17, EM-18 y EM-19: Conjunto de alimentación de potencia del motor de la Unidad 1, son asignados al carro B, carro A y carro C respectivamente.
- EM-20, EM-21 y EM-22: Conjunto de alimentación de potencia del motor de la Unidad 4, son asignados al carro B, carro A y carro C respectivamente.
- EM-1: Comando del motor de la bomba de llenado.
- EM-5 y EM-13: Alimentación del transformador de servicios auxiliares 2 y 1 respectivamente.
- EM-6 y EM-12: Maniobra y alimentación del Banco de Condensadores
- EM-7 y EM-11: Alimentación de las líneas de energía 4.16 kV, acometidas 1 y 2 respectivamente.
- EM-8 y EM-10: Contiene los tres (3) transformadores de tensión T1A, T1B y T1C.
- EM-9: Ejecuta el acoplamiento entre las semibarras 1 y 2 alimentadas por (EM-11) y (EM-7).



Figura 1.7: Tablero de mando local incluyendo TL, TCLU y TCOM

### Tableros de mando local (TL)

Utilizados en la manipulación local de las unidades de bombeo, válvula de control, central de refrigeración, central de lubricación y comunicaciones. Se encuentran distribuidos como se describe a continuación (Figura 1.7).

- (TL): Tablero local unidades de bombeo
- (TCRE): Tablero local central de refrigeración
- (TCLU): Tablero local central de lubricación
- (TCOM): Tablero local comunicaciones

#### 1.2.9. Subestación Eléctrica 115 kV / 4.16 kV

La subestación de Bosconia tiene como objetivo realizar el proceso de distribución y transformación de tensión de 115 kV a 4.16 kV. Tiene corriente de corto circuito de 27.11 kA (en el lado de 115 kV). La subestación (Figura 1.7) tiene como características principales:

- Alimentación a través de la línea de 115 kV (Palos - Bosconia) proveniente de la subestación Palos (ESSA S.A.). En caso de contingencia la subestación tiene la posibilidad de ser alimentada desde la Subestación Florida.
- Dos (2) transformadores en conexión en Dy5, refrigeración ONAN / ONAF y potencia 12/16 [MVA]. Sin embargo, la demanda del sistema sólo requiere de un (1) transformador para su normal funcionamiento.

- Transformadores de potencial para medida de tensión a  $115/\sqrt{3}$  kV y dos (2) juegos de transformadores de corriente para cada uno de los transformadores con relación de transformación 100/5 A.
- Sistema de 4.16 kV, con barra independiente para cada transformador y posibilidad de acople entre las dos semibarras a través de un interruptor de media tensión de 1250 A.
- Protección contra descargas atmosféricas a través de pararrayos de 115 kV ubicados en la llegada de la línea de alimentación, pararrayos a 4.16 kV ubicados sobre cada transformador de potencia y un cable de guarda sobre el pórtico de la subestación.

### Equipos de Patio

La subestación cuenta con los siguientes equipos de patio:

- **Pararrayos de línea a 115 kV:** Encargado de evitar el impacto directo proveniente de una descarga atmosférica, su funcionamiento se basa esencialmente en canalizar por la toma de tierra la diferencia de potencial que pudiera presentarse entre la nube y el cabezal del pararrayos, de esta forma, el gradiente de potencial que se genera por la tormenta en el punto más alto de la instalación ocasiona campos electromagnéticos que se concentran en el electrodo inferior (cátodo -). A partir de cierta magnitud del campo, el electrodo superior (ánodo +) atrae cargas opuestas que compensan la diferencia de potencial interno del cabezal.
- **Transformadores de potencia:** Relación de transformación de 27.64 (115/4.16 kV). Cuenta con un cambia taps manual, sistema de refrigeración ONAN/ONAF (12/16 MVA) y tablero de control local para la ventilación forzada. El control de los transformadores se realiza desde el tablero de monitoreo ubicado en la sala de control. Las protecciones mecánicas con las que cuenta el transformador son la medición del nivel y la temperatura del aceite, válvula de sobrepresión y medición de la temperatura de los devanados. En las protecciones eléctricas cuenta con relé de diferencial de corriente, relé de sobrecorriente y pararrayos.
- **Transformadores de corriente:** Se encargan de reducir la corriente primaria de alta tensión hasta un valor secundario de 5 amperes. Esta señal se envía hasta los tableros del cuarto de control en donde se realiza su lectura.
- **Transformador de potencial (o de tensión):** Su función es transformar el nivel de tensión de 115 [kV] a  $115/\sqrt{3}$  [V]. Funcionan a tensión prácticamente constante (a inducción constante) y no presentan efectos de saturación tan notables como los

transformadores de corriente. Son conectados entre fase - tierra ya que entregan tensiones que permiten reconstruir tanto las tensiones simples como las compuestas. Por su parte, mientras que las tensiones obtenidas de las conexiones fase - fase no permiten reconstruir las tensiones fase - tierra y bajo circunstancias especiales (por ejemplo, si se desea conocer el contenido del tercer armónico) es importante conocer las tensiones simples.

- **Seccionador de Línea:** Equipo electromecánico de conexión que asegura en posición abierta, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones especificadas. Capaz de abrir y cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable. Para el caso de la Subestación de Bosconia esto se cumple cuando los transformadores de potencial están sin carga. Adicionalmente, el seccionador de línea 115 kV tiene como función seccionar la alimentación de la línea Palos - Bosconia del resto de la subestación. Su operación puede realizarse local o remotamente.
- **Disyuntores de Potencia:** Interrumpen en forma automática e instantánea el paso de corriente eléctrica cuando se produce una corriente diferencial de fuga entre fase y tierra superior al valor máximo permitido (para la mayoría de los disyuntores es de 30 mA). Además, protege contra los riesgos de incendio detectando pequeñas fugas de corriente. El principio de funcionamiento de los disyuntores se basa en la igualdad a cero de la suma fasorial de las intensidades de línea de un circuito eléctrico.
- **Autotransformadores:** Pueden ser considerados simultáneamente como casos particulares de los transformadores. Un autotransformador tiene un (1) solo bobinado arrollado sobre el núcleo. Dispone de cuatro bornes, dos (2) para cada circuito y por ello presenta puntos en común con el transformador.
- **Sistema de Puesta a Tierra:** La estación de bombeo Bosconia cuenta con una malla de puesta a tierra con resistencia  $\leq 1 \Omega$ , a la cual se conectan la totalidad de los equipos.

### 1.2.10. Sistema de Servicios Auxiliares

El sistema de bombeo de Bosconia cuenta con sistemas auxiliares de corriente continua y alterna, a continuación se presenta una breve descripción de cada uno.

#### Corriente Alterna

Teniendo en cuenta que los transformadores de potencia realizan transformación de tensión de 115 kV a 4,16 kV, existe el sistema de servicios auxiliares en donde se efectúa la transformación a baja tensión (440 V). Para esto, desde la subestación se alimentan los transformadores de servicios auxiliares con capacidad de 500 kVA tipo seco. Como respaldo, el

sistema de bombeo Bosconia cuenta con una planta eléctrica de emergencia marca CUMMINS de 175kVA.

### Corriente Continua

El control en su totalidad se alimenta a 120 Vdc, por lo tanto el sistema de bombeo Bosconia cuenta con 10 baterías estacionarias, cada una de 12 V. Para mantener su carga permanente, las baterías cuentan con dos cargadores de baterías desde el tablero de mando del cargador.

## 1.3. Procedimientos de Operación del Sistema

Para un óptimo funcionamiento es necesario seguir paso a paso los procedimientos establecidos para la puesta en marcha del sistema de bombeo Bosconia. A continuación se realiza una breve descripción de dichos procedimientos, y de las lecturas tomadas de la instrumentación para su normal funcionamiento.

### Arranque manual de las Unidades de Bombeo

Una vez el centro de control y la Planta de tratamiento de Bosconia garantizan las condiciones necesarias (nivel del tanque de succión y condiciones fisicoquímicas del agua) para iniciar el bombeo, se debe proceder así:

- Dirigirse al sistema de compresores y verificar que en el Tablero de Compresores (TC) exista tensión (Rango 440 V +/- 1%) y girar la perilla de la acometida en sentido horario. Verificar que el mando de los compresores se encuentre en automático y que cada uno esté en posición específica (Principal 1a y 2a en reserva).
- En la **Bomba de refrigeración**, colocar la perilla en marcha de la unidad que se desea encender (P4 o P5) y registrar en el formato **F ME 706-008** (Parámetros mecánicos para unidades de bombeo) los siguientes datos:
  - Presión impulsión ( $3 \text{ kg/m}^2$ , mínimo).
  - Caudal de agua (30% l/min, mínimo).
- **Central de lubricación**, localizada en la parte posterior del motor de la unidad. Se debe encender y diligenciar el formato **F ME 706-008** e incluir los siguientes datos:
  - Temperatura del depósito del aceite (40 °C máximo).
  - Nivel del aceite (50%, mínimo).

- En el lado posterior del tablero de control, subir la perilla de corriente de alterna y la de corriente continua. Seleccionar la bomba disponible (No. 1 ó No. 2) y pulsar el botón de marcha. Verificar las alarmas, ya que si alguna está presente no encenderá la bomba. Tomar las lecturas de los medidores 21, 22, 23, 24 y 25, ubicados en la figura 1.8 y detallados en la tabla 1.2
- En el conjunto **Bomba - Motor** tomar las lecturas de los medidores 1, 2, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 19 y 20.
- Desairear la bomba principal y la parte superior de la válvula hidráulica, verificar que la válvula hidráulica esté cerrada y que el fin de carrera se encuentre cerrado. El mando debe estar en posición automática y el nivel del aceite hidráulico debe estar dentro de los límites establecidos.
- Diligenciar el formato **F ME 706-009** con los datos que se encuentran en los tableros ubicados en la sala de control. En el tablero de la subestación tomar la lectura de la tensión de entrada de línea VRS (Tensión fase R-S), VST (Tensión fase S-T) y VTR (Tensión fase T-R), el rango debe estar en 115 kV +/- 6 %. En el tablero de la acometida que se está trabajando, tomar lectura de la tensión de entrada del motor y el factor de potencia (mínimo 4.16 kV +/- 10 %).
- En el tablero de la unidad que se va a encender, tomar la lectura de la temperatura de arrollamiento de fase del motor (fase A, fase B y fase C) (125 °C máximo) para unidades 1, 2 y 3, en el caso de la unidad 4 por ser clase H es permitido un máximo de 155 °C.
- Diligenciar el formato **F ME 706-008** para los medidores 3, 4, 5, 10, 11, 16, 17 y 18.
- Verificar en el panel de alarmas si alguna está encendida, si es así proceder a investigar y corregir el posible daño. Cabe resaltar que NO se puede arrancar con alguna señal de alarma encendida. Posteriormente, verificar en el tablero de acople (TS-6) que el pulsador de “restauro” ha sido accionado. Proceder a dar arranque a la bomba, girando en sentido horario la perilla de arranque o parada.

**Nota:** Debe tenerse en cuenta que la secuencia de entrada y salida de los carros se realice de la siguiente manera:

- Energizar los interruptores de media tensión C y A en un tiempo máximo de 12s.
- El interruptor C debe estar por fuera de servicio e inmediatamente el interruptor B entra en operación.
- Si el paso anterior no se cumple, el operador de bombeo inmediatamente debe pulsar el botón de PARADA DE EMERGENCIA y reportar la falla.

- Si el arranque es exitoso, se debe tomar lectura cada hora de tensión, corriente, potencias activa y reactiva, factor de potencia y vibraciones para proceder a registrarlos en los formatos **F ME 706-009** (Parámetros eléctricos unidades de Bombeo) y **F ME 706-010** (Registro de vibraciones).
- El operador del bombeo deberá diligenciar además los siguientes formatos al final del día o parada del bombeo.
  - **F ME 706-011**: Control de arranque unidades de bombeo Bosconia.
  - **F ME 706-012**: Control de agua bombeada Bosconia  $m^3$ .
  - **F ME 706-013**: Control de energía bombeo Bosconia kW-h.
  - **F ME 706-015**: Control horas de bombeo.

Los formatos mencionados anteriormente se encuentran en el Apéndice A. Cabe resaltar que el diligenciamiento de los formatos se realizará directamente desde el sistema COMBOS con los datos obtenidos de la nueva instrumentación monitoreada, adicionalmente se podrá acceder a ellos de forma *on line*.

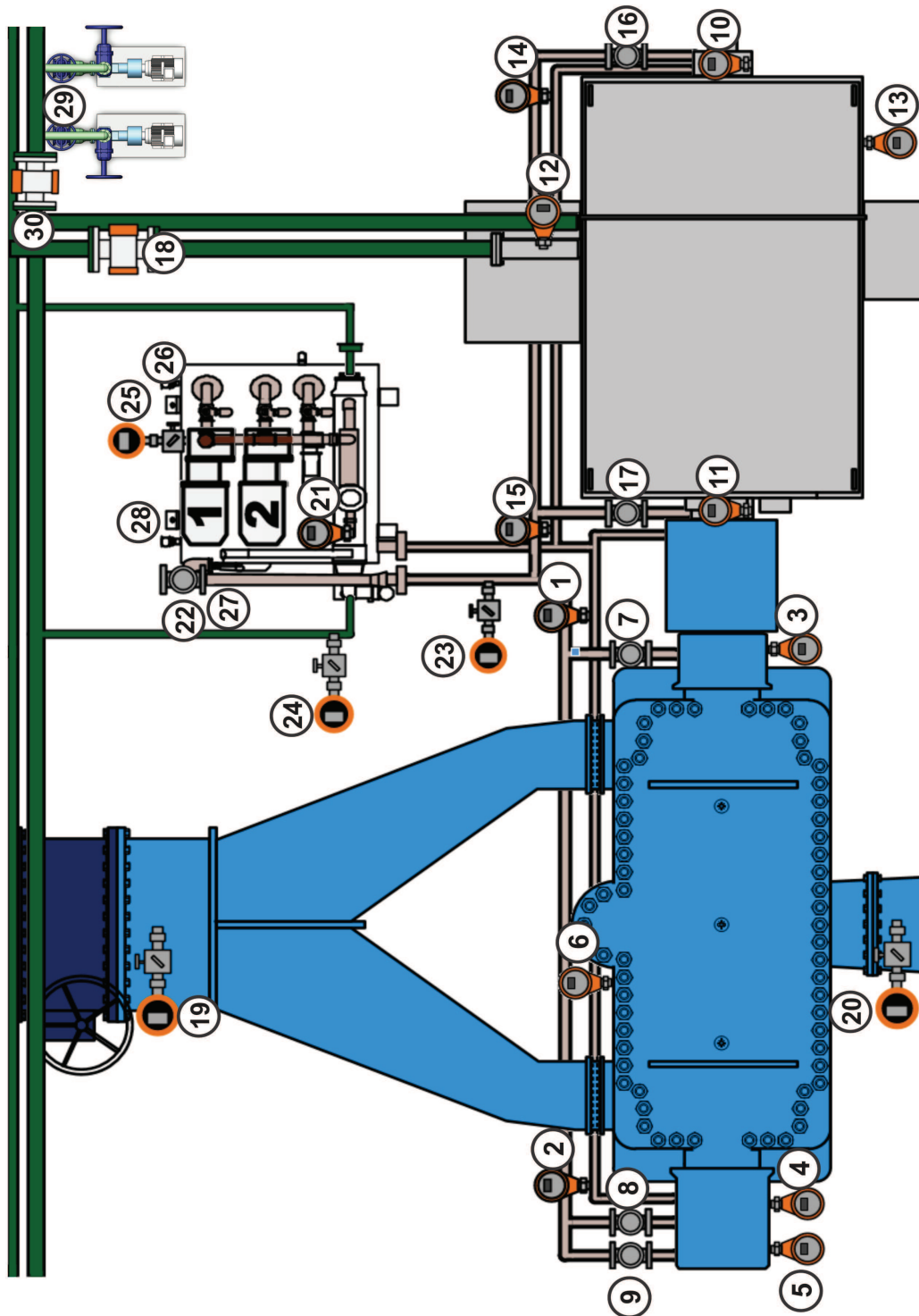


Figura 1.8: Unidad de bombeo. Distribución de la instrumentación

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	DISPARO
1	Temperatura aceite cojinete acople bomba	Digital	55 °C
2	Temperatura aceite cojinete opuesto bomba	Digital	50 °C
3	Temperatura metal cojinete acople bomba	Digital	60 °C
4	Temperatura metal cojinete opuesto bomba	Digital	55 °C
5	Temperatura metal cojinete axial opuesto bomba	Digital	50 °C
6	Temperatura metal bomba	Digital	40 °C
7	Caudal aceite cojinete acople bomba	Digital	5.5-11 l/min
8	Caudal aceite cojinete opuesto bomba	Digital	5.5-11 l/min
9	Caudal aceite cojinete axial opuesto bomba	Digital	7.2-20 l/min
10	Temperatura metal cojinete opuesto motor	Digital	60 °C
11	Temperatura metal cojinete acople motor	Digital	75 °C
12	Temperatura agua intercambiador motor	Digital	30 °C
13	Temperatura aire enfriamiento motor	Digital	55 °C
14	Temperatura aceite cojinete opuesto motor	Digital	50 °C
15	Temperatura aceite cojinete acople motor	Digital	55 °C
16	Caudal aceite cojinete opuesto motor	Digital	5.5-11 l/min
17	Caudal aceite cojinete acople motor	Digital	5.5-11 l/min
18	Caudal agua cambiador de calor motor	Digital	616 l/min
19	Presión succión bomba	Digital	0.3 kg/cm <sup>2</sup>
20	Presion impulsión bomba	Digital	30 kg/cm <sup>2</sup>
21	Temperatura aceite salida intercambiador de calor central de lubricación	Digital	15-45 °C
22	Caudal aceite salida central lubricación	Digital	50-80 l/min
23	Presión aceite entrada Bomba - Motor	Digital	1.96 bar
24	Presión agua intercambiador central lubricación	Digital	1.5 bar
25	Presión aceite salida bombas central lubricación	Digital	2.5 bar
26	Nivel aceite tanque central lubricación	Tubo vidrio	50 % min
27	Presión aceite salida intercambiador central de lubricación	Manómetro	1.5 bar
28	Temperatura depósito de aceite central lubricación	Termómetro	40 % máx
29	Presión de impulsión de la refrigeración	Manómetro	3 kg/cm <sup>2</sup>
30	Caudal de agua de las bombas de refrigeración	Caudalímetro	30 % min

Tabla 1.2: Equipos de medición en la unidad de Bombeo

## Capítulo 2

# Selección e Implementación de la Instrumentación y Módulo de Comunicación

En este capítulo se presentan los elementos que se plantearon preliminarmente para el monitoreo de las variables necesarias en el arranque de la unidad de bombeo, la selección final de éstos, su configuración e implementación para un óptimo funcionamiento. Adicionalmente se realiza la configuración del módulo de comunicación y configuración de los datos adquiridos de la instrumentación en el PLC utilizado actualmente con el sistema COMBBOS, quien se encarga del manejo de la estación de bombeo.

En la figura 2.1 se encuentra el esquema representativo correspondiente a la implementación utilizada para el monitoreo y comunicación de la instrumentación. Se puede observar un único flujo de información en donde la instrumentación conectada directamente a los módulos de entradas analógicas envía la información constantemente al módulo inalámbrico de comunicación 1 quien a su vez envía al módulo inalámbrico de comunicación 2, luego esta información se traslada al PLC quien se encarga de ejercer el control y constante monitoreo de la instrumentación. La aplicación en LabVIEW cumple la función de supervisor de todo el sistema, el protocolo utilizado para toda la comunicación es MODBUS<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Protocolo de comunicación situado en el nivel 7 del modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo. Descripción detallada en la sección 3.1

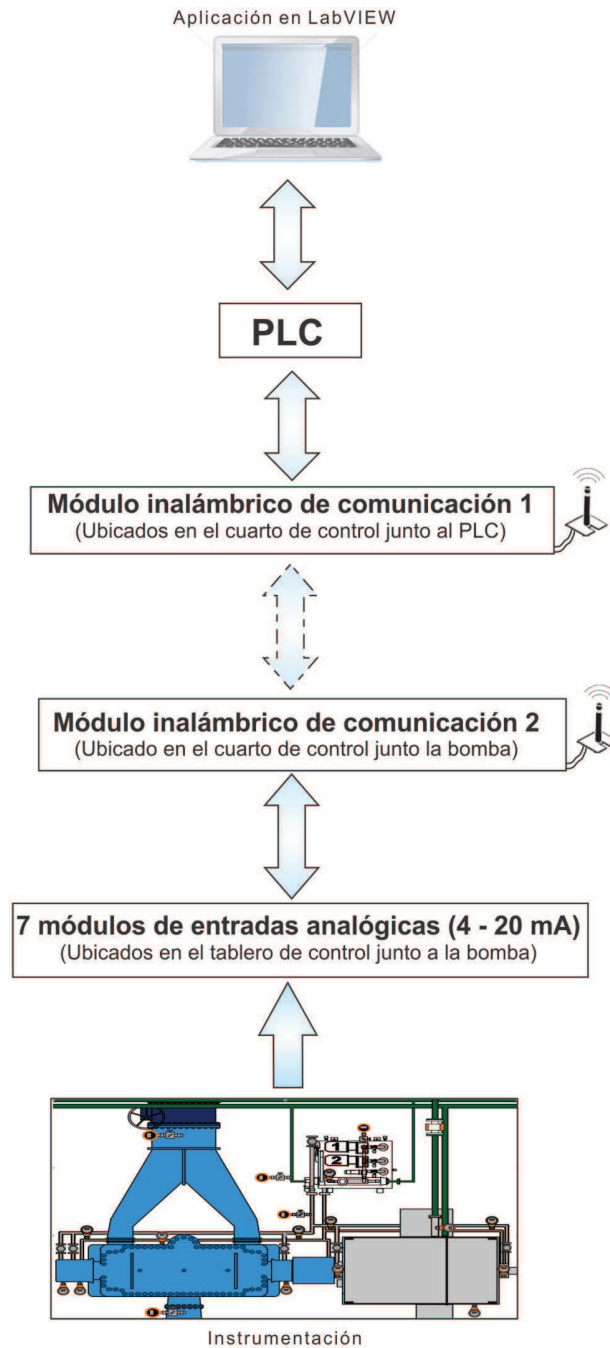


Figura 2.1: Esquema representativo del monitoreo y comunicación de la instrumentación

## 2.1. Instrumentación Planteada Preliminarmente

El **amb** en búsqueda de la mejora continua, plantea soluciones prácticas a problemas que podrían surgir debido a la terminación de la vida útil de más del 30 % de los instrumentos de medición. Debido a que la instrumentación antigua fue instalada junto al sistema en el año 1984, se pretende actualizar la instrumentación existente haciendo uso de las nuevas tecnologías, esto con el fin de hacer más eficiente el proceso de bombeo y mejorar el sistema de control y monitoreo de la estación de bombeo.

En la tabla 2.1 se hace una descripción de los instrumentos necesarios para la actualización de la instrumentación de toda la estación de bombeo, debido al presupuesto destinado se realiza la compra solo para dos (2) unidades de bombeo como se describirá en la sección 2.2.//

Inicialmente se realizó la revisión de toda la instrumentación instalada en las unidades con el fin de verificar la confiabilidad de sus mediciones y con esto tener una visión de los que aún funcionaban correctamente. Para obtener los parámetros necesarios se retiró cada medidor antiguo y se tomaron datos de longitud, tamaño de tubería, tipo de conexión eléctrica y mecánica, esta labor se realizó en toda la instrumentación. En el caudalímetro ubicado en la salida de la central de refrigeración no fue necesario ya que es una nueva variable a medir.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Switch de flujo de aceite para cojinetes del motor lado acoplado y no acoplado: para instalar en tubería de 1/2", tensión de alimentación 24VDC, salida con dos (2) contactos secos configurables, IP66, diámetro de instalación 1/2", indicación local, roscado normal, intervalo de medición 0. . . . . 1000 l/h.	und	12
2	Medidor digital de caudal de aceite a la salida de la central de lubricación: electromagnético, para instalar en tubería de 1 1/2", tensión de alimentación 24 VDC, salida analoga de 4. . . .20mA, IP66, lectura en diferentes unidades, indicación local, instalación con brida D=165 mm, L=195 mm, intervalo de medición 0. . . 2500 l/h.	und	4

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
3	Interruptor de flujo de aceite para cojinetes de la bomba lado acoplado y no acoplado: para instalar en tubería de 3/4", tensión de alimentación 24 VDC, salida con dos (2) contactos secos configurables, IP66, indicación local, instalación con brida D=95 mm, L=195 mm, intervalo de medición 0. . . . . 1000 l/h.	und	12
4	Interruptor de flujo de aceite para cojinete de la bomba lado axial: para instalar en tubería de 1", tensión de alimentación 24 VDC, salida con dos (2) contactos secos configurables, IP66, instalación con brida D=115 mm, L=195 mm, intervalo de medición 0. . . 2500 l/h.	und	3
5	Medidor digital de caudal de agua salida central de refrigeración: electromagnético, para instalar en tubería de 4", tensión de alimentación 24 VDC, salida analógica de 4. . . 20mA, IP66, lectura en diferentes unidades, instalación con brida D=220 mm, L=195 mm, intervalo de medición 0. . . 200 m <sup>3</sup> /h.	und	1
6	Interruptor de flujo de agua intercambiador de calor del motor: para instalar en tubería de 2 1/2", tensión de alimentación 24 VDC, salida con dos (2) contactos secos configurables, IP66, instalación con bridas D=185 mm, L =220 mm, intervalo de medición 0. . . 100 m <sup>3</sup> /h.	und	4
7	Medidor digital de presión de aceite central de lubricación entrada bomba - motor: tipo capacitivo, membrana de medición cerámica, indicación local, precisión > 0,1 %, con válvula de dos vías para mantenimiento, tensión de alimentación 24 VDC, salida analógica de 4. . . 20mA, IP66, lectura en diferentes unidades, diámetro de tubería 3/4", diámetro de instalación 1/2", intervalo de medición 0. . . 10bar.	und	4

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
8	Medidor digital de presión de aceite salida bombas de la central de lubricación: tipo capacitivo, membrana de medición cerámica, indicación local, precisión > 0,1 %, con válvula de dos vías para mantenimiento, tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP67, lectura en diferentes unidades, diámetro de tubería 1/4", diámetro de instalación 1/2", intervalo de medición 0...10bar.	und	4
9	Medidor digital de presión de agua succión bomba principal: tipo capacitivo, membrana de medición cerámica, indicación local, precisión > 0,1 %, con válvula de dos vías para mantenimiento, tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP67, lectura en diferentes unidades, diámetro de tubería 900 mm, diámetro de instalación 1/2", intervalo de medición 0...10bar.	und	4
10	Medidor digital de presión de agua impulsión bomba principal: tipo capacitivo, membrana de medición cerámica, indicación local, precisión > 0,1 %, con válvula de dos vías para mantenimiento, tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP67, lectura en diferentes unidades, diámetro de tubería 600 mm, diámetro de instalación 1/2", intervalo de medición 0...60bar.	und	4
11	Medidor digital de presión de agua entrada intercambiador de la central de lubricación: tipo capacitivo, membrana de medición cerámica, indicación local, precisión > 0,1 %, con válvula de dos vías para mantenimiento, tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP67, lectura en diferentes unidades, diámetro de tubería 1000 mm, diámetro de instalación 1/2", intervalo de medición 0...10bar.	und	4

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
12	Medidor digital de presión de agua salida central de refrigeración: tipo capacitivo, membrana de medición cerámica, indicación local, precisión > 0,1 %, con válvula de dos vías para mantenimiento, tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP67, lectura en diferentes unidades, diámetro de tubería 4", diámetro de instalación 1/2", intervalo de medición 0...10bar.	und	4
13	Medidor digital de temperatura de aceite salida intercambiador central de lubricación: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 50mm, intervalo de medición 0...120 °C.	und	4
14	Medidor digital de temperatura aceite lados libre y acople bomba: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 100mm, intervalo de medición 0...100 °C.	und	8
15	Medidor digital de temperatura cojinete lados libre y acople bomba: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 200mm, intervalo de medición 0...100 °C.	und	8
16	Medidor digital de temperatura cojinete axial lado libre bomba: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 100mm, intervalo de medición 0...100 °C.	und	4

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
17	Medidor digital de temperatura metal de la bomba: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 100mm, intervalo de medición 0... 50 °C.	und	4
18	Medidor digital de temperatura aire motor: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 200mm, intervalo de medición 0... 100 °C.	und	4
19	Medidor digital de temperatura cojinetes lado libre y acople motor: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 145mm<L<175mm, intervalo de medición 0... 200 °C.	und	8
20	Medidor digital de temperatura aceite lados libre y acople del motor: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 100mm, intervalo de medición 0... 200 °C.	und	8
21	Medidor digital de temperatura agua refrigeración motor: tensión de alimentación 24 VDC, salida análoga de 4...20mA, IP60, lectura en diferentes unidades, diámetro de inserción 6mm, longitud de inserción 100mm, intervalo de medición 0... 200 °C.	und	4

Tabla 2.1: Medidores digitales de caudal, presión y temperatura para dos (2) unidades de bombeo

## 2.2. Selección Definitiva de la Instrumentación

Para el proceso de selección se brinda asesoría en la escogencia técnica de la instrumentación. El **amb** creó el Pliego de Condiciones No. amb-001-11 (Suministro de medidores digitales de caudal de agua, aceite y presión), invitando a cotizar a las diferentes empresas nacionales. El proceso de licitación inició en Enero del año 2011 y el 11 de Febrero del mismo año fue la fecha establecida para la adjudicación de dicho contrato. Debido al presupuesto destinado para el proyecto, en el pliego se solicita la instrumentación para dos (2) de las cuatro (4) unidades existente en la estación de Bombeo.

A lo largo de este proceso se presentaron tres (3) empresas. Todas cumplían con los requerimientos técnicos necesarios: parámetros de la instrumentación y documentación de la empresa, por lo cual el criterio final de selección en este caso fue económico. La seleccionada por el **amb** para suministrar dicha instrumentación fue Master Control, distribuidor de KO-BOLD en Colombia.

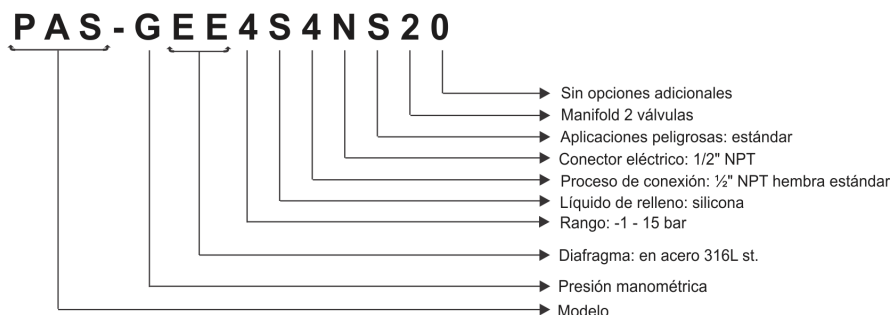
Los medidores entregados por Master Control son:

### 1. Transmisores de Presión

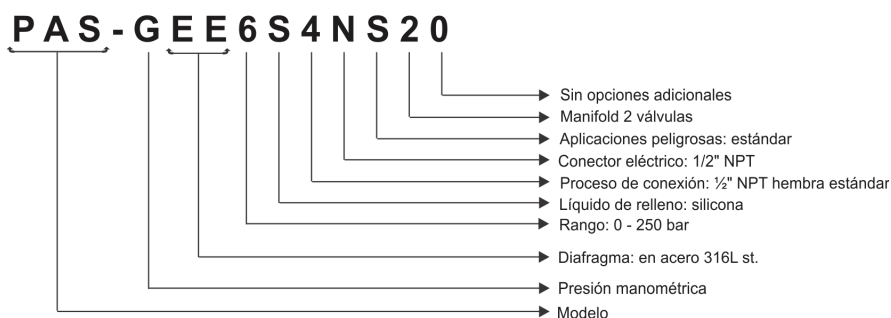
Modelo PAS [3], transmisores de alto rendimiento, calibración de presión y señal de salida flexible. Compensación automática de temperatura ambiente y variables del proceso. Comunicación y configuración de parámetro a través de protocolo HART. Sus características principales son:

- Span: -1 ... 1-5 bar hasta 0...600 bar
- Temperatura máxima: 120 °C
- Proceso de conexión: 1/4 NPT, 1/2 NPT
- Material: 316L acero inox., HAST-C, Tantalio
- Salida: 4 - 20 mA
- Sensor de entrada: manométrica y presión absoluta
- Autodiagnóstico: sensor, memoria convertidor A/D
- Comunicación digital: protocolo HART
- Aprobación: ATEX

En la figura 2.2 se encuentra detallado el código de orden de los medidores de presión.



(a) Rango 1- 15 bar



(b) Rango 0-250 bar

Figura 2.2: Código de orden medidores de presión

## 2. Transmisores de Temperatura

Modelo TWL-Exd [4], termómetros de resistencia con instalación en acero inoxidable con rosca, brida o soldados, cabezal de conexión y elemento de medición extraíble. La protección Exd permite que los instrumentos puedan ser instalados en áreas peligrosas. Sensor de temperatura Pt100 de acuerdo a la IEC751<sup>2</sup>, otras características son:

- intervalo de medición: -80 ... + 600 °C
- Salida: resistencia o analógica 4 - 20 mA
- Pt100 clase A o B
- Termopozo hasta 1000, 3000 y 5000 mm (dependiendo del modelo)
- Comunicación: Protocolo HART o protocolo PROFIBUS

Los códigos de orden para los medidores con y sin termopozo se encuentran detallados en la figura 2.3.

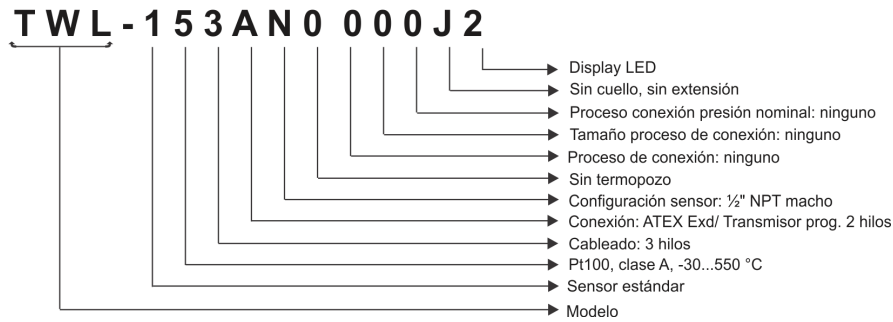
<sup>2</sup>Norma que establece las relaciones entre valores de resistencia eléctrica y temperatura incluyendo sus tolerancias.

### 3. Transmisores de Caudal

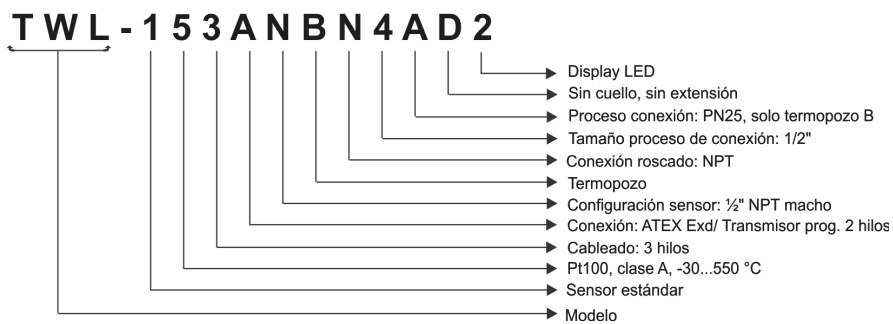
En el caso de los transmisores de caudal se manejan dos (2) tipos de modelo: fluidos viscosos y fluidos conductivos, a continuación se hace una descripción de cada uno de ellos:

- Modelo DOM [5]: Equipo medidor de flujo de rueda para líquidos viscosos, estos medidores de engranajes en forma de óvalo son caudalímetros de desplazamiento positivo, donde el paso del líquido provoca el movimiento de dos engranajes dentro de una cámara de medición de precisión y con cada rotación un volumen fijo de líquido pasa a través del medidor. Con imanes incrustados dentro de dichos engranaje se inicia un tren de pulsos de alta resolución, esta salida de tren de pulsos puede ser conectada directamente al control del proceso. Sus características principales son:
  - Rango de medición: 0.5...36L/h y 150 ... 2500 l/min
  - Rango de viscosidad: 0...1000 cP
  - Precisión de lectura:  $\pm 0.2\%$ ... 1%
  - Material: aluminio, hierro dúctil o acero inoxidable
  - Pmáx: 400bar; tmax: 120 °C
  - Salida de pulsos, pantalla LCD, 4...20mA, alarmas, registro mecánico.
  
- Modelo DMH [6]: Utilizado para medir el volumen de caudal de líquidos y otros materiales conductores, sin pérdida de presión. Estos caudalímetros constan de un sensor que captan la señal de medición generada a partir de la tensión inducida, y un transductor que convierte esta señal en una señal de salida normalizada (4-20mA o pulsos). Las características más importantes incluyen:
  - Rango de medición: 0.4 ... 2500  $m^3/h$
  - Precisión de lectura:  $\pm 0.3\%$ ... 1% Qmax
  - Pmax: PN40; Tmax: -20...+150 °C
  - Conexión: Brida DN 15...300, ANSI 3/4" ...12"
  - Material de revestimiento: goma dura, goma blanda y PTFE
  - Salidas: análoga con HART y pulsos

En la figura 2.4 se detallan cada uno de los cuatro (4) números de orden de los caudalímetros.



(a) Sin Termopozo



(b) Con Termopozo

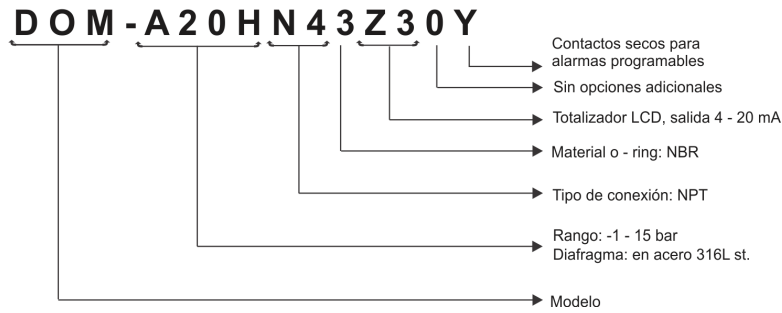
Figura 2.3: Códigos de orden Transmisores de temperatura

### 2.3. Instalación, configuración y puesta en marcha de la Instrumentación

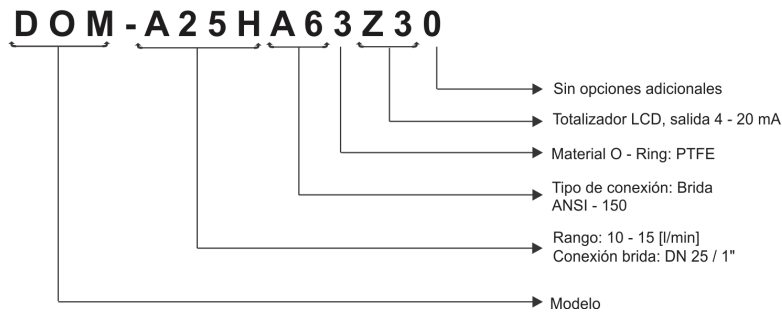
Para realizar la instalación de la instrumentación, el proceso se dividió en tres (3) pasos como se indica en la Figura 2.5. Actualmente se encuentran instalados los instrumentos en las unidades dos (2) y cuatro (4), sin embargo la comunicación solo se está realizando con la unidad cuatro (4) debido al proceso de adquisición del tablero eléctrico de la unidad dos (2).

Inicialmente se realizan los trabajos y adecuaciones mecánicas pertinentes por parte de los empleados de la planta para realizar el montaje de la instrumentación, el tiempo de duración de esta labor es de 8 días hábiles y es necesaria la detención del bombeo en dos ocasiones debido a la instalación de los caudalímetros de agua: salida central de refrigeración e intercambiador de calor del motor.

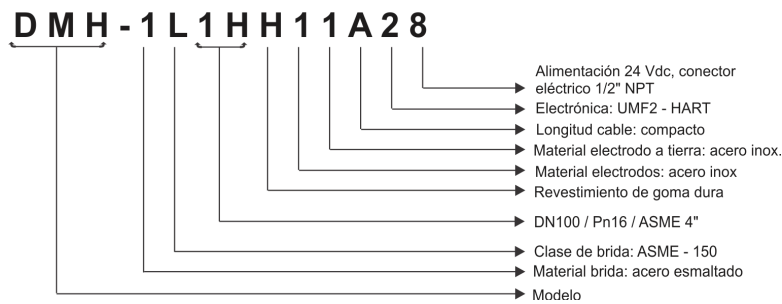
Posteriormente, se realiza la instalación eléctrica de todos los instrumentos hacia el nuevo tablero local de la unidad de bombeo, para esto se deben instalar ductos y canaletas donde se alojan los cables que van desde cada medidor hasta el tablero de comunicación de la unidad de bombeo. Cabe resaltar que para la realización de la adecuación eléctrica se realizó el tras-



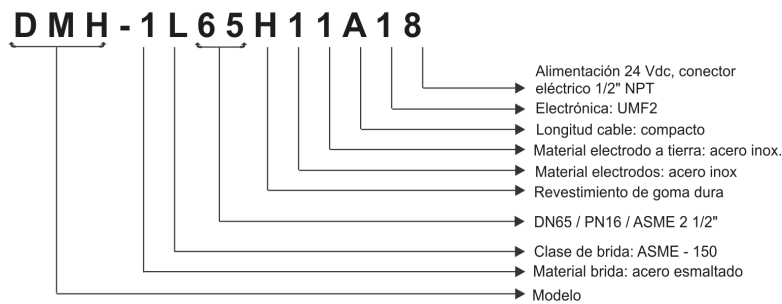
(a) Modelo DOM, conector NPT



(b) Modelo DOM, conexión por brida



(c) Modelo DMH, diámetro 4"



(d) Modelo DMH, diámetro 2 1/2"

Figura 2.4: Códigos de orden transmisores de caudal



Figura 2.5: Proceso de implementación de la instrumentación

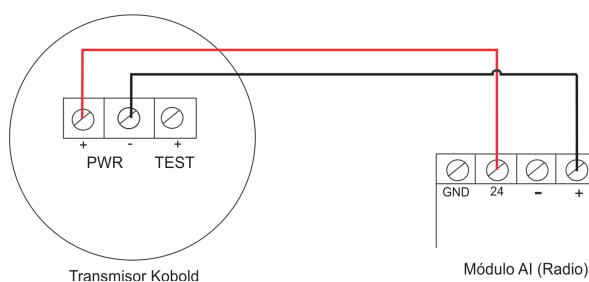


Figura 2.6: Conexión transmisor de presión

lado de los tableros: control local bomba y central de lubricación, ésto debido a la inclusión del nuevo tablero de comunicación. El tiempo necesario para realizar la instalación eléctrica completa es de 5 semanas que consiste en la adecuación de la unidad, conexión de cableado y pruebas realizadas.

Finalmente se realiza la conexión y configuración de cada instrumento como se muestra a continuación:

### 1. Transmisor de presión:

El diagrama de conexión del módulo de entradas analógicas del radio se puede observar en la figura 2.6. Respecto a la configuración de las modificaciones realizadas se describen a continuación, las características que no se describen se dejaron configuradas como vienen por defecto de fábrica.

- 21 UNIT:  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , unidades
- 22 U-RNG: Rango, dependiendo de la variable a medir
- 31 LCD-MD: NOR\_RO, modo de rotación normal, indica el valor con PC,
- 32 DEC-PL: 2-3 , resolución del display con 3 decimales

### 2. Transmisor de caudal:

En este caso se realizaron tres (3) conexiones diferentes debido a los tipos de caudalímetros que se manejaron, en la figura 2.7 se encuentran detalladas cada una de éstas. Las configuraciones realizadas son:

- Modelo DOM:
  - L3 UNIT: Litro, unidades
  - L4 k-factor: Número de pulsos por unidad de volumen o de masa.
  - L5 *Decimal for Rate*: 0.00, Decimales para la tasa
  - L7 *Time base for Rate*: Min, base de tiempo para la tasa
  - L16 *Analog output (span set point)*, modificado dependiendo de la variable.
- Modelo DMH:
  - *Damping*: 3s, tiempo de amortiguación
  - *Current output*: 4 - 20,5 mA, corriente de salida
  - *Alarm*: not used, alarma corriente de salida
  - QV LRV (Valor rango inferior): 0%, valor del rango inferior del flujo de volumen
  - QV URV (Valor rango superior): 100
  - QV UNIT: l/min, unidad de volumen del flujo
  - *Flow limit min*: 10/
  - *Flow limit max*: 100/

### 3. Transmisor de temperatura:

Al igual que la variable presión, la conexión para todos los medidores es general y su descripción se encuentra en la figura 2.8. La configuración utilizada es la que viene por defecto de fábrica.

En el Apéndice B se encuentran los planos eléctricos, P&ID y de comunicaciones de los sistemas implementados.

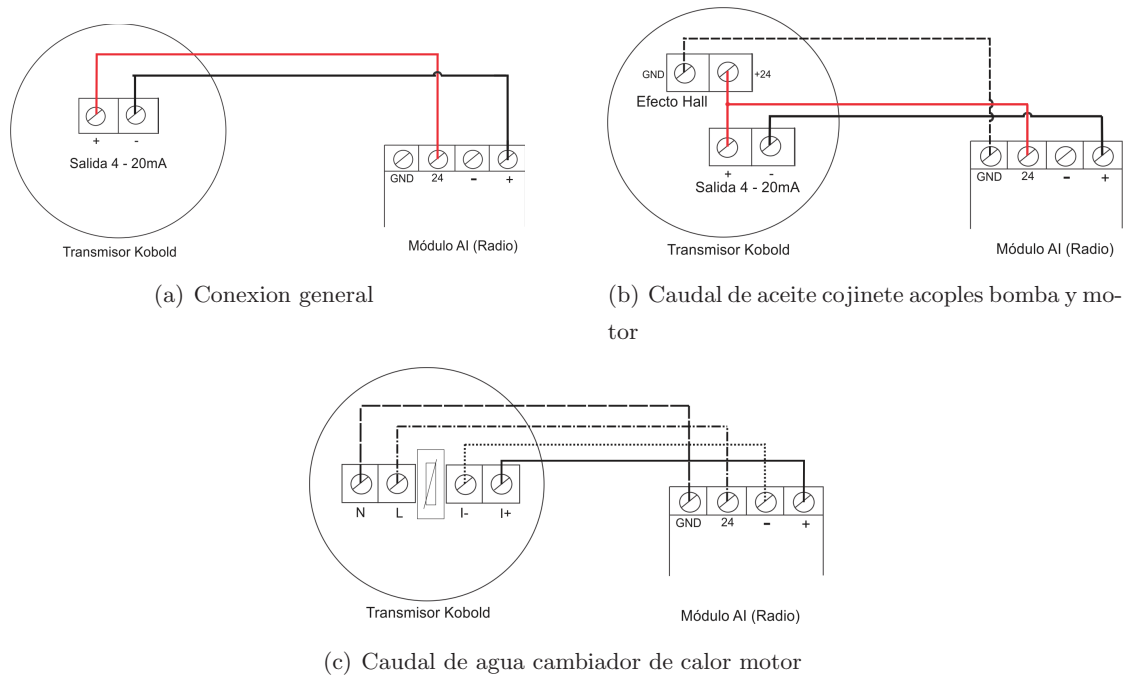


Figura 2.7: Conexión de los transmisores de caudal

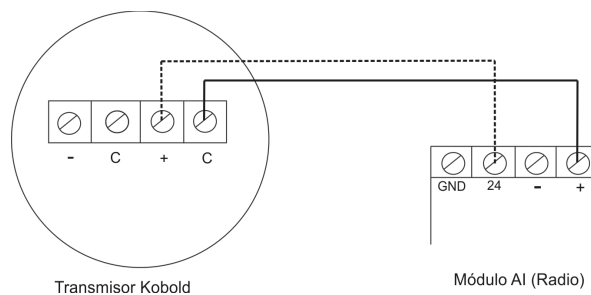


Figura 2.8: Conexión del transmisor de temperatura

## 2.4. Configuración de la Comunicación

Para el proceso de comunicación entre el tablero instalado junto a la unidad de bombeo y el PLC ubicado en la sala de control se utilizó el sistema de radio **RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS** [7], compuesto de un módulo transceptor que se puede utilizar opcionalmente como maestro/esclavo o repetidor/esclavo en una red de radio.

El transceptor puede enviar y recibir datos así como recoger y emitir señales de E/S a través de módulos de ampliación. En el bombeo de Bosconia se utilizaron 7 módulos de extensión de entrada analógica **RAD-IN-4A-I** [8]. A continuación se realiza una descripción

de los radios y módulos de extensión:

■ **RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS:**

Sistema bidireccional de transmisión de datos, permite conexión inalámbrica de varios sistemas de control punto a punto o por medio de redes de malla con hasta 254 dispositivos. Su estructura modular asegura la máxima flexibilidad: además de las interfaces RS-232, RS422/485, también es posible alinear hasta ocho módulos I/O del mismo tipo o de tipos diferente, esto para que la transmisión inalámbrica de máximo 33 señales analógicas o 66 señales digitales sea posible por estación. Sus características principales son:

- Configurable como maestro/esclavo o repetidor esclavo por el software.
- Velocidad de transmisión de hasta 250 kpbs (57,6 kbps neto)
- Tensión de alimentación: 12 Vdc... 30 Vdc
- Tecnología inalámbrica de la línea *RAD*: Utilizada para una conexión inalámbrica segura y fiable.
- Filtros de máxima calidad.
- Relé de enlace RF: Contacto que cambia su estado en caso de que la conexión inalámbrica se haya perdido.
- Indicador de intensidad de señal (RSSI): Conector de prueba de tensión para indicar la fuerza de la señal recibida. Simplifica la alineación de la antena.
- Grandes redes: hasta 254 esclavos o repetidores pueden comunicarse con su maestro en una única red inalámbrica.
- Licencia gratuita: opera en la banda ISM de 2.4 GHz donde no se requiere una licencia o registro.

El módulo inalámbrico maestro en una red se encuentra normalmente en un punto central. El PLC conectado al maestro es responsable de la gestión de la transmisión de datos en serie. Como se mencionó anteriormente, es capaz de monitorear todos los módulos inalámbricos en su red, esto gracias al software RAD-Link.

El protocolo de comunicación utilizado por los radios es MODBUS y en la figura 2.9 (b) se muestran las posibles configuraciones de la red de radio. La descripción de las partes que conforman el radio (Ver figura 2.9 (a)) es:

1. Tensión de servicio UB y Relé RF-Link

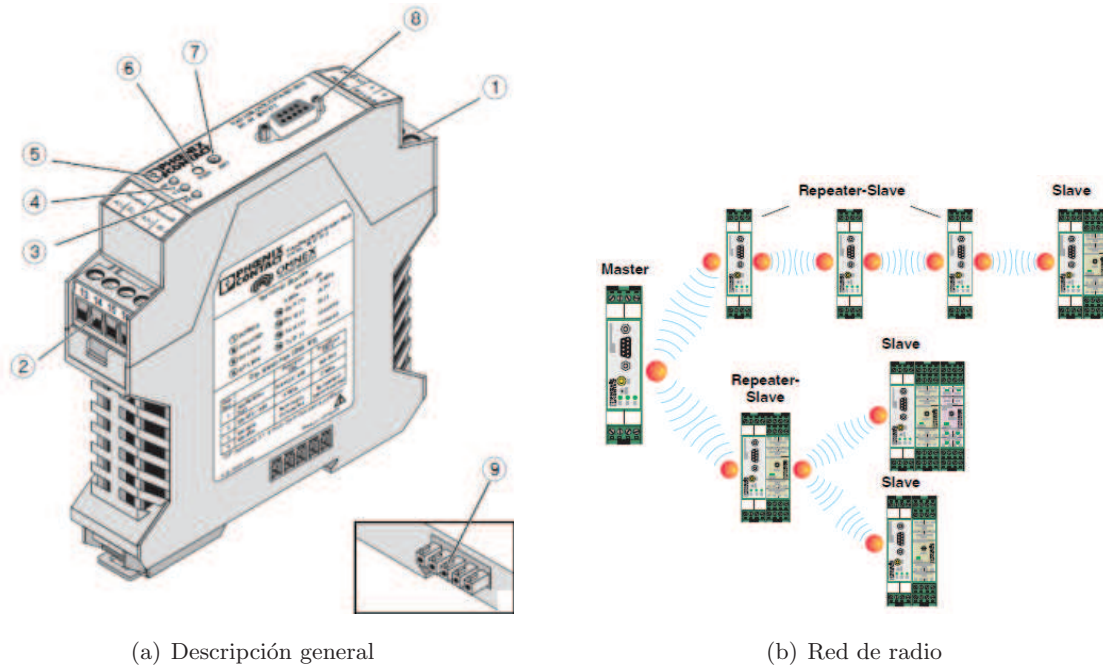


Figura 2.9: Diagrama RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS

2. Interfaz RS.422/485 (Borne enchufable de tornillo)
3. LED RX (verde): Recepción de datos a través de conexión AF (antena) o cable de datos.
4. LED TX (verde): Transmisión de datos a través de conexión AF.
5. LED RF-Link: Comunicación de radio.
6. Hembra para pruebas RSSI (sólo en servicio como esclavo).
7. Conexión AF (antena)
8. Interfaz RS-232 (Sub-D)
9. Pie de bus

#### ■ RAD-IN-4A-I:

Existen siete módulos de I/O diferentes que se pueden utilizar con el módulo inalámbrico RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS, en este caso se utilizó el modelo RAD-IN-4A-I. El conector que se encuentra en el módulo inalámbrico es utilizado para la alimentación de este módulo y establece comunicación a través de un bus interno.

El módulo de extensión analógica puede recibir cuatro (4) señales analógicas (4-20mA) de entrada, estas entradas no se encuentran aisladas eléctricamente. Tensión de 24 V cc

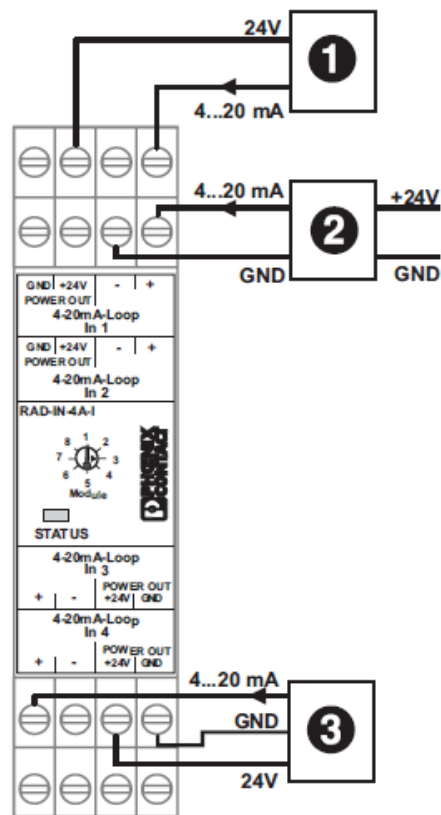


Figura 2.10: Diagrama RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS

está disponible en los bornes de conexión para uso de los sensores pasivos.

Las conexiones posibles a estos módulos son (ver figura 2.10):

1. Sensor pasivo con conexión de 2 hilos
2. Sensor activo
3. Sensor pasivo con conexión de 3 hilos

Para iniciar la operación de los radios es necesario:

1. Seleccionar mediante los *DIP switch* internos la interfaz serial por la cual se transmitirán los datos (RS232/RS485).
2. Conectar el radio al PLC por medio de la interfaz serial seleccionada.
3. Configurar con el software RAD-Link cada uno de los radios con los comandos que se encuentran en la tabla 2.2

PESTAÑA	PARÁMETRO	VALOR MAESTRO	VALOR ESCLAVO
General	Radio ID	0	1
	Radio type	DATA-BD-BUS	DATA-BD-BUS
	Assigned radio mode	Master	Slave
Other	Number of times to ...	NA(2)	2
	Auto-routing	Disable	NA
	This radio connects to	NA	Master
	Master flush time	NA	NA
	AT Logon timeout	0	0
Notes	NA		
Serial	Baud rate	19200	19200
	Parity	None	None
	Data bits	8	8
	Stop bits	1	1
	Handshaking	None	None
	Buffer mode	off	NA
2.4GHz DATA-BD	Transmit power	20	20
DATA-BD-BUS	Emulation mode	Modicon PLC	Modicon PLC
	PLC address	10	11
Sleep mode	Turn radio on	Always	Always

Tabla 2.2: Configuración de los radios en el software RAD-Link

En la figura 2.11 se puede observar el radio y los siete (7) módulos instalados en el tablero de comunicación de la unidad de bombeo.

En el Apéndice C se adiciona una tabla especificando las variables medidas, referencia, rango, disparo, bornera en la que fueron instalados, módulo utilizado y dirección de comunicación de los medidores. Adicionalmente se encuentra un registro fotográfico de cada medidor realizando una comparación entre el medidor antiguo y el nuevo y otro donde se observan los medidores instalados en la unidad.

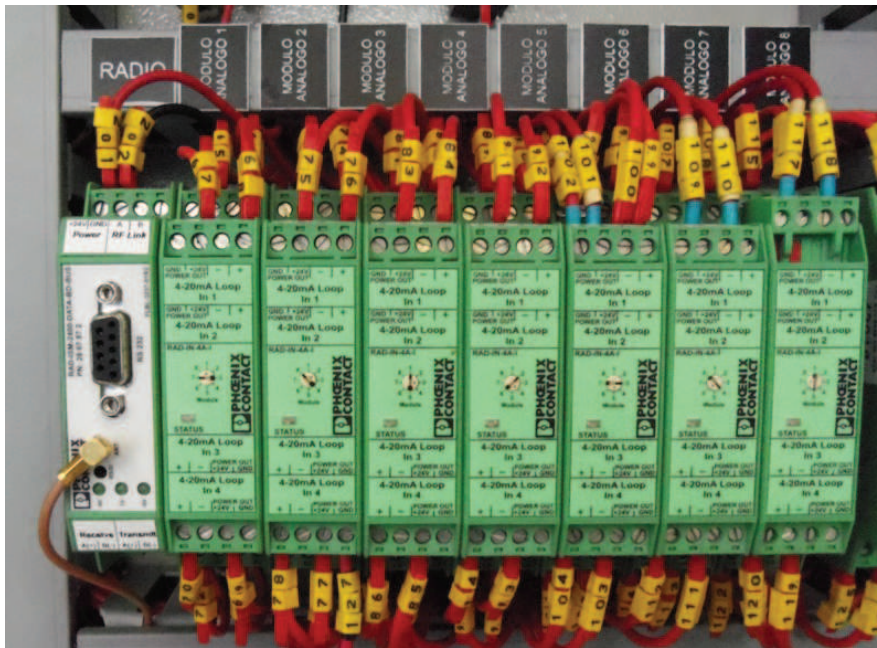


Figura 2.11: Radio y módulos instalados en el tablero de comunicacion unidad de bombeo

## 2.5. Configuración del PLC

El PLC utilizado es el Vision 570 [9] de la marca UNITRONICS adquirido con anterioridad por el **amb** y con disponibilidad de uso. Es de gran alcance y con nivel de protección IP55, ofrece una amplia gama de funciones integradas tales como:

- Múltiples lazos PID, programas de recetas y muestreo de datos a través de las tablas de datos.
- Base interna de 120k para registro de datos y programación.
- Opciones de I/O: A través del propio equipo y módulos de expansión. Incluye I/O de alta velocidad.
- Aplicación lógica: 2MB, Fuentes: 1MB, imágenes: 6MB.
- Tiempo de *scan*: 9  $\mu$ s por 1k de una aplicación típica.
- Pantalla de 5.7", panel táctil en color QVGA, 256 colores, display TFT LCD, hasta 1024 displays por aplicación y 500 imágenes en color por aplicación.
- MODBUS: Crea una red multi-equipos estable por TCP/IP o cableado serie como se realiza en este caso para la conexión directa al pc. Establece comunicación maestro-

esclavo entre el V570 y cualquier equipo conectado que soporte el protocolo. Es de resaltar que cualquier V570 puede funcionar en la red como Maestro o Esclavo.

- Hasta 20 lazos PID, incluido auto-tune, programación de las rampas y transferencia sin golpes. Entradas para encoders y salidas PWM.
- Alimentación 24Vdc, permite expandir hasta 128 I/O adicionales, a través de módulos de expansión (dependiendo del módulo).

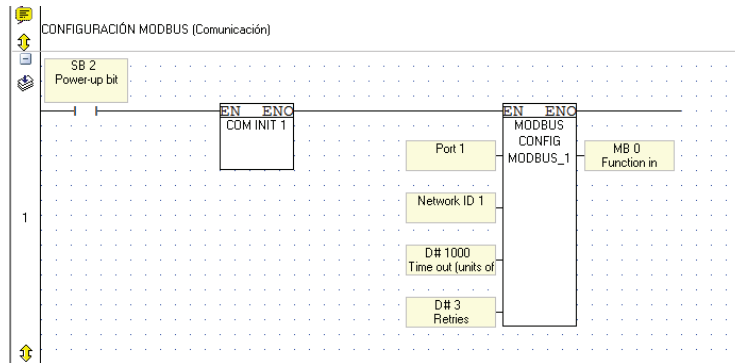
Adicionalmente cuenta con el Software *Visilogic Ladder* [10], un único programa tanto para el PLC como para el HMI.

Para realizar la comunicación MODBUS mediante el PLC y los radios y posterior envío de datos a la aplicación Software en LabVIEW, se realizó una rutina que permite la comunicación y linealización de los datos leídos. El PLC cumple con dos (2) roles en el proceso de comunicación: maestro MODBUS del radio de la instrumentación y esclavo MODBUS de la aplicación en LabVIEW (PC).

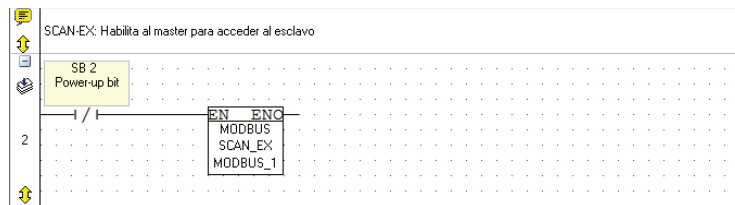
En la figura 2.11 se pueden observar los bloques utilizados para realizar la comunicación. Los pasos a seguir fueron:

1. Configuración MODBUS como se explica en el ejemplo de *Ladder*. En las propiedades del bloque se deja por defecto el puerto 1, *time out* en 1000 y 3 reintentos de conexión (figura 2.12 (a)).
2. Se utiliza el bloque MODBUS SCAN\_EX, es el encargado de habilitar el *master* para acceder al esclavo (figura 2.12 (b)).
3. Se hace uso de la función 3 de MODBUS lectura de registros configurando la dirección del esclavo, la cantidad de datos a leer y la MI inicial (figura 2.12 (c)).

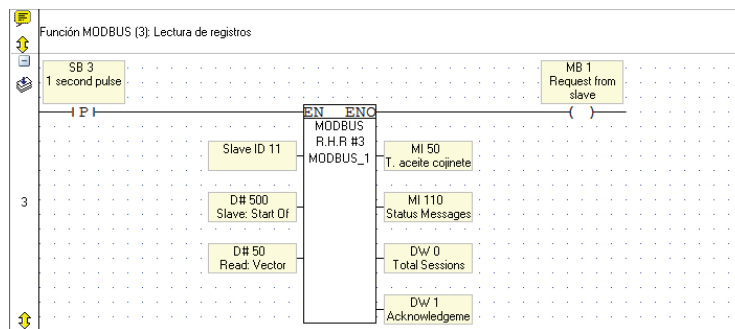
Después de realizar la comunicación, es necesaria la linealización de las veinticinco (25) variables medidas debido a que los datos son recibidos en mA. En el caso de la temperatura del aceite del cojinete opuesto de la bomba se especifica como se muestra en la figura 2.12: se debe indicar el valor máximo que puede tomar, la posición a la que llega el dato en mA y la posición en la que se desea colocar el dato convertido. Es importante tener en cuenta que en este proyecto solo se realiza la linealización y luego ésta es incluida en la rutina realizada para el PLC en el sistema COMBBOS, quien maneja actualmente el control de todo el sistema de bombeo.



(a) Configuración MODBUS



(b) SCAN\_EX



(c) Lectura de registros (Funcion 3 MODBUS)

Figura 2.12: Configuración de la comunicación MODBUS

LINEALIZACIÓN

MB 1  
Request from slave

MI 50  
T. aceite cojinete

MI 120  
Conv. T. aceite

MI 51  
T. aceite cojinete

MI 121  
Conv. T. aceite

MI 52  
T. metal cojinete

MI 122  
Conv. T. metal

MI 53  
T. metal cojinete

MI 123  
Conv. T. metal

Linearization

**Note that you cannot use the Linearization function if the value of an input or an intermediate calculation is close to the value FFFFFFFF. Click on the Help button for more information.**

Params	Func	Operand	Address			Format	Description
IN	X1	D#	4000			DEC	Linear conversion: X1 Value
	Y1	D#	0			DEC	Linear conversion: Y1 Value
	X2	D#	20000			DEC	Linear conversion: X2 Value
	Y2	D#	1000			DEC	Linear conversion: Y2 Value
OUT	X	MI	50			DEC	T. aceite cojinete acople bomba
	Y	MI	120			DEC	Conv T. aceite cojinete opuesto bomba

OK Cancel Help

Figura 2.13: Linealización en ladder de las variables

## Capítulo 3

# Desarrollo e Implementación de la rutina en LabVIEW

Este capítulo contiene la descripción de la rutina LabVIEW [11] creada para el monitoreo de la instrumentación de las unidades de bombeo de la estación de Bosconia y actualmente se encuentra implementada en la unidad cuatro (4) . La comunicación MODBUS se realiza con el PLC2, quien se encarga del manejo de las unidades tres (3) y (4) de bombeo. Sin embargo, en la rutina se encuentra la comunicación MODBUS con el PLC1 encargado de las unidades uno (1) y dos (2). Es importante resaltar que esta rutina no es la utilizada principalmente pero es incluida en una de las aplicaciones del sistema COMBBOS quien se encarga del control y monitoreo de toda la estación de bombeo y es el ejecutado actualmente.

En la figura 3.1 se puede observar una breve descripción del proceso que se realiza en la rutina LabVIEW.

### 3.1. COMUNICACIÓN MODBUS

MODBUS es un protocolo de comunicación desarrollado en 1979 por la empresa MODICON, es uno de los más utilizados en automatización y control debido a su licencia pública, además se encuentra situado en el nivel siete (7) del modelo OSI<sup>1</sup>.

Las características de una red MODBUS estándar son:

---

<sup>1</sup>*Open System Interconnection*. Desarrollado en 1984 por la organización internacional de estándares (ISO), es un modelo conceptual para la conexión en red, su nivel 7 hace referencia a la capa de aplicación.

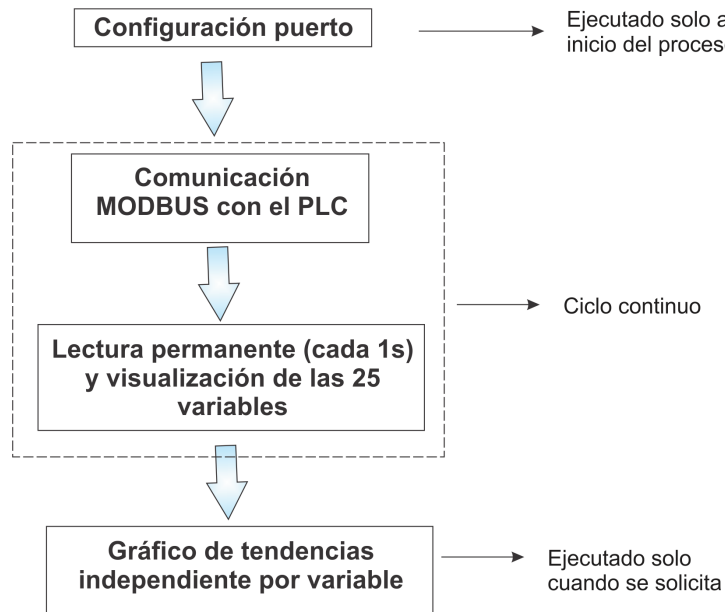


Figura 3.1: Proceso realizado en la rutina LabVIEW

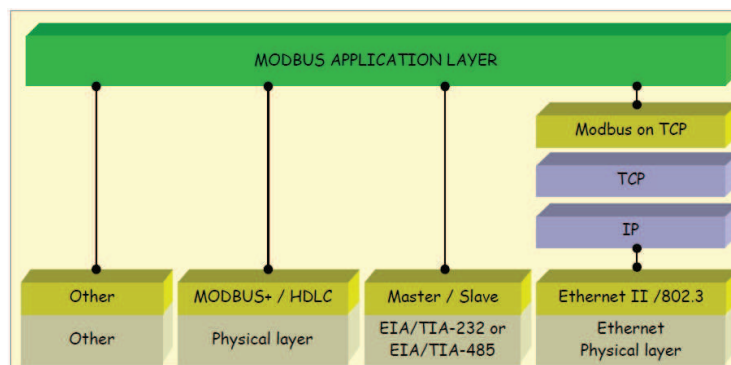


Figura 3.2: Capas y sistemas de comunicación MODBUS. Fuente:www.modbus.org

- Topología BUS: es una red lineal donde se conectan todos los dispositivos y cada uno toma la información de la red, verifica su destino y si no le corresponde la desecha.
- Modo de emisión Banda Base: al inicio los datos son representados por un tren de bits y luego son codificados por un codificador banda base.
- Estándares de comunicación: EIA/TIA-232-E (punto a punto y *fullduplex*), EIA-422 (punto a punto y *fullduplex*) y EIA/TIA-485-A (multipunto y *halfduplex*), en la figura 3.2 se puede observar las diferentes sistemas de comunicación.
- Comunicación asíncrona.

Dirección del dispositivo	Código de Función	Dirección del primer bit		Número de bits a leer (máx. 255)		CRC	
1 byte	1 byte	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

Figura 3.3: Estructura del mensaje

- Velocidad de comunicación: desde 75 bps a 19200 bps.
- Acceso al medio: utilizando la técnica Maestro-Eslavo en donde un dispositivo se designa como maestro y es el único que puede iniciar las transacciones, uno o varios dispositivos como esclavos y son los encargados de responderle al maestro. En este caso se utiliza la transacción consulta/respuesta (*Query-response*), la cual hace referencia a un intercambio punto a punto entre el maestro y algún esclavo, donde cada esclavo tiene una dirección única.
- Transmisión serie en modo ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) y RTU (*Remote Terminal Unit*), en una red de dispositivos utilizando el protocolo MODBUS no es permitido mezclar los modos de transmisión. Para la rutina a realizar se utiliza el modo RTU donde cada *byte* de información es empaquetado en un carácter RTU, la estructura del mensaje se puede observar en la figura 3.3.

En el campo función se indica al dispositivo que tipo de acción se desea realizar. En la tabla 2.1 se describen algunas de las funciones más importantes de MODBUS.

En este proyecto el PC funcionará como Maestro y los demás dispositivos como esclavos, la lectura de los registros se hace mediante la función 3 del protocolo.

Todo lo relacionado con el protocolo MODBUS realizado en LabVIEW se basa en los trabajos de grado: Desarrollo e Implementación de una Aplicación en Labview para el Monitoreo de los Parámetros Eléctricos y Mecánicos y Control de los Equipos de Corte de la Subestación Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga amb S.A [12]. de los autores Silvana Maria Navarro Carrascal y Wilfred Yesid Reyes Galvis en el año 2007 y MODBUS. Monitoreo de la Red Empleando LABVIEW [13] de los autores Sinle Marcela Carreño Martínez y Pedro Ardila Albarracín en el año 2005.

CÓDIGO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
01	Leer estado de Bobinas	Lee el estado de las salidas discretas
02	Leer estado de Entradas	Lee el estado de las entradas discretas
03	Leer Registros Internos	Lee los contenidos binarios de los registros internos
04	Leer Registros de Entrada	Lee los contenidos binarios de los registros de entrada.
05	Forzar Bobina	Forzar una bobina
06	Fijar valor en registro	Fija un valor en un registro
07	Leer estado de la Excepción	Lee el contenido de ocho bits de condición de excepción. Los bits están definidos previamente en cada dispositivo.

Tabla 3.1: Funciones de control MODBUS. Extraída de [13]

### 3.1.1. Configuración del puerto serial

En el panel frontal de la aplicación se puede realizar la configuración del puerto, la figura 3.4 muestra los dos controles necesarios para la configuración. Para esto se hace uso del bloque *VISA Configure Serial Port* en el cual se inicializa el puerto especificado en la opción configuración y luego se indica su velocidad de transmisión, para este caso es 19200 bps.

El bloque cuenta además con la configuración del *timeout* que es el tiempo en milisegundos para la escritura y operaciones de lectura, bit de datos que hace referencia al número de bits en los datos entrantes y por lo general varía entre cinco (5) y ocho (8), paridad es la utilizada en cada estructura para ser transmitidos o recibidos, *error in* describe las condiciones de error que se producen antes de que se ejecute, bits de parada hace referencia a los bits utilizados para indicar el final de una estructura y control de flujo que establece el tipo de control utilizado por el mecanismo de transferencia.

Los valores utilizados para las configuraciones anteriores son los que vienen por defecto con el bloque, es por esta razón que no se crean controles para cada uno de ellos.

Como complemento del bloque *VISA Configure Serial Port* es necesario utilizar el bloque *VISA Close Function* al final de todo el proceso, esto debido a que cada sesión abierta con

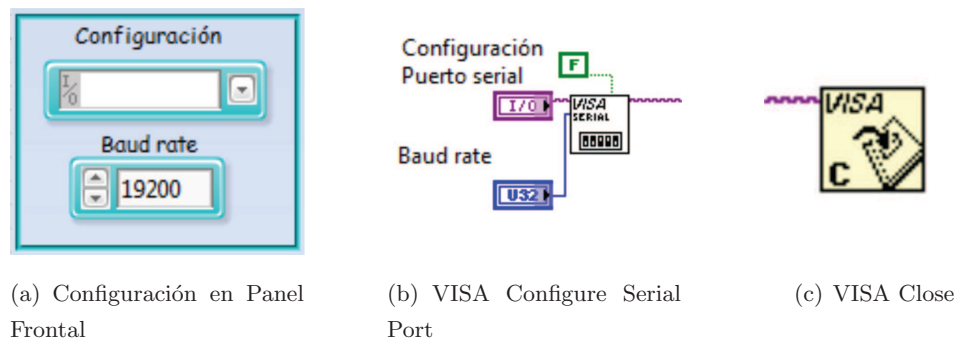


Figura 3.4: Configuración puerto serial

VISA debe ser cerrada cuando se haya terminado con ella. La entrada de este bloque es la salida directa del bloque VISA Configure Serial Port, el bloque VISA Close Function se puede observar en la figura 3.4 (c).

La comunicación física del protocolo se realiza por el puerto serial y se utiliza el estándar RS-232.

### 3.1.2. Creación de la trama de petición

Inicialmente se hace uso de la estructura *stacked sequence* con dos (2) *frames* donde se indican el envío de la petición para la función 3 y la lectura de respuesta. Para crear la trama inicial es necesario ingresar los datos descritos en la estructura del mensaje como se indica a continuación:

1. Dirección del esclavo: Es la identificación del dispositivo, en este caso el PLC2 trabaja con la dirección cinco (5).
2. Función: es utilizada la tres (3) como se especificó en la subsección anterior.
3. Dirección de inicio: Corresponde a la posición inicial de memoria donde se encuentran los datos linealizados, en este caso se inicia con la posición ciento cincuenta (150).
4. Número de bobinas: es el número consecutivo de bobinas que se quieren consultar, aunque sólo son veinticinco (25) variables a monitorear se solicitan 50 para dejar definidos los datos de las dos unidades.

Con ayuda del bloque *build array* se concatenan los datos iniciales para luego realizar el cálculo del CRC y entregar los datos al bloque VISA *write*, quien es el encargado de escribir

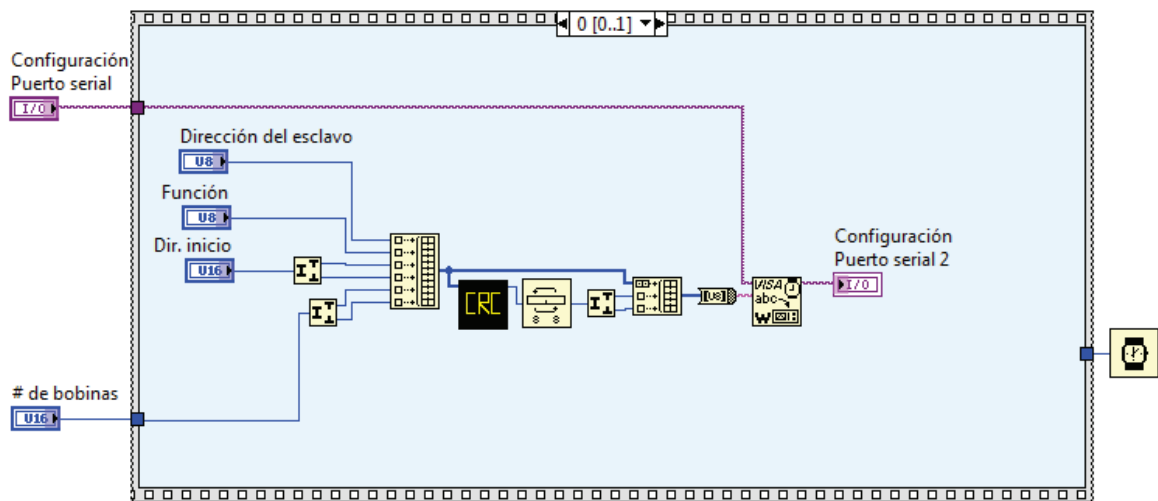


Figura 3.5: Envío de trama de petición función tres (3) (Lectura de registros)

los datos a la interfaz especificada en su opción VISA *resource name*. En la figura 3.4 se encuentra el diagrama de bloques utilizado para el envío de la trama de petición.

### Cálculo del CRC

*Cyclic Redundancy Check* (CRC), es una técnica usada para la detección de errores de transmisión y es el último campo de la trama (Ver figura 3.5). En ocasiones, debido a ruido o a otras interferencias se produce algunas modificaciones en el mensaje durante su transmisión, el CRC asegura al master y a los esclavos no realizar acciones incorrectas debido a la modificación del mensaje.

A continuación se describen los pasos a seguir para obtener el cálculo del CRC:

1. Se carga un registro temporal en el *Shift Register* de la estructura *For Loop*.
2. Se efectúa una OR exclusiva entre el primer *byte* de la trama y el *byte* menos significativo del registro temporal en el *Shift Register*.
3. Luego, se agrupa el *byte* más significativo del *Shift Register* con el resultado de la OR y se ingresa un nuevo *Shif Register* de una estructura *For While*.
4. Se hace uso de la función *Rotate Right With Carry* quien se encarga de desplazar el dato del *Shift Register* hacia el bit menos significativo e incluye un cero en la posición del más significativo.

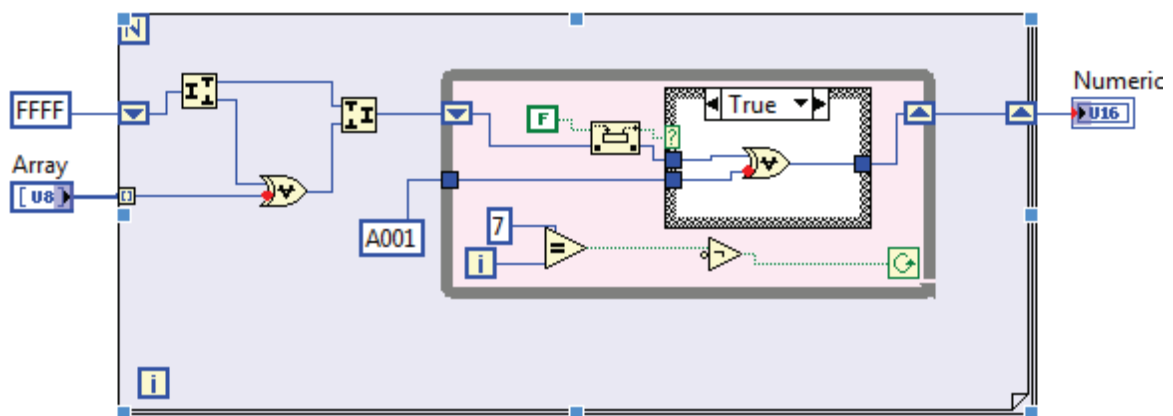


Figura 3.6: Diagrama de bloques CRC

5. Si el dato desplazado es cero, volver al paso 4. Si el dato desplazado es uno, se efectura una OR exclusiva entre el dato y el valor fijo A001 (1010 0000 0000 0001).
6. Repetir los pasos 4 y 5 hasta efectuar 8 desplazamientos.
7. Se carga el dato del *Shift Register* de la estructura *For While* al de la estructura *For Loop*, luego se toma el siguiente byte y se repiten los pasos del 2 al 5 hasta que se hayan procesado todos los bytes de la trama.

Después de calculado el CRC, se hace uso de la función *Swap Bytes*, quien se encarga de cambiar el byte más significativo, por el menos significativo debido al orden de la transmisión, primero el byte menos significativo y luego el más significativo. Luego de obtener el CRC completo se concatena con el arreglo anterior y el generado nuevamente por la función *Build Array* es convertido a una cadena de datos por medio de la función *Byte Array To String*.

### 3.1.3. Lectura de la trama de respuesta

Como se mencionó anteriormente, para la realización de la comunicación MODBUS se utiliza una estructura *Stacked Sequence* con dos *frames*, uno de éstos es el encargado de realizar la lectura de la trama de respuesta enviada por un esclavo (Ver figura 3.7).

Para realizar la lectura de la trama se tiene en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Definir la configuración del puerto serial y el número de bobinas a leer.

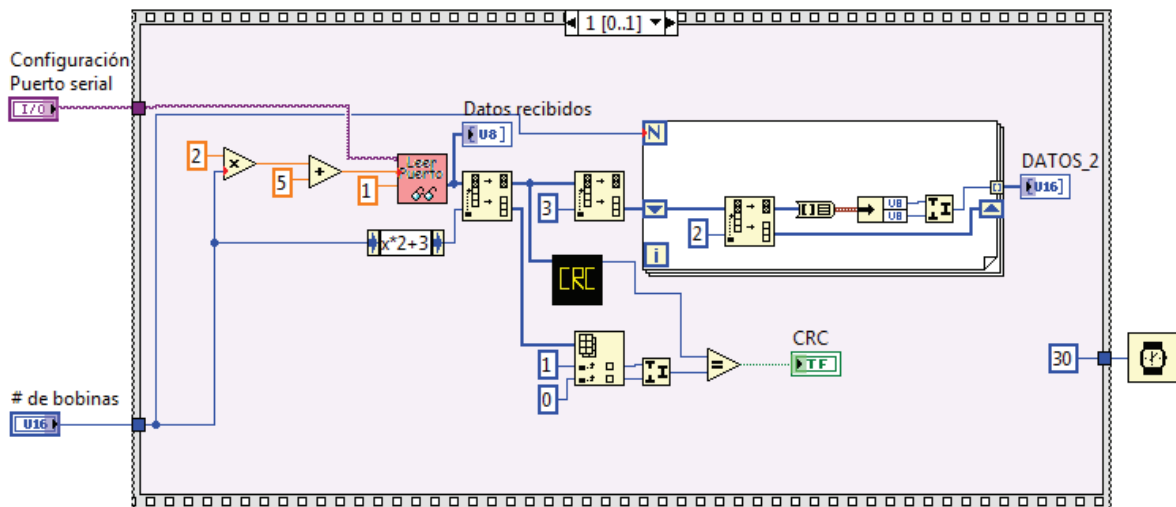


Figura 3.7: Diagrama de bloques lectura trama de respuesta

2. Ingresar los datos anteriores a la Sub VI leer puerto y adicionar el *time out* a utilizar, la Sub VI se explicará en la siguiente subsección.
3. Se divide la trama en dos partes con ayuda de la función *Split 1D Array*, la primera parte hace referencia a la trama sin los bits del CRC a la cual se le calculará nuevamente de forma independiente, la segunda parte es comparada con el nuevo CRC calculado donde se indica con un led si la igualdad es correcta.
4. Para realizar la lectura de la trama de respuesta es necesario separar de toda la trama los bits de datos, para esto es necesario retirar los 4 bits iniciales de la trama sin CRC y luego se cargan en el *Shift Register* de una estructura *For Loop* donde el contador es el número de bobinas.
5. Dentro de la estructura se toman los dos primeros bits de la trama, se convierten de un *array* a un *cluster* para así poder tomar cada uno de sus elementos y concatenarlos de dos en dos, los bits restantes de la trama se cargan nuevamente en el *Shift Register* y se inicia el ciclo anterior.

Al finalizar el *frame* se incluye un retardo de 30 ms para garantizar la llegada de los datos.

### Sub VI Leer Puerto

Utilizada para leer un número determinado de bytes del puerto serial (Ver figura 3.8). Para su lectura se realizan los siguientes pasos:

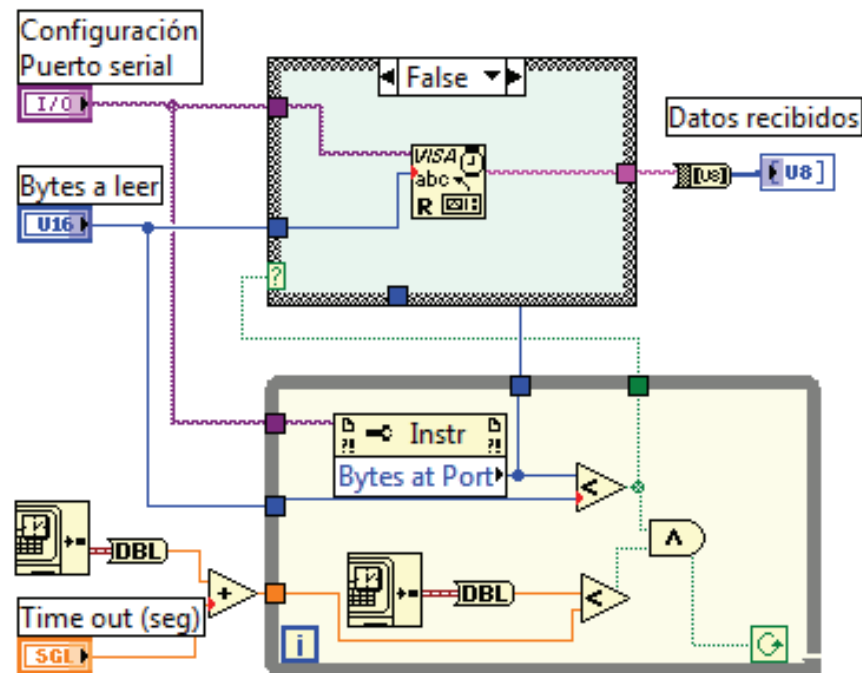


Figura 3.8: Sub VI Leer Puerto

1. Se debe especificar el puerto serial a utilizar, el número de *bytes* que se desean leer del *buffer* del puerto y el *time out* en segundos, el cual representa el tiempo de espera en la llegada de los bytes al puerto.
2. Se crea una estructura *While Loop* y dentro de esta se hace uso de la función *Bytes at Port* para realizar la cuenta de los bytes del buffer en el puerto serial y determinar si es menor al número de bytes que se desean leer ingresado en el numeral anterior.
3. Se realiza una suma entre el *time out* especificado y el número generado por la función *Get Date/Time In Seconds* que hace referencia a la fecha y la hora en función de segundos. Esta suma se realiza por fuera de la estructura *While Loop*.
4. Dentro de la estructura adicionalmente se determina si el número generado por el *Get Date/Time In Seconds* es menor a la suma realizada en el punto anterior.
5. Se ingresan a una compuerta AND las operaciones realizadas en los puntos 2 y 4, si este resultado es verdadero, el subdiagrama se repetirá. Para que suceda este caso existen dos posibilidades: que el número de bytes contados desde el puerto sea menor a a los bytes especificados a leer o que la suma realizada por fuera de la estructura es menor al número generado por el *Get Date/Time In Seconds*.

6. Se crea una estructura *Case* para ser utilizada cuando el ciclo del *While Loop* no se termina. Se ingresa al caso *falso* cuando el número de bytes contados desde el puerto es mayor a los bytes especificados a leer; aquí se hace uso de la función *VISA Read* para leer el número de bytes que se encuentran en el puerto serial y serán entregados en la salida de la Sub VI. Se ingresa al caso *verdadero* cuando el *time out* se termina, debido a que no hay suficientes bytes para leer se entrega a la salida de la Sub VI una cadena vacía (longitud cero) por medio de la función *Empty String Constant*.

## **3.2. Panel de la Bomba**

Después de realizar la comunicación MODBUS se mantiene un constante monitoreo (cada segundo) de las 25 variables descritas en el ANEXO C. Para esto se crea la Sub VI Arranque, quien es encargada de mostrar los diferentes medidores y su ubicación dentro de la unidad de bombeo. Los datos de entrada y salida al Sub VI son:

### **Entrada**

- Instrumentación unidad: hace referencia a los datos de las 25 variables, organizados en un arreglo.
- Unidad seleccionada: teniendo en cuenta que la interfaz se realiza para las 4 unidades existentes en el bombeo, es necesario definir la unidad seleccionada en la aplicación principal para desplegar la pantalla con los valores correctos.

### **Salida**

- Cerrar ventana: representa un botón de tipo booleano incluido en la interfaz gráfica, si es verdadero la ventana se cerrará y enviará esta orden a la salida del Sub VI.
- Gráfica a ver: valor numérico que indica la variable que se desea graficar.

### **3.2.1. Diagrama de bloques Sub VI Arranque**

Teniendo en cuenta que los datos llegan en un arreglo, en la Sub VI los datos son enviados a un *cluster* y haciendo uso de la función *Unbundle* se divide el paquete de datos en sus elementos individuales. Luego, se crea un indicador numérico independiente para cada una de ellos.

Para realizar control visual de cada una de las variables medidas se realiza una comparación con su rango máximo o mínimo permitido según sea el caso, así al sobrepasarlo el

indicador cambiará de color como señal de alarma. Por ejemplo, para la variable de caudal aceite cojinete axial opuesto de la bomba (Ver figura 3.9 (a)) la señal visual de alarma se disparará cuando el valor medido sea menor a 7,20 l/min. Para realizar el cambio de color del indicador se hace uso de un selector y de la propiedad de nodo *Text Corlors*, así cuando la condición de disparo se cumpla se cambiará el indicador a fondo amarillo y letra roja.

Otra opción que tiene esta Sub VI son los controladores de tipo booleano que hacen referencia al gráfico de tendencia de cada variable. Después de ubicarlos en el orden establecido en la tabla incluida en el ANEXO C, se concatenan en un arreglo por medio de la función *Build Array* y luego se interpreta la matriz como el complemento a dos de la representación binaria del número. Para finalizar, se hace uso del nodo de expresión para convertir los números y obtenerlos según el orden establecido (Ver figura 3.9(b)).

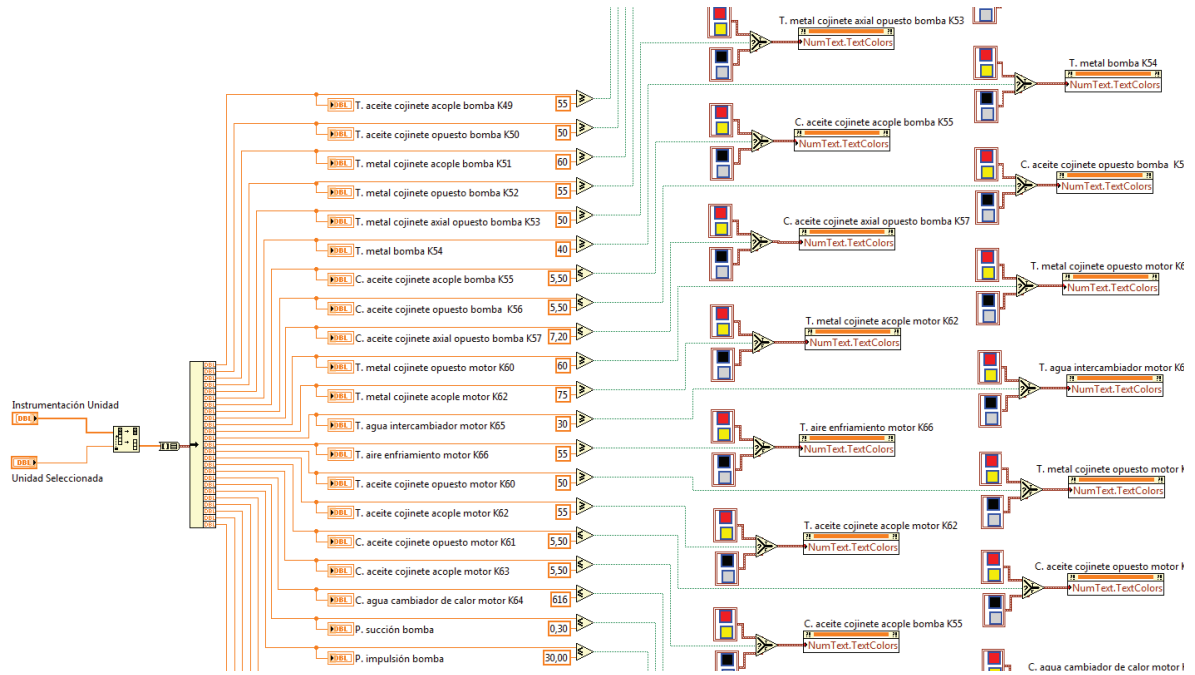
### 3.2.2. Interfaz gráfica Sub VI Arranque

El objetivo principal al momento de realizar la Sub VI es crear una interfaz gráfica agradable y práctica para el operario de la unidad de bombeo, permitiendo así realizar el monitoreo continuo de la instrumentación de forma ágil y clara.

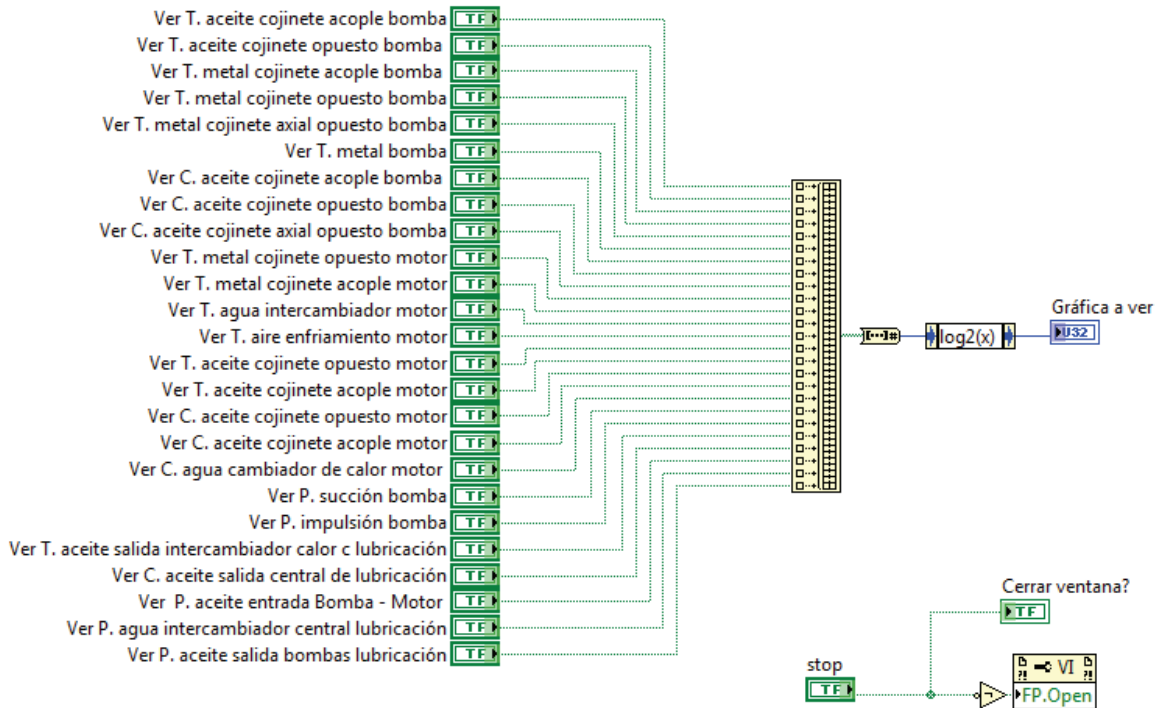
Para lograr dicho objetivo, se incluyen gráficas de la bomba, el intercambiador de calor y la central de lubricación y se ubican cada uno de los medidores en sus respectivos lugares. Teniendo en cuenta que se miden tres (3) variables diferentes, los indicadores numéricos de presión, temperatura y caudal son clasificados por los colores azul, rojo y verde respectivamente, esto con el fin de dar al operario reconocimiento de forma rápida de las variables a monitorear.

Debido a la gran cantidad de medidores a incluir en una sola interfaz y el tamaño de ésta, se vió la necesidad de ocultar las etiquetas de cada indicador y a cambio se hizo uso de la propiedad *Tip strip*, la cual se encarga de activar la visibilidad de la etiqueta solo cuando el puntero del *mouse* se encuentre sobre el indicador. Esta propiedad se activó para cada uno de los medidores y además se incluyeron los controles booleanos utilizados en los gráficos de tendencias de cada variable.

En la parte inferior derecha se tiene el control booleano cerrar ventana, el cual es el encargado de finalizar el proceso de la interfaz y cerrar la ventana desplegada. En la figura 3.10 se puede observar la interfaz gráfica de la Sub VI Arranque.



(a) Indicadores numéricos y disparo de alarma



(b) Controladores booleanos de las gráficas de tendencias

Figura 3.9: Diagrama de bloques Sub VI Arranque

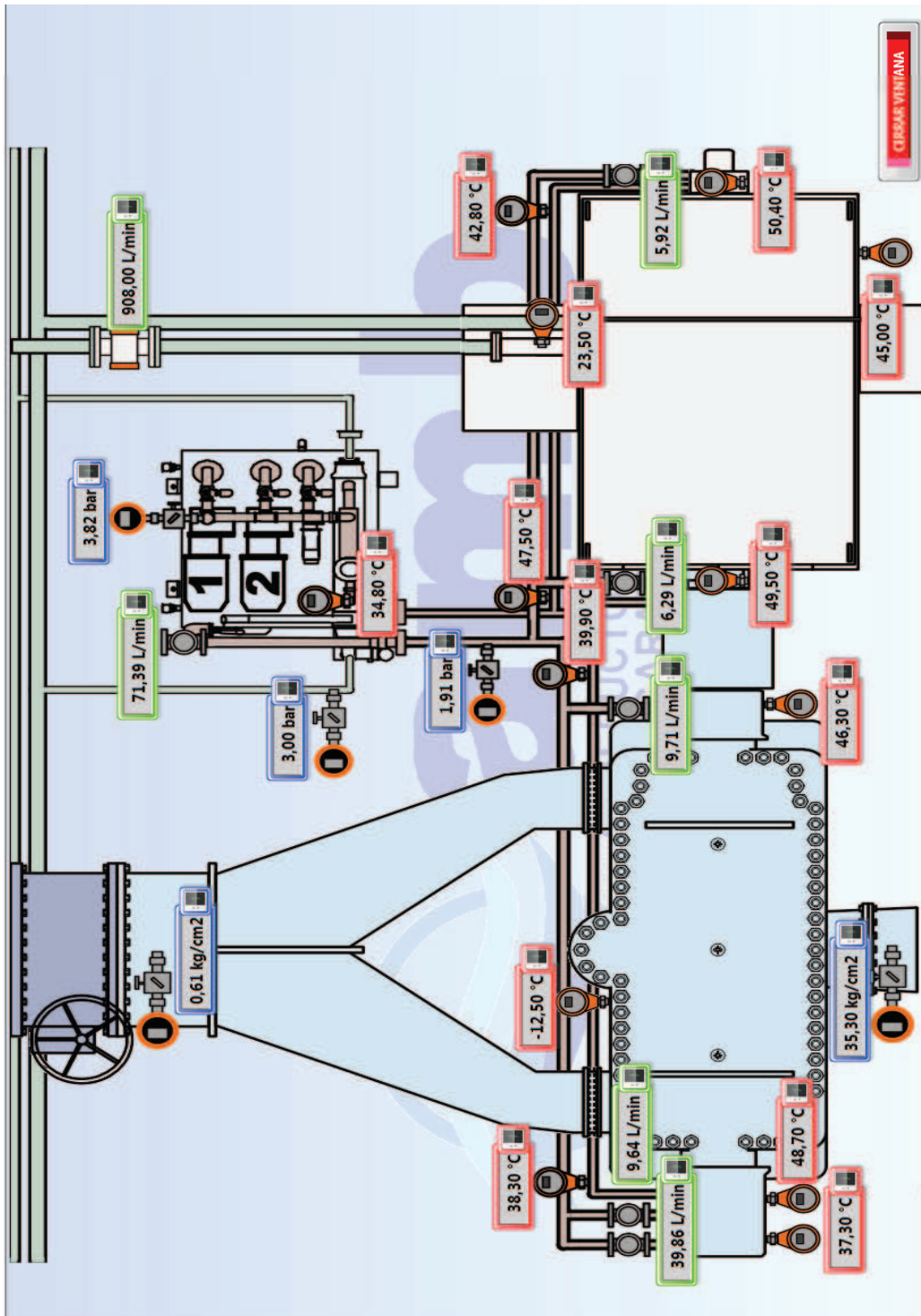


Figura 3.10: Interfaz gráfica Sub VI Arranque

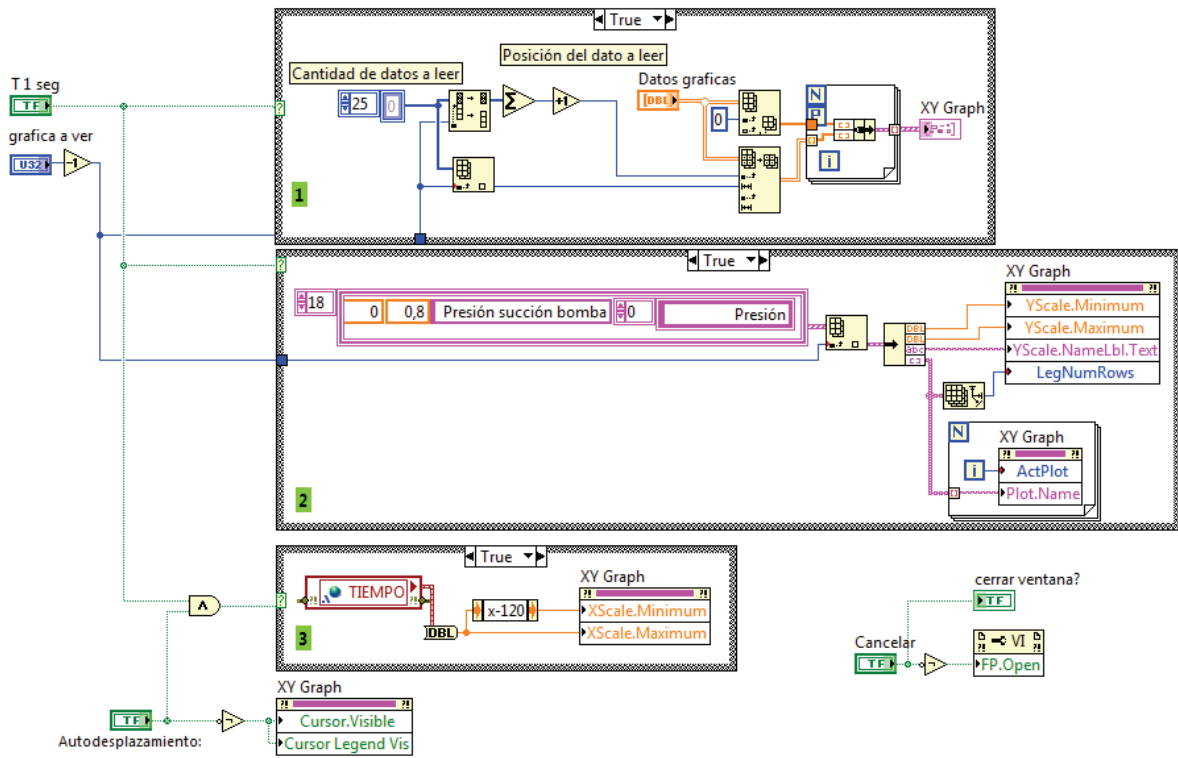
### 3.3. Gráfico de Tendencias

Para realizar el gráfico de tendencias se crean dos (2) Sub VI: *DatosGraf* y *Graf* quienes son los encargados de insertar los datos y crear la gráfica respectivamente. A continuación se realiza una descripción de cada uno de ellos:

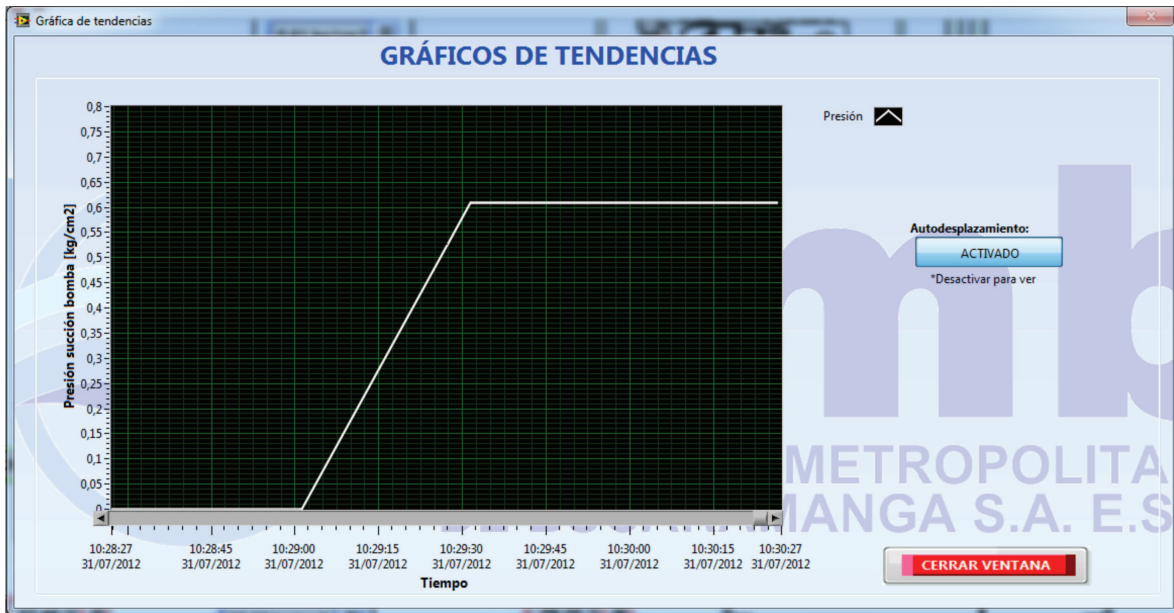
#### 3.3.1. Sub VI Graf

Conformado por tres (3) estructuras *case* descritas a continuación (Ver figura 3.11):

1. Esta estructura es la encargada de extraer el vector de la variable que se desea graficar, para esto se siguen los siguientes pasos:
  - Se utiliza la función *Split 1D Array* para separar un arreglo constante creado anteriormente que hace referencia a la cantidad de datos a leer en dos secciones, la primera inicia en 0 y finaliza en el número asignado a la variable que se desea graficar y la segunda es el restante. Se realiza la suma de los elementos que se encuentran en la primera sección y se le adiciona uno más, esto debido a que las posiciones de los arreglos inicia en cero y la numeración de las variables en uno.
  - Se utiliza la función *Index Array* para regresar el elemento del arreglo especificado en el número de la variable a graficar.
  - Una de las entradas del Sub VI son los datos de la gráfica que vienen desde el Sub VI Datos Graf, de estos datos se debe extraer solo el vector de la variable deseada, para esto se hace uso de la función *Array Subset*, la cual se encarga de regresar la porción del arreglo de los datos de la gráfica que se encuentra en la posición indicada por el primer paso y su longitud se indica en el segundo paso. Además de los datos ingresados se extrae la primera fila que hace referencia a los tiempos.
  - Se ingresan los datos anteriores a una estructura *For Loop*, para ensamblar en un cluster los elementos individuales y enviarlos una gráfica XY.
2. Es la encargada de asignar las escalas y títulos de las gráficas, para esto se realiza lo siguiente:
  - Se crea un arreglo constante con 25 posiciones incluyendo: el el rango de medición, el nombre de la variable y el tipo de medición (temperatura, presión o caudal).
  - Se extrae el elemento del arreglo especificado en la gráfica a mostrar y luego con la función *unbundle* se separa en cada uno de sus elementos.



(a) Diagrama de bloques



(b) Interfaz gráfica

Figura 3.11: Sub VI Graf

- Con ayuda de las propiedades de nodo de la gráfica XY se especifica la escala máxima y mínima y el nombre asignado al eje Y. Además se obtiene el número de elementos con la función *Array Size* para asignar el número de filas en la leyenda del gráfico.
  - Dentro de una estructura *For Loop* se establecen las propiedades de grafico activo y se asigna el nombre del tipo de variable a graficar.
3. Especifica los rangos máximo y mínimo que puede tomar el eje X, estos valores son designados por la variable global tiempo.

Adicionalmente, se crea el autodesplazamiento de la gráfica, esto con el fin de observar los sucesos anteriores, para esto se hace nuevamente uso de las propiedades de nodo de la gráfica XY para hacer visible y mostrar la leyenda del cursor.

### 3.3.2. Sub VI Datos Graf

Es el encargado de la inserción de los datos a las gráficas, cuenta con dos (2) entradas: Datos anteriores y nuevo dato, y una salida: datos actualizados (Ver figura 3.12). En este caso es necesario crear en el proyecto una variable global llamada *tiempo* que se encarga de mostrar los datos de fecha y hora actual. A continuación se realiza una breve descripción de su proceso:

- Se concatenan la variable global con los datos ingresados en la entrada nuevo dato.
- Los datos de la entrada *Datosanteriores* son ingresados a una estructura *For loop*, adicionalmente se halla el número de elementos dentro de este arreglo y se accede al primer elemento del mismo. Luego se resta uno a este elemento y su valor se ingresa a la estructura *For Loop* para indicar el índice de un arreglo dentro de la estructura.
- Dentro de la estructura se rotan los elementos de la entrada *Datosanteriores* en -1 y en el arreglo resultante se sustituye el elemento que se especifica en el proceso anterior por el resultante de la concatenación en el primer paso. El nuevo arreglo con el elemento sustituido representa la salida general del Sub VI.

## 3.4. Aplicación Principal

Es un algoritmo en LabVIEW que reúne todos los programas descritos en las secciones anteriores cumpliendo con el objetivo principal: realizar el monitoreo de la instrumentación

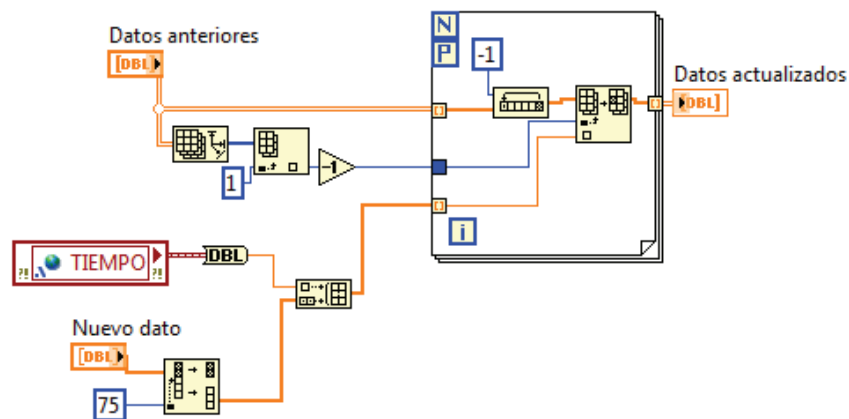


Figura 3.12: Sub VI Datos Graf

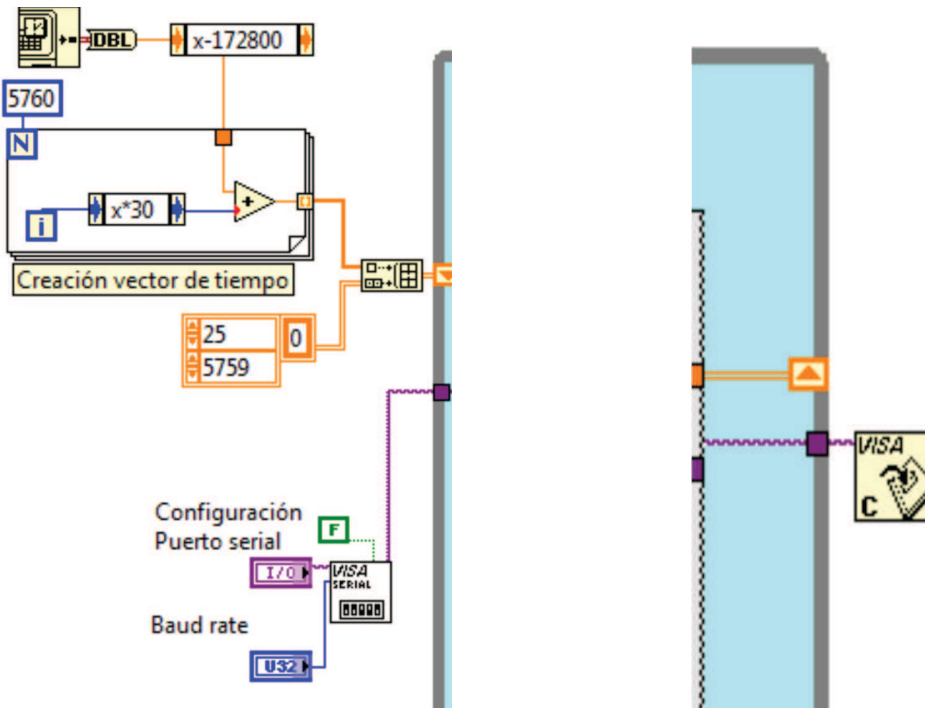
instalada en la unidad de bombeo número 4. Para una mejor descripción, el algoritmo se divide en 3 etapas así:

#### 1. Etapa inicial y final:

Descritas en una sola etapa por su nivel de dependencia. Se encuentran por fuera de la estructura *While Loop* incluida en el algoritmo con el fin de mantener repetitividad. En la parte de la etapa inicial se hace uso de la configuración del puerto serial explicada en la sección 3.1.1.

Como se puede observar en la figura 3.13 (a) en la parte superior se crea un vector de tiempo, encargado de cargar los datos al Sub VI Datos Graf y a su vez llevar los datos al Sub VI Graf. Para crear dicho vector se hace uso de una estructura *For Loop* encargada de repetir el ciclo 5760 veces ( este valor multiplicado por 30 dara el valor en segundos correspondiente a 48 horas de datos). Dentro de esta estructura se suma el resultado de la multiplicación anterior con la resta de 172800 (equivalente a 48 horas) al dato saliente de la función *Get Date/Time in Seconds* encargada de entregar la fecha actual en segundos. Esta suma es concatenada con un arreglo constante de 2 dimensiones, la primera hace referencia a la cantidad de variables a monitorear y la segunda la constante 5759 quien es el valor máximo que toma  $i = N - 1$  y los datos de este arreglo son ingresados al *shift register* de la estructura *While Loop*.

En la etapa final del algoritmo (Ver figura 3.13 (b)) se observa el bloque *VISA Close*,



(a) Etapa inicial

(b) Etapa final

Figura 3.13: Etapas inicial y final de la aplicación principal

se encarga de cerrar la sesión iniciada por el dispositivo indicado en su entrada *VISA resource name*. El bloque está descrito en la sección 3.1.1.

## 2. Ciclo principal:

Se encuentra dentro de la estructura *While Loop* y entrega los datos a la estructura *Stacked Sequence* encargada del procesamiento de tareas. A continuación se realiza una descripción de las partes que conforman el ciclo (Ver figura 3.14).

En la parte superior se puede observar la condición creada para la lectura de los datos en la gráfica. Para su funcionamiento se hace nuevamente uso de la función *Get Date/Time In Seconds*, la cual como se mencionó, es la encargada de obtener la fecha actual en segundos. Luego, se resta de esta el valor almacenado en la variable global *estampa graf* quien tiene el almacenado el dato de la última lectura realizada. Si la diferencia es mayor a uno (1), el selector tomará la opción verdadera y enviará al indicador el tiempo actual. Si la condición no se cumple se enviara al indicador el valor cargado en la variable local

(última lectura realizada). Este proceso se realiza continuamente garantizando que la consulta de los datos necesarios para cargar las gráficas solo se haga cada un (1) segundo.

En la parte media e inferior se encuentra el selector de unidades, este es el encargado de indicar cuál unidad de las cuatro (4) que se encuentran en el panel frontal fue seleccionada. Para su funcionamiento se hace uso de cuatro (4) controladores booleanos, los cuales a través de una lógica de encendido dan conocimiento a los indicadores booleanos designados para las tubos de la unidad seleccionada. Estos indicadores son los encargados de hacer una representación visual del flujo del agua en la unidad.

Con ayuda de la función *Build Array* se concatenan los datos de los indicadores, incluyendo inicialmente una constante con el fin de iniciar el conteo en uno. Luego se convierte el arreglo en número; teniendo en cuenta que el número viene en complemento a dos se hace uso de una expresión de nodo para su respectiva conversión, este valor es ingresado a la estructura *case* por medio de un selector, el cual es utilizado para tener presente que unidad se ha seleccionado.

### 3. Procesamiento de tareas:

Esta etapa es la encargada de realizar todas las tareas programadas. Para su funcionamiento se hace uso de la estructura *Stacked Sequence* con tres (3) *frames* descritos a continuación:

- **Frame 0:** Designado para leer el PLC1, que es el encargado de manejar las unidades 1 y 2 de bombeo (Ver figura 3.15). Para su funcionamiento se hace uso de la estructura *case*, la cual en su caso verdadero contiene el Sub VI Trama MODBUS descrito en la sección 3.1.2. Los datos a ingresar son la configuración del puerto serial y las constantes descritas a continuación:

- Dirección de esclavo: 4
- Función: 3
- Dirección inicio: 150
- Número de bobinas: 50

Teniendo en cuenta que en el PLC solo se linealizan los datos como se indicó en

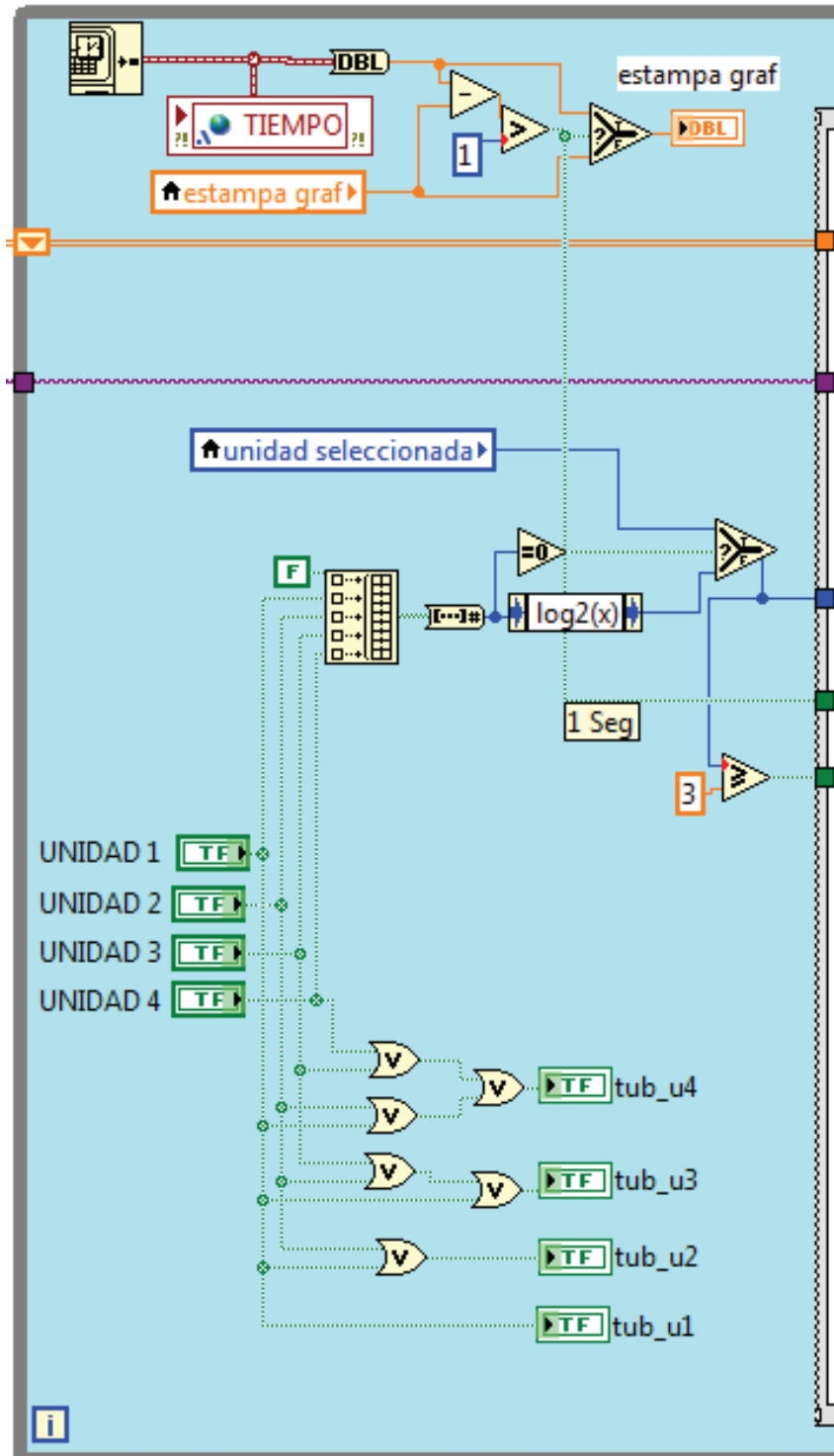


Figura 3.14: Ciclo principal

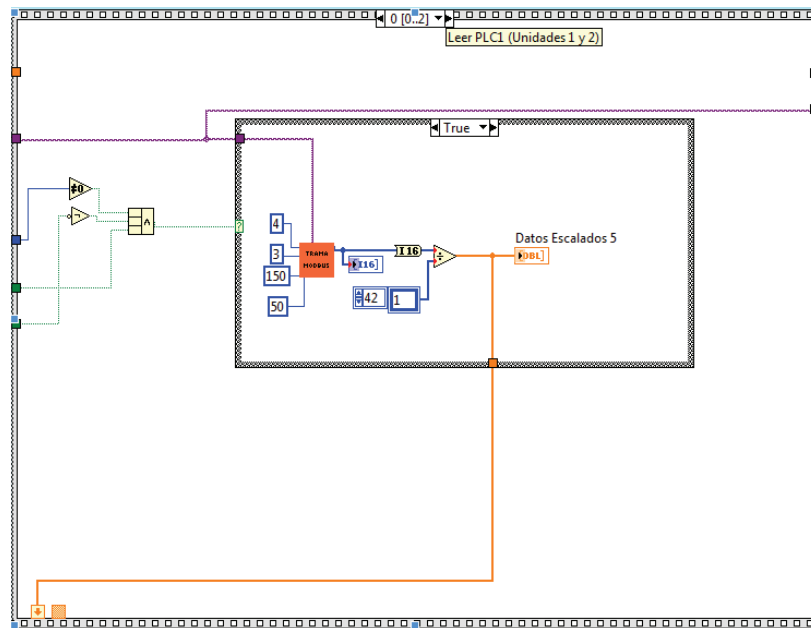


Figura 3.15: Procesamiento de tareas - frame 0

la sección 2.5, es necesario realizar su escalamiento. Para esto se crea un arreglo constante con 50 datos y su correspondiente factor; luego se dividen los datos salientes del Sub VI entre el arreglo creado, siendo el resultado los datos reales que se incluyen a través de un canal creado entre los tres *frames* en el panel de la bomba y el gráfico de tendencias.

- **Frame 1:**

Su función es realizar la lectura del PLC2 quien tiene a su cargo las unidades 3 y 4 de bombeo. Este es el PLC utilizado actualmente debido a que como se mencionó al inicio del capítulo solo la unidad 4 se encuentra con la debida instalación para el monitoreo de sus medidores.

Dentro del *frame* se encuentra una estructura *case* cuyo funcionamiento se describió en el ítem anterior. Cabe resaltar que la comunicación con el PLC2 se hace por la dirección 5, los datos finales son enviados por un nuevo canal a los demás *frames* y el restante es idéntico al *frame* cero.

- **Frame 2:**

Es el encargado de realizar el registro gráfico y está conformado por tres estructu-

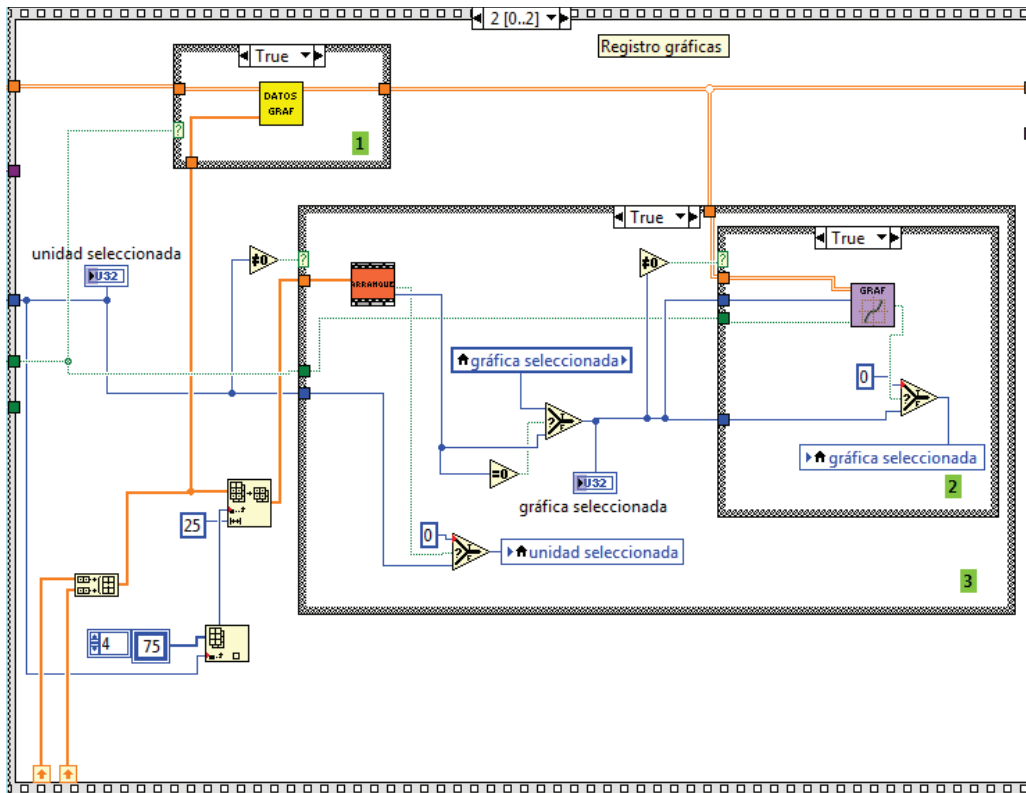


Figura 3.16: Procesamiento de tareas - frame 2

ras *case* principales distribuidas así (Ver figura 3.16):

- a) *Case 1*: ubicado en la parte superior izquierda, se encarga de cargar los siguientes datos al Sub VI Datos Graf:
  - Vector de tiempo creado en la etapa inicial de la aplicación principal (Descrito en el inicio de esta sección).
  - Datos de los medidores: para obtenerlos se concatenan los datos que vienen de los canales creados en los *frames* 0 y 1.
  - Condicional para realizar lectura cada segundo, creado en ciclo principal.
- b) *Case 2*: Su función es cargar los datos al Sub VI Graf quien realiza los gráficos de tendencias de cada medidor. Los datos a ingresar a este *case* son:
  - Datos a cargar en la gráfica provenientes del Sub VI Datos Graf ubicado en el *case 1*.

- Gráfica seleccionada. Este número es asignado a cada una de las 25 variables a graficar, para esto se crea una variable local del indicador gráfica seleccionada. Ésta, con ayuda de un selector, cargará en la variable el último valor de la gráfica seleccionada, pero si el número proveniente es igual a cero se cargarán estos nuevos datos a la salida del selector. La finalidad del uso del selector y la variable local es recordar cuál gráfica ha sido seleccionada para la permanente carga de datos.
- Condicionalidad de tiempo para el Sub VI indicando que ha transcurrido un segundo.
- Condicionalidad para el *case* indicando que la gráfica seleccionada es diferente de cero.

Adicionalmente se crea dentro del *case* un nuevo selector, éste con el fin de indicar si la ventana desplegada por el Sub VI se ha decidido cerrar. Si esto es cierto, se cargará en la variable local de la unidad seleccionada un cero, de lo contrario permanecerá el valor actual del selector mencionado anteriormente.

- c) *Case 3*: Es el encargado de cargar los datos al Sub VI Arranque, el cual despliega la ventana con los medidores y su respectiva ubicación en la unidad. Para esto, inicialmente se crea un arreglo constante que contiene para cada unidad su ubicación en el número total de bobinas a leer. Luego, con ayuda de la función *Build Array* se extrae el valor correspondientes a la unidad seleccionada. Seguido se hace uso de la función *Array subset* para extraer de los datos concatenados, el que inicia en la ubicación dada por el valor obtenido con la función *Build Array* y longitud 25, este valor es el ingresado directamente al Sub VI cargando los datos reales de los medidores.

La condición utilizada para la activación de este *case* hace referencia a la unidad seleccionada, si el valor entregado es diferente de cero el *case* iniciará trabajos programados. Adicionalmente en el interior se hace uso de la variable local del indicador ubicado en la unidad seleccionada, su fin es recordar que unidad ha sido seleccionada, pero si la ventana de la Sub VI ha sido cerrada se realizará notificación a un selector que cargará en la variable global un cero y esperará a que una nueva unidad sea seleccionada.

### 3.5. Panel Frontal

Se llama Panel Frontal a la interfaz gráfica creada para el manejo del algoritmo Aplicación Principal descrito en la sección anterior. Como se observa en la figura 3.17, el panel contiene en la parte superior izquierda las opciones de configuración del puerto descritas en la subsección 3.1.1, el restante del panel hace referencia a las 4 unidades de bombeo en donde al dar un click sobre cualquiera de ellas se desplegará una ventana que contiene el panel de la bomba descrito en la sección 3.2.

Al momento de encender alguna de las 4 unidades, ésta cambiará de color y adicionalmente encenderá los tubos (de color verde) por los cuales fluye agua en ese instante. El fin de esta iluminación es crear una interfaz más real y agradable para los operarios. A manera de ejemplo, se activan las unidades 1 y 4 en la figura 3.18.

En la parte derecha del panel se encuentra el gráfico de la central de refrigeración. Aunque en este proyecto no está contemplada la instrumentación para dicha central el gráfico es incluido en el panel frontal para que sea utilizada en la interacción con el sistema COMBBOS.

El botón *stop* se encuentra en la parte inferior derecha del panel y es el único que permite terminar la conexión debido a que las opciones de cerrar ventana han sido deshabilitadas por precaución.

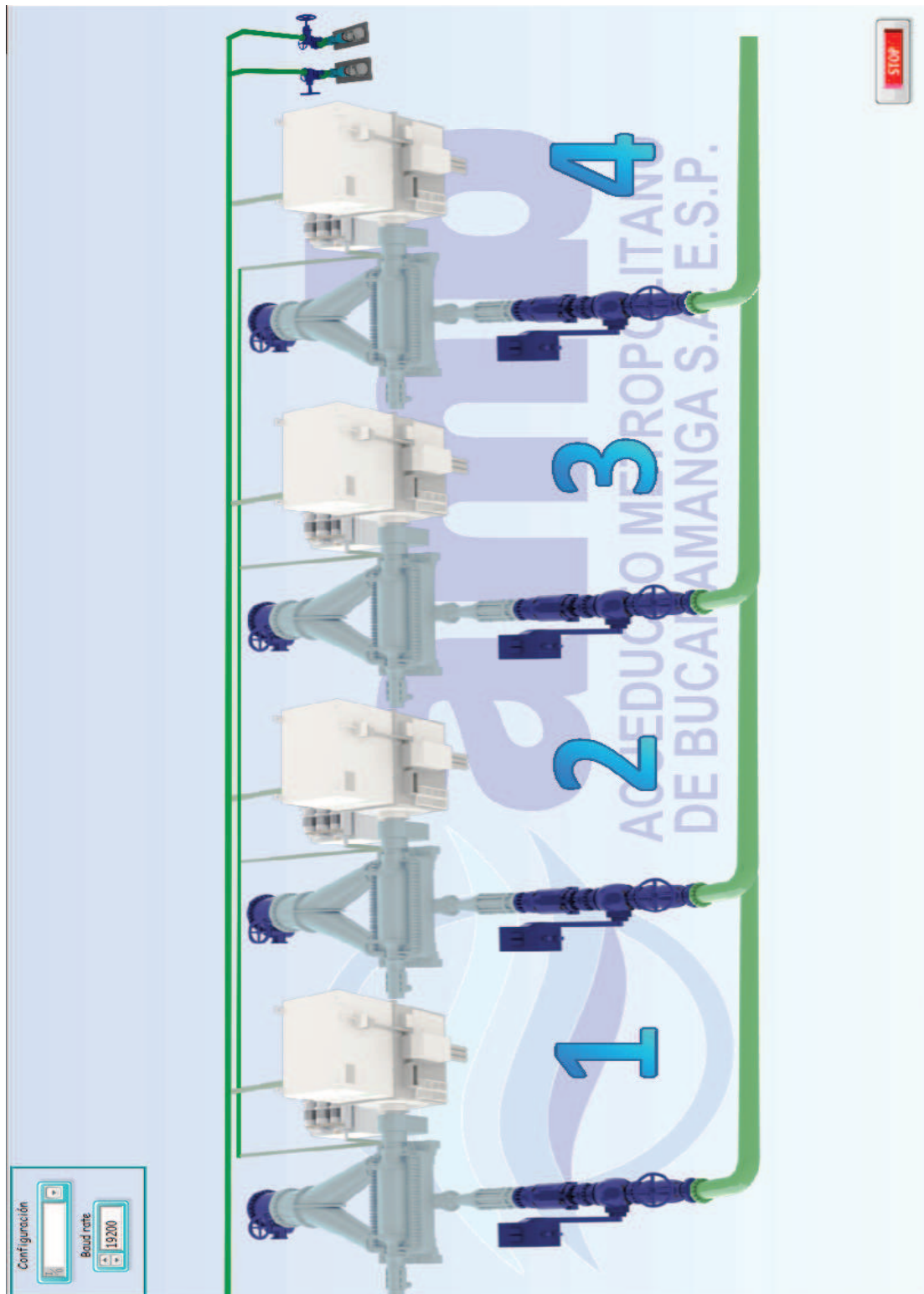
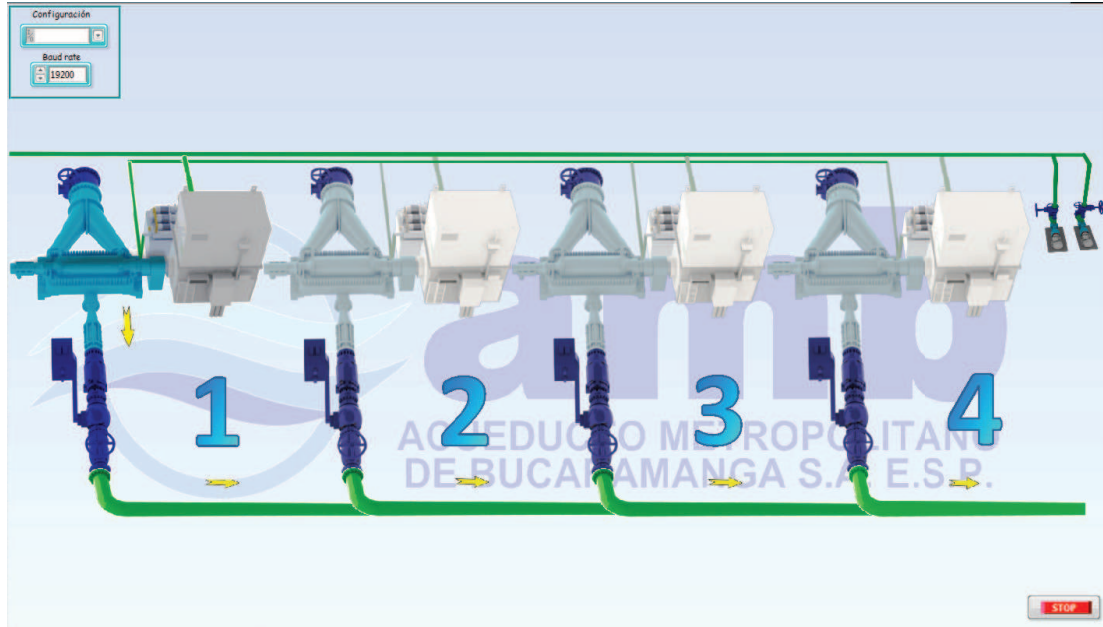
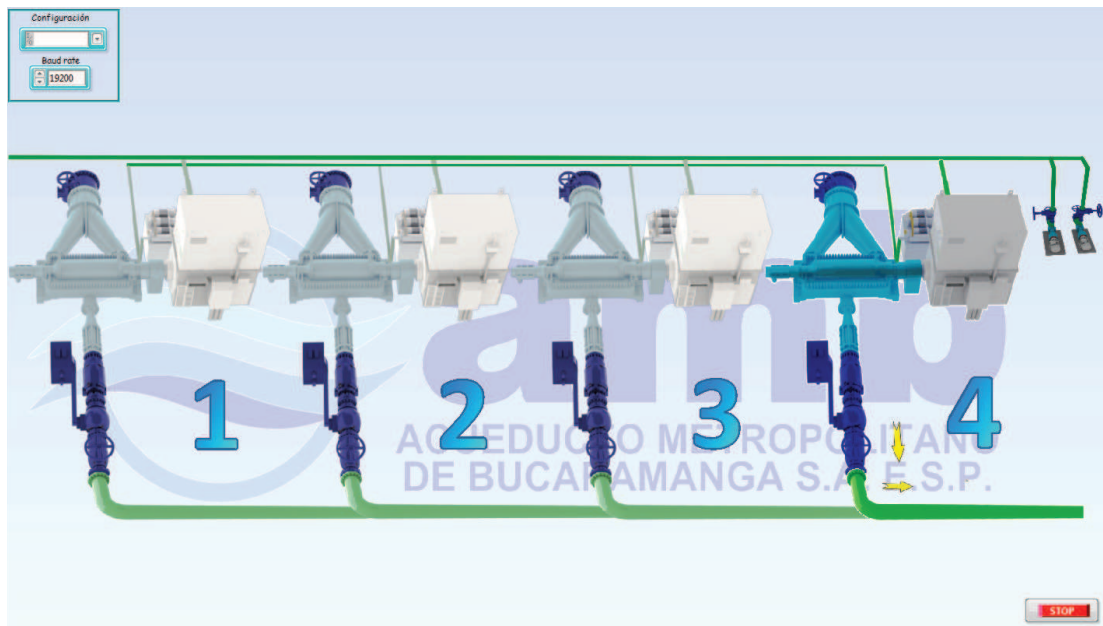


Figura 3.17: Panel Frontal



(a) Unidad 1 encendida



(b) Unidad 4 encendida

Figura 3.18: Panel Frontal - Unidades de bombeo encendidas

## Capítulo 4

# Pruebas y Resultados Obtenidos

Para lograr un óptimo funcionamiento y desempeño del sistema implementado, se crean 3 etapas de pruebas en el transcurso de su desarrollo. De esta forma se detectan errores y falencias, los cuales son corregidos satisfactoriamente. Gracias a estas pruebas se garantiza veracidad en la medición de las variables entregando parámetros precisos, lógicos, ágiles y confiables siendo el punto de partida para el arranque de la estación de bombeo. A continuación se realiza una descripción de las etapas:

- **Etapa 1:** Pruebas de la instrumentación instalada.

Inicialmente cada medidor antiguo es retirado y reemplazado por uno nuevo sin ningún contratiempo. Luego se cablean directamente a los módulos RAD-IN-4A-I tal como se mencionó en la sección 2.4 realizando pruebas de alimentación, encendido de los instrumentos y salida de datos en mA.

En el caso de los cojinetes del motor se instalaron dos instrumentos de diferente longitud en los dos orificios de un mismo cojinete, esto con el fin de descartar que la longitud influyera en la medida. La prueba realizada inicia con el arranque del motor, se tomaron lectura de los dos medidores en cierto tiempo y al momento de apagado. Como conclusión se obtuvo que ambos medidores marcaban igual pero el de longitud corta presentaba un leve retardo de respuesta. Se instaló el medidor de corta longitud debido a que el retardo no era significativo (aproximadamente 10 s) y no comprometía el funcionamiento o el sistema de control.

- **Etapa 2:** Pruebas de comunicación instrumentación - PLC

Luego de identificar los instrumentos en los 7 módulos y configurar los radios (receptor - transmisor) se realizan pruebas de comunicación y verificación de los datos en la sala de control. Inicialmente se revisa medidor por medidor que los valores recibidos en la sala de control correspondan al mostrado en el display de cada uno de ellos y no existan señales cruzadas, luego se realiza una comparación entre los valores mostrados actualmente y la planilla diligenciada en días anteriores con los valores que presentaban los medidores antiguos comprobando así su similitud y descartando cualquier falla.

- **Etapa 3:** Pruebas comunicación PLC - LabVIEW.

Confirmando que las señales presentes en el PLC corresponden a cada medidor debidamente identificado, se procede a realizar pruebas de comunicación y configuración de la interfaz creada en LabVIEW. Para ésto se comprueba por medio del CRC que la comunicación esté correcta y luego se despliega la ventana del panel de la bomba que incluye cada instrumento con su respectiva ubicación y se realiza una comparación medidor por medidor entre los datos registrados en la interfaz y los almacenados en la memoria del PLC después de realizar la linealización, ésto con el fin de garantizar que los datos correspondan a valores reales.

Como resultado final se obtienen datos precisos y confiables para poder realizar el arranque de la unidad. Adicionalmente se reduce el tiempo empleado por el operario en la toma de datos y diligenciamiento de los formatos necesarios previos al encendido de la estación.

Finalmente, se logra la interacción de todo el proceso realizado en este proyecto de grado con el sistema COMBBOS desarrollado por el **amb** y encargado del control y monitoreo de la estación de bombeo Bosconia, la interfaz gráfica desarrollada es incluida en una de las pestañas que conforman dicho sistema como se puede observar en la figura 4.1.

Al seleccionar la pestaña bombeo se despliega la ventana creada en el proyecto con el nombre de panel frontal adicionando un indicador con la medida del tanque de almacenamiento de la planta como se puede observar en la figura 4.2. De esta forma se tiene un mejor control del sistema e información para el operario.

Como se mencionó en el capítulo anterior, al dar click sobre cualquier unidad se desplegará una ventana que para el caso del proyecto se llamo panel bomba, y fue incluida en el sistema COMBBOS con unas modificaciones como se puede observar en la figura 4.3. En ella se incluye información sobre las variables eléctricas de la unidad, variables que impiden su arranque y actuadores de salida, además se incluye el control de encendido de la unidad ingresando previamente a un usuario designado. Adicionalmente, el panel de la bomba continua con la opción de graficado de tendencias que se activara cada vez que se oprima la opción de gráfica ubicado en el display de cada medidor.

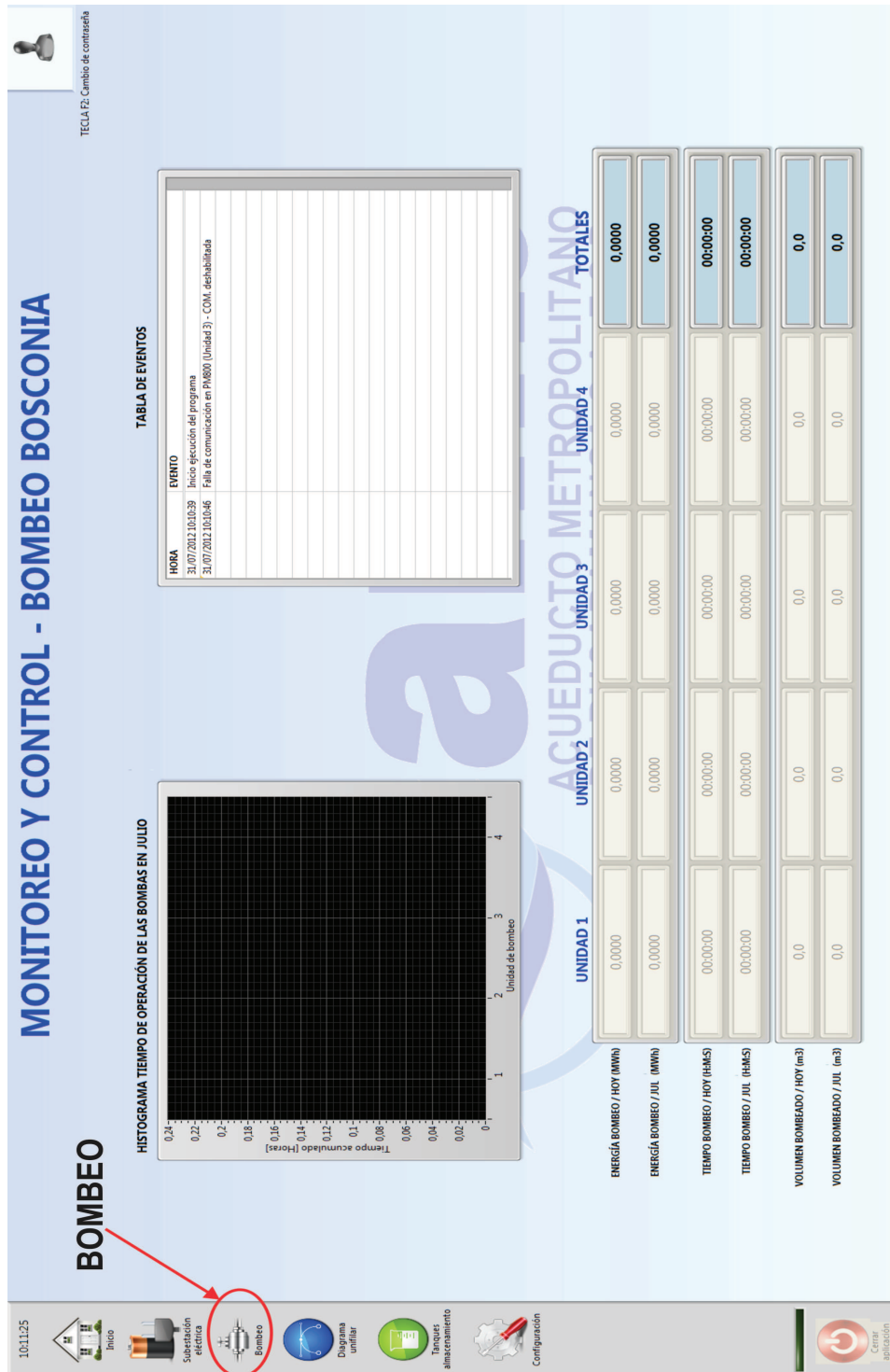


Figura 4.1: Panel Inicio - COMBOS



Figura 4.2: Panel bombeo-COMBBOS

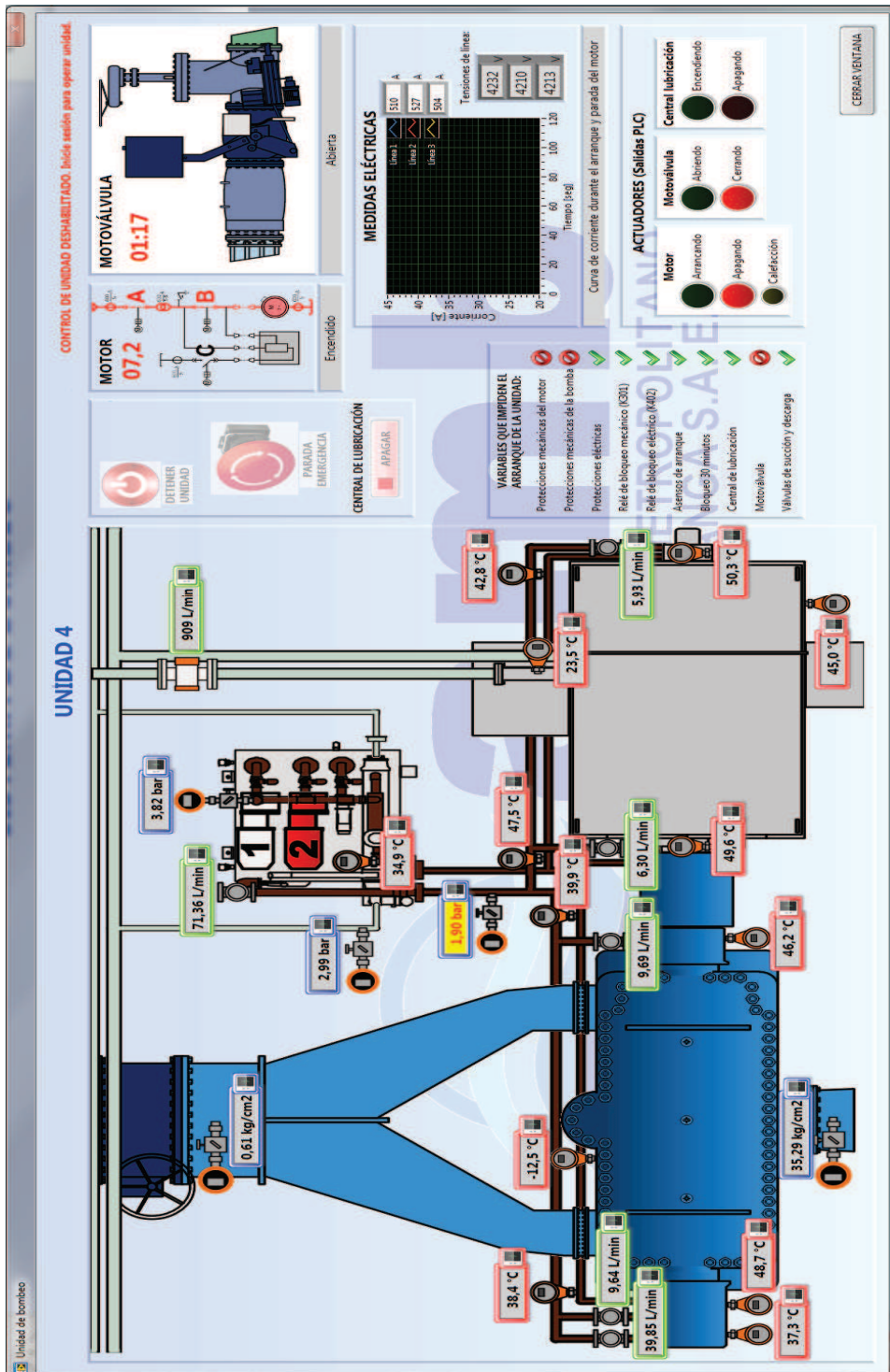


Figura 4.3: Panel unidad-COMBOS

# Observaciones y Recomendaciones

- Como se mencionó en el transcurso de este libro, la estación de Bosconia cuenta con 4 unidades de bombeo y su situación actual es: la unidad 4 cuenta con la instrumentación nueva instalada y los datos de sus variables medidos son monitoreados desde la interfaz gráfica en LabVIEW en el cuarto de control. En la unidad 2 la etapa de instalación mecánica de la instrumentación adquirida está finalizada; de ésta unidad se encuentra pendiente la adquisición de los radios de comunicación, 6 módulos, tablero e instalación eléctrica de los instrumentos. De las unidades 1 y 3 no hay adelanto respecto a la implementación del nuevo sistema de monitoreo de variables debido al proceso que debe emprender la empresa para la compra de los instrumentos. Cabe resaltar que la aplicación LabVIEW se encuentra configurada para las 4 unidades al igual que los PLC. Teniendo en cuenta este adelanto el proceso para la implementación de los nuevos sistemas tendran un tiempo de duración mas corto siendo ésto una ventaja para la empresa.
- El desarrollo de la comunicación en protocolo MODBUSde LabVIEW fue basado en las referencias [12, 13]. Los Sub VI creados para la configuración del puerto, trama de petición y trama de respuesta descritos en las subsecciones 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3 son basados en los presentados en las tesis mencionadas anteriormente. No obstante, para la realización del proyecto se realizó un estudio de cada Sub VI con el fin de cumplir con los requerimientos necesarios para este proyecto. En éste proyecto se buscó integrar la aplicación realizada [12] para el arranque de la subestación con el monitoreo de la instrumentación instalada.
- En el caso de los transmisores de temperatura adquiridos para medir la variable en el metal de la bomba existió la necesidad de solicitar un reajuste de la orden de pedido e incluir un termopozo para cada uno. Esto debido a que en el momento de realizar la medición del instrumento antiguo no se presentaban rastros de líquido en su sensor, sin

embargo, al ingresar el nuevo se encontró que el ambiente era bastante húmedo así que por prevención se solicitó la nueva pieza para el medidor y se realizó el respectivo cambio en las tablas de órdenes con el fin de evitar incurrencias en lo mismo al momento de adquirir la instrumentación para las dos unidades restantes.

- En el Apéndice B se incluyen los planos eléctricos y de comunicación de los sistemas implementados. Sin embargo, se hace entrega de los planos en formato A2 siguiendo con el estándar al encargado de la estación de bombeo Bosconia. En el caso P&ID por recomendaciones del jefe de planta se creará uno general al finalizar el proceso de implementación de la instrumentación en las cuatro (4) unidades.
  
- Actualmente la variable temperatura metal de la bomba no se encuentra medida, esto debido a la demora en la entrega del termopozo faltante para la respectiva instalación mecánica del medidor.
  
- Debido a inconvenientes presentados con las conexiones de tierra en los caudalímetros ubicados en el cojinete de acople de la bomba y cojinete de acople de motor y luego de seguir con el protocolo de pruebas propuesto por el proveedor, la solución más eficiente para un óptimo funcionamiento del medidor implicó el cambio de tipo de conexión pasando de una conexión 4-20 mA normal a una conexión de tipo efecto hall alimentando los instrumentos independientemente.
  
- Durante el transcurso del proyecto se brindó asesoría técnica en el proceso de selección de los instrumentos, montaje mecánico y eléctrico y sus pruebas respectivas. En paralelo con estas actividades se desarrollaron las rutinas LabVIEW necesarias para la adquisición de las señales y posterior monitoreo de los instrumentos.

# Conclusiones

- El estudio realizado del sistema de bombeo Bosconia del **amb** permitió adquirir conocimientos acerca del funcionamiento de las partes eléctricas y mecánicas que lo componen. Además se conoció el proceso del bombeo desde el momento de succión del tanque hasta la impulsión a la tubería y la importancia de la medición de las variables descritas en el Apéndice C, las cuales en cumplimiento de su rango de medición permiten dar inicio al proceso de arranque de la estación. Adicionalmente se adquirió un breve conocimiento de la subestación eléctrica con la que cuenta la estación de Bombeo. Se adquiere conocimiento práctico de actividades mecánicas tales como: medición, tuberías, accesorios y otros utilizados para realizar el listado de los instrumentos necesarios y sus características principales, datos que debían ser incluidos en el folio del proceso de licitación.
- Se actualizaron los gráficos representativos de la unidad de bombeo al igual que el procedimiento de operación manual del sistema de acuerdo a los cambios realizados con la instalación de la instrumentación nueva, al igual que la tabla de relación de los equipos de medición de la unidad de bombeo. La finalidad de estos cambios se encamina en la actualización del manual de descripción del sistema de bombeo y procedimiento de operación del mismo al finalizar todo el proceso de mejoras de la estación, permitiendo a los operarios acceder de forma clara a la información modificada.
- Se realizó el estudio completo de las hojas de datos de los medidores e indicadores disponibles en el mercado para las variables a medir, luego se centró en el estudio de los medidores suministrados por la empresa KOBOLD para realizar el proceso de conexión y configuración, haciendo uso y reforzando el conocimiento adquirido en la materia Instrumentación Electrónica y obteniendo así una visión real de lo aprendido.
- La configuración del PLC no se encontraba propuesta en el plan inicial, sin embargo se realizó su configuración para así llevar un proceso completo de comunicación para su

fácil interacción con el sistema COMBBOS.

- Para la comunicación entre la interfaz gráfica, el PLC y el módulo inalámbrico ubicado en el tablero de control, se hizo uso del protocolo MODBUS designando como maestro a la interfaz creada en LabVIEW y como esclavos a los demás dispositivos.
- La comunicación MODBUS programada en LabVIEW se basa en los trabajos de grado indicados en la sección anterior, permitiendo adquirir un punto inicial para realizar dicha comunicación cumpliendo con los requerimientos del proyecto.
- Se crea una interfaz gráfica para el panel de la bomba utilizando una clasificación de colores azul, rojo y verde para las variables de presión, temperatura y caudal a medir respectivamente, esto permite al operario un reconocimiento ágil de la variable que se desea consultar. Adicionalmente, se activa la función en todos los indicadores que permite mostrar el nombre de la variable que se desea medir colocando el cursor sobre él, ayudando a ahorrar espacio en la interfaz y creando una visión agradable de la misma.
- Se crean gráficos de tendencias de todas las variables, permitiendo tener conocimiento de los cambios realizados desde el inicio de la conexión. Esta opción se activa cada vez que se selecciona el botón ubicado al lado de cada indicador en el panel de la bomba.
- Con la interfaz creada se realiza la completa interacción con el sistema COMBBOS, el cual se encarga del monitoreo y control del sistema actual. Se incluyó en el monitoreo de los instrumentos de la unidad 4 y las tres interfaces creadas cumpliendo así con el objetivo principal planteado al inicio del proyecto.
- El progreso de este proyecto de grado permitió a la autora adquirir conocimiento en el ámbito laboral, incluyendo aspectos técnicos, lo cual constituyó una excelente experiencia en una empresa tan importante como lo es el **amb**. Para la autora, es de especial satisfacción la inclusión de la aplicación desarrollada y el montaje realizado en el transcurso del proyecto, en el sistema que funciona actualmente en la estación de bombeo Bosconia.

# Bibliografía


- [1] amb S.A. ESP, *Descripción del sistema de bombeo Bosconia*, 1st ed. Gerencia de operaciones, Coordinación eléctrica y electrónica, 2009.
- [2] amb S.A. ESP, *Procedimientos de operación del sistema de bombeo Bosconia*, 1st ed. Gerencia de operaciones, Coordinación eléctrica y electrónica, 2009.
- [3] KOBOLD, *Pressure Transmitter, PAS*. PDF, 2011.
- [4] KOBOLD, *Resistance Thermometers Ignition Protection Exd*. PDF, 2011.
- [5] KOBOLD, *Gear Wheel Flowmeter for viscous liquids, DOM*. PDF, 2011.
- [6] KOBOLD, *Magnetic Inductive Flowmeter for conductive fluids, DMH*. PDF, 2011.
- [7] P. CONTACT, *Instrucción de montaje para el instalador eléctrico orden número 2867872 RAD-ISM-2400-DATA-BD-BUS*, 01st ed. PDF.
- [8] P. CONTACT, *User manual, Wireless transmission system for serial interfaces and I/O signals*, 01st ed. PDF.
- [9] UNITRONICS, *Technical specifications Models V570-57-C30B*. PDF.
- [10] UNITRONICS, *Visilogic, Software Manual Ladder, v230-21-g23* ed. PDF.
- [11] N. INSTRUMENTS, *LabVIEW User Manual*, april ed. PDF, 2003.
- [12] W. Reyes and S. Navarro, “Desarrollo e implementación de una aplicación en LabVIEW para el monitoreo de ls parámetros eléctricos y mecánicos y control de los equipos de corte de la subestación Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga amb S.A., Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica),” Bucaramanga, 2007.
- [13] S. Navarro and P. Ardila, “MODBUS. Monitoreo de la red empleando LabVIEW, Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica),” Bucaramanga, 2005.
- [14] M. INC, *Modbus application protocol specification*, v 1.1b ed. MODICON, PDF.

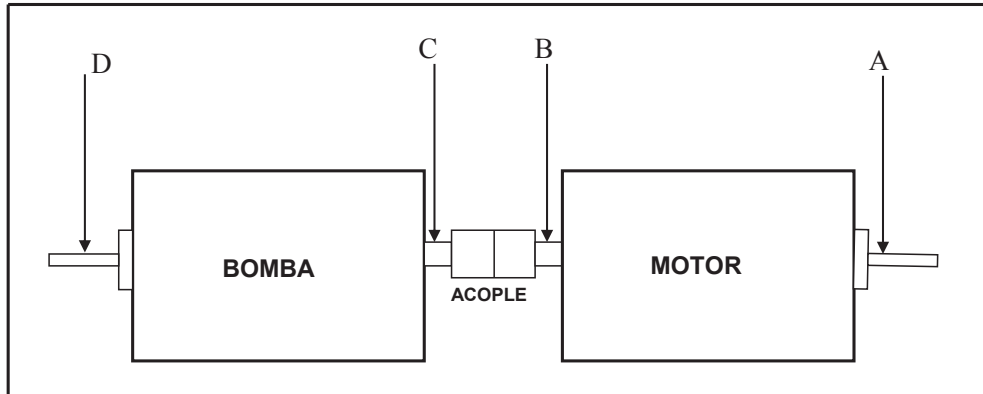
## Apéndice A

# Formatos Bombeo Bosconia





Pag 1 de 1	<b>REGISTRO DE VIBRACIONES</b>	 <b>AMB</b> ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUENAGRAMA S.A.S.E.S.P.
F EM 706-010		
Rev. 1		
<b>DIVISIÓN ELECTROMECÁNICA</b>		



UNIDAD No. :

ELEMENTO DE OBSERVACIÓN		FECHA DE LECTURA:			
<b>A</b>	HORIZ (0 Grados)				
	VERT (90 Grados)				
	AXIAL				
<b>B</b>	HORIZ (0 Grados)				
	VERT (90 Grados)				
	AXIAL				
<b>C</b>	HORIZ (0 Grados)				
	VERT (90 Grados)				
	AXIAL				
<b>D</b>	HORIZ (0 Grados)				
	VERT (90 Grados)				
	AXIAL				

<b>ESCALA</b> (2-20-200)					
<b>RANGO FILTRO</b>	TOTAL	1 X R.P.M	2 X R.P.M	TOTAL	1 X R.P.M
<b>MODO</b>	VELOCIDAD mm/seg			DESPLAZAMIENTO mm/seg	

OPERADOR: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

<b>OBSERVACIONES:</b>

DIVISION ELECTROMECANICA

DÍAS	UNIDAD No.1						UNIDAD No.2						UNIDAD No.3						UNIDAD No.4						
	MANANA		TARDE		NOCHE		MANANA		TARDE		NOCHE		MANANA		TARDE		NOCHE		MANANA		TARDE		NOCHE		
	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									
23																									
24																									
25																									
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									
31																									

OBSERVACIONES:

Pag. 1 de 1 F ME 706-012 Rev. 1	<b>CONTROL DE AGUA BOMBADA BOSCONIA (m3)</b>	
COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO		

AÑO \_\_\_\_\_

DÍA	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
<b>TOTAL</b>												

TOTAL DEL AÑO \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

Pag. 1 de 1	
F IM 706-015	
Rev. 0	CONTROL HORAS DE BOMBEO
DIVISION ELECTROMECANICA	

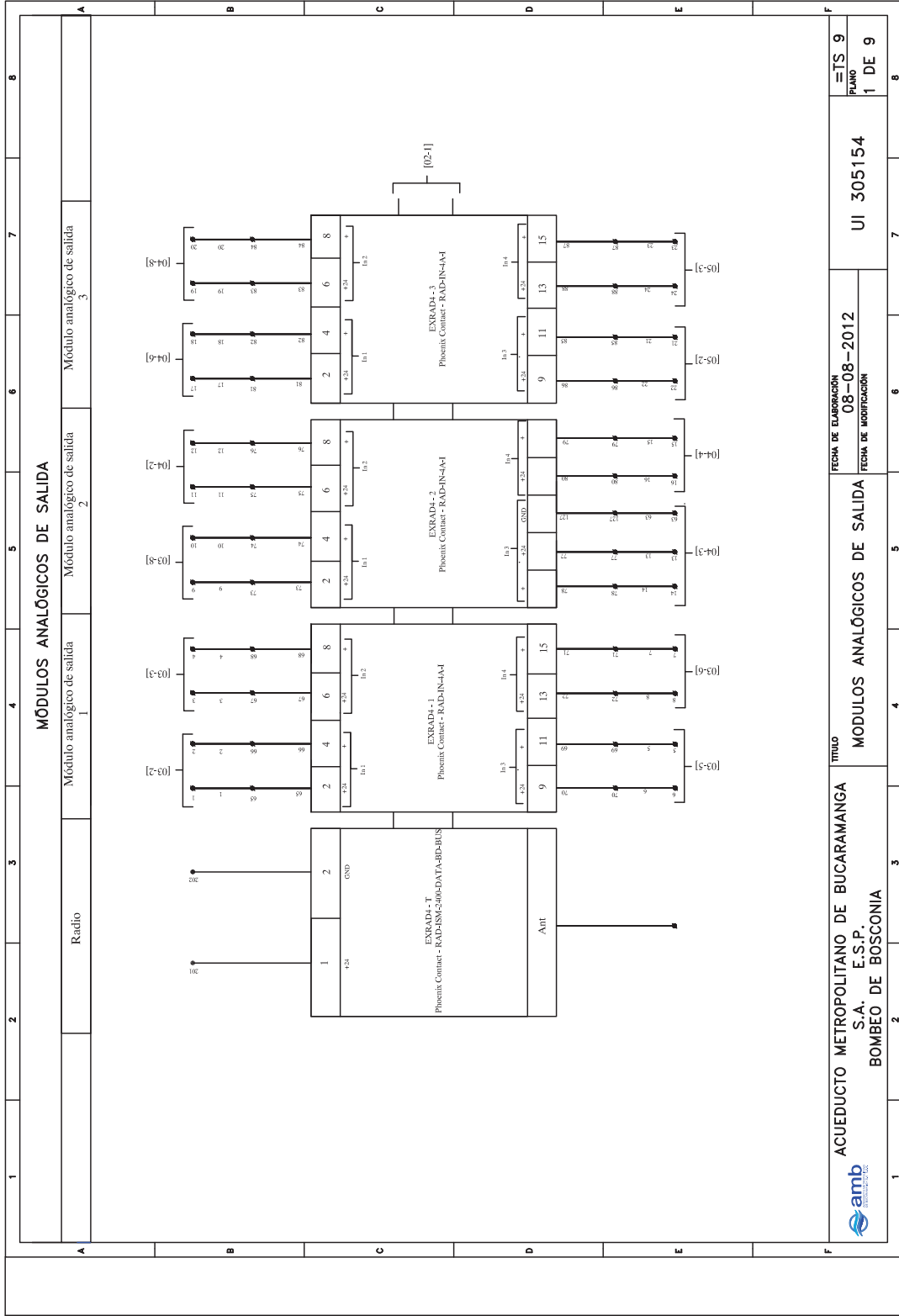
UNIDAD No. \_\_\_\_\_ AÑO: \_\_\_\_\_

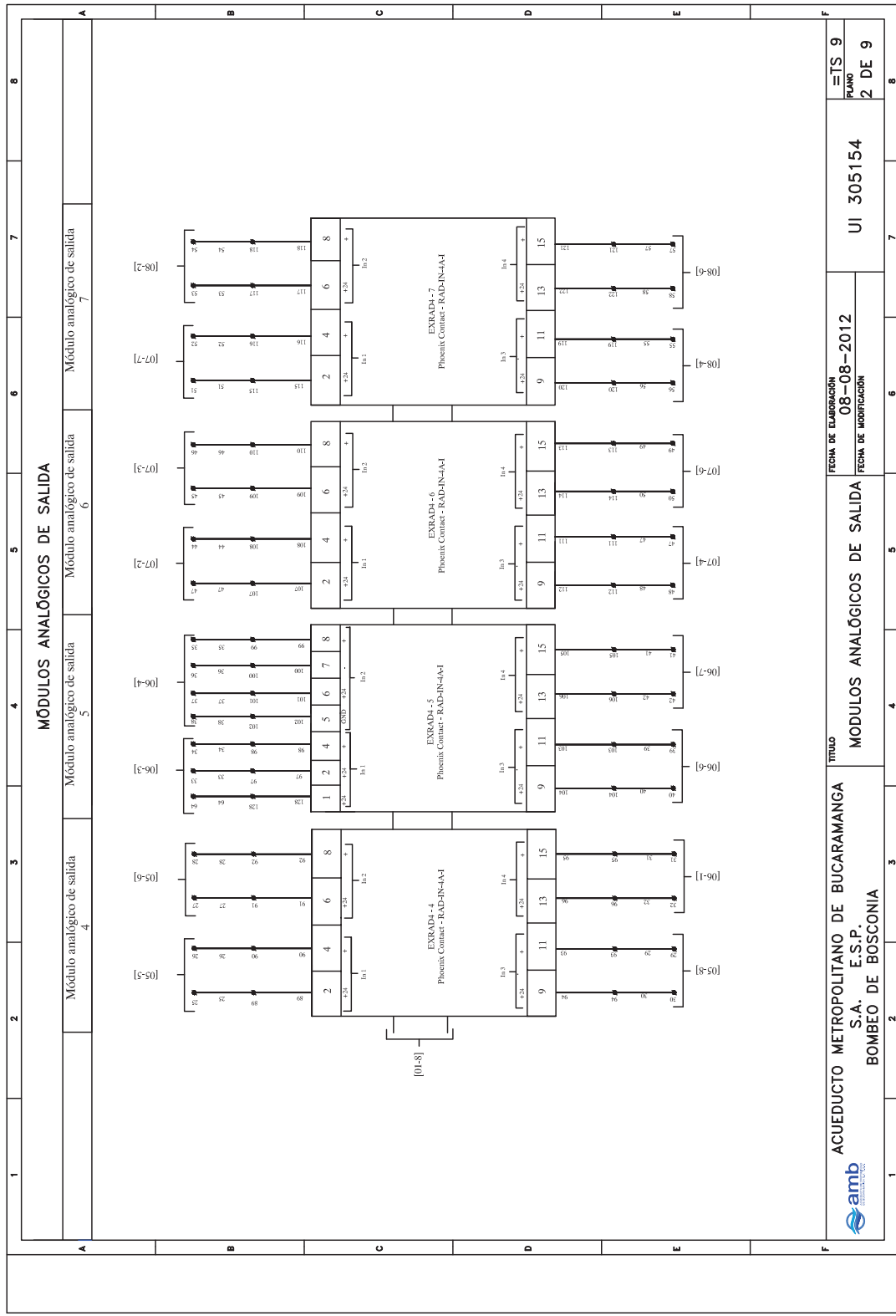
DIA	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
<b>TOTAL/MES</b>												

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

## Apéndice B

### Planos





ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA  
S.A. E.S.P.  
BOMBEO DE BOSCONIA

TÍTULO

MODULOS ANALÓGICOS DE SALIDA

FECHA DE ELABORACION

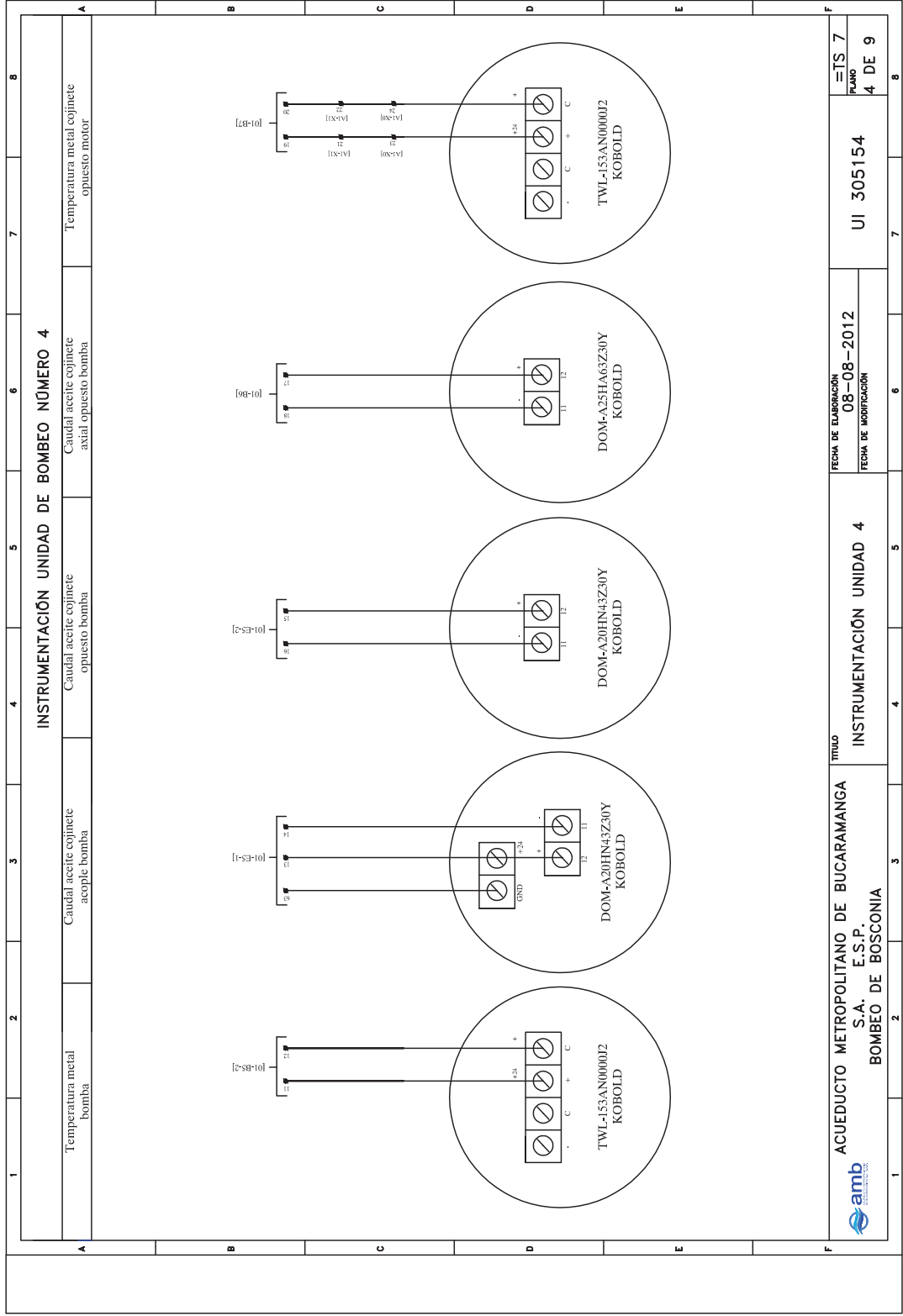
08-08-2012

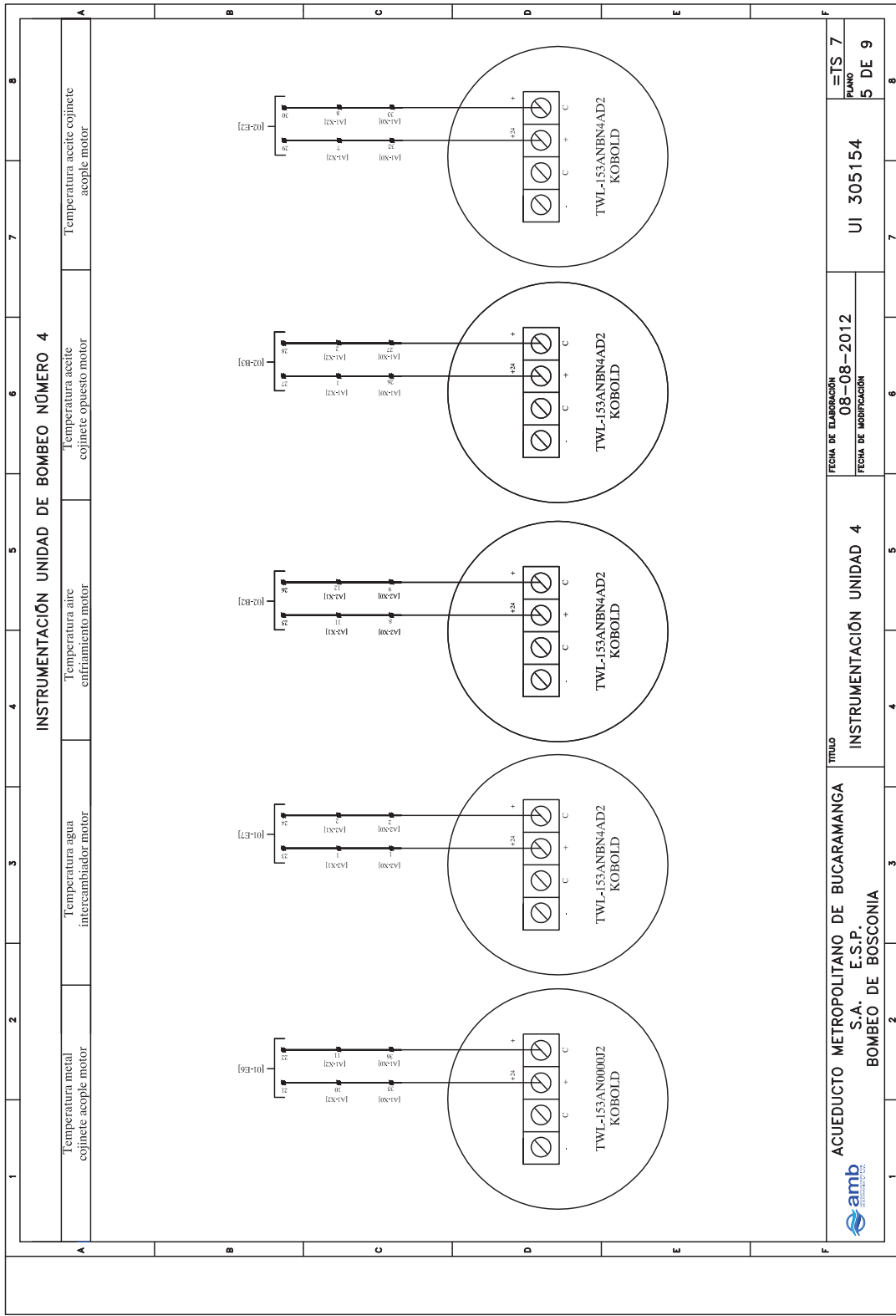
FECHA DE MODIFICACION

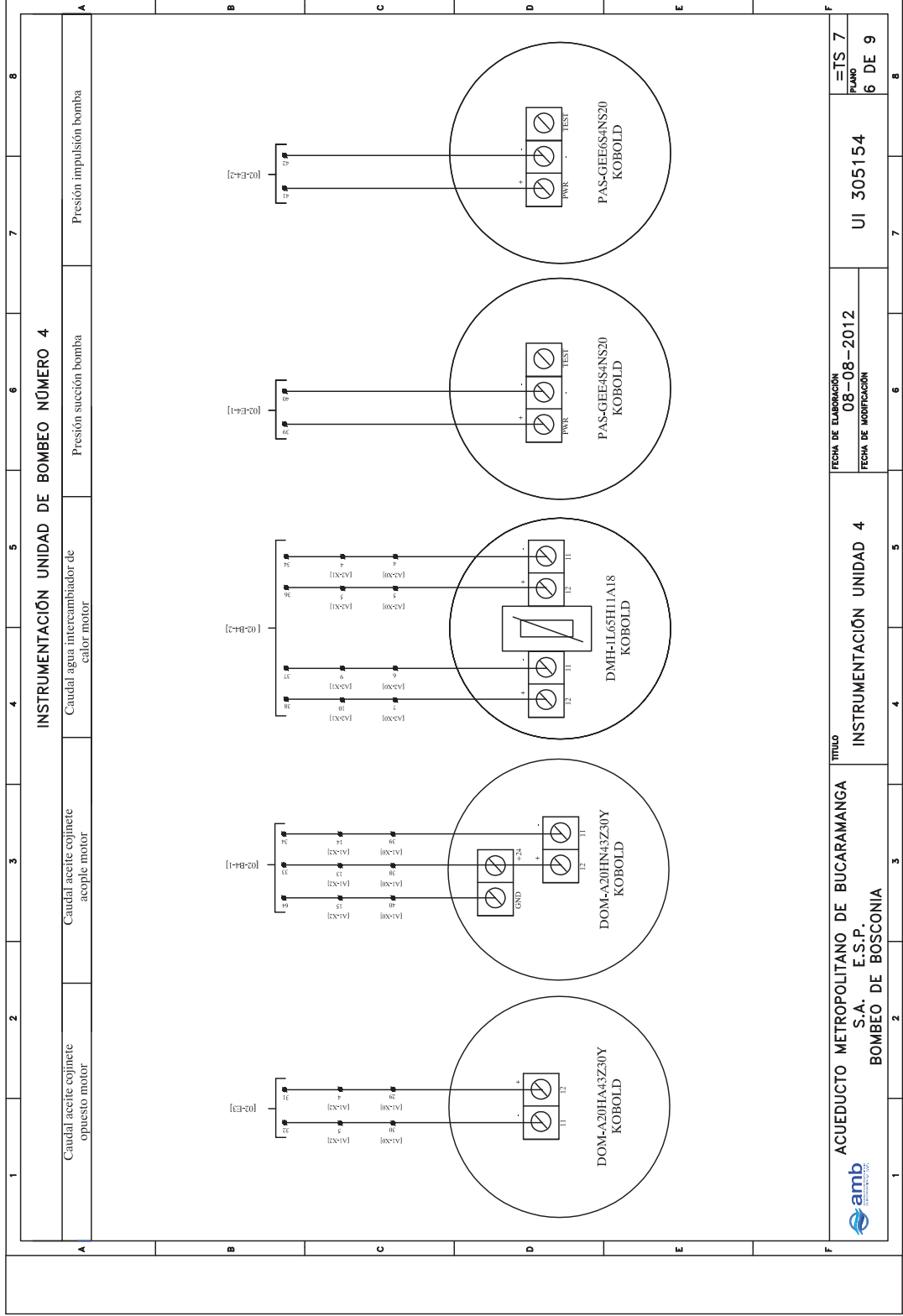
UI 305154

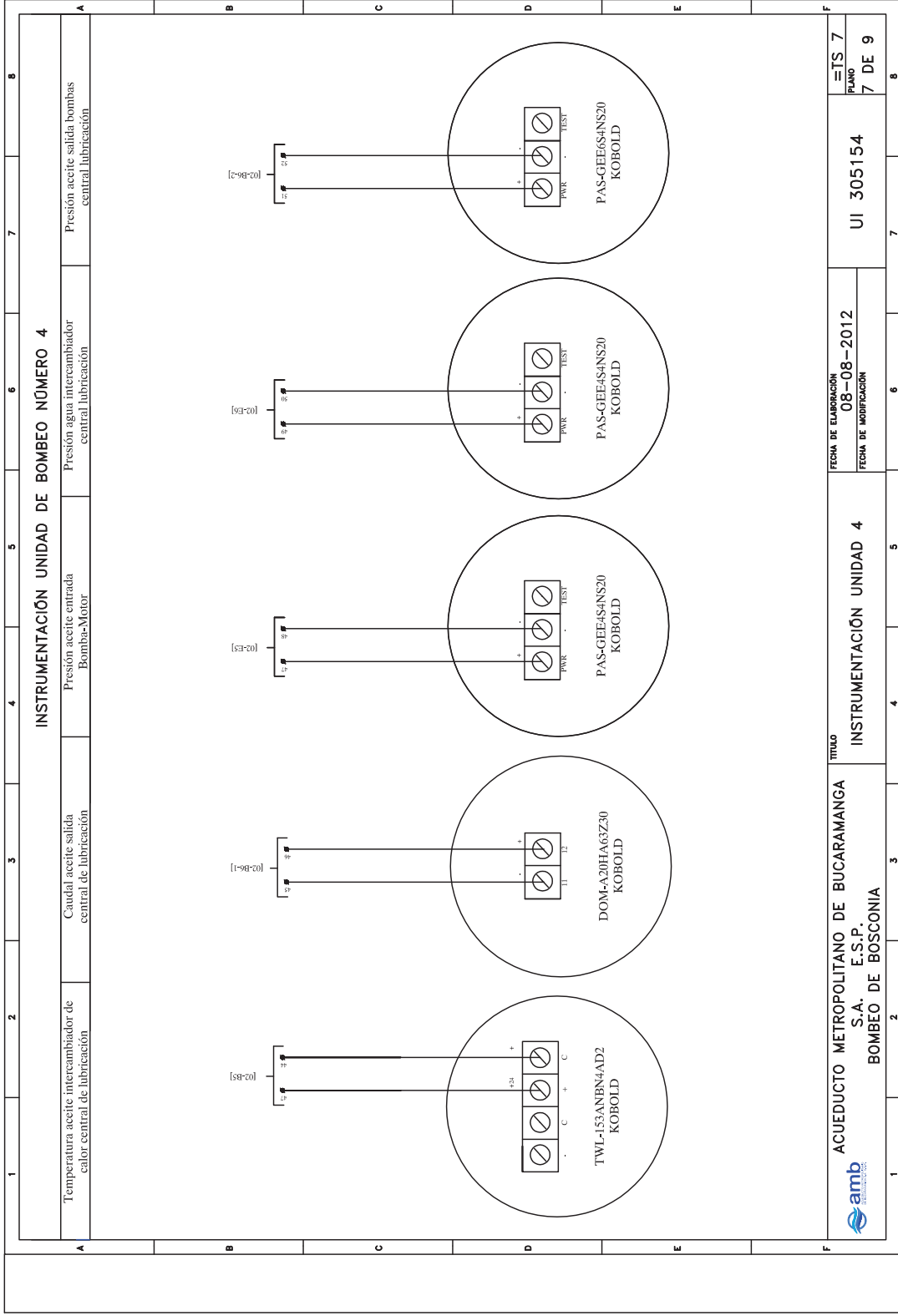
== IS 9  
PUÑO  
2 DE 9

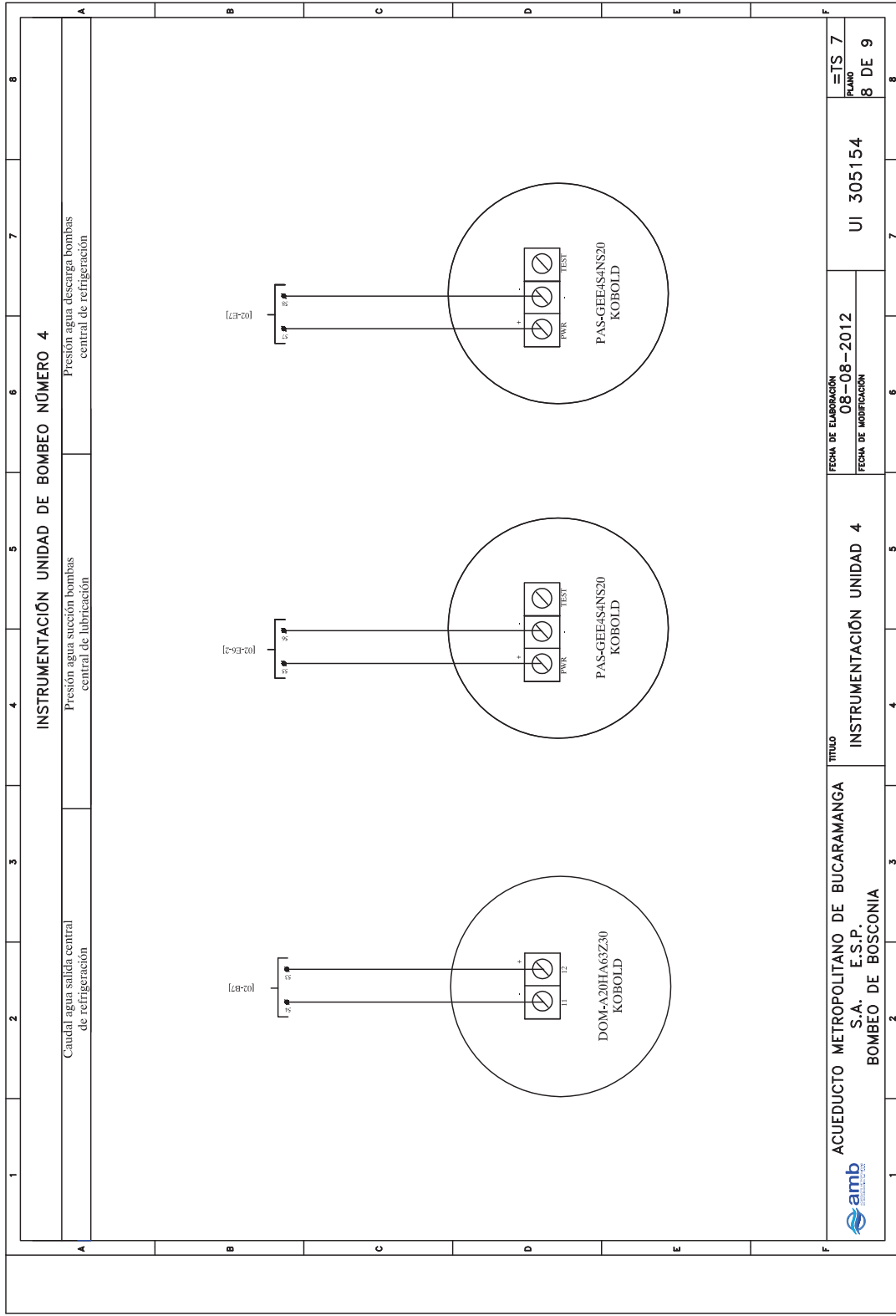


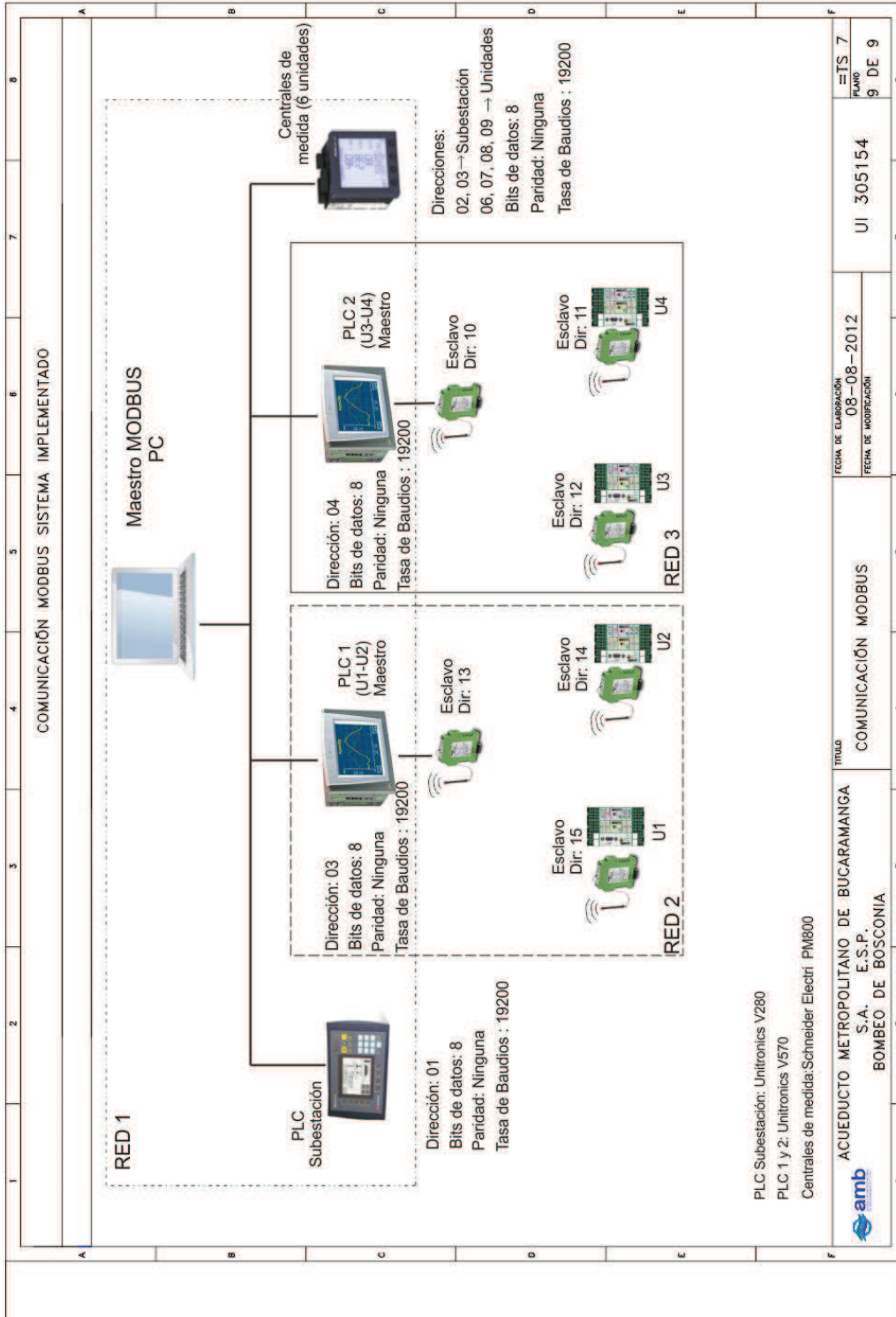





















## Apéndice C

# Relación de variables e instrumentos instalados - Unidades 2 y 4

**APÉNDICE C. RELACIÓN DE VARIABLES E INSTRUMENTOS  
INSTALADOS - UNIDADES 2 Y 4**

112

No.	Variable	Ref.	Alarma	Rango	Born	Mod	Dir	Ant. vs. nuevos	Instalación
1	Temperatura aceite cojinete acople bomba	TWLI1 53ANB N4AD2	55 °C	0-100 °C	1-2	M1/I1	500		
2	Temperatura aceite cojinete opuesto bomba	TWLI1 53ANB N4AD2	50 °C	0-100 °C	3-4	M1/I2	501		
3	Temperatura metal cojinete acople bomba	TWLI1 53AN0 000J2	260 °C	0-100 °C	5-6	M1/I3	502		
4	Temperatura metal cojinete opuesto bomba	TWLI1 53AN0 000J2	55 °C	0-100 °C	7-8	M1/I4	503		
5	Temperatura metal cojinete axial opuesto bomba	TWLI1 53AN0 000J2	50 °C	0-100 °C	9-10	M2/I1	508		

No.	Variable	Ref.	Alarma	Rango	Born	Mod	Dir	Ant. vs. nuevos	Instalación
6	Temperatura metal bomba	TWV1 53AN0 000J2	40 °C	0-50 °C	11-12	M2/I2	509		
7	Caudal aceite cojinete acople bomba	DOMA 20HN4 3Z30Y	5.5-11 l/min	0-1000 l/h	13-14	M2/I3	510		
8	Caudal aceite cojinete opuesto bomba	DOMA 20HN4 3Z30Y	5.5-11 l/min	0-1000 l/h	15-16	M2/I4	511		
9	Caudal aceite cojinete axial opuesto bomba	DOMA 25HA6 3Z30Y	7.2-20 l/min	0-2500 l/h	17-18	M3/I1	516		
10	Temperatura metal cojinete opuesto motor	TWV1 53AN0 000J2	60 °C	0-200 °C	19-20	M3/I2	517		



No.	Variable	Ref.	Alarma	Rango	Born	Mod	Dir	Ant. vs. nuevos	Instalación
16	Caudal aceite cojinete opuesto motor	DOMA 25HA6 3Z30Y	5.5-11 l/min	0-1000 l/h	31-32	M4/I4	527		
17	Caudal aceite cojinete acople motor	DOMA 25HA6 3Z30Y	5.5-11 l/min	0-1000 l/h	33-34	M5/I1	532		
18	Caudal agua cambiador de calor motor	DMH1 L65H 11A18	616 l/min	0-112 m <sup>3</sup> /h	35-38	M5/I2	533		
19	Presión succión bomba	PASG EE4S 4NS20	0.3 kg/cm <sup>2</sup>	0-10 bar	39-40	M5/I3	534		
20	Presión impulsión bomba	PASG EE4S 4NS20	30 kg/cm <sup>2</sup>	0-60 bar	41-42	M5/I4	535		

APÉNDICE C. RELACIÓN DE VARIABLES E INSTRUMENTOS  
 INSTALADOS - UNIDADES 2 Y 4

116

No.	Variable	Ref.	Alarma	Rango	Born	Mod	Dir	Ant. vs. nuevos	Instalación
21	Temperatura aceite salida	TWVL1	15-45	0-200 °C	43-44	M6/I1	540		
	intercambiador calor central lubricación	53ANB N4AD2	°C		49-50	M6/I4	5430		
22	Caudal aceite salida central	DOMA 25HA	50-80	0-2500 l/h	45-46	M6/I2	541		
	lubricación	63Z30	l/min						
23	Presión aceite entrada	PASG EE4S	1.96	0-10 bar	47-48	M6/I3	542		
	Bomba-Motor	4NS20	bar						
24	Presión agua intercambiador	PASG EE4S	1.5	0-10 bar	49-50	M6/I4	5430		
	central lubricación	4NS20	bar						
25	Presión aceite salida bombas	PASG EE4S	2.5	0-10 bar	51-52	M7/I1	548		
	lubricación	4NS20	bar						

Tabla C.1: Relación de variables e instrumentos instalados - Unidad No. 4