

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA
MARIA
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA

VALPARAISO-CHILE



“AUTOMATIZACION Y CONTROL DE PLANTA
ELEVADORA DE DISTRIBUCION DE AGUA
POTABLE A PRESION CONSTANTE”

ALEX DIAZ OLIVARES

MEMORIA DE TITULACION PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO DE
EJECUCION ELECTRONICO MENCIÓN TELECOMUNICACIONES

PROFESOR GUIA: DR. MANUEL OLIVARES

PROFESORES CORREFERENTES: DR. WALTER GROTE

NOVIEMBRE-2018



Automatización y Control de Planta Elevadora de Distribución de Agua Potable a Presión Constante

Alex Díaz

Memoria para Optar al Título de Ingeniero de Ejecución Electrónico,
Mención en Telecomunicaciones.

Universidad Técnica Federico Santa María

Profesor Guía: Dr. Manuel Olivares

Noviembre 2018

RESUMEN

Esta memoria describe la implementación de una planta elevadora de distribución de agua potable a presión constante denominada Booster Los Pinos ubicada en la localidad de Quilpué, la cual fue construida en el año 2016 para la Empresa de Agua Potable Esval S.A. Esta planta, como todas las plantas de Esval, es monitoreada y controlada remotamente por el Centro de Control de Operaciones (CCO) mediante software SCADA iFix.

Considerando la variación de caudal requerido por la población, el diseño hidráulico define una planta compuesta con cuatro bombas, operando como máximo tres bombas y manteniendo una de ellas en reserva en caso de falla. La variable a controlar puede ser la presión local adquirida a la salida de la planta, o la presión remota tomada en el lugar de consumo de clientes ubicada a 1,57 Km de la planta Booster y enlazada vía radio actualizando datos cada 5 segundos. El estudio de radio enlace se realizó utilizando software Radio Mobile.

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema implementado, se realizan pruebas sometiendo a la planta a todas las condiciones de operación. Finalmente se realiza el análisis del comportamiento de las variables de interés como son la frecuencia de las bombas, la presión controlada y el caudal demandado. El resultado de este análisis es satisfactorio dado que refleja el comportamiento esperado de la planta bajo todas las condiciones de consumo presentadas y cumple con las condiciones definidas en el diseño.

Palabras claves: Instrumentación, Control de Presión, Control PID distribuido, Bombas Centrífugas de Velocidad Variable, Radioenlace.



Automation and Control of Elevator Plant of Distribution of Drinking Water to Constant Pressure

Alex Díaz

Final Project Report towards the fulfillment of the Ingeniero de Ejecución Electrónico,
Minor in Telecommunications degree (4 year program).

Universidad Técnica Federico Santa María

Advisor: Dr. Manuel Olivares

November 2018

ABSTRACT

This report describes the implementation of a constant pressure potable water distribution elevating plant called Booster Los Pinos located in the town of Quilpué, which was built in 2016 for the Esval S.A. Drinking Water Company. This plant, like all Esval plants, is monitored and remotely controlled by the Operations Control Center (CCO) using SCADA iFix software.

Considering the variation of flow required by the population, the hydraulic design defines a plant composed of four pumps, operating a maximum of three pumps and keeping one of them in reserve in case of failure. The variable to be controlled may be the local pressure acquired at the plant exit, or the remote pressure taken at the customer consumption site located at 1.57 km from the Booster plant and linked via radio, updating data every 5 seconds. The radio link study was conducted using Radio Mobile software.

To verify the correct functioning of the implemented system, tests are carried out subjecting the plant to all operating conditions. Finally, the analysis of the behavior of the variables of interest is carried out, such as the frequency of the pumps, the controlled pressure and the flow demanded. The result of this analysis is satisfactory given that it reflects the expected behavior of the plant under all the conditions of consumption presented and meets the conditions defined in the design.

Keywords: Instrumentation, Pressure Control, Distributed PID Control, Variable Speed Centrifugal Pumps, Radio Link.



GLOSARIO

Booster: En distribución de agua potable corresponde a planta elevadora de presión.

CCO: Centro de Control de Operaciones.

SCADA: Sigla en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), concepto que se emplea para realizar un software que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

Software Radio Mobile: Software gratuito que permite analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones.

RAP: Red de Agua Potable.

HMI: Sigla en inglés de Human Machine Interface (Interface Hombre Maquina), es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores para coordinar y controlar los procesos industriales y de fabricación en una planta.

FIT: Instrumento de medición de Caudal con display de visualización (Flow indicator transmisor).

PIT: Instrumento de medición de Presión con display de visualización (Presion indicator transmisor).

LSL: Instrumento de medición de nivel bajo discreto (Level Switch Low).

PLC: Controlador Lógico Programable son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial. Un PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control.

Lenguaje Ladder: es un lenguaje de programación gráfico muy usado en los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. Denominado también diagrama de contactos o diagrama escalera.

VDF: Variador de frecuencia, equipo para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

INDICE DE CONTENIDOS

1.- INTRODUCCIÓN.	1
1.1.- Objetivos.....	1
1.2.- Requerimientos funcionales.	2
1.2.1.- Trabajos a desarrollar.	3
1.2.1.1.- Instrumentación.	3
1.2.1.2.- Direccionamiento lógico.	4
1.2.1.3.- Control.	4
1.2.2.- Evaluaciones a realizar.	5
1.2.3.- Resultados esperados.	6
1.3.- Estado del Arte.	6
1.3.1.- Métodos de Distribución de Agua Potable.....	6
1.3.1.1.- Distribución utilizando topografía de la zona.	7
1.3.1.2.- Distribución utilizando plantas elevadoras con estanques elevados.	8
1.3.1.3.- Distribución utilizando plantas elevadoras con control de presión constante.....	8
1.3.2.- Estrategias de control de presión con múltiples bombas.....	10
1.3.2.1.- Estrategia de Control Simplex.	10
1.3.2.2.- Estrategia de Control Multibomba.....	11
1.3.2.3.- Estrategia de Control Multiflex.	11
1.3.3.- Radioenlaces utilizados en Sistemas de Telemetría.	12
1.3.3.1.- Estudio de Radioenlace.....	14
1.3.1.1.- Software de Cálculo de Radioenlaces.....	16
2.- PLANTA ELEVADORA BOOSTER LOS PINOS.	17
2.1.- Situación geográfica de la planta y sus clientes.....	17
2.2.- Características de equipos de bombeo de cámara subterránea.	18
2.3.- Estudio de Radioenlace.	19
2.3.1.- Datos de Sistema Radiante PBP Los Pinos.	20
2.3.2.- Datos de Sistema Radiante Presión Remota.....	20
3.- REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS.	23
3.1.- Estrategias de Control de Presión con Múltiples Bombas.....	23
3.1.1.- Control PID distribuido en cada Variador de Frecuencia.	23
3.1.2.- Control PID Centralizado en PLC local de Booster Los Pinos.....	24
3.2.- Equipos.....	26
3.2.1.- Convertidor o variador de frecuencia.....	26
3.2.2.- Controlador de Lógica Programable (PLC).	27
3.2.3.- Interface Hombre Máquina (HMI).	28



3.2.4.- Radioenlace.	28
3.3.- Instrumentación.	29
3.3.1.- Transmisor de presión.	29
3.3.2.- Transmisor de caudal.	29
3.3.3.- Transmisor de nivel.	30
3.4.- Alternativas Seleccionadas.	31
3.4.1.- Alternativa de Equipos e Instrumentos.	31
3.4.1.1.- Controlador de Lógica Programable (PLC).	31
3.4.1.1.1.- PLC marca Schneider modelo Twido TWDLCAE40DRF.	33
3.4.1.1.2.- PLC marca Schneider modelo Modicon TM221CE40R.	33
3.4.1.1.3.- PLC marca Siemens modelo S7-200 con módulo comunicación CP243-1.	34
3.4.1.2.- Convertidor o variador de frecuencia.	34
3.4.1.2.1.- Variador ABB modelo ACS550-01-072A-4.	35
3.4.1.2.2.- Variador WEG modelo CFW700D70P5T4.	35
3.4.1.2.3.- Variador Schneider modelo Altivar ATV212HD37N4.	36
3.4.1.3.- Radio Ethernet de transmisión de datos.	36
3.4.1.4.- Interface Hombre Máquina (HMI).	36
3.4.1.4.1.- HMI Schneider modelo Magelis HMIGTO2315.	37
3.4.1.4.2.- HMI Siemens modelo KTP700 Basic.	37
3.4.1.4.3.- HMI Hakko Electronics modelo V9060iT.	38
3.4.1.4.4.- HMI Mitsubishi Electric modelo GT2505-VTBD.	38
3.4.1.4.5.- HMI Delta modelo DOP-B07E411.	39
3.4.1.5.- Instrumentación.	39
3.4.1.5.1.- Transmisor de presión.	39
3.4.1.5.2.- Transmisor de caudal.	41
3.4.1.5.3.- Transmisor de nivel hidrostático.	41
3.4.2.- Alternativas de Programación de Control PID.	43
3.4.2.1.- Control PID en cada variador de frecuencia.	45
3.4.2.1.- Control PID en PLC.	45
3.4.3.- Conclusiones.	46
4.- IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.	47
4.1.- Diagrama P&ID de la planta elevadora Booster Los Pinos.	47
4.1.1.- Control PID en cada variador de frecuencia.	48
4.1.1.1.- Configuración de Variador de Frecuencia.	50
4.2.- Estrategia de Control de Presión.	52
4.2.1.- Filosofía de control de presión con múltiples bombas.	52
4.2.1.1.- Funcionamiento en Modo Automático.	52



4.2.1.2.- Funcionamiento en Modo Manual Local.....	53
4.2.2.- Lógica de selección del sensor de presión Local/Remoto.....	53
4.2.3.- Lógica de automatización de bombas.	54
5.- RESULTADOS.	56
5.1.- Pruebas realizadas.....	56
5.1.1.- Pruebas de conexiónado y correcta adquisición de señal.....	56
5.1.2.- Pruebas de funcionamiento.	57
5.2.- Análisis de resultados.	60
5.1.1.- Partida de bomba N°1.	61
5.1.2.- Parada de bomba N°1.....	63
5.1.3.- Partida de bomba N°2.	65
5.1.4.- Parada de bomba N°2.....	67
5.1.5.- Parada de bomba N°3.....	68
5.1.6.- Partida de bomba N°3.	71
5.1.7.- Partida de bomba N°4.	72
5.1.8.- Parada de bomba N°4.....	74
6.- CONCLUSIONES.	76
6.1.- Aportes del trabajo realizado.....	76
6.2.- Trabajo futuro.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	79
1.- Parámetros Variador de Frecuencia Booster Los Pinos.	79
2.- Base de Datos PLC Planta Booster Los Pinos.....	84
3.- Programa Ladder de planta Booster Los Pinos.....	87
3.1.- Definición de Consigna de Referencia y Presión a Controlar: Local o Remota.	87
3.2.- Asignación a los canales de salidas análogas: la Consigna de Referencia y la Presión a Controlar.....	87
3.3.- Instrucción READ_VAR que adquiere presión remota.	87
3.4.- Ante falla de comunicación por más de 60 segundos la variable Control Remoto pasa a modo Local.....	88
3.5.- Condición de Baja Presión.	88
3.6.- Condición de Alta Presión.....	88
3.7.- Condición de bombas para funcionamiento sin problemas.....	89
3.8.- Horómetros de bombas.	89
3.9.- Secuencia de selección de bomba a Partir.....	90
3.10.- Detección de bomba funcionando a frec. mayor a 49 Hz por más de 10 seg.....	93
3.11.- Generación de Orden de Partida.....	94



3.12.- Partida a bomba seleccionada.	94
3.13.- Partida o parada de bomba en modo Automático o vía Telecomando.	95
3.14.- Generación de retardo de 30 segundos al partir o al parar bomba.	96
3.15.- Detención de bomba.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama P&ID de Planta.	2
Figura 1.2. Esquema RAP con Estanque Elevado.....	8
Figura 1.3. Esquema RAP con regulación presión constante.....	9
Figura 1.4. Estrategia de Control Simplex.	10
Figura 1.5. Estrategia de Control Multibomba.....	11
Figura 1.6. Estrategia de Control Multiflex.	12
Figura 1.7. Enlace Punto a Punto.	12
Figura 1.8. Enlace Punto a Multipunto.....	13
Figura 2.1. Ubicación geográfica PBP Los Pinos y Presión Remota.....	17
Figura 2.2. Ubicación geográfica y topográfica de puntos enlazados.	19
Figura 2.3. Perfil topográfico y resultados enlace.....	21
Figura 3.1. Control PID distribuido en cada VDF.	23
Figura 3.2. Control PID Centralizado en PLC local.....	24
Figura 3.3. Gráfica de motobombas Caudal/Consumo potencia.....	44
Figura 4.1. Diagrama conexionado de variador.	49
Figura 4.2. Panel configuración y visualización de variador.	50
Figura 4.3. Diagrama de Flujo de Lógica de Automatización de bombas.	55
Figura 5.1. Pantalla “Performance Information Menu”.	57
Figura 5.2. Partida de bomba N°1.....	61
Figura 5.3. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°1 (consumo clientes).	61
Figura 5.4. Parada de bomba N°1.	63
Figura 5.5. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°1(consumo clientes).	64
Figura 5.6. Partida de bomba N°2.....	65
Figura 5.7. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°2 (consumo clientes).	65



Figura 5.8. Parada de bomba N°2.	67
Figura 5.9. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°2 (consumo clientes).	67
Figura 5.10. Parada de bomba N°3.	69
Figura 5.11. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°3 (consumo clientes).	69
Figura 5.12. Partida de bomba N°3.	71
Figura 5.13. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°3 (consumo clientes).	71
Figura 5.14. Partida de bomba N°4.	72
Figura 5.15. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°4 (consumo clientes).	73
Figura 5.16. Parada de bomba N°4.	74
Figura 5.17. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°4 (consumo clientes).	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tarifa Aguas Andinas.	7
Tabla 1.2. Tarifa Esval.	7
Tabla 2.1. Caudal vs. altura para diferentes frecuencias y número de bombas.	18
Tabla 3.1. Ponderación PLC marca Schneider modelo Twido TWDLCAE40DRF	33
Tabla 3.2. Ponderación PLC marca Schneider modelo Modicon TM221CE40R.	33
Tabla 3.3. Ponderación PLC Siemens modelo S7-200 con módulo comunicación CP243-1.	34
Tabla 3.4. Ponderación Variador ABB modelo ACS550-01-072A-4.	35
Tabla 3.5. Ponderación Variador WEG modelo CFW700D70P5T4.	35
Tabla 3.6. Ponderación Variador Schneider modelo Altivar ATV212HD37N4.	36
Tabla 3.7. Ponderación HMI Schneider modelo Magelis HMIGTO2315.	37
Tabla 3.8. Ponderación HMI Siemens modelo KTP700 Basic.	37
Tabla 3.9. Ponderación HMI Hakko Electronics modelo V9060iT.	38
Tabla 3.10. Ponderación HMI Mitsubishi Electric modelo GT2505-VTBD.	38
Tabla 3.11. Ponderación HMI Delta modelo DOP-B07E411.	39
Tabla 3.12. Ponderación Transmisor de presión marca Siemens modelo SITRANS P200.	40
Tabla 3.13. Ponderación Transmisor de presión marca Danfoss modelo MBS 3000.	40
Tabla 3.14. Ponderación Transmisor presión Endress Hauser modelo Cerabar PMP21.	41
Tabla 3.15. Ponderación Transmisor de nivel Siemens modelo SITRANS P MPS LPC770.	42
Tabla 3.16. Ponderación Transmisor de nivel Endress Hauser modelo Waterpilot FMX21.	42
Tabla 3.17. Datos de Gráfica de motobombas Caudal/Consumo potencia.	44



Tabla 3.18. Ponderación Control PID en cada variador de frecuencia.	45
Tabla 3.19. Ponderación Control PID en PLC.	45
Tabla 5.1. Partida de bomba N°1.	62
Tabla 5.2. Parada de bomba N°1.....	64
Tabla 5.3. Partida bomba N°2.	66
Tabla 5. 4. Parada de bomba N°2.....	68
Tabla 5.5. Parada de bomba N°3.....	70
Tabla 5.6. Partida de bomba N°3.	72
Tabla 5.7. Partida de bomba N°4.	73
Tabla 5. 8. Parada de bomba N°4.....	75

1.- INTRODUCCIÓN.

Para las empresas de distribución de agua potable como Esval o Aguas Andinas, una de las principales condiciones a cumplir en el servicio, es mantener la presión constante en el punto de consumo de los clientes, el cual se ve alterado por los diferentes requerimientos de caudales de los usuarios durante las 24 horas del día. Una de las formas tradicionales más utilizada de mantener la presión constante para el cliente, es utilizar estanques elevados los cuales son llenados por plantas elevadoras.

Con el desarrollo de la tecnología, esta forma de distribución del agua potable por medio de estanques elevados es reemplazable, utilizando estanques soterrados y plantas elevadoras que mantienen la presión constante independiente del caudal de consumo de los clientes.

1.1.- Objetivos.

El objetivo de este proyecto consiste en implementar un control automático a una planta elevadora de distribución de agua potable denominada “Booster Los Pinos” la cual es propiedad de Empresa de Agua Potable ESVAL S.A.

Considerando el caudal a impulsar y la variación de demanda, esta planta está compuesta por cuatro bombas que son operadas cada una con variador de frecuencia, en donde el control del funcionamiento de los variadores es realizado por medio de un PLC encargado de mantener la presión constante en un punto, independiente del caudal consumido por parte de los clientes conectados a esa Red de Agua Potable (RAP).

La presión constante por controlar se define que sea en la salida de la planta o en un punto remoto de la RAP; este punto remoto está ubicado a 1.570 metros de la planta en el lugar de consumo de los clientes. La presión en el punto remoto de la RAP es adquirida por otro PLC de la misma línea el que se comunica por radio ethernet y bajo protocolo Modbus TCP IP Ethernet con el PLC de la planta. La planta debe poseer como control y monitoreo Local una pantalla HMI y como control y monitoreo remoto se debe comunicar con Centro de Control de Operaciones (CCO) por medio de Sistema de radio ethernet. En CCO se dispone de SCADA marca iFIX el cual posee herramientas para análisis históricos de datos.

La Planta, de acuerdo con el diseño hidráulico, está compuesta por cuatro motobombas verticales de tipo pozo profundo, sumergidas en una cámara de aspiración. Como máximo deben funcionar tres bombas a la vez, manteniendo una motobomba en reserva. El funcionamiento debe cumplir con mantener en la salida de la planta una presión constante de 27 metros columna de agua (m.c.a.) o en el punto remoto una presión de 21 m.c.a., para un caudal de demanda máxima de 150 [l/s] medidos a la salida de la planta. Cada bomba impulsa como caudal máximo (funcionando a 50 Hz), 68 [l/s] a cota de 27 m.c.a.

1.2.- Requerimientos funcionales.

En figura 1.1 se muestra el diagrama P&ID de la planta de agua potable a presión constante denominada Booster Los Pinos, la cual está compuesta por cuatro bombas operadas cada una con un variador de frecuencia. El suministro de agua llega desde el estanque de Villa Alemana e ingresa a un estanque Semi Enterrado cuyo volumen es de 1.500 [m³], siendo medido por el caudalímetro de entrada FIT-101. Este estanque suministra agua a RAP de Sector Bajo y a la Planta Elevadora. La presión a la salida de la planta elevadora es medida por el sensor PIT-101, de la misma forma que el caudal impulsado es medido por el sensor FIT-102. El llenado de cámara de aspiración se realiza por efectos de la gravedad, no posee ningún control. El control de llenado de estanque semienterrado se realiza por medio de válvula de entrada controlada por flotador en estanque respectivo.

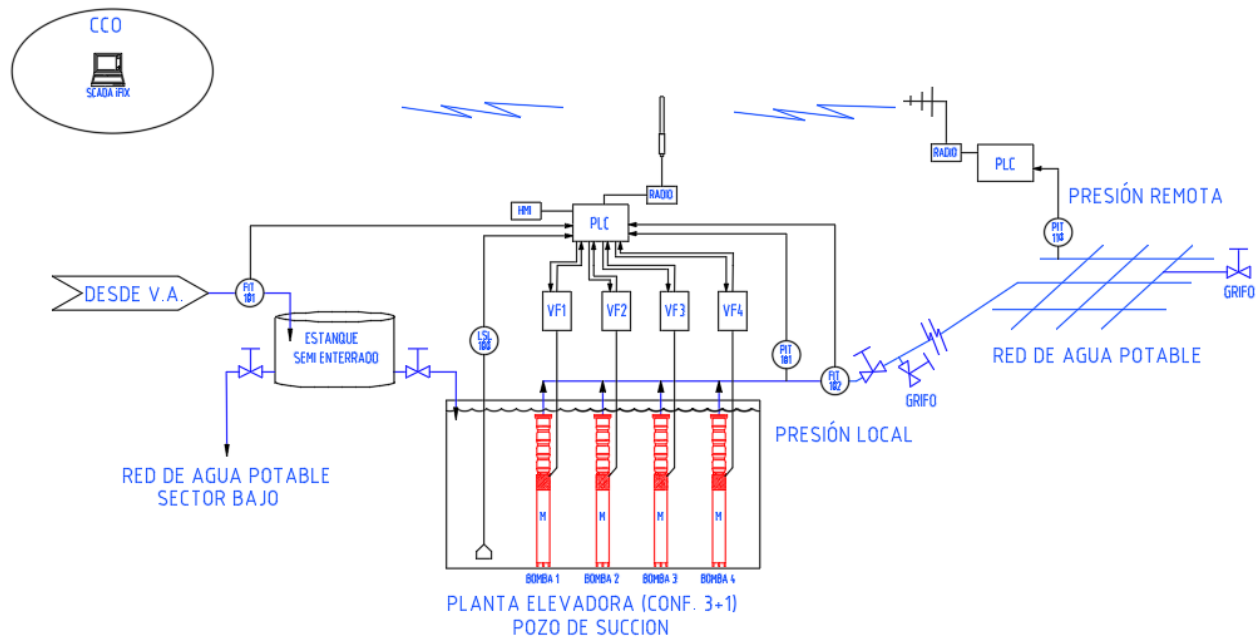


Figura 1.1. Diagrama P&ID de Planta.

El sistema de control está compuesto por:

- Cuatro motobombas verticales de tipo pozo profundo, sumergidas en cámara de aspiración que posee un volumen de 120 [m3].
- Cuatro variadores de frecuencia, uno para cada bomba.
- Un sensor de presión ubicado a la salida de la planta PIT-101.
- Un sensor de caudal ubicado a la entrada de estanque semi enterrado FIT-101.
- Un sensor de caudal ubicado a la salida de la planta FIT-102.
- Un sensor discreto de nivel bajo del pozo de succión LSL-100.
- PLC remoto en sector de consumo para transmisión de presión.
- PLC local en planta para control de presión.
- Radio modem Ethernet con protocolo Modbus TCP/IP, para comunicar ambos PLCs entre sí y con CCO.
- Control supervisor y monitoreo HMI local en planta.
- Control supervisor y monitoreo remoto en Centro de Control de Operaciones (CCO) de ESVAL, con SCADA iFIX + historizador.

1.2.1.- Trabajos a desarrollar.

Los trabajos que se deben desarrollar se dividen en trabajos de Instrumentación, trabajos de Direccionamiento Lógico y trabajos de Control.

1.2.1.1.- Instrumentación.

Definir y realizar la implementación de todos los componentes eléctricos y de control de la planta de acuerdo con estándares de empresa mandante y de acuerdo con memoria hidráulica de proyecto. En este punto queda definido:

- Potencia de Variador de frecuencia de acuerdo con potencia de motobomba y marca de acuerdo con estándar de empresa mandante.
- Tableros eléctricos de Fuerza y Control (TDFyC) de motobombas.
- Tablero de Control e Instrumentación (TCI) de planta donde se define principalmente marca y modelo de PLC a utilizar.

- Tablero de Control e Instrumentación (TCI) de toma presión Remota.
- Dos tableros de Comunicaciones los cuales poseen radio ethernet más el Sistema Radiante. Uno a instalarse en Planta y el otro a instalarse en toma presión remota.
- Instrumentación: Medidor de presión de red, medidor de caudal impulsado a la salida de la planta y medidor de presión en punto remoto.

1.2.1.2.- Direccionamiento lógico.

Definir e implementar:

- Base de Datos del PLC, la cual posee todos los parámetros de importancia de la planta: Entradas digitales, entradas análogas, salidas digitales, salidas análogas, parámetros internos de proceso, parámetros de telecomando desde Centro de Control de Operaciones (CCO).
- Formato de Tabla de Transferencia de Datos en donde se definen principalmente las Unidades de Ingeniería de las variables análogas y protocolo de comunicaciones utilizado con CCO.

1.2.1.3.- Control.

Definir e implementar:

- Lógica de Control a programar en PLC en lenguaje Ladder (escalera), de acuerdo con filosofía de Control, la cual especifica:
 - Se debe mantener una presión constante de 27 m.c.a. en la salida de la planta o de 21 m.c.a. en punto de presión remota de la red (punto a controlar definido desde CCO), modulando la frecuencia de funcionamiento de la o las bombas, según se requiera. Se debe tener en cuenta que la frecuencia mínima de funcionamiento de las bombas es de 27 Hz por condición mecánica. La máxima frecuencia a la cual operan las bombas es de 50 Hz.
 - La planta deberá funcionar en la condición de 3+1, es decir, tres bombas funcionando como máximo y una en estado de espera.
 - Las bombas deberán rotar su funcionamiento, de modo que el desgaste de las cuatro bombas sea similar, poniendo en marcha la bomba que lleva más tiempo detenida y deteniendo la bomba que lleva más tiempo funcionando.

- Definir modo de operación de variadores de frecuencia y configurar sus parámetros de acuerdo con lo definido.
- Programación de pantalla HMI local según requerimientos de Control y automatización de la planta.

1.2.2.- Evaluaciones a realizar.

Una vez realizado el Protocolo de Pruebas correspondiente a la verificación del conexonado de todas las señales de entrada y salida, tanto análogas como digitales, se verifica la correcta adquisición y actuación de señales por parte del PLC de planta y de la comunicación con el PLC remoto, principalmente el escalamiento de las señales análogas. También se debe verificar el correcto funcionamiento de las motobombas desde el punto de vista hidráulico.

Lo primero a evaluar es la lógica de control programada en PLC que debe mantener la presión constante de 21 m.c.a. en el punto de presión remoto o de 27 m.c.a. a la salida de planta, para diferentes consumos de la red. Para simular los diferentes consumos se hace uso de grifos instalados en distintos puntos de RAP, uno a la salida de planta y otro en el punto remoto:

- Se debe evaluar el funcionamiento para caudales bajos hasta llegar a detener completamente la planta. Luego se debe requerir caudal para que la planta “despierte” poniendo en funcionamiento una bomba.
- Evaluar el funcionamiento para caudales medios aumentando o disminuyendo el caudal de consumo, de tal forma que lógica de PLC ponga en funcionamiento o detenga una motobomba adicional.
- Evaluar el funcionamiento pasando de caudales medios a caudal máximo de planta verificando la activación de tres bombas.
- Evaluar la rotación de motobombas bajo condición normal y rotación de motobomba por condición de falla en una de ellas.
- Verificar que, ante pérdida de enlace con punto remoto de presión, el control de consigna a controlar pase de presión remota a presión local.
- Verificar el correcto monitoreo y control de datos desde pantalla HMI local.
- Verificar el correcto monitoreo y control de datos por parte de CCO, principalmente ante una condición de falla o alarma de planta o de punto remoto de presión.

1.2.3.- Resultados esperados.

Al término de todos los trabajos a realizar, se espera entregar a la empresa mandante, una planta que distribuya el agua potable a través de la red a una presión constante bajo cualquier consumo para el cual fue diseñada. Además, a través de la adquisición de datos de SCADA iFIX, utilizando los datos históricos, entregar una herramienta para un mejor diagnóstico de funcionamiento de la planta proyectando las mantenciones en el momento adecuado.

1.3.- Estado del Arte.

En trabajo de titulación [1] denominado “Estudio de un Sistema de Control Multibombas para un Hotel utilizando un modelo de optimización Energética”, se realiza la implementación con un variador de frecuencia WEG-08 para controlar la presión. En este trabajo se utilizaron tres bombas operadas con un solo variador y seis contactores. Cada bomba tiene asignado dos contactores: un contactor para operar con el variador y otro contactor para operar con red fija. De acuerdo a la demanda de caudal puede operar una bomba o las tres bombas a la vez, en donde una de ellas está operando con variador de frecuencia y las otras dos están funcionando a 50 [Hz] conectadas a la red eléctrica a través de su contactor respectivo.

1.3.1.- Métodos de Distribución de Agua Potable.

Actualmente las empresas de distribución de Agua Potable satisfacen las condiciones de presión y caudal, utilizando básicamente tres métodos:

- Distribución utilizando topografía de la zona.
- Distribución utilizando plantas elevadoras con estanques elevados.
- Distribución utilizando plantas elevadoras con control de presión constante.

1.3.1.1.- Distribución utilizando topografía de la zona.

Este método es el más antiguo y a la vez el más conveniente desde el punto de vista de consumo de energía, pues no requiere de motobombas de elevación. Utiliza el desnivel topográfico natural del valle donde está emplazada la ciudad.

Por ejemplo, si comparamos los desniveles topográficos de la Región Metropolitana con la Quinta Región, podemos decir que Aguas Andinas posee mayor porcentaje de distribución por este método que Esval. Esto repercute directamente en las cuentas de Servicio de Agua Potable, siendo el doble de \$ por metro cúbico consumido en Valparaíso que en Santiago (Tabla 1.1: Tarifa Aguas Andinas [2]. Tabla 1.2: Tarifa Esval [3]).

Tabla 1.1. Tarifa Aguas Andinas.

De conformidad con lo dispuesto por el Decreto Supremo N° 83 de 2015 y N° 64 de 2003 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Aguas Andinas S.A. informa las tarifas de agua potable y servicios de alcantarillado, que regirán para los consumos realizados a partir del 01/01/2018.

Cargos Tarifarios	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 6
Cargo fijo clientela (\$/mes)	648	648	805
Cargos Variables (\$/m3)			
Agua potable en período no punta	357,69	277,21	221,39
Agua potable en período punta	357,69	277,29	214,06
Sobreconsumo agua potable en período punta	1046,46	827,94	551,23
Servicio de alcantarillado de aguas servidas	489,11	547,56	332,20

Tabla 1.2. Tarifa Esval.

Tarifas Actuales

Las tarifas vigentes a junio del año 2018 para la localidad de Valparaíso son las siguientes:

Detalle de Cargos	Valores \$
Cargo Fijo Cliente	1159,00
Cargo Variable Agua Potable	743,27
Cargo Variable Recolección	292,45
Cargo Variable Tratamiento	270,66

1.3.1.2.- Distribución utilizando plantas elevadoras con estanques elevados.

Este método nace de la necesidad de cubrir zonas de clientes en donde el primer método no logra cumplir con los requerimientos de una Red de Agua Potable (RAP) por no disponer de la presión necesaria. Por lo tanto, se construye un estanque elevado (normalmente alturas entre 28 y 35 metros) el cual es abastecido por medio de bombas elevadoras que toman el suministro de agua de estanque semi enterrado.

El volumen de almacenamiento en metros cúbicos (m^3) del estanque como la capacidad de impulsión de las bombas en litros por segundo (l/s), dependen del caudal máximo de consumo de la población.

En la Figura 1.2 se muestra un esquema típico de RAP con estanque elevado: RAP-1 corresponde a red inicial que no dispone de presión suficiente y RAP-2 corresponde a nueva red que cuenta con presión suficiente para distribución.

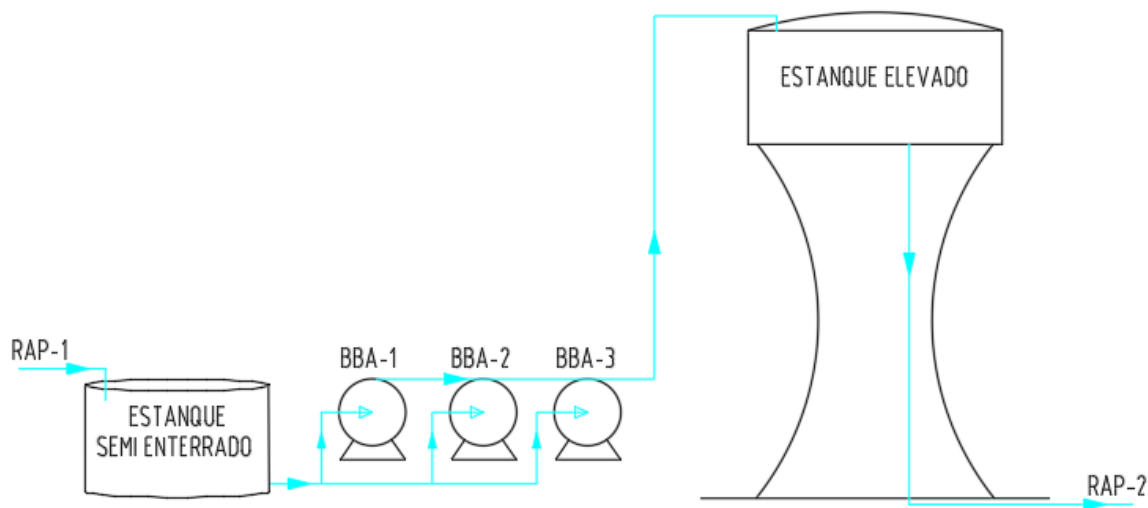


Figura 1.2. Esquema RAP con Estanque Elevado.

1.3.1.3.- Distribución utilizando plantas elevadoras con control de presión constante.

A partir del año 2005, el uso masivo de los variadores de frecuencia en el área industrial ha permitido dar un salto tecnológico importante en el control de los sistemas de distribución de agua potable. Anterior a esta tecnología, el control de presión de la red se lograba construyendo estanques elevados denominados “copas de agua”, lo cual requería de una mayor inversión, además de que esta construcción

elevada contribuye con el aumento de la contaminación visual y la disminución de superficies de terreno para otros fines.

Estas nuevas plantas de distribución de agua potable están compuestas por bombas centrífugas de inmersión, las cuales son operadas cada una con variador de frecuencia. Para la correcta implementación de este tipo de plantas, se requiere la operación coordinada de una o varias bombas en funcionamiento simultáneo para mantener la presión constante.

En la figura 1.3 se muestra un esquema básico de este método de distribución de agua potable. La potencia de salida de cada motobomba es controlada por un variador de frecuencia el cual es controlado por la variable de presión medida en la salida de planta. Se define una presión de control de salida. Si la presión en medidor baja, se aumenta la frecuencia del variador o de los variadores que estén funcionando. Si presión la aumenta, se disminuye la frecuencia.

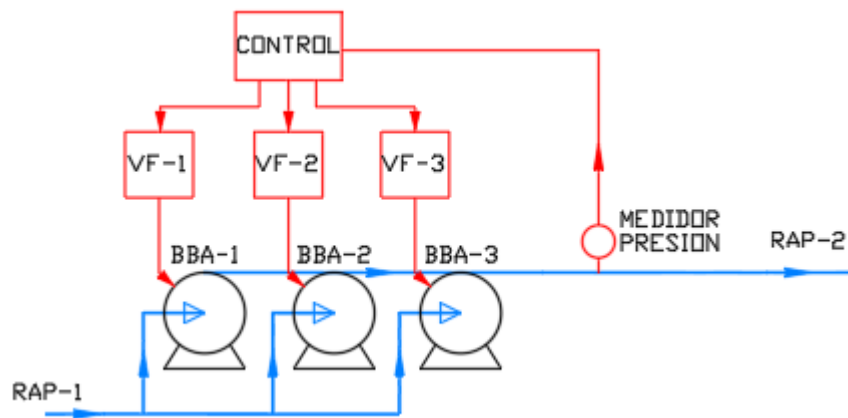


Figura 1.3. Esquema RAP con regulación presión constante.

1.3.2.- Estrategias de control de presión con múltiples bombas.

Existe un gran número de fabricantes de variadores de frecuencia para el control de motobombas, entre los principales están: WEG [4], ABB [5] y Schneider Eléctric [6].

Estos fabricantes plantean tres estrategias de control de presión:

- Estrategia de Control Simplex.
- Estrategia de Control Multibomba.
- Estrategia de Control Multiflex.

1.3.2.1.- Estrategia de Control Simplex.

Esta estrategia consiste en el control realizado con un variador operando una sola bomba. Esta configuración se utiliza cuando una sola bomba es capaz de cumplir con los requerimientos de caudal de una instalación manteniendo la presión constante en la salida. En figura 1.4 se muestra esta estrategia. El suministro de agua para la bomba puede venir de un estanque semi enterrado, de un pozo o directamente de una RAP.



Figura 1.4. Estrategia de Control Simplex.

1.3.2.2.- Estrategia de Control Multibomba.

Esta estrategia consiste en el control implementado con un variador operando varias bombas. En figura 1.5 se muestra este control realizado con un variador para varias bombas (máx. 6), utilizando contactores y rotando la puesta en marcha de acuerdo al tiempo de funcionamiento. El variador controla la frecuencia de una sola bomba y las restantes bombas funcionan con la frecuencia de 50 Hz conectadas a la red por medio de contactores.

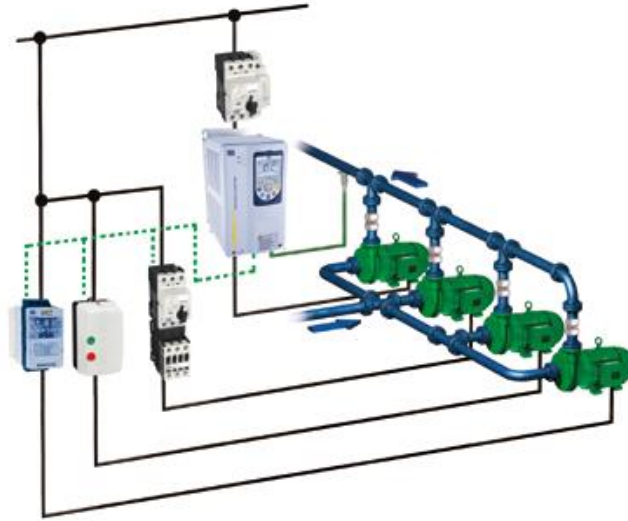


Figura 1.5. Estrategia de Control Multibomba.

1.3.2.3.- Estrategia de Control Multiflex.

En esta estrategia cada bomba es operada con su propio variador. En la figura 1.6 se muestra este control. Los variadores se comunican entre ellos vía cable y se configura un variador como maestro y los demás variadores funcionan como esclavos. El medidor de presión se conecta al variador maestro.

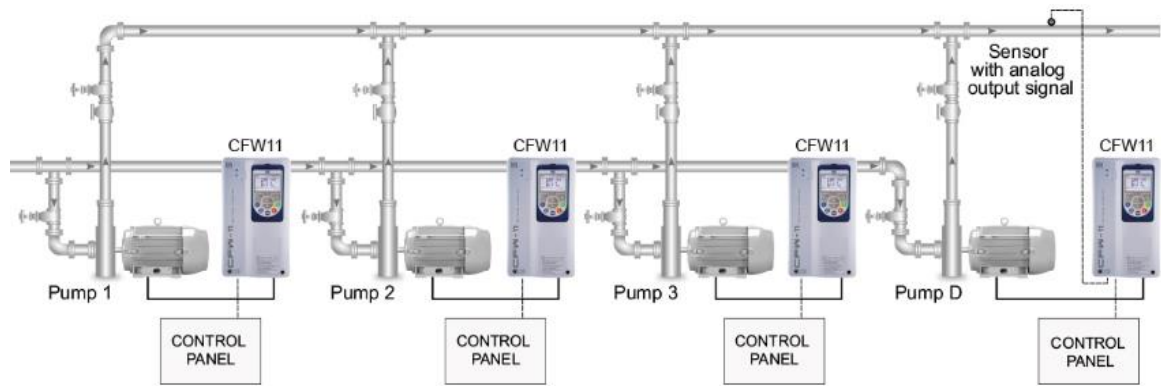


Figura 1.6. Estrategia de Control Multiflex.

1.3.3.- Radioenlaces utilizados en Sistemas de Telemetría.

En la medida que la tecnología ha ido avanzando, los sistemas de Telemetría han ido mejorando, agregando importantes características como son: velocidad de transmisión, conectividad a plataformas estándares y monitoreo del estado de los radioenlaces. Todas estas mejoras permiten mayor solidez en el funcionamiento de estos sistemas.

Los radioenlaces utilizados son:

- Punto a Punto: Un Maestro y un Esclavo.
- Punto a Multipunto: Un Maestro y varios Esclavos.

El que sea de una forma u otra, depende de la Topología del Sistema de Agua Potable.

En figura 1.7 se muestra un enlace Punto a Punto.

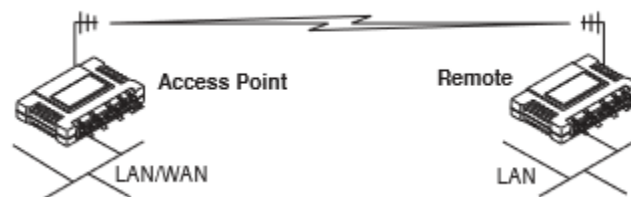


Figura 1.7. Enlace Punto a Punto.

En figura 1.8 se muestra un enlace Punto a Multipunto.

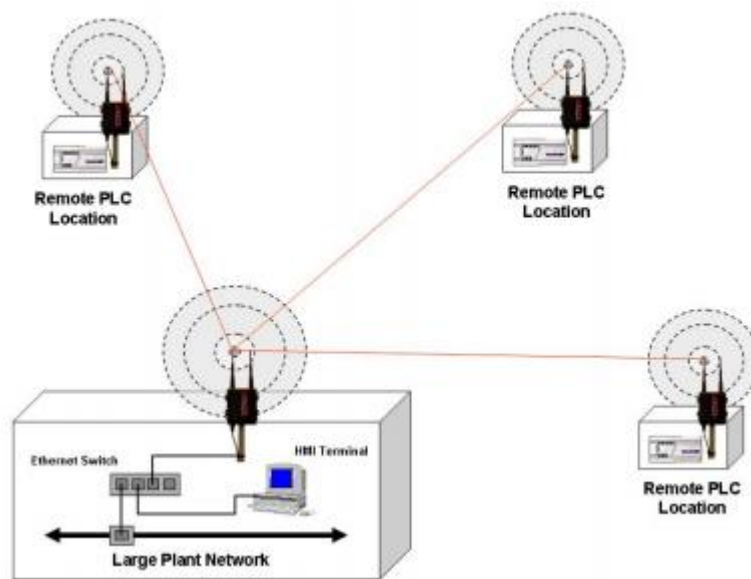


Figura 1.8. Enlace Punto a Multipunto.

Actualmente los radioenlaces de Sistemas de Telemetría se realizan mediante “gateways” de comunicación Ethernet permitiendo mayores velocidades de transmisión de datos (desde 256 Kbps a 54 Mbps). Además, esta tecnología permite el acceso a los equipos de radios, pudiendo verificar la calidad de los enlaces.

Anterior a esta tecnología de comunicación Ethernet, los radioenlaces se realizaban mediante “gateway” serial RS-232, en donde las velocidades son más lentas (entre 1200 bps a 19200 bps) y no existía opción de conectividad a plataformas superiores.

En la memoria [7] del año 2003, se establece un modelo para la implementación de una Red Multiservicio para Esval basada en el uso extendido de redes Ethernet e IP para todos los servicios de Telecomunicaciones de la compañía, principalmente orientado a la Red de Telemetría la cual poseía hasta esa fecha, una plataforma compuesta por radios de comunicación serial con velocidades de 9600 bps. A partir de ese momento todas las comunicaciones vía radio de PLC’s deben realizarse bajo este formato utilizando las radios ethernet especificadas en esta memoria.

Esta nueva plataforma permitió una alta eficiencia en la administración y control de la red de telemetría.

1.3.3.1.- Estudio de Radioenlace.

La validación de un radioenlace debe ser analizado y calculado de acuerdo a los criterios de:

- Pérdidas en el Espacio Libre: Las pérdidas en el espacio libre se producen al propagarse la onda de radio por el vacío y en línea recta sin tomar en consideración la absorción ni reflexión en objetos cercanos.

$$L(\text{dB}) = 32,4 + 20 \log D + 20 \log F \quad (1)$$

D: Distancia entre los dos puntos en Kilómetros.

F: Frecuencia de radioenlace en MHz.

L: Pérdidas en espacio libre.

- Ecuación de Friis en espacio libre: La ecuación de Friis en espacio libre es:

$$Pr = Pt * Gt * Gr * \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

En dB queda:

$$Pr(\text{dBm}) = Pt(\text{dBm}) + Gt(\text{dBi}) + Gr(\text{dBi}) - (32,4 + 20 \log D + 20 \log F)$$

Pr: Potencia recibida.

Pt: Potencia transmitida.

Gt: Ganancia de antena de transmisión.

Gr: Ganancia de antena de recepción.

Un dB es una medida relativa expresada en decibelios de dos niveles de potencia diferentes. Se utiliza para indicar la ganancia o pérdida de una potencia en relación a otra.

Un dBm es la medida expresada en decibelios relativa a un miliwatt.

Un dBi son los decibelios de ganancia de una antena respecto a un radiador isotrópico.

- Margen de Desvanecimiento: Se define como las pérdidas intermitentes provocadas por varios factores como son: perturbaciones meteorológicas como la lluvia o la nieve, tipo de superficie de la tierra como puede ser terreno seco, húmedo, bosque, mar o lago.

El Margen de Desvanecimiento permite tener en cuenta el nivel de confiabilidad del enlace.

$$F_m(\text{dB}) = 30 \log D + 10 \log (6 \cdot A \cdot B \cdot F) - 10 \log (1 - C) - 70 \quad (2)$$

D: Distancia entre los dos puntos en Kilómetros.

F: Frecuencia de radioenlace en MHz.

C: Confiabilidad del enlace.

A: Tipo de terreno:

4 si terreno es agua.

1 para terreno promedio.

0,25 para terreno rugoso.

B: Factor climático:

0,5 zonas templadas y húmedas.

0,25 zonas intermedias.

0,125 para zonas montañosas o muy secas.

F_m: Margen de desvanecimiento.

- Pérdidas en cables y conectores: Como el nombre lo indica, corresponde al valor de pérdida generado por largo del cable coaxial entre el equipo de radio y la antena, más la pérdida generada por los conectores.
- Potencia de Transmisión: Corresponde a la potencia de salida de equipo transmisor.

$$T_x(\text{dBm}) = 10 \log P$$

P: Potencia de transmisión en mW.

T_x: Potencia de transmisión.

- Potencia de Recepción: Corresponde a la potencia recibida en el equipo receptor.

$$R_x(\text{dBm}) = T_x(\text{dBm}) + G_{\text{antTx}}(\text{dBi}) - P_{\text{cc}}(\text{dBi}) - F_m(\text{dB}) - L(\text{dB}) + G_{\text{antRx}}(\text{dBi}) \quad (3)$$

G_{antTx}: Ganancia antena equipo transmisión en dBi.

P_{cc}: Potencia de perdida en cables y conectores en dBi.

G_{antRx}: Ganancia en antena equipo recepción en dBi.

R_x: Potencia de recepción.

- Sensibilidad de receptor: Es el nivel mínimo de señal de radio frecuencia que permite que el equipo decodifique la data recibida. Por lo tanto, la Potencia de Recepción debe ser mayor a este valor. Se define como Margen del Enlace a la diferencia entre Potencia de Recepción y Sensibilidad de equipo receptor.

$$\text{Margen} = \text{Rx (dBm)} - \text{Sensibilidad (dBm)} \quad (4)$$

Mientras mayor sea el Margen, más confiable es el radioenlace.

1.3.1.1.- Software de Cálculo de Radioenlaces.

Existen múltiples softwares para realizar los cálculos de radioenlaces indicados en las ecuaciones (1) a (4). El más utilizado es Radio Mobile por ser de uso libre y disponer de todos los perfiles topográficos terrestres.

2.- PLANTA ELEVADORA BOOSTER LOS PINOS.

2.1.- Situación geográfica de la planta y sus clientes.

La Planta Elevadora Booster Los Pinos está ubicada en la comuna de Quilpué parte alta de Sector Estero Viejo a un costado de calle Marga Marga como muestra el mapa de figura 2.1. El punto de La Presión Remota está ubicado a 1.570 metros de la planta en línea recta.



Figura 2.1. Ubicación geográfica PBP Los Pinos y Presión Remota.

El diseño de la planta es para un caudal máximo de 150 (l/s) considerado para abastecer todo el sector de Los Pinos que en plano de figura 10 está delimitado en color rojo.

En [8] se obtiene que consumo diario promedio por persona en fechas de mayor demanda es de 185 litros; considerando que consumo se realiza durante el día, por ejemplo, de 7:00 hrs. a 22:00 hrs. (15 horas), se obtiene que con caudal de 150 (l/s) se cubre el consumo de 43.784 habitantes.

2.2.- Características de equipos de bombeo de cámara subterránea.

Como muestra la figura 1.1, la cámara está compuesta por cuatro bombas verticales.

La estación elevadora debe ser capaz de elevar a 27 [mca] la demanda máxima de 150 [l/s] y a su vez satisfacer una demanda mínima de 15 [l/s].

Para que una bomba pueda trabajar en rangos diferentes, se varía la frecuencia eléctrica de alimentación pudiendo llegar a valores muy bajos en caso de bombas centrifugas horizontales. Lamentablemente, las bombas de pozo no pueden bajar de 27 [Hz] dado que para frecuencias más bajas no logran enfriarse.

Por lo anterior, se seleccionó una bomba Marca KSB Modelo UPA 250C-150/2f UMA 150D 37/22 de 33 [kW] de potencia. Esta bomba tiene un punto de operación de 50 [l/s] a 47 [mca] por lo cual deberán instalarse 4 bombas iguales en configuración 3+1. En la tabla 2.1 se muestra el comportamiento de caudal vs. altura para diferentes frecuencias y número de bombas.

Tabla 2.1. Caudal vs. altura para diferentes frecuencias y número de bombas.

1 BOMBA a 50 Hz		1 BOMBA a 35 Hz		2 BOMBAS a 50 Hz		2 BOMBAS a 40 Hz		3 BOMBAS a 50 Hz		3 BOMBAS a 44 Hz	
Q [l/s]	H [mca]	Q [l/s]	H [mca]	Q [l/s]	H [mca]	Q [l/s]	H [mca]	Q [l/s]	H [mca]	Q [l/s]	H [mca]
0,0								0			
5,0	75,0	3,5	37,6	10,0	75,0	8,0	48,0	15,0	75,0	13,2	58,1
10,0	73,0	7,1	36,6	20,0	73,0	16,0	46,7	30,0	73,0	26,4	56,5
20,0	68,0	14,2	34,1	40,0	68,0	32,0	43,5	60,0	68,0	52,8	52,7
30,0	63,0	21,2	31,6	60,0	63,0	48,0	40,3	90,0	63,0	79,2	48,8
40,0	57,0	28,3	28,6	80,0	57,0	64,0	36,5	120,0	57,0	105,6	44,1
50,0	49,0	35,4	24,6	100,0	49,0	80,0	31,4	150,0	49,0	132,0	37,9
60,0	38,0	42,5	19,0	120,0	38,0	96,0	24,3	180,0	38,0	158,4	29,4

2.3.- Estudio de Radioenlace.

El estudio del radioenlace se realizó utilizando Software Radio Mobile.

La figura 2.3 muestra la ubicación geográfica y topográfica de ambos puntos en el mapa.

Booster Los Pinos ↔ Presión Remota.

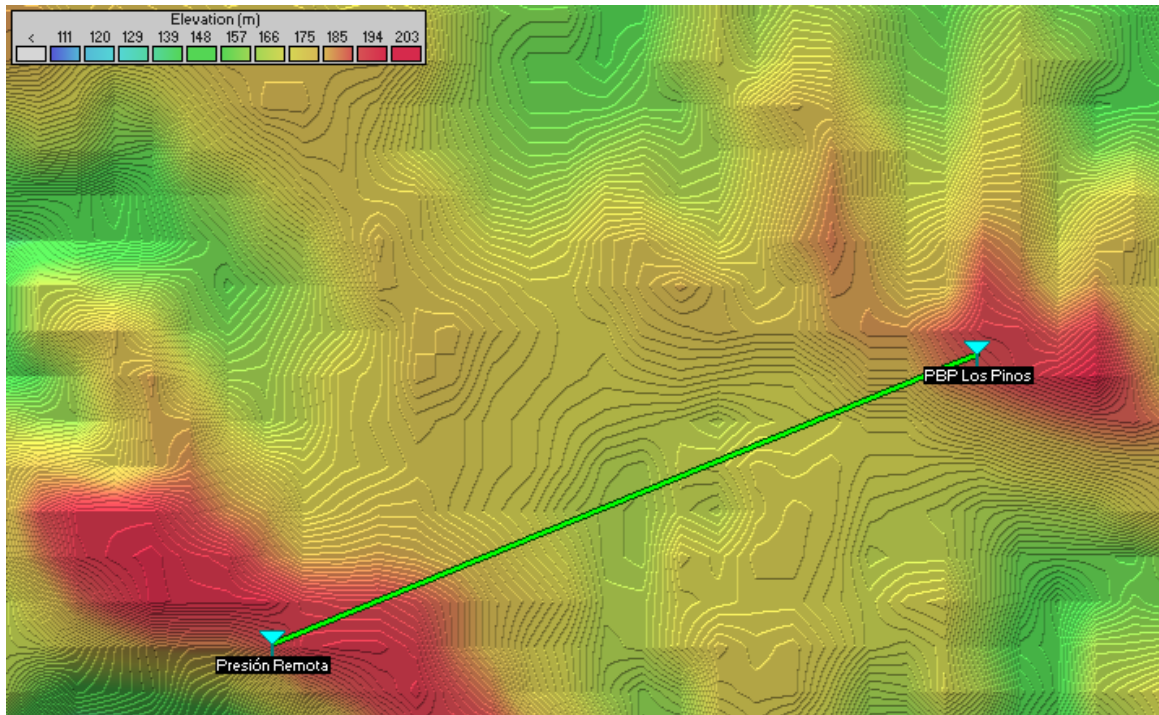


Figura 2.2. Ubicación geográfica y topográfica de puntos enlazados.

El estudio de Radio Enlace se representa de acuerdo a cada sitio requerido, el cual es proyectado de acuerdo a sus coordenadas:

Booster Los Pinos: Coordenadas 33°4',7.44" S / 71°24',45.39" O.

Presión Remota: Coordenadas 33°4',26.77" S / 71°25',41.44" O.

2.3.1.- Datos de Sistema Radiante PBP Los Pinos.

Radio : MDS modelo INET900, potencia Tx = 500 mW, Sensibilidad -96 dBm
Frecuencia : 902 a 928 MHz.
Altura de antena : 35 metros de nivel de terreno.
Cable coaxial : 6 metros LMR400, perdida 0,77 dB.
Antena : Omni 7 dBi.
Azimut : 247,69° Norte Magnético.
Elevación : -0,948°

2.3.2.- Datos de Sistema Radiante Presión Remota.

Radio : MDS modelo INET900, potencia Tx = 500 mW, Sensibilidad -96 dBm
Frecuencia : 902 a 928 MHz.
Altura de antena : 6 metros de nivel de terreno.
Cable coaxial : 6 metros LMR400, perdida 0,77 dB.
Antena : Yagi 11 dBi.
Azimut : 67,7° Norte Magnético.
Elevación : 0,948°
Dirección : Booster Los Pinos.

La figura 2.4 muestra el perfil topográfico y los resultados obtenidos de cálculo de radio enlace PBP Los Pinos ↔ Presión Remota.

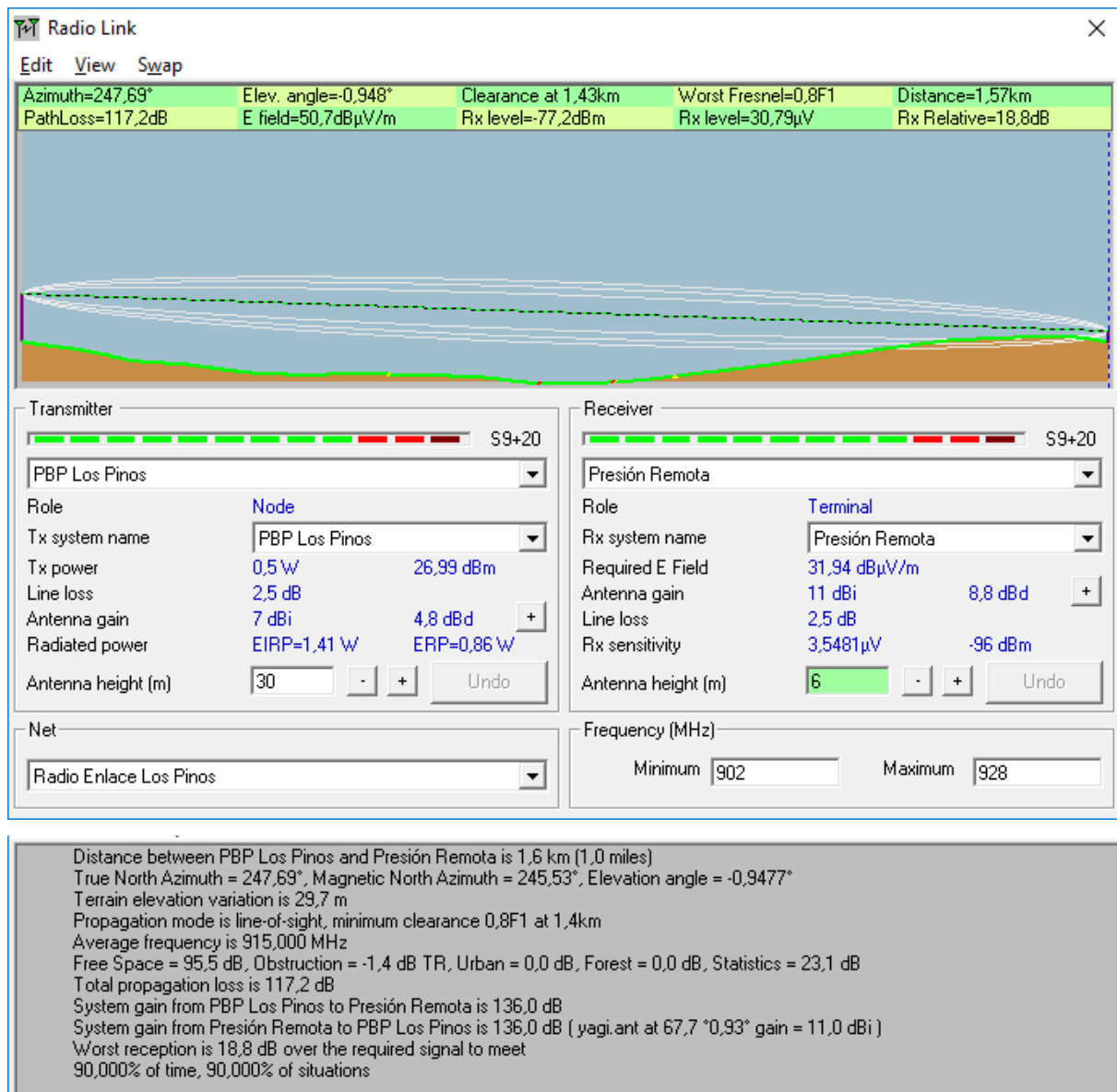


Figura 2.3. Perfil topográfico y resultados enlace.

Conclusión:

Los resultados obtenidos utilizando el software Radio Mobile para el estudio de radioenlace entre Planta Los Pinos y Presión Remota, entregan lo siguiente:

- Nivel de señal de recepción de -77,2 dBm.
- Enlace se da sin inconvenientes el 90,0% del tiempo con un margen de 18,8 dB sobre señal mínima requerida por equipo de radio.
- El enlace es con línea vista, no existe obstrucción en enlace.

3.- REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS.

3.1.- Estrategias de Control de Presión con Múltiples Bombas.

El control PID encargado de modular la frecuencia de uno o más variadores con el fin de mantener la presión constante al valor definido, puede ser implementado en cada variador de frecuencia o en PLC.

3.1.1.- Control PID distribuido en cada Variador de Frecuencia.

Al realizar el control PID en cada variador, el PLC solo se encarga de poner en marcha o detener cada convertidor según se requiera y enviar a cada uno señal de consigna deseada y señal de presión en la red de agua potable (RAP).

El siguiente diagrama muestra cómo queda el conexionado de señales (se omitieron las variables de monitoreo análogas y digitales de cada variador para simplificar esquema).

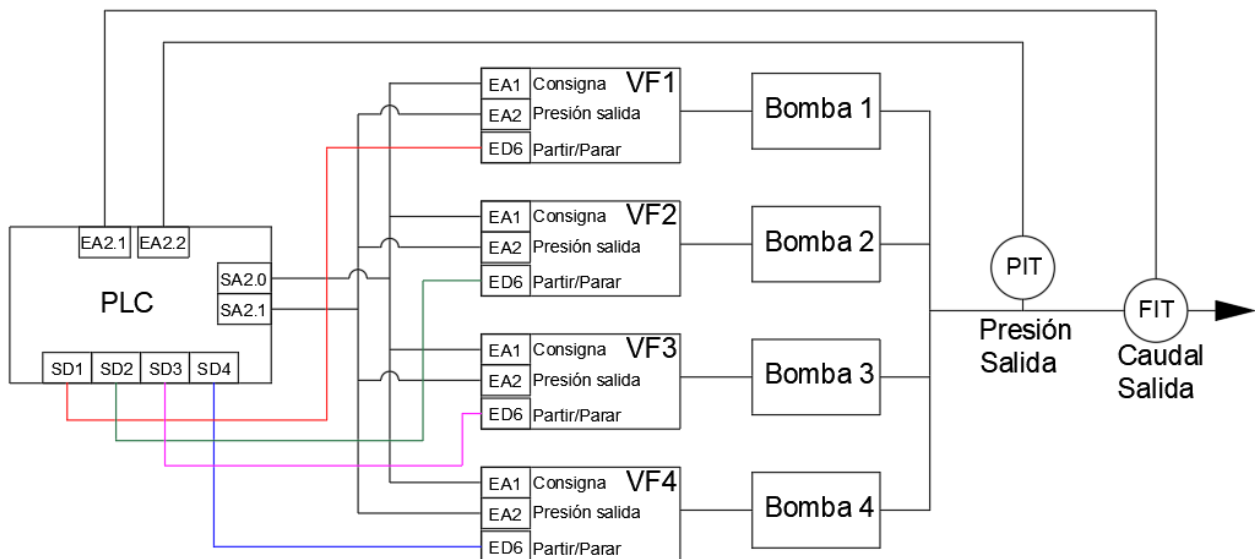


Figura 3.1. Control PID distribuido en cada VDF.

PIT transductor de presión que mide presión en salida en RAP.

FIT medidor de caudal de salida en RAP.

Entrada análoga EA2.2 adquiere señal de presión PIT y genera respectiva señal por salida análoga SA2.1 (en voltaje de 0 a 10 V), la cual es ingresada a cada variador en canal de entrada EA2. Salida análoga SA2.0 de PLC (en voltaje de 0 a 10 V), entrega señal de Consigna seleccionada y es ingresada a entrada análoga de cada variador en EA1. PLC realiza Partida o Parada a cada Variador por medio de SD1, SD2, SD3, SD4.

Al dar la partida el PLC a un variador, éste comenzará a variar la frecuencia de acuerdo con su control PID interno. Por lo tanto, si están funcionando dos o tres variadores, la frecuencia de cada uno es independiente a la de los otros dos.

3.1.2.- Control PID Centralizado en PLC local de Booster Los Pinos.

La programación y configuración del Control PID en el PLC local, se realiza utilizando la instrucción que es parte de la librería que él posee. El siguiente esquema muestra el conexionado de las señales de control desde PLC a cada variador.

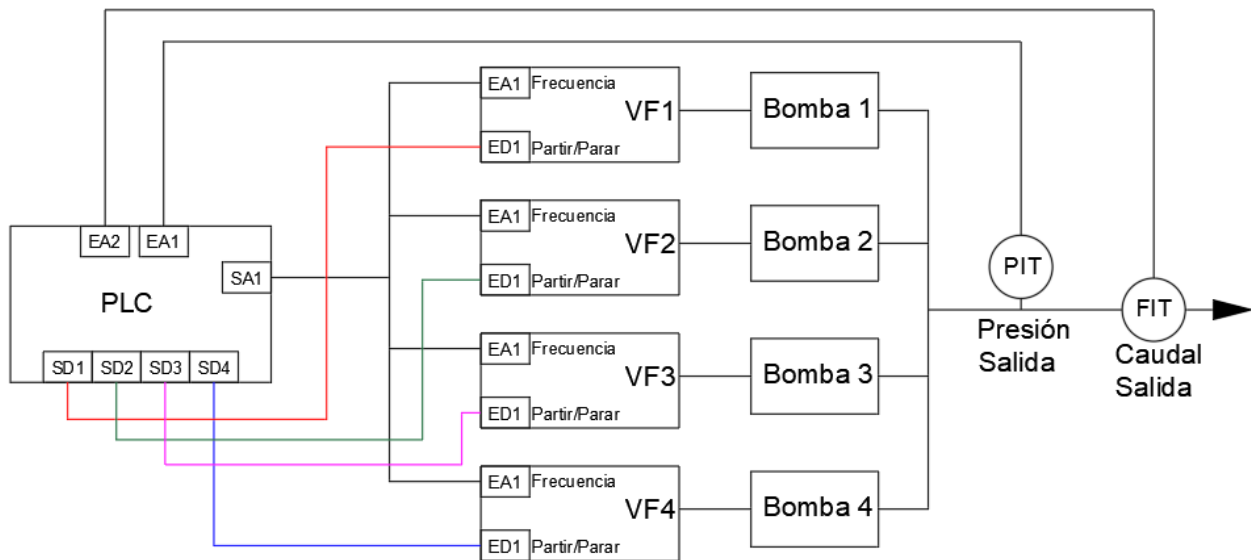


Figura 3.2. Control PID Centralizado en PLC local.

De la misma forma que en alternativa anterior, PLC realiza la adquisición de presión de salida y caudal impulsado. En este caso el control PID es realizado por PLC, generando por salida análoga SA1 la frecuencia requerida para mantener presión constante en RAP.

Según se requiera, el PLC genera la partida o parada de variadores por medio de salidas digitales SD1, SD2, SD3 y SD4. Al poner en marcha un variador, éste funciona con la frecuencia enviada por PLC. Al ponerse en marcha dos o tres variadores, funcionarán con la misma frecuencia.

3.2.- Equipos.

Los equipos e instrumentos necesarios para implementar la planta, estos son:

- Controlador de Lógica Programable (PLC).
- Convertidor o variador de frecuencia.
- Radio Ethernet de transmisión de datos.
- Interface Hombre Máquina (HMI).
- Radioenlace.

3.2.1.- Convertidor o variador de frecuencia.

En capítulo anterior, “Estado del Arte”, se presentaron las principales marcas de variadores de frecuencia como son ABB, WEG y Schneider. Para esta aplicación el modelo debe cumplir con la potencia de las motobombas que son de 33 KW, trifásica, 380 VAC.

- a.- Variador ABB modelo ACS550-01-072A-4 de 37 KW.
- b.- Variador WEG modelo CFW700D70P5T4 de 37 KW.
- c.- Variador Schneider modelo Altivar ATV212HD37N4 de 37 KW.

Los tres tienen la opción de ser configurados como un simple variador de frecuencia o pueden ser configurados para realizar su propio control PID.

Al ser configurados como simple variador, la frecuencia de salida de potencia que va conectada al motor es de acuerdo con la señal de control de entrada. Esta señal de control puede ser en formato corriente de 4-20 mA o en formato voltaje de 0 a 10 V.

Si el variador se configura en modo control PID, realiza modulación de frecuencia de acuerdo con señal de valor deseado “set point” y de acuerdo con señal de realimentación obtenida de esa modulación.

Los tres tienen representación y asistencia técnica en nuestro país. La principal ventaja del variador ABB, es por parte del mandante Esval, el cual lo tiene instalado en la mayoría de sus plantas y, por ende, para efectos de mantención, tienen mayor entrenamiento y mayor stock ante una reparación.

3.2.2.- Controlador de Lógica Programable (PLC).

Una de las principales características del PLC de esta aplicación es que debe poseer, para las comunicaciones, Protocolo Ethernet Modbus TCP/IP. Este requerimiento debe ser cumplido ya que la Red de Comunicaciones de PLC's de Esval, incluyendo el SCADA IFIX de CCO, está con este protocolo. Otra característica importante es cumplir con marca de equipo definido por mandante. Dado este requerimiento, el PLC elegido debe ser marca Schneider.

Dicho lo anterior y considerando que no se requiere de gran cantidad de memoria ni de grandes herramientas para realizar la Lógica de Control a implementar, los equipos seleccionados son:

- a.- PLC Telemecanique Twido modelo TWDLCAE40DRF.
- b.- PLC Modicon TM221CE40R.

Ambos PLC son alimentados con 220 VAC, disponen de 24 entradas digitales en 24 Vdc, 14 salidas digitales de contacto relé, puerto de programación serial RS-485, puerto de comunicación Ethernet Modbus TCP/IP, lenguaje de programación Ladder, con librería de programación suficiente para esta aplicación, 256 KB de memoria RAM para aplicaciones y 256 KB de memoria RAM interna con librería de instrucciones. A ambos se les debe agregar módulo de entradas análogas de 4-20 mA con la cantidad de entradas requerida más 20% de reserva. Lo mismo para las salidas análogas en mismo formato de señales de 4-20 mA.

La diferencia entre ambos radica en que el primero, PLC Twido, se está descontinuuando su venta y el segundo, PLC Modicon TM, viene a ser el reemplazo de esa línea de equipos.

Las tareas que realiza el PLC son:

- Adquisición de todas las variables de la Planta: Variables análogas y digitales de cada variador, presión salida, caudal entrada a planta y caudal salida impulsión a RAP, niveles discretos de estanque de aspiración (donde están las bombas).
- Realizar adquisición de datos vía comunicación radial de presión remota a PLC respectivo.

- Transferencia de entrada y salida de datos con CCO.
- Realizar control PID para mantener presión constante (si control PID se configura en PLC).
- Realizar Lógica de Control de partida y parada de variadores de motobombas.

3.2.3.- Interface Hombre Máquina (HMI).

Las consolas de despliegue HMI instaladas localmente, son de gran utilidad en el momento de la puesta en marcha y al momento de detectar una anomalía en la operación, puesto que en ella se despliegan todas las variables involucradas en el funcionamiento de la planta. Existen varias marcas en el mercado con valores no mayor a 1.000 dólares: Schneider, Siemens, Hakko Electronics, Mitsubishi Electric, Delta.

La pantalla requerida debe cumplir al menos con las siguientes especificaciones:

- Pantalla color touch de al menos 5,7”.
- Puerta de comunicación Ethernet.
- Protocolo para monitoreo PLC Modbus TCP/IP.
- Capacidad de memoria de al menos 512 KB.
- Capacidad de graficar en tiempo real.
- Alimentación en 24 Vdc.

3.2.4.- Radioenlace.

La radio Ethernet utilizada por Esval es la misma que se definió cuando se implementó esta red de comunicación en el año 2002 -2003. Radio MDS modelo INET 900. Al instalar otra marca de radio Ethernet, se genera incompatibilidad en las señales de Radio Frecuencia porque MDS utiliza su protocolo propietario.

3.3.- Instrumentación.

3.3.1.- Transmisor de presión.

El transmisor de presión debe ir instalado en tubería de salida de RAP y debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Compacto sin display con conexión hidráulica hilo exterior de 1/2".
- Rango de presión a medir de 0 – 10 Bar.
- Señal de salida estándar de 4 – 20 mA, alimentador en 24 Vdc, Two-wire.
- Protección IP67 (inmersión a un metro bajo el agua).

Los más utilizados en agua potable son:

- Marca Siemens modelo SITRANS P200.
- Marca Danfoss modelo MBS 3000.
- Marca Endress Hauser modelo Cerabar PMP21.

3.3.2.- Transmisor de caudal.

Las características que debe cumplir el medidor de caudal son:

- Tipo de medición sensor: electromagnético.
- Diámetro de tubería: 350 mm.
- Caudal a medir: 0 – 300 l/s
- Electrodo: Acero inoxidable 316
- Bidas: Acero al carbono
- Protección ambiental: IP68 (NEMA6P)
- Conductividad: $\geq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$
- Transmisión de Datos en 4-20 mA: Hasta 100 m
- Visor Electrónico: Polipropileno con fibra de vidrio, con protección IP65 y ventana de policarbonato (clasificación ULVO).

Las marcas aceptadas por Esval son medidoras de caudal con principio de funcionamiento inductivo electromagnético de carrete, para conexión bridas marca ABB, KRHONE o SIEMENS.

El equipo que más se utiliza por su buen funcionamiento es el Siemens compuesto por sensor modelo SITRANS F M MAG 5100 W y transmisor SITRANS F M MAG 5000.

3.3.3.- Transmisor de nivel.

En mediciones de nivel de agua potable es posible utilizar:

- Medición de nivel hidrostático.
- Medición de nivel ultrasónico.
- Medición de nivel capacitivo.

El más utilizado por su buen comportamiento, facilidad de instalación y mejor precio, es el medidor de nivel hidrostático. Las características que cumplir son:

- Compacto en acero inoxidable.
- Rango de presión a medir de 0 – 10 m.c.a.
- Señal de salida estándar de 4 – 20 mA, alimentador en 24 Vdc, Two-wire.
- Protección IP68 (inmersión a 10 Bar).

Los más utilizados en agua potable son:

- Marca Siemens modelo SITRANS P MPS LPC770.
- Marca Endress Hauser modelo Waterpilot FMX21.

3.4.- Alternativas Seleccionadas.

A continuación, se presentan los criterios utilizados para evaluar las distintas alternativas de desarrollo, en todos los casos se utilizará un sistema de puntaje entre 0 y 1. A cada criterio se le asigna una determinada ponderación.

En capítulo anterior, las alternativas de implementación se separaron en dos grupos:

- Grupo 1: Alternativas de Equipos e instrumentación.
- Grupo 2: Alternativas de Programación de Control PID.

3.4.1.- Alternativa de Equipos e Instrumentos.

3.4.1.1.- Controlador de Lógica Programable (PLC).

En capítulo anterior 3.2.2 “Controlador de Lógica Programable” se plantearon dos modelos de PLC marca Schneider Eléctric: PLC Twido modelo TWDLC4E40DRF y PLC Modicon TM221CE40R. En esta evaluación se evaluará un tercer PLC marca Siemens modelo S7-200 CPU 243-1.

Criterios de selección:

- **Puertos de Comunicación y compatibilidad con protocolos utilizados:** Esta es una característica importante del PLC para poder comunicarse con plataforma de comunicaciones implementada en ESVAL, debe poseer puerta Ethernet con Protocolo Ethernet Modbus TCP/IP.
- **Capacidad de Entradas y salidas:** Esta aplicación requiere 13 Entradas análogas en estándar 4-20 mA, 21 entradas discretas, 2 salidas análogas (4-20 mA) y 8 salidas discretas. Aparte de la capacidad de E/S, es importante que esas entradas y salidas sean aisladas para evitar que un desperfecto eléctrico en una de ellas se propague hacia el resto.
- **Capacidad de Memoria para programa:** Una aplicación como esta aplicación requiere aproximadamente 40 KB de memoria RAM. Cabe destacar que al realizar la carga del

programa al PLC, la aplicación queda en memoria RAM y además se debe guardar en memoria EEPROM para evitar pérdida de programa ante corte de suministro de energía a PLC.

- **Lenguaje de Programación:** Para efectos de unificación y realizar mantenimiento por parte de un tercero (seguimiento de programa), Esval utiliza lenguaje de programación Escalera (Ladder).
- **Conjunto de Instrucciones:** Para desarrollar esta y otras aplicaciones similares, se requiere que PLC disponga de al menos: contadores, comparadores, funciones matemáticas, uso de datos en coma flotante, instrucciones para adquirir y transferir datos vía canal de comunicación, reloj calendario en tiempo real, instrucción control PID.
- **Capacidad de Software de Programación:** Se requiere que software de programación tenga las siguientes capacidades: modificar el programa en línea, poder monitorear todas las variables involucradas, conectarse remotamente (en este caso vía Ethernet por medio de plataforma de comunicación de Esval).
- **Representación en el país y con servicio técnico:** Es importante que el equipo tenga representación y asistencia técnica en forma expedita ya sea para resolver una duda técnica o la adquisición de uno de sus repuestos. También es importante que el proveedor mantenga una comunicación permanente para informar de cambios o discontinuidad de los equipos.
- **Precio del producto:** El producto debe ser elegido para cubrir las demandas de la aplicación. Un PLC de ciertas características puede ser de muy alto costo del orden de \$5.000.000 o de muy bajo costo como \$200.000. El primero está sobredimensionado y el segundo puede no cumplir con ciertos estándares de calidad. Un valor adecuado para este caso debería ser \$600.000.
- **Estandarización con equipos existentes:** Este criterio considera la familiarización del mandante con el equipo a instalar. Importante para efectos de mantenimiento y/o remplazo de una de sus partes.

A continuación, se muestran las tablas con los puntajes ponderados para cada modelo de PLC a evaluar.

3.4.1.1.1.- PLC marca Schneider modelo Twido TWDLCAE40DRF.

Tabla 3.1. Ponderación PLC marca Schneider modelo Twido TWDLCAE40DRF

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Puertos de Comunicación y compatibilidad con protocolos utilizados	20%	1	0,2
Capacidad de entradas y salidas	10%	1	0,1
Capacidad de memoria para programa	8%	1	0,08
Lenguaje de programación	7%	1	0,07
Conjunto de instrucciones	7%	1	0,07
Capacidad de Software de Programación	8%	0,8	0,064
Representación en el país y con servicio técnico	15%	0,5	0,075
Precio del producto	10%	1	0,1
Estandarización con equipos existentes	15%	1	0,15
TOTAL			0,909

Obtiene bajo puntaje en criterio “representación en el país” porque modelo se está descontinuando.

3.4.1.1.2.- PLC marca Schneider modelo Modicon TM221CE40R.

Tabla 3.2. Ponderación PLC marca Schneider modelo Modicon TM221CE40R.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Puertos de Comunicación y compatibilidad con protocolos utilizados	20%	1	0,2
Capacidad de entradas y salidas	10%	1	0,1
Capacidad de memoria para programa	8%	1	0,08
Lenguaje de programación	7%	1	0,07
Conjunto de instrucciones	7%	1	0,07
Capacidad de Software de Programación	8%	0,9	0,073
Representación en el país y con servicio técnico	15%	1	0,15
Precio del producto	10%	1	0,1
Estandarización con equipos existentes	15%	1	0,15
TOTAL			0,993

3.4.1.1.3.- PLC marca Siemens modelo S7-200 con módulo comunicación CP243-1.

Tabla 3.3. Ponderación PLC Siemens modelo S7-200 con módulo comunicación CP243-1.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Puertos de Comunicación y compatibilidad con protocolos utilizados	20%	0,2	0,04
Capacidad de entradas y salidas	10%	1	0,1
Capacidad de memoria para programa	8%	1	0,08
Lenguaje de programación	7%	1	0,07
Conjunto de instrucciones	7%	1	0,07
Capacidad de Software de Programación	8%	0,9	0,073
Representación en el país y con servicio técnico	15%	1	0,15
Precio del producto	10%	1	0,1
Estandarización con equipos existentes	15%	0,1	0,015
TOTAL			0,698

El puntaje es bajo principalmente por no disponer de puerta Ethernet con protocolo Modbus TC/IP y ser un equipo no estandarizado en Esval.

Dado los pontajes ponderados el equipo PLC a utilizar es marca Schneider modelo Modicon TM221CE40R.

3.4.1.2.- Convertidor o variador de frecuencia.

En capítulo anterior se presentaron tres alternativas que cumplen con las especificaciones de las motobombas que son de 33 KW, trifásica, 380 VAC: Variador ABB modelo ACS550-01-072A-4, variador WEG modelo CFW700D70P5T4 y variador Schneider modelo Altivar ATV212HD37N4.

3.4.1.2.1.- Variador ABB modelo ACS550-01-072A-4.

Tabla 3.4. Ponderación Variador ABB modelo ACS550-01-072A-4.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Capacidad para control PID propio	20%	1	0,2
Capacidad de entradas y salidas de control	8%	1	0,08
Display amigable para programar	12%	1	0,12
Capacidad de eliminación de Armónicos	10%	0	0
Control PID: Instrucciones para dormir/despertar	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	15%	1	0,15
Precio del producto	15%	0,8	0,12
Estandarización con equipos existentes	10%	1	0,1
TOTAL			0,87

3.4.1.2.2.- Variador WEG modelo CFW700D70P5T4.

Tabla 3.5. Ponderación Variador WEG modelo CFW700D70P5T4.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Capacidad para control PID propio	20%	1	0,2
Capacidad de entradas y salidas de control	8%	1	0,08
Display amigable para programar	12%	1	0,12
Capacidad de eliminación de Armónicos	10%	0	0
Control PID: Instrucciones para dormir/despertar	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	15%	1	0,15
Precio del producto	15%	0,7	0,105
Estandarización con equipos existentes	10%	0,1	0,01
TOTAL			0,765

3.4.1.2.3.- Variador Schneider modelo Altivar ATV212HD37N4.

Tabla 3.6. Ponderación Variador Schneider modelo Altivar ATV212HD37N4.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Capacidad para control PID propio	20%	1	0,2
Capacidad de entradas y salidas de control	8%	1	0,08
Display amigable para programar	12%	0,6	0,072
Capacidad de eliminación de Armónicos	10%	01	0,1
Control PID: Instrucciones para dormir/despertar	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	15%	1	0,15
Precio del producto	15%	0,7	0,105
Estandarización con equipos existentes	10%	0,2	0,02
TOTAL			0,827

Considerando los puntajes ponderados el Variador a utilizar es ABB modelo ACS550-01-072A-4. A las otras dos marcas les desfavorece bajo nivel de instalaciones en Esval.

3.4.1.3.- Radio Ethernet de transmisión de datos.

En documento capítulo anterior quedó establecido que La radio Ethernet a utilizar es MDS modelo INET 900.

3.4.1.4.- Interface Hombre Máquina (HMI).

En documento anterior Alternativas de Solución, se definieron las siguientes alternativas en consolas HMI: Schneider, Siemens, Hakko Electronics, Mitsubishi Electric, Delta.

3.4.1.4.1.- HMI Schneider modelo Magelis HMIGTO2315.

Tabla 3.7. Ponderación HMI Schneider modelo Magelis HMIGTO2315.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Pantalla color touch de al menos 5,7"	20%	1	0,2
Puerta de comunicación Ethernet	13%	1	0,13
Protocolo para monitoreo PLC Modbus TCP/IP	15%	1	0,15
Capacidad de memoria de al menos 12 MB	10%	1	0,1
Capacidad de graficar en tiempo real	15%	1	0,15
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	0,7	0,05
Estandarización con equipos existentes	7%	0,8	0,056
TOTAL			0,936

3.4.1.4.2.- HMI Siemens modelo KTP700 Basic.

Tabla 3.8. Ponderación HMI Siemens modelo KTP700 Basic.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Pantalla color touch de al menos 5,7"	20%	1	0,2
Puerta de comunicación Ethernet	13%	1	0,13
Protocolo para monitoreo PLC Modbus TCP/IP	15%	1	0,15
Capacidad de memoria de al menos 12 MB	10%	0,7	0,07
Capacidad de graficar en tiempo real	15%	1	0,15
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	0,7	0,07
Estandarización con equipos existentes	7%	0,3	0,021
TOTAL			0,891

3.4.1.4.3.- HMI Hakko Electronics modelo V9060iT.

Tabla 3.9. Ponderación HMI Hakko Electronics modelo V9060iT.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Pantalla color touch de al menos 5,7"	20%	1	0,2
Puerta de comunicación Ethernet	13%	1	0,13
Protocolo para monitoreo PLC Modbus TCP/IP	15%	1	0,15
Capacidad de memoria de al menos 12 MB	10%	1	0,1
Capacidad de graficar en tiempo real	15%	1	0,15
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	0,9	0,09
Estandarización con equipos existentes	7%	0,8	0,056
TOTAL			0,976

3.4.1.4.4.- HMI Mitsubishi Electric modelo GT2505-VTBD.

Tabla 3.10. Ponderación HMI Mitsubishi Electric modelo GT2505-VTBD.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Pantalla color touch de al menos 5,7"	20%	1	0,2
Puerta de comunicación Ethernet	13%	1	0,13
Protocolo para monitoreo PLC Modbus TCP/IP	15%	1	0,15
Capacidad de memoria de al menos 12 MB	10%	1	0,1
Capacidad de graficar en tiempo real	15%	1	0,15
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	0,4	0,04
Estandarización con equipos existentes	7%	0,1	0,007
TOTAL			0,877

3.4.1.4.5.- HMI Delta modelo DOP-B07E411.

Tabla 3.11. Ponderación HMI Delta modelo DOP-B07E411.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Pantalla color touch de al menos 5,7”	20%	1	0,2
Puerta de comunicación Ethernet	13%	1	0,13
Protocolo para monitoreo PLC Modbus TCP/IP	15%	1	0,15
Capacidad de memoria de al menos 12 MB	10%	1	0,1
Capacidad de graficar en tiempo real	15%	0,9	0,135
Representación en el país y con servicio técnico	10%	0,8	0,08
Precio del producto	10%	0,4	0,04
Estandarización con equipos existentes	7%	0	0
TOTAL			0,835

Según las tablas de evaluación se utilizará la HMI Hakko Electronics modelo V9060iT.

3.4.1.5.- Instrumentación.

3.4.1.5.1.- Transmisor de presión.

Los transmisores de presión a evaluar son:

- Marca Siemens modelo SITRANS P200.
- Marca Danfoss modelo MBS 3000.
- Marca Endress Hauser modelo Cerabar PMP21.

3.4.1.5.1.1.- Transmisor de presión marca Siemens modelo SITRANS P200.

Tabla 3.12. Ponderación Transmisor de presión marca Siemens modelo SITRANS P200.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Compacto sin display con conexión hidráulica hilo exterior de 1/2"	20%	1	0,2
Rango de presión a medir de 0 – 10 Bar	20%	1	0,2
Señal de salida estándar de 4 – 20 mA, alimentador en 24 Vdc, Two-wire	20%	1	0,2
Protección IP67 (inmersión a un metro bajo el agua)	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	1	0,1
Estandarización con equipos existentes	10%	1	0,1
TOTAL			1

3.4.1.5.1.2.- Transmisor de presión marca Danfoss modelo MBS 3000.

Tabla 3.13. Ponderación Transmisor de presión marca Danfoss modelo MBS 3000.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Compacto sin display con conexión hidráulica hilo exterior de 1/2"	20%	1	0,2
Rango de presión a medir de 0 – 10 Bar	20%	1	0,2
Señal de salida estándar de 4 – 20 mA, alimentador en 24 Vdc, Two-wire	20%	1	0,2
Protección IP67 (inmersión a un metro bajo el agua)	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	1	0,1
Estandarización con equipos existentes	10%	1	0,1
TOTAL			1

3.4.1.5.1.2.- Transmisor presión marca Endress Hauser modelo Cerabar PMP21.

Tabla 3.14. Ponderación Transmisor presión Endress Hauser modelo Cerabar PMP21.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Compacto sin display con conexión hidráulica hilo exterior de 1/2"	20%	1	0,2
Rango de presión a medir de 0 – 10 Bar	20%	1	0,2
Señal de salida estándar de 4 – 20 mA, alimentador en 24 Vdc, Two-wire	20%	1	0,2
Protección IP67 (inmersión a un metro bajo el agua)	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	0,6	0,06
Estandarización con equipos existentes	10%	1	0,1
TOTAL			0,96

El transmisor de presión Siemens y Danfoss obtiene los mismos puntajes ponderados, por lo tanto, cualquiera de los dos puede ser utilizado. El transmisor de presión marca Endress Hauser le desfavorece mayor precio de venta.

3.4.1.5.2.- Transmisor de caudal.

El transmisor de caudal elegido por su buen funcionamiento es el Siemens compuesto por sensor modelo SITRANS F M MAG 5100 W y transmisor SITRANS F M MAG 5000.

3.4.1.5.3.- Transmisor de nivel hidrostático.

Los transmisores de nivel a evaluar son:

- Marca Siemens modelo SITRANS P MPS LPC770.
- Marca Endress Hauser modelo Waterpilot FMX21.

3.4.1.5.3.1.- Transmisor de nivel marca Siemens modelo SITRANS P MPS LPC770.

Tabla 3.15. Ponderación Transmisor de nivel Siemens modelo SITRANS P MPS LPC770.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Compacto en acero inoxidable	20%	1	0,2
Rango de presión a medir de 0 – 10 m.c.a.	20%	1	0,2
Señal de salida estándar de 4 – 20 mA, alimentador en 24 Vdc, Two-wire	20%	1	0,2
Protección IP68 (inmersión a 10 Bar bajo el agua)	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	10%	1	0,1
Precio del producto	10%	1	0,1
Estandarización con equipos existentes	10%	1	0,1
TOTAL			1

3.4.1.5.3.2.- Transmisor de nivel marca Endress Hauser modelo Waterpilot FMX21.

Tabla 3.16. Ponderación Transmisor de nivel Endress Hauser modelo Waterpilot FMX21.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Compacto en acero inoxidable	20%	1	0,2
Rango de presión a medir de 0 – 10 m.c.a.	20%	1	0,2
Señal de salida estándar de 4 – 20 mA, alimentador en 24 Vdc, Two-wire	20%	1	0,2
Protección IP68 (inmersión a 10 Bar bajo el agua)	10%	1	0,1
Representación en el país y con servicio técnico	10%	0,9	0,09
Precio del producto	10%	0,8	0,08
Estandarización con equipos existentes	10%	1	0,1
TOTAL			0,97

Según las tablas de evaluación se utilizará transmisión de nivel marca Siemens modelo SITRANS P MPS LPC770. El transmisor de nivel marca Endress Hauser le desfavorece mayor precio de venta y lentitud en la entrega de producto.

3.4.2.- Alternativas de Programación de Control PID.

En capítulo 3.1 “Estrategias de Control de Presión con Múltiples Bombas”, se proponen dos alternativas para realizar el control PID de presión.

- Control PID en cada variador de frecuencia.
- Control PID en PLC.

A continuación, se describen los criterios de selección:

- **Mantener la presión constante ante cualquier requerimiento:** El valor de la consigna definida se debe mantener ante cualquier requerimiento de caudal, teniendo principal cuidado al poner en funcionamiento una nueva bomba o detener una de las bombas que está en funcionamiento.
- **Obtener la mejor eficiencia de las motobombas:** Las motobombas, para una determinada presión de operación, poseen curva de eficiencia según frecuencia de funcionamiento dada por caudal vs potencia. Los siguientes gráficos (Figura 3.3), representan lo señalado: Altura de bombeo/Caudal, Consumo de Potencia/Caudal. Ambas curvas para diferentes frecuencias: 37 Hz, 42 Hz, 47 Hz y 50 Hz.

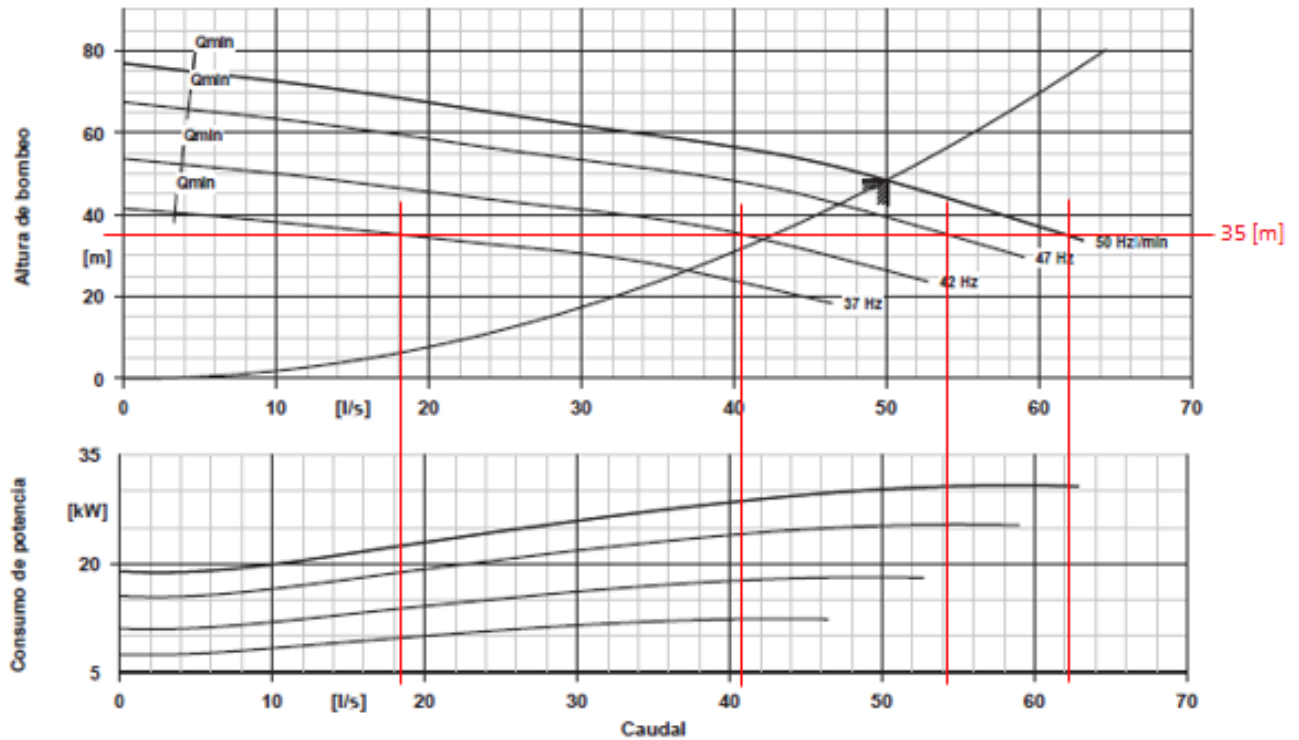


Figura 3.3. Gráfica de motobombas Caudal/Consumo potencia.

De las dos curvas anteriores y tomando una altura de bombeo de 35 m.c.a. se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 3.17. Datos de Gráfica de motobombas Caudal/Consumo potencia.

Frecuencia (Hz)	Caudal (l/s)	Potencia (KW)	Caudal/Potencia
37	18,2	10	1,82
42	40,8	18	2,27
47	54,2	25	2,17
50	62,2	30,5	2,04

De tabla anterior se desprende que la motobomba es más eficiente funcionando entre los 40 Hz y 47 Hz.

- **Mantener funcionamiento de motobombas ante falla de PLC:** Esval en sus instalaciones pone como condición, ante falla de PLC, que las motobombas se puedan seleccionar manualmente para que puedan seguir funcionando mientras se realiza la reparación y volver al normal funcionamiento de la planta. Para esto, en puerta de tablero eléctrico de cada

motobomba se instala selector: funcionamiento con PLC o funcionamiento manual. En funcionamiento con PLC, éste es quien les da la partida/parada y le envía consigna y señal de realimentación de presión. En funcionamiento manual, se realiza by-pass de señal de realimentación de presión y señal de referencia está previamente fijada en configuración de variador; lo mismo con partida y parada de variador: para detención se fija frecuencia mínima de “ida a dormir” y para partida se fija porcentaje bajo la presión de referencia.

A continuación, se muestran las tablas con los puntajes ponderados para cada opción.

3.4.2.1.- Control PID en cada variador de frecuencia.

Tabla 3.18. Ponderación Control PID en cada variador de frecuencia.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Mantener la presión constante ante cualquier requerimiento	35%	1	0,35
Obtener la mejor eficiencia de las motobombas	35%	0,8	0,28
Mantener funcionamiento de motobombas ante falla de PLC	30%	1	0,3
TOTAL			0,93

3.4.2.1.- Control PID en PLC.

Tabla 3.19. Ponderación Control PID en PLC.

Criterio	Ponderación	Puntaje	P. Ponderado
Mantener la presión constante ante cualquier requerimiento	35%	1	0,35
Obtener la mejor eficiencia de las motobombas	35%	1	0,35
Mantener funcionamiento de motobombas ante falla de PLC	30%	0	0
TOTAL			0,7

Considerando los puntajes ponderados, queda claro que la opción a elegir es realizar control PID en cada variador.

3.4.3.- Conclusiones.

Luego de comparar y evaluar las distintas alternativas tanto para las alternativas de Equipos e instrumentación como las alternativas de Programación de Control PID, queda definido utilizar las siguientes alternativas:

- PLC marca Schneider modelo Modicon TM221CE40R.
- Variador de frecuencia marca ABB modelo ACS550-01-072A-4.
- Radio Ethernet de transmisión de datos marca MDS modelo INET 900.
- HMI Hakko Electronics modelo V9060iT.
- Transmisor de presión marca Siemens modelo SITRANS P200.
- Transmisor de caudal Siemens compuesto por sensor modelo SITRANS F M MAG 5100 W y transmisor SITRANS F M MAG 5000.
- Transmisor de nivel marca Siemens modelo SITRANS P MPS LPC770.
- Programación de Control PID en cada variador.

4.- IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.

4.1.- Diagrama P&ID de la planta elevadora Booster Los Pinos.

En figura 1.1 se muestra el diagrama P&ID de planta de agua potable Booster Los Pinos, que posee cuatro bombas operadas cada una con variador de frecuencia. El suministro de agua llega desde estanque de Villa Alemana e ingresa a estanque Semi Enterrado, siendo medido por caudalímetro de entrada FIT-101. Este estanque suministra agua a RAP de Sector Bajo y a Planta Elevadora. La presión de planta elevadora es medida a la salida por PIT-101, de la misma forma que el caudal impulsado medido por FIT-102.

El sistema de control está compuesto por:

- Cuatro motobombas verticales de tipo pozo profundo, sumergidas en cámara de aspiración.
- Cuatro variadores de frecuencia, uno para cada bomba.
- Un sensor de presión ubicado a la salida de la planta PIT-101.
- Un sensor de caudal ubicado a la entrada de estanque semi enterrado FIT-101.
- Un medidor de nivel continuo de estanque semi enterrado LIT-101.
- Un sensor de caudal ubicado a la salida de la planta FIT-102.
- Un sensor de nivel discreto de nivel bajo del pozo de succión LSL-100.
- PLC remoto en sector de consumo.
- PLC local en planta.
- Radio modem Ethernet con protocolo Modbus TCP/IP, para comunicar ambos PLCs entre sí y con CCO.
- Control supervisor y monitoreo HMI local en planta.
- Control supervisor y monitoreo remoto en Centro de Control de Operaciones (CCO) de ESVAL, con SCADA iFIX + historizador.

4.1.1.- Control PID en cada variador de frecuencia.

Como se definió en capítulo anterior, el control PID se realiza en cada variador, el PLC solo se encarga de poner en marcha o detener cada convertidor según se requiera y enviar a cada uno la señal de consigna deseada y la señal de presión en la red de agua potable (RAP).

En el diagrama de Figura 3.1 (mostrado en capítulo anterior), indica cómo queda el conexionado de señales (se omitieron las variables de monitoreo análogas y digitales de cada variador para simplificar esquema).

PIT transductor de presión que mide presión en salida en RAP.

FIT medidor de caudal de salida en RAP.

Entrada análoga EA2.2 adquiere señal de presión PIT y genera respectiva señal por salida análoga SA2.1 (en voltaje de 0 a 10 V), la cual es ingresada a cada variador en canal de entrada EA2. La salida análoga SA2.0 de PLC (en voltaje de 0 a 10 V), entrega señal de Consigna seleccionada y es ingresada a entrada análoga de cada variador en EA1. PLC realiza Partida o Parada a cada Variador por medio de SD1, SD2, SD3, SD4.

Al dar la partida el PLC a un variador, éste comenzará a variar la frecuencia de acuerdo con su control PID interno. Por lo tanto, si están funcionando dos o tres variadores, la frecuencia de cada uno es independiente a la de los otros dos.

En figura 4.1 se muestra diagrama de conexionado de Variador. Las entradas análogas EA1 y EA2 ingresan en formato voltaje de 0 a 10 Volt. La entrada digital ED6 se configura para partida/parada, la entrada digital ED1 se configura para realizar Reset de variador al presentar una falla. La orden de reset es realizada por operador desde HMI o desde CCO remoto.

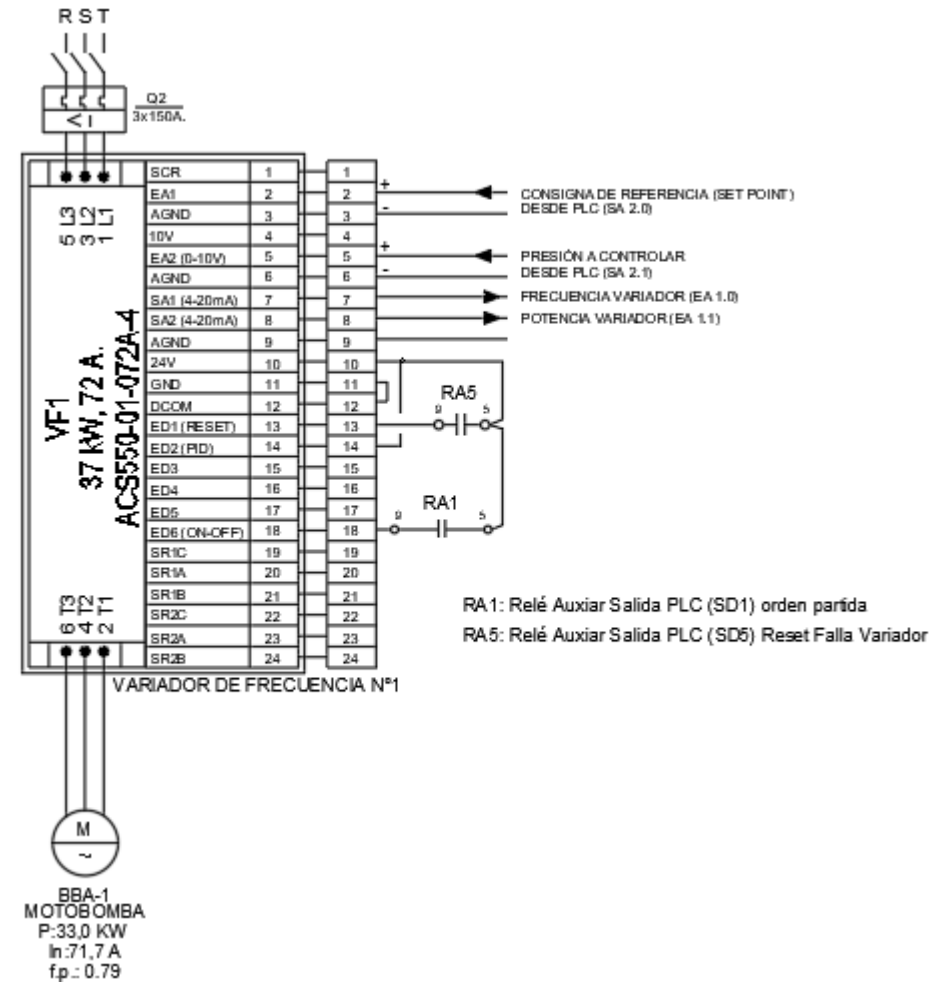


Figura 4.1. Diagrama conexionado de variador.

4.1.1.1.- Configuración de Variador de Frecuencia.

La configuración de parámetros del variador de frecuencia se realiza adecuadamente para que realice control PID a la bomba. Según elección, el variador a configurar es marca ABB modelo ACS550-01-072A-4.

Utilizando panel HMI de variador, figura 4.4, se ingresan los parámetros.

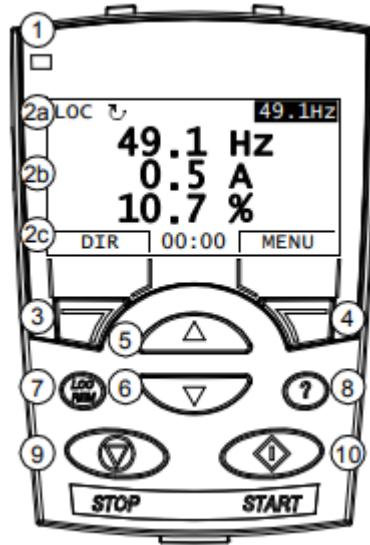


Figura 4.2. Panel configuración y visualización de variador.

El variador posee 38 grupos de parámetros en donde se deben configurar principalmente 14 grupos. Los grupos de parámetros a configurar son:

- Grupo 99 (DATOS DE PARTIDA): Datos del motor y secuencia de identificación motor.
- Grupo 10 (MARCHA/PARO/DIR): Selección dirección de marcha y paro.
- Grupo 11 (SELEC REFERENCIA): Referencia a controlar y nivel máximo y mínimo.
- Grupo 12 (VELOC CONSTANTE): Selección y definición de velocidad constante.
- Grupo 13 (ENTRADAS ANALOG): Rango de entradas análogas EA1 y EA2.
- Grupo 14 (SALIDA RELE): Asignación relé SR1 y SR2 (funcionando, falla).
- Grupo 15 (SALIDAS ANALOG): Definición salida análoga SA1 y SA2.
- Grupo 16 (CONTROLES SISTEMA): Definición principalmente de permiso de marcha.
- Grupo 20 (LIMITES): Límites de velocidad, frecuencia y potencia.
- Grupo 21 (MARCHA/PARO): Tipo de partida y parada, por rampa, torque, escalar.

- Grupo 22 (ACEL/DECEL): Tiempos de aceleración y desaceleración.
- Grupo 30 (FUNCIONES DE FALLA): Definición de condiciones que generan fallas.
- Grupo 34 (PANTALLA PANEL): Definición de parámetros a desplegar por panel.
- Grupo 40 (CONJ PID PROCESO): Parámetros de configuración de control PID.

4.2.- Estrategia de Control de Presión.

4.2.1.- Filosofía de control de presión con múltiples bombas.

La planta funciona normalmente en Modo Automático. El funcionamiento en Modo Manual Local se realiza solo si PLC local entra en Falla u operador desea realizar alguna prueba de funcionamiento o mantención estando físicamente en la planta.

La definición de funcionamiento en Modo Automático o Modo Manual Local es independiente para cada bomba y se realiza a través de selector ubicado en puerta de Tablero de Control y Fuerza (TDFyC) de bomba respectiva.

4.2.1.1.- Funcionamiento en Modo Automático.

En este caso es el PLC que realiza la puesta en marcha o detención de las bombas en función de “Lógica de automatización de bombas”. La presión por controlar se define en “Lógica del sensor de presión Local/Remoto”. En este modo el operador desde HMI local o desde CCO Remoto puede realizar los siguientes cambios:

- Modificar la Referencia de acuerdo con la presión a controlar, ya sea medición de Presión Remota o Presión Local.
- Cambiar medidor de presión a controlar: medidor de Presión Local o medidor de Presión Remota.
- Operar las bombas en modo Telecomando, ya sea deteniéndolas o poniéndolas en marcha.

4.2.1.2.- Funcionamiento en Modo Manual Local.

El modo de operación Manual Local se define como operación manual del equipo desde el panel local de control en terreno. El objetivo básico es permitir ajustes y pruebas durante el mantenimiento y/o puesta en marcha del equipo.

En el modo de operación Manual Local, la partida/parada de cada bomba es efectuada manualmente a través de botoneras partir/parar ubicada en panel de tablero. En este modo de operación están activas solamente las protecciones propias del tablero de control que se conectan mediante alambrado directo con el dispositivo de control del equipo; estas protecciones son: nivel bajo pozo, falla variador de frecuencia.

4.2.2.- Lógica de selección del sensor de presión Local/Remoto.

Bajo condiciones normales de funcionamiento, esta selección la realiza el operador en forma remota desde CCO. En caso de detección de Falla de Enlace con PLC de presión remota, el sistema pasa a controlar con medidor de presión local.

La condición de Falla de Enlace se activa al pasar más de 60 segundos sin comunicación entre PLC de planta con PLC de presión remota. En funcionamiento normal, el tiempo de comunicación entre ambos PLC se realiza cada 5 segundos.

La condición de falla de enlace se obtiene de byte de confirmación del resultado de instrucción de comunicación del PLC de Planta que interroga el PLC de presión remota. La instrucción utilizada es READ_VAR y byte “%READ_VARI.CommError” corresponde a la confirmación de enlace (enlace realizado correctamente, byte=0).

4.2.3.- Lógica de automatización de bombas.

Esta lógica permite el correcto control de puesta en marcha o detención de las bombas para mantener la presión de salida igual a presión de Referencia +/- valor de Histéresis de 10%.

- Al detectar que la Presión de Control es menor que la Presión de Referencia – Histéresis y que las bombas que están funcionando alcanzaron la frecuencia máxima de 50 [Hz] (en caso de existir bomba/s funcionando), se genera la orden de “Puesta en Marcha Bomba”.
- Al detectar que la Presión de Control es mayor que la Presión de Referencia + Histéresis, se genera la orden de “Parada de Bomba”.
- Al generarse orden de puesta en marcha de una bomba, se selecciona la bomba que posee menos tiempo de funcionamiento para que entre en operación. Posterior a la partida de la bomba seleccionada, se genera retardo de 30 segundos para que planta alcance condición de funcionamiento con esa bomba.
- Al generarse parada de una bomba, se selecciona la bomba que está funcionando en la frecuencia mínima de 27 [Hz]. Una vez detenida la bomba seleccionada, se genera retardo de 30 segundos para que planta tome condición con esa bomba menos.
- Se genera rotación de bomba al producirse una falla en su funcionamiento, entrando en funcionamiento la bomba que posee menos tiempo de funcionamiento.

En figura 4.5 se muestra Diagrama de Flujo de Partida y Parada de Bombas implementado en PLC en lenguaje escalera. En diagrama la condición de frecuencia menor a 27 y mayor a 49 se valida al mantenerse por más de 10 segundos en esa condición.

Elección de bomba a funcionar: Cada bomba posee un horómetro que se incrementa cuando la bomba está funcionando y deja de incrementarse cuando bomba está detenida. Se define un registro “Bomba a funcionar” al cual se le asigna la bomba seleccionada que debe entrar en funcionamiento. Esta asignación se realiza comparando los horómetros de las bombas que están en condiciones de partir: Selector en Modo PLC, Modo Remoto Automático, sin falla y detenida. La selecciona la bomba que posee menos tiempo de funcionamiento.

5.- RESULTADOS.

5.1.- Pruebas realizadas.

5.1.1.- Pruebas de conexiónado y correcta adquisición de señal.

En primera instancia se realiza la revisión de todo el conexiónado de señales de entrada y salida a PLC Local y el correcto funcionamiento de ellas:

- Entradas digitales que incluyen los estados de cada tablero de las cuatro bombas: Selector en Modo Automático/Manual, funcionando bomba, falla Variador, pozo seco bomba.
- Entradas análogas: Frecuencia y Potencia de cada variador, caudal entrada, caudal salida, nivel estanque semi enterrado, presión salida planta.
- Salidas digitales: Corresponde a las señales de orden partida/parada y Reset de los cuatro variadores de frecuencia.
- Salidas análogas: Estas salidas son en voltaje y la primera corresponde a Presión de Referencia a controlar y la segunda corresponde a presión que se está controlando.

Luego se realiza revisión de conexiónado de señales de PLC Remoto que solo corresponde a entrada análoga de presión.

En ambos PLC's, se realiza revisión de conexiónado de Sistema Radiante.

Para todas las señales se verifica correcta adquisición y despliegue en HMI de planta y en CCO.

5.1.2.- Pruebas de funcionamiento.

Se realizan las siguientes pruebas de funcionamiento y sus resultados:

a.- Enlace de radiofrecuencia entre ambos recintos.

Utilizando herramienta de radio MDS Inet900, “Performance Information Menu” se verifica potencia de transmisión, nivel de señal a ruido, nivel de señal recibida RSSI y velocidad de transmisión (panel mostrado en figura 5.1). Esta medición se realiza en ambos equipos.

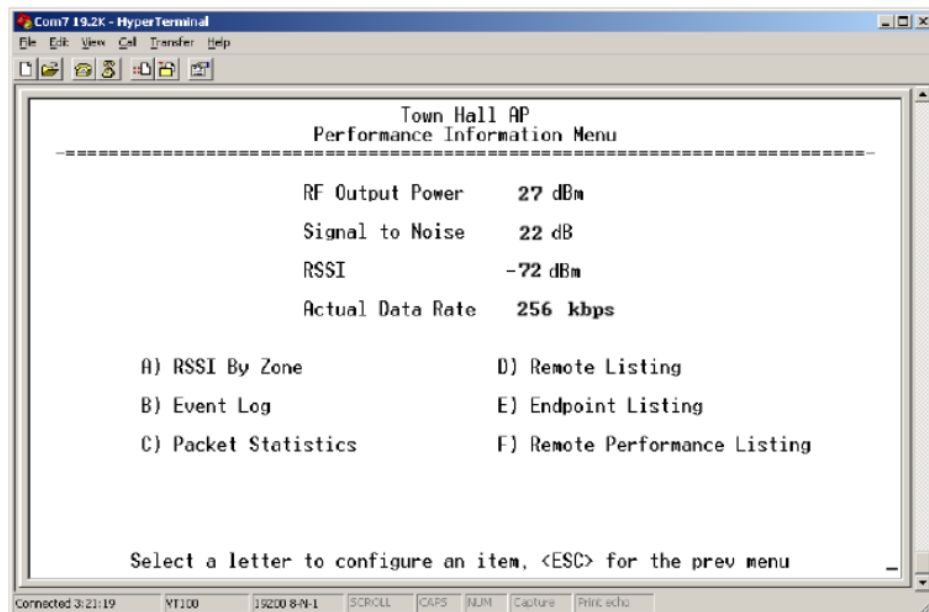


Figura 5.1. Pantalla “Performance Information Menu”.

Resultados obtenidos:

En ambos equipos se obtiene Señal/Ruido de 26 dB y nivel de señal recibida de -72 dBm, nivel de señal que cumple con estudio de radioenlace, en donde como peor condición se calculó nivel de recepción de señal -77,2 dBm.

b.- Prueba de funcionamiento de planta con caudales bajos.

Funcionando la planta en condiciones normales (una bomba se encuentra en funcionamiento), se procede a cerrar lentamente válvula de salida de planta (tiempo de cierre completo 90 segundos). Una vez cerrada completamente la válvula se esperan 60 segundos en esa condición. Luego se procede a abrir lentamente la válvula tomando el mismo tiempo de 90 segundos. Esta prueba se realiza con presión a controlar de medidor de presión Local, porque con presión Remota no es posible llevar el consumo a cero caudal.

Resultado obtenido:

Al cerrar válvula, el variador de bomba que está funcionando, comienza a bajar la frecuencia hasta alcanzar 27 Hz, condición que generó detención de la bomba. La presión de control se mantuvo en 21 mca, aumentando a 23,1 mca previo a detención.

Al abrir válvula se genera partida de una bomba y variador respectivo comienza a modular la frecuencia manteniendo el valor de presión en 21 mca. Previo a partida y durante ella, la presión alcanzo valor mínimo de 18,9 mca.

c.- Prueba de funcionamiento de planta con caudales medios.

Funcionando la planta en condiciones normales (una bomba se encuentra en funcionamiento), se procede a abrir lentamente grifo de desagüe a salida de planta hasta lograr partida de una segunda bomba. Una vez alcanzada esa condición, se procede a cerrar lentamente el grifo. De la misma forma que prueba anterior, esta prueba se realiza con presión a controlar de medidor de presión Local.

Resultado obtenido:

Al abrir grifo, el variador de bomba que está operando, comienza a aumentar la frecuencia hasta alcanzar 50 Hz, condición que generó partida de una segunda bomba. La presión de control se mantuvo en 21 mca, disminuyendo a 18,9 mca. previo a partida.

Al cerrar grifo se genera parada de una bomba (se detiene bomba que está funcionando en la frecuencia mínima de 27 [Hz]). El valor de la presión se mantuvo en 21 mca, aumentando a 23,1 mca previo a detención de segunda bomba.

d.- Rotación de bombas ante falla.

Se genera falla a una bomba funcionando, la cual se detiene, y se confirma puesta en marcha de otra bomba, la cual es seleccionada por tener menos tiempo de funcionamiento.

e.- Cambio de presión a controlar de presión remota a presión local.

Para funcionamiento normal de planta, controlando presión remota, se procede a apagar radio de planta. Al pasar 60 segundos en esta condición, sistema cambia a presión local como variable a controlar.

5.2.- Análisis de resultados.

Los datos utilizados para evaluar el funcionamiento de nuestra planta Booster Los Pinos, corresponden a muestra de un periodo de funcionamiento normal de planta en donde el control de presión se realiza sobre variable de presión remota. Estos datos fueron extraídos de registro histórico generado por Software Scada IFix, el cual genera almacenamiento cada 5 segundos.

Las muestras tomadas para análisis se extrajeron del mes de julio de 2017 entre los días 21 al 27, con muestras cada 30 segundos. Los datos tomados para análisis son:

- Frecuencia variador bomba 1.
- Frecuencia variador bomba 2.
- Frecuencia variador bomba 3.
- Frecuencia variador bomba 4.
- Presión control remoto.
- Caudal impulsión de planta.

El análisis se realiza sobre las siguientes condiciones de interés:

- Detención de bomba.
- Partida de bomba.

La condición de rotación de bomba se produce por defecto. El sistema al requerir partida de una bomba toma la que posee menor tiempo de funcionamiento. La otra condición de rotación es por falla de bomba.

5.1.1.- Partida de bomba N°1.

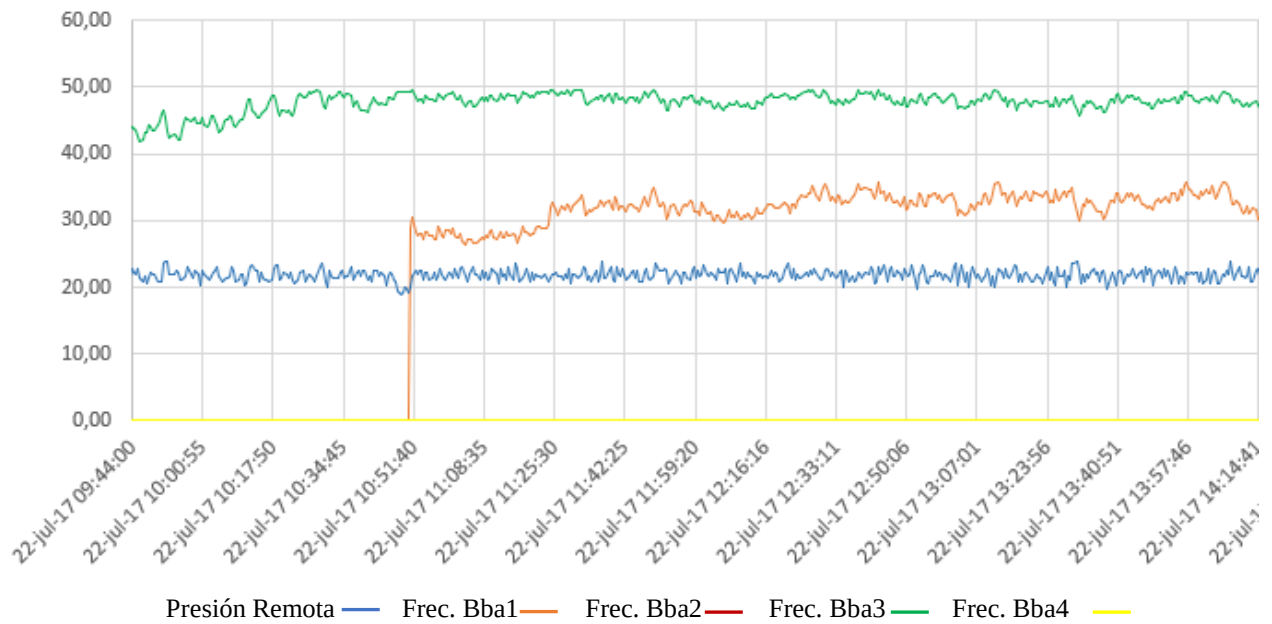


Figura 5.2. Partida de bomba N°1.

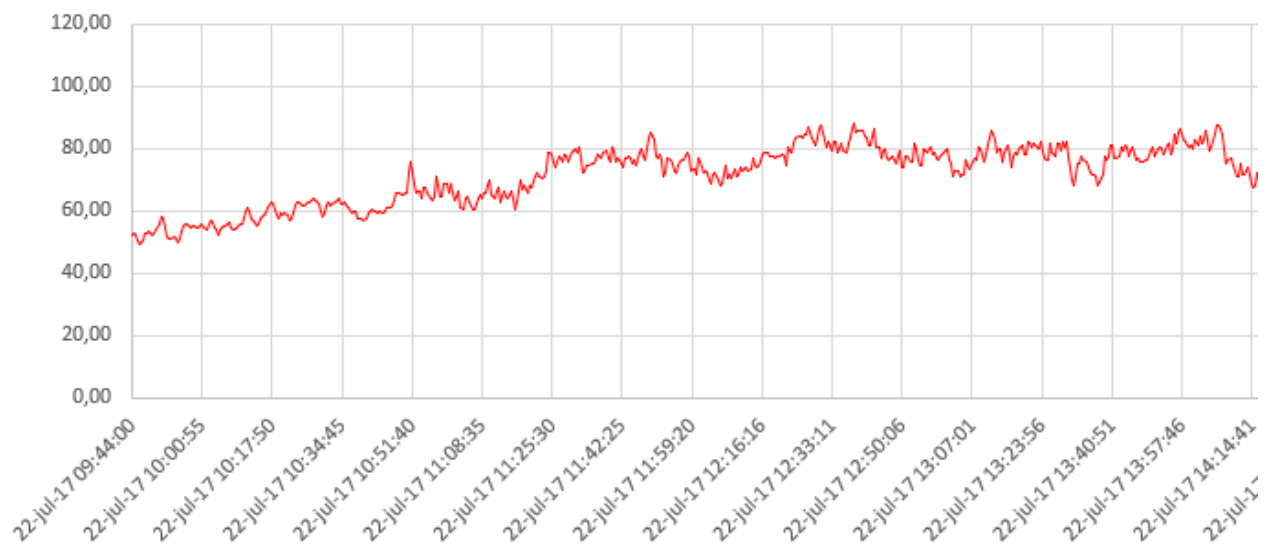


Figura 5.3. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°1 (consumo clientes).

En la figura 5.2, el gráfico refleja partida de bomba N°1 (traza color naranja). La traza de color verde corresponde a frecuencia de funcionamiento de bomba N°3, la cual comienza a disminuir al ponerse en

marcha bomba N°1. La traza de color azul representa la presión remota que se está controlando a 21 metros. En figura 5.3, el gráfico representa el caudal impulsado correspondiente al mismo periodo de gráfico de figura 5.2.

En tabla N°5.1 se reflejan los valores en torno al suceso.

Tabla 5.1. Partida de bomba N°1.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL L/S	PRESION REM
22-jul-17 10:47:00	0,00	0,00	48,31	0,00	61,87	21,14
22-jul-17 10:47:30	0,00	0,00	49,01	0,00	63,33	20,75
22-jul-17 10:48:00	0,00	0,00	49,17	0,00	65,63	19,37
22-jul-17 10:48:30	0,00	0,00	49,30	0,00	65,75	18,97
22-jul-17 10:49:00	0,00	0,00	49,20	0,00	65,41	19,26
22-jul-17 10:49:30	0,00	0,00	49,36	0,00	65,15	20,12
22-jul-17 10:50:00	0,00	0,00	49,28	0,00	65,63	19,71
22-jul-17 10:50:30	0,00	0,00	49,24	0,00	65,81	19,20
22-jul-17 10:51:00	28,77	0,00	49,29	0,00	72,09	19,90
22-jul-17 10:51:30	30,51	0,00	49,45	0,00	75,87	21,73
22-jul-17 10:52:00	28,33	0,00	48,34	0,00	68,59	22,60
22-jul-17 10:52:30	27,86	0,00	48,00	0,00	66,03	22,04
22-jul-17 10:53:00	27,92	0,00	48,08	0,00	66,49	22,46
22-jul-17 10:53:30	27,89	0,00	48,24	0,00	66,41	22,36
22-jul-17 10:54:00	27,28	0,00	47,72	0,00	64,29	21,15
22-jul-17 10:54:30	28,43	0,00	48,69	0,00	67,75	22,34
22-jul-17 10:55:00	28,18	0,00	48,42	0,00	67,53	22,10

En la tabla 5.1 se refleja que previa a partida, valor de frecuencia de bomba funcionando es mayor a 49 Hz y que presión remota debe haber alcanzado nivel menor a 18,9 metros (Referencia -10%).

5.1.2.- Parada de bomba N°1.

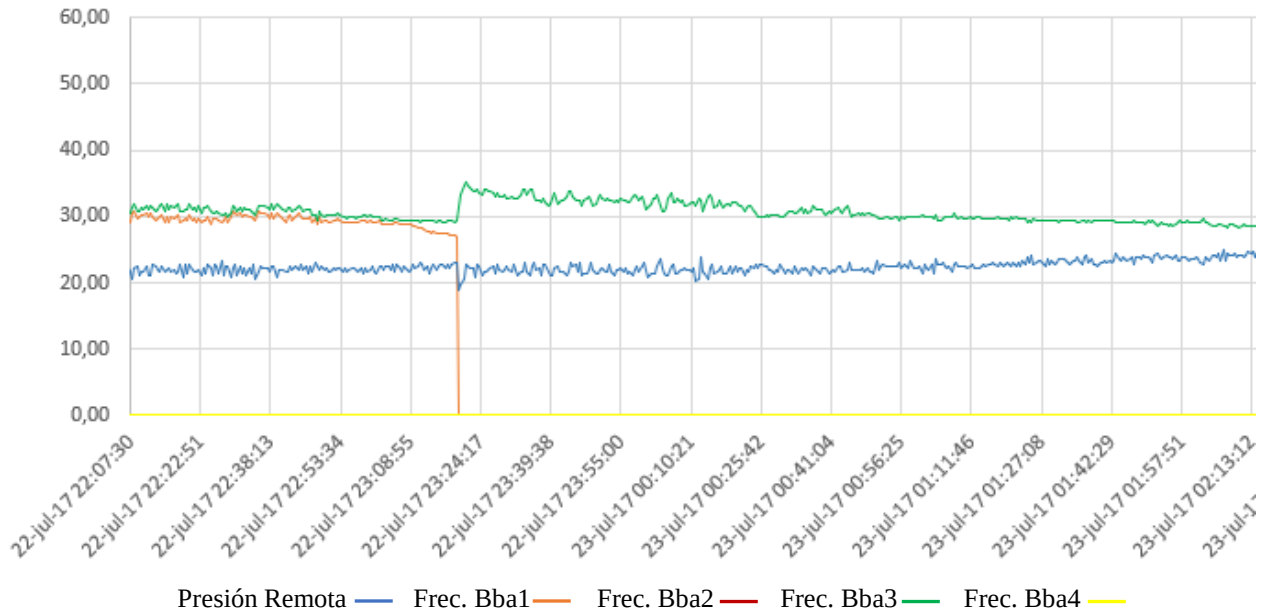


Figura 5.4. Parada de bomba N°1.

En la figura 5.4 se muestra gráfica de parada de bomba N°1, donde se aprecia que al detener la bomba la presión decae levemente lo cual genera respuesta de aumentar frecuencia de variador que se mantiene en funcionamiento (variador bomba N°3, traza verde).

En la figura 5.5, el gráfico muestra comportamiento de caudal de consumo correspondiente al mismo periodo mostrado en el gráfico de la figura 5.4.

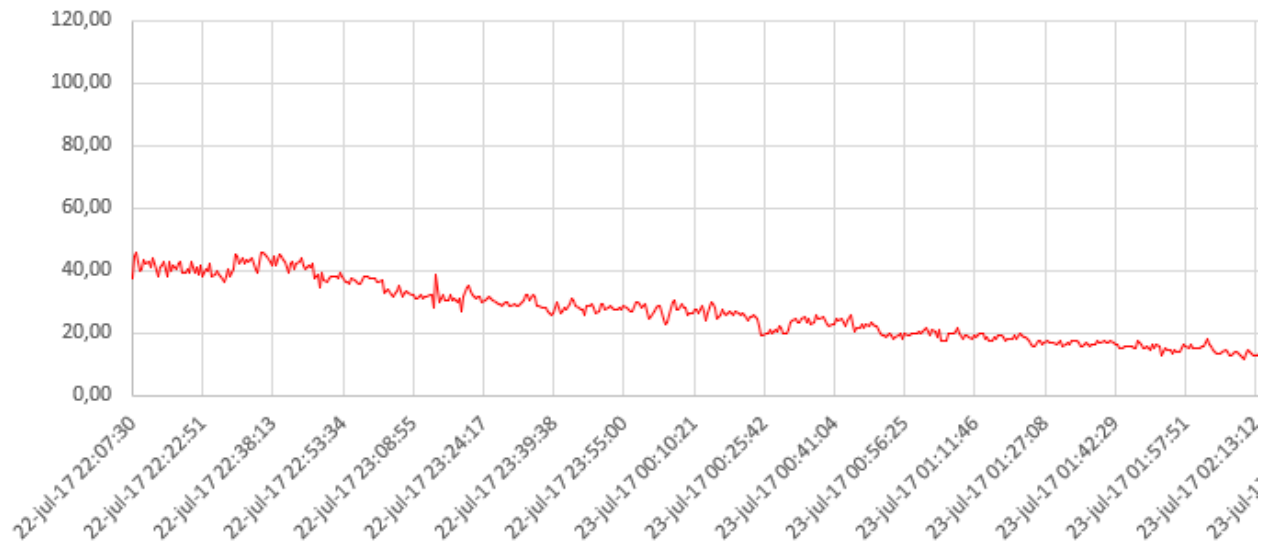


Figura 5.5. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°1(consumo clientes).

Tabla 5.2. Parada de bomba N°1.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL L/S	PRESION REM
22-jul-17 23:14:30	27,58	0,00	29,25	0,00	30,16	22,05
22-jul-17 23:15:00	27,33	0,00	29,34	0,00	31,16	22,48
22-jul-17 23:15:30	27,40	0,00	29,34	0,00	31,98	22,64
22-jul-17 23:16:00	27,38	0,00	29,16	0,00	30,60	22,81
22-jul-17 23:16:30	27,33	0,00	29,23	0,00	30,44	22,17
22-jul-17 23:17:00	27,41	0,00	29,38	0,00	32,06	22,79
22-jul-17 23:17:30	27,18	0,00	29,27	0,00	30,54	22,29
22-jul-17 23:18:00	27,08	0,00	29,31	0,00	30,94	22,89
22-jul-17 23:18:30	27,11	0,00	29,16	0,00	29,90	23,08
22-jul-17 23:19:00	27,02	0,00	29,31	0,00	31,00	23,09
22-jul-17 23:19:30	0,00	0,00	31,45	0,00	26,88	19,00
22-jul-17 23:20:00	0,00	0,00	33,31	0,00	31,44	19,60
22-jul-17 23:20:30	0,00	0,00	34,74	0,00	34,46	20,45
22-jul-17 23:21:00	0,00	0,00	35,16	0,00	34,98	22,79
22-jul-17 23:21:30	0,00	0,00	34,74	0,00	33,22	22,46
22-jul-17 23:22:00	0,00	0,00	34,49	0,00	32,08	22,29
22-jul-17 23:22:30	0,00	0,00	33,74	0,00	31,28	22,15

En la tabla 5.2 se aprecia que previo a detención bomba N°1 los valores de frecuencia tienden a ser menores a 27 Hz y que presión remota es mayor a 23 metros.

5.1.3.- Partida de bomba N°2.

En figura 5.6, la gráfica muestra la partida de bomba N°2 (traza de color rojo)

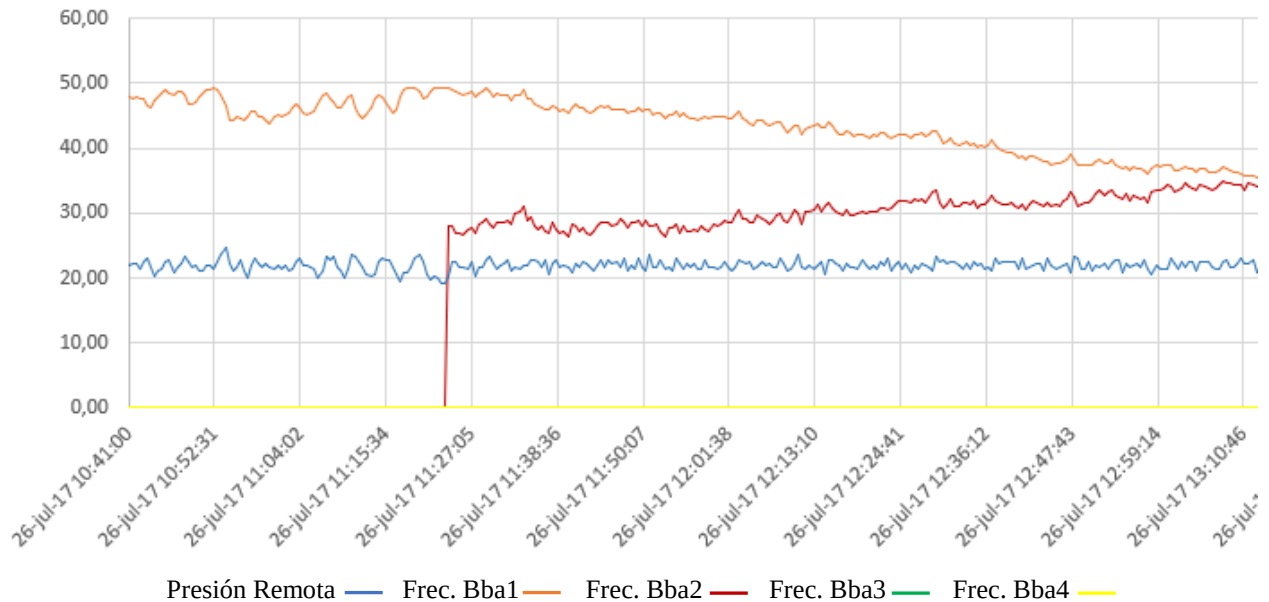


Figura 5.6. Partida de bomba N°2.

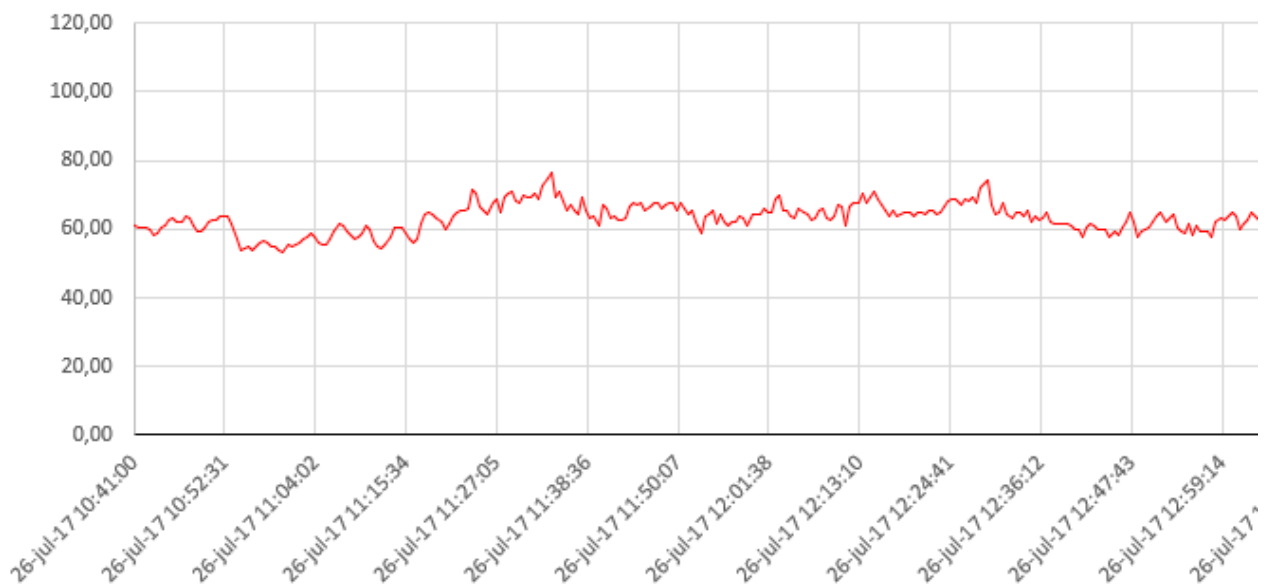


Figura 5.7. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°2 (consumo clientes).

Tabla 5.3. Partida bomba N°2.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL/S	PRESION REM
26-jul-17 11:19:30	49,18	0,00	0,00	0,00	63,23	22,94
26-jul-17 11:20:00	48,68	0,00	0,00	0,00	62,29	23,55
26-jul-17 11:20:30	47,71	0,00	0,00	0,00	60,05	22,41
26-jul-17 11:21:00	47,98	0,00	0,00	0,00	61,55	20,53
26-jul-17 11:21:30	48,66	0,00	0,00	0,00	63,63	19,65
26-jul-17 11:22:00	49,19	0,00	0,00	0,00	65,01	20,21
26-jul-17 11:22:30	49,34	0,00	0,00	0,00	65,47	20,09
26-jul-17 11:23:00	49,26	0,00	0,00	0,00	65,37	19,29
26-jul-17 11:23:30	49,30	0,00	0,00	0,00	66,01	19,24
26-jul-17 11:24:00	49,31	28,06	0,00	0,00	71,63	20,17
26-jul-17 11:24:30	49,12	28,13	0,00	0,00	70,17	22,44
26-jul-17 11:25:00	48,61	27,05	0,00	0,00	66,31	22,62
26-jul-17 11:25:30	48,39	26,79	0,00	0,00	65,49	21,57
26-jul-17 11:26:00	48,26	26,63	0,00	0,00	64,33	21,61
26-jul-17 11:26:30	48,39	27,49	0,00	0,00	67,75	21,34
26-jul-17 11:27:00	48,68	27,81	0,00	0,00	68,79	22,57
26-jul-17 11:27:30	47,97	27,01	0,00	0,00	64,69	20,35

5.1.4.- Parada de bomba N°2.

En la figura 5.8 se aprecia el gráfico de parada de bomba N°2 (traza de color rojo).

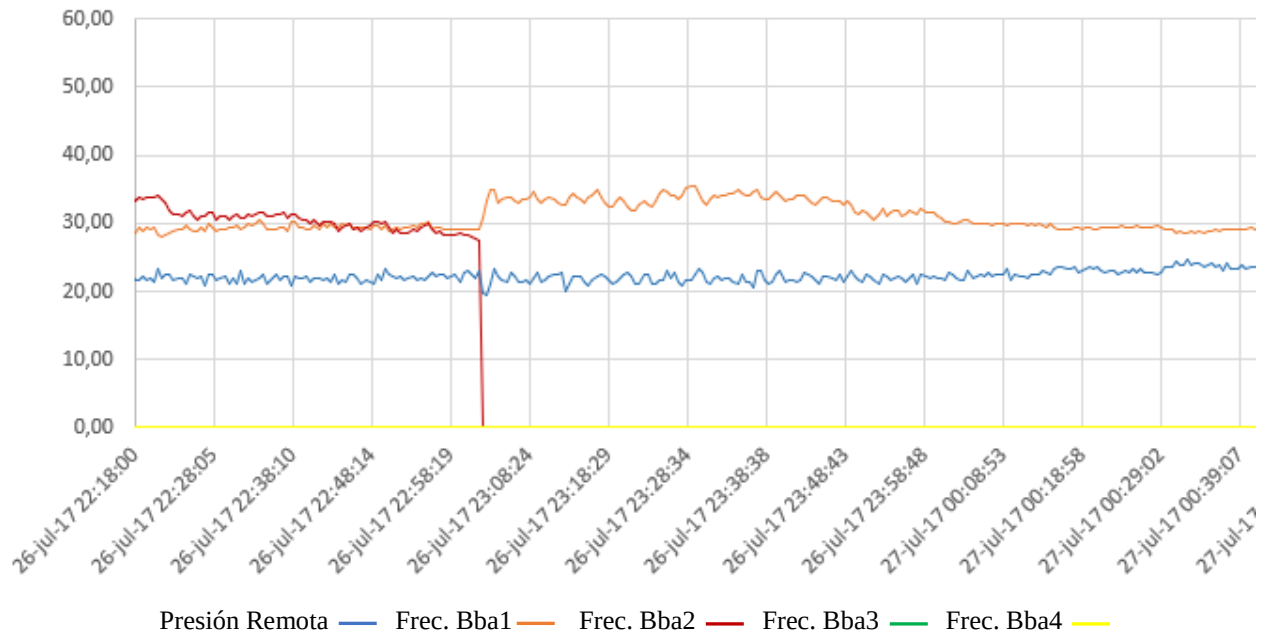


Figura 5.8. Parada de bomba N°2.



Figura 5.9. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°2 (consumo clientes).

Tabla 5. 4. Parada de bomba N°2.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL L/S	PRESION REM
26-jul-17 22:57:30	29,11	28,20	0,00	0,00	31,76	22,56
26-jul-17 22:58:00	29,20	28,34	0,00	0,00	32,62	21,86
26-jul-17 22:58:30	29,11	28,23	0,00	0,00	31,90	22,18
26-jul-17 22:59:00	29,09	28,23	0,00	0,00	31,70	22,39
26-jul-17 22:59:30	29,22	28,48	0,00	0,00	33,10	21,51
26-jul-17 23:00:00	29,11	28,23	0,00	0,00	31,92	22,80
26-jul-17 23:00:30	29,03	28,18	0,00	0,00	31,62	23,18
26-jul-17 23:01:00	29,02	28,05	0,00	0,00	30,74	22,40
26-jul-17 23:01:30	29,09	27,85	0,00	0,00	30,72	21,92
26-jul-17 23:02:00	29,07	27,58	0,00	0,00	31,40	23,14
26-jul-17 23:02:30	30,74	0,00	0,00	0,00	24,04	19,67
26-jul-17 23:03:00	33,26	0,00	0,00	0,00	30,72	19,52
26-jul-17 23:03:30	34,88	0,00	0,00	0,00	33,68	21,20
26-jul-17 23:04:00	34,96	0,00	0,00	0,00	32,58	23,32
26-jul-17 23:04:30	33,13	0,00	0,00	0,00	29,02	22,23
26-jul-17 23:05:00	33,45	0,00	0,00	0,00	29,86	21,62
26-jul-17 23:05:30	33,70	0,00	0,00	0,00	30,44	21,44

5.1.5.- Parada de bomba N°3.

En figura 5.10 se muestra el gráfico de parada de bomba N°3 (traza de color verde), donde se visualiza que al detener la bomba la presión decae levemente, generando respuesta de aumento de frecuencia de variador de bomba N°1 que se mantiene en funcionamiento (traza de color naranja).

La figura 5.11 muestra el gráfico de comportamiento de caudal de consumo correspondiente al mismo periodo mostrado en gráfico de figura 5.10.

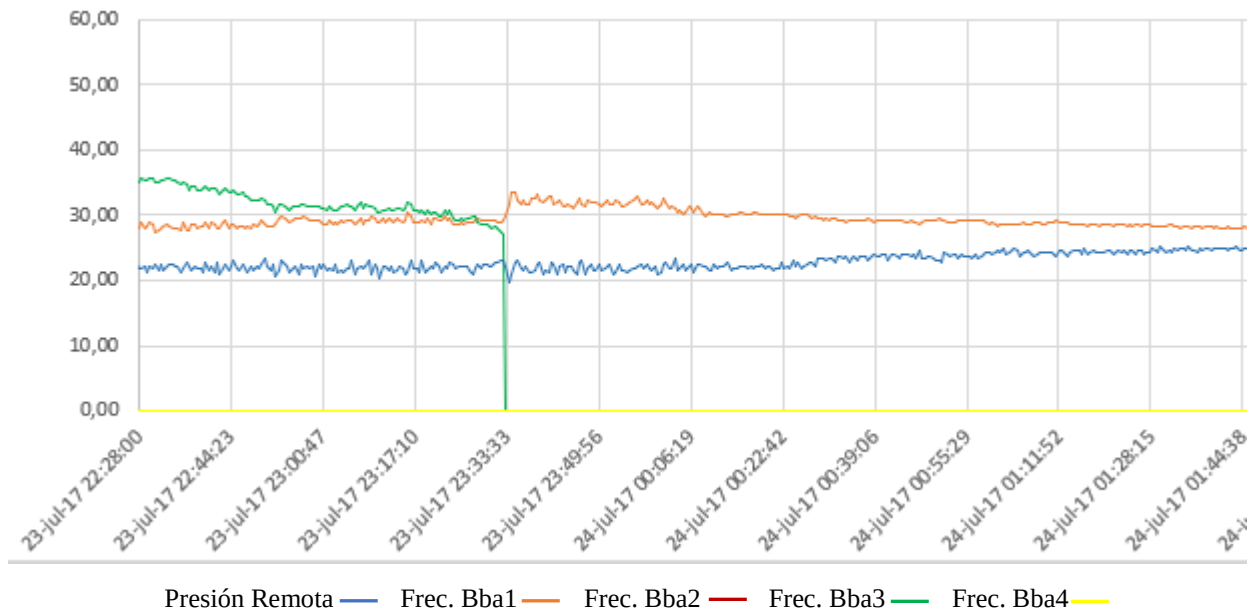


Figura 5.10. Parada de bomba N°3.

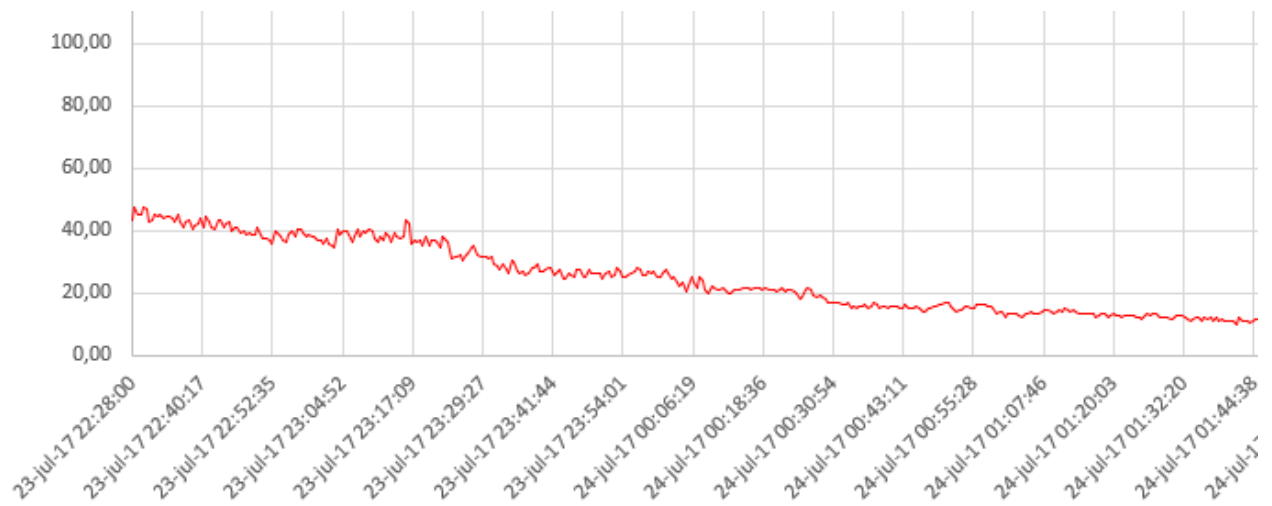


Figura 5.11. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°3 (consumo clientes).

Tabla 5.5. Parada de bomba N°3.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL L/S	PRESION REM
23-jul-17 23:28:30	29,46	0,00	28,80	0,00	32,50	22,34
23-jul-17 23:29:00	29,34	0,00	28,71	0,00	31,70	21,87
23-jul-17 23:29:30	29,28	0,00	28,64	0,00	31,38	22,37
23-jul-17 23:30:00	29,34	0,00	28,73	0,00	31,34	22,52
23-jul-17 23:30:30	29,26	0,00	28,44	0,00	31,32	22,10
23-jul-17 23:31:00	29,30	0,00	28,02	0,00	31,64	22,19
23-jul-17 23:31:30	29,10	0,00	28,15	0,00	29,46	22,85
23-jul-17 23:32:00	29,05	0,00	27,85	0,00	28,48	22,83
23-jul-17 23:32:30	28,91	0,00	27,31	0,00	27,72	22,94
23-jul-17 23:33:00	29,12	0,00	27,20	0,00	29,44	22,98
23-jul-17 23:33:30	29,74	0,00	0,00	0,00	27,54	22,04
23-jul-17 23:34:00	31,68	0,00	0,00	0,00	26,38	19,78
23-jul-17 23:34:30	33,39	0,00	0,00	0,00	30,18	20,99
23-jul-17 23:35:00	33,44	0,00	0,00	0,00	29,82	22,69
23-jul-17 23:35:30	32,39	0,00	0,00	0,00	27,00	23,19
23-jul-17 23:36:00	31,74	0,00	0,00	0,00	26,10	21,77
23-jul-17 23:36:30	32,15	0,00	0,00	0,00	26,78	21,57

En tabla N°5.5 se aprecia que previo a detención bomba N°3 los valores de la frecuencia de bomba tienden a ser menores a 27 Hz y que presión remota tiende a ser mayor a 23 metros.

5.1.6.- Partida de bomba N°3.

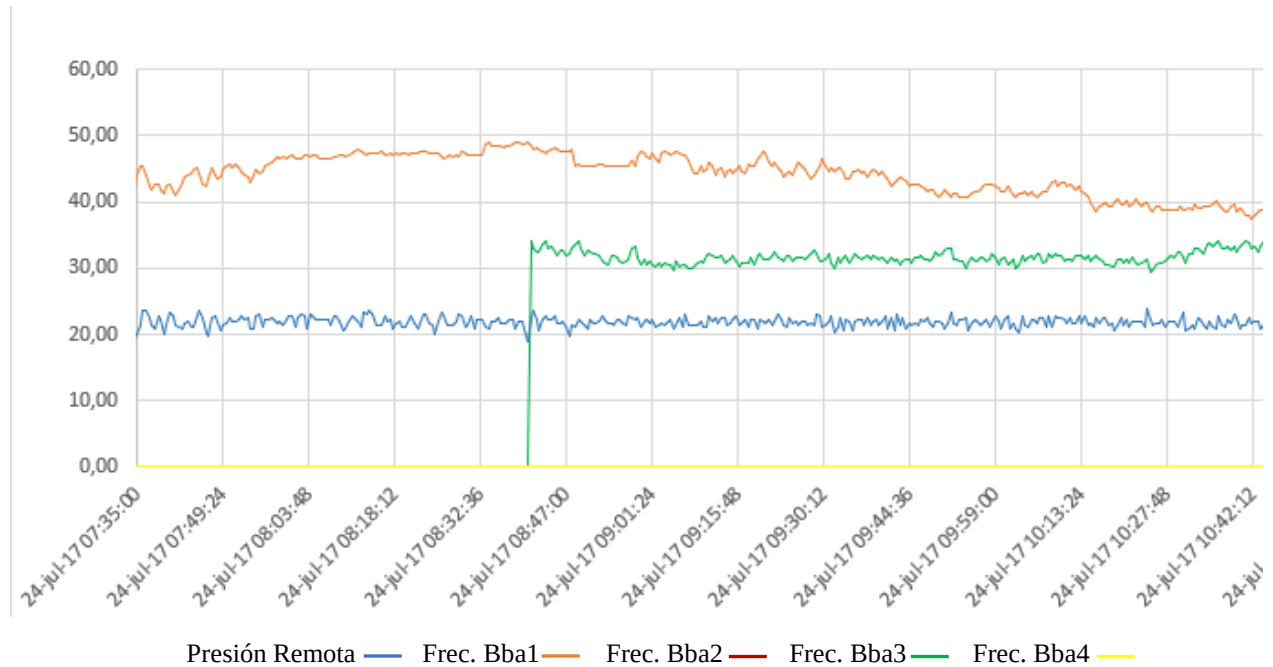


Figura 5.12. Partida de bomba N°3.

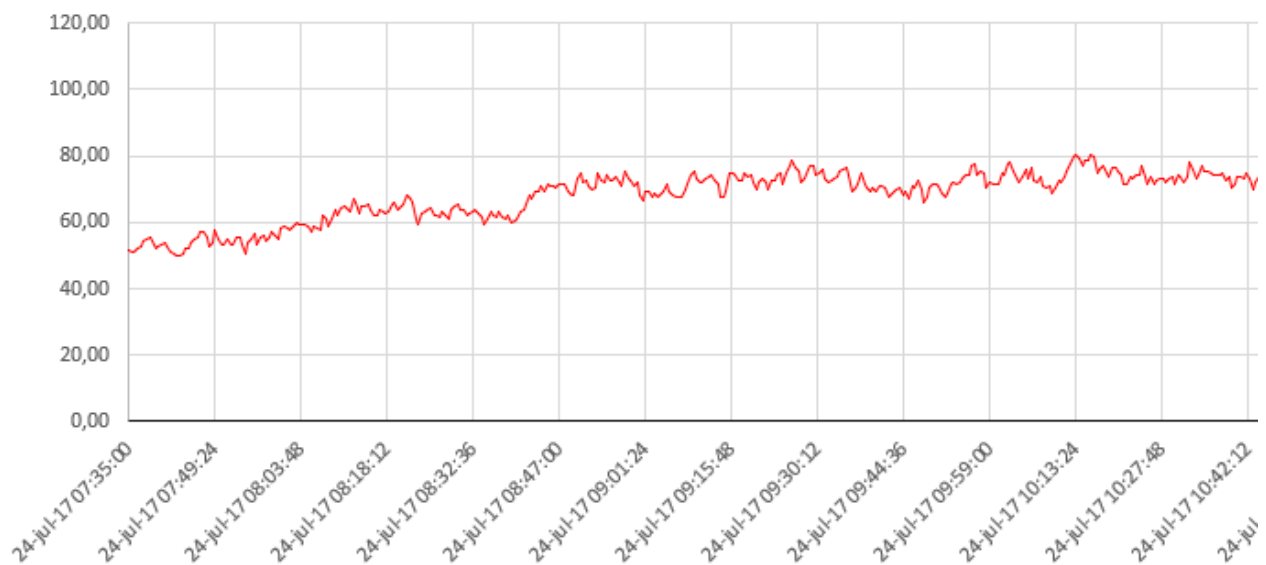


Figura 5.13. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°3 (consumo clientes).

Tabla 5.6. Partida de bomba N°3.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL L/S	PRESION REM
24-jul-17 08:37:00	48,32	0,00	0,00	0,00	62,99	21,64
24-jul-17 08:37:30	48,35	0,00	0,00	0,00	61,61	22,09
24-jul-17 08:38:00	48,83	0,00	0,00	0,00	61,27	22,32
24-jul-17 08:38:30	49,04	0,00	0,00	0,00	61,89	20,71
24-jul-17 08:39:00	48,96	0,00	0,00	0,00	60,13	21,97
24-jul-17 08:39:30	48,79	0,00	0,00	0,00	60,25	21,92
24-jul-17 08:40:00	48,79	0,00	0,00	0,00	61,09	20,78
24-jul-17 08:40:30	49,04	0,00	0,00	0,00	63,15	18,96
24-jul-17 08:41:00	48,55	0,00	34,12	0,00	63,98	22,50
24-jul-17 08:41:30	48,02	0,00	32,99	0,00	65,15	23,68
24-jul-17 08:42:00	48,11	0,00	32,39	0,00	68,21	22,19
24-jul-17 08:42:30	47,91	0,00	32,36	0,00	67,01	20,46
24-jul-17 08:43:00	47,71	0,00	33,54	0,00	69,45	22,34
24-jul-17 08:43:30	47,49	0,00	33,96	0,00	69,19	22,82
24-jul-17 08:44:00	47,62	0,00	33,04	0,00	70,85	22,28
24-jul-17 08:44:30	47,87	0,00	33,14	0,00	69,17	22,10

5.1.7.- Partida de bomba N°4.

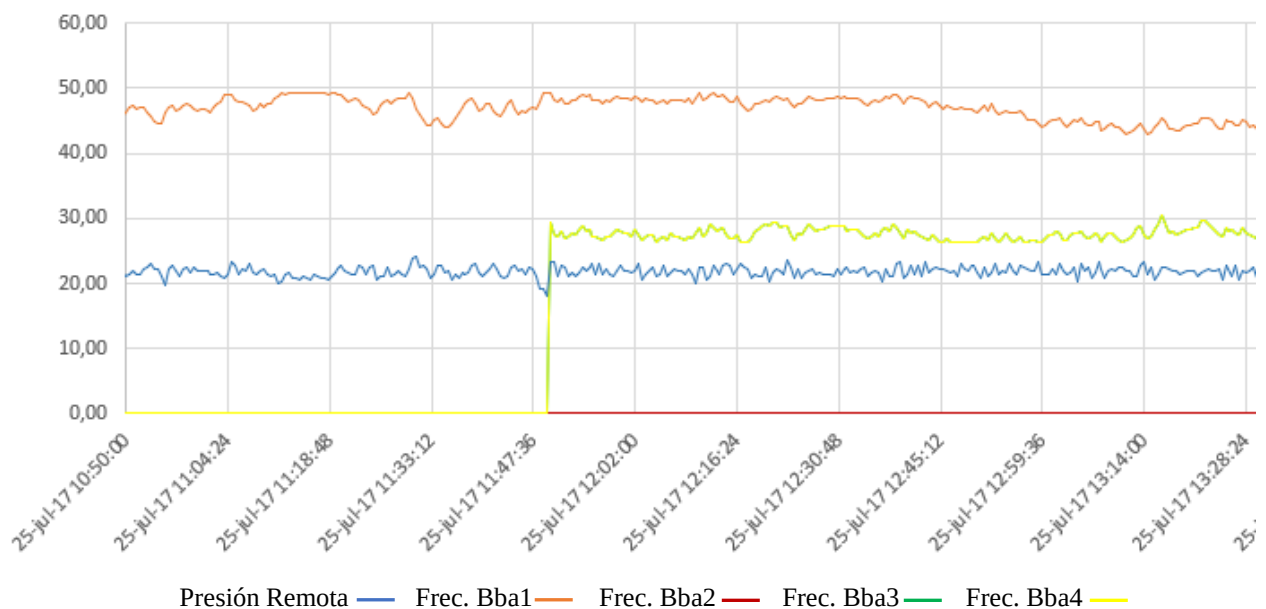


Figura 5.14. Partida de bomba N°4.

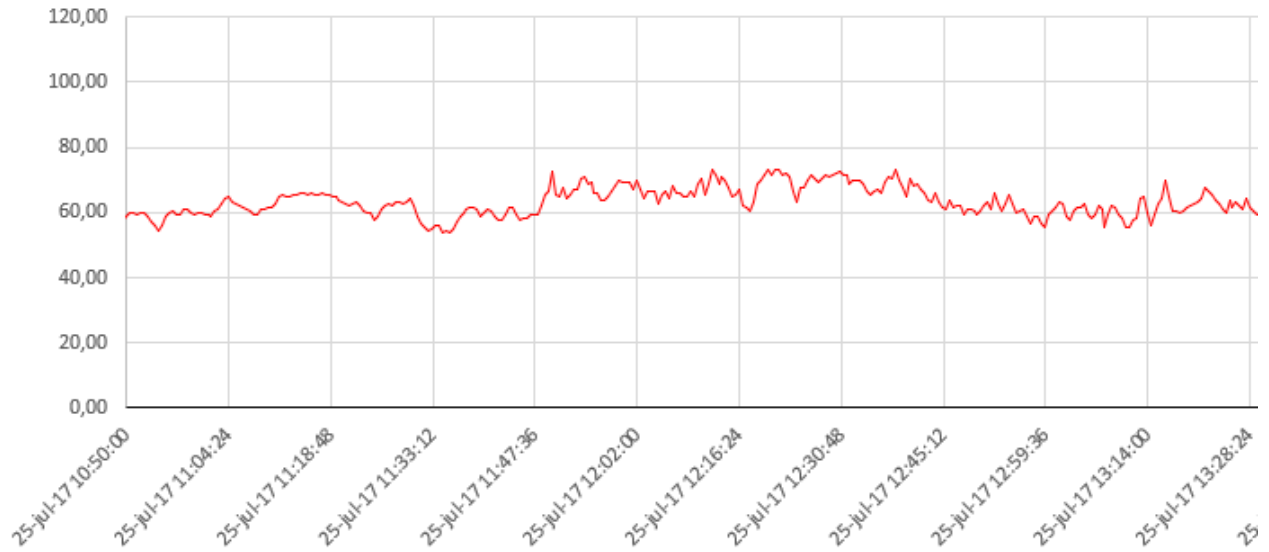


Figura 5.15. Caudal impulsión planta, partida de bomba N°4 (consumo clientes).

Tabla 5.7. Partida de bomba N°4.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL L/S	PRESION REM
25-jul-17 11:46:00	46,44	0,00	0,00	0,00	58,07	22,17
25-jul-17 11:46:30	46,15	0,00	0,00	0,00	58,13	21,31
25-jul-17 11:47:00	46,71	0,00	0,00	0,00	59,19	22,39
25-jul-17 11:47:30	46,96	0,00	0,00	0,00	59,59	22,24
25-jul-17 11:48:00	46,87	0,00	0,00	0,00	59,55	20,99
25-jul-17 11:48:30	47,81	0,00	0,00	0,00	62,27	19,25
25-jul-17 11:49:00	49,32	0,00	0,00	0,00	65,25	19,04
25-jul-17 11:49:30	49,17	0,00	0,00	0,00	66,45	18,99
25-jul-17 11:50:00	49,28	0,00	0,00	29,362	72,43	23,33
25-jul-17 11:50:30	48,18	0,00	0,00	27,487	65,61	23,38
25-jul-17 11:51:00	47,94	0,00	0,00	27,173	64,63	21,24
25-jul-17 11:51:30	48,56	0,00	0,00	28,015	67,79	22,86
25-jul-17 11:52:00	47,54	0,00	0,00	27,91	64,49	22,45
25-jul-17 11:52:30	47,75	0,00	0,00	27,265	65,19	21,03
25-jul-17 11:53:00	48,30	0,00	0,00	27,814	67,11	21,73
25-jul-17 11:53:30	48,10	0,00	0,00	27,528	67,15	21,22
25-jul-17 11:54:00	48,68	0,00	0,00	28,401	70,41	21,55
25-jul-17 11:54:30	49,06	0,00	0,00	28,815	71,19	22,58

5.1.8.- Parada de bomba N°4.

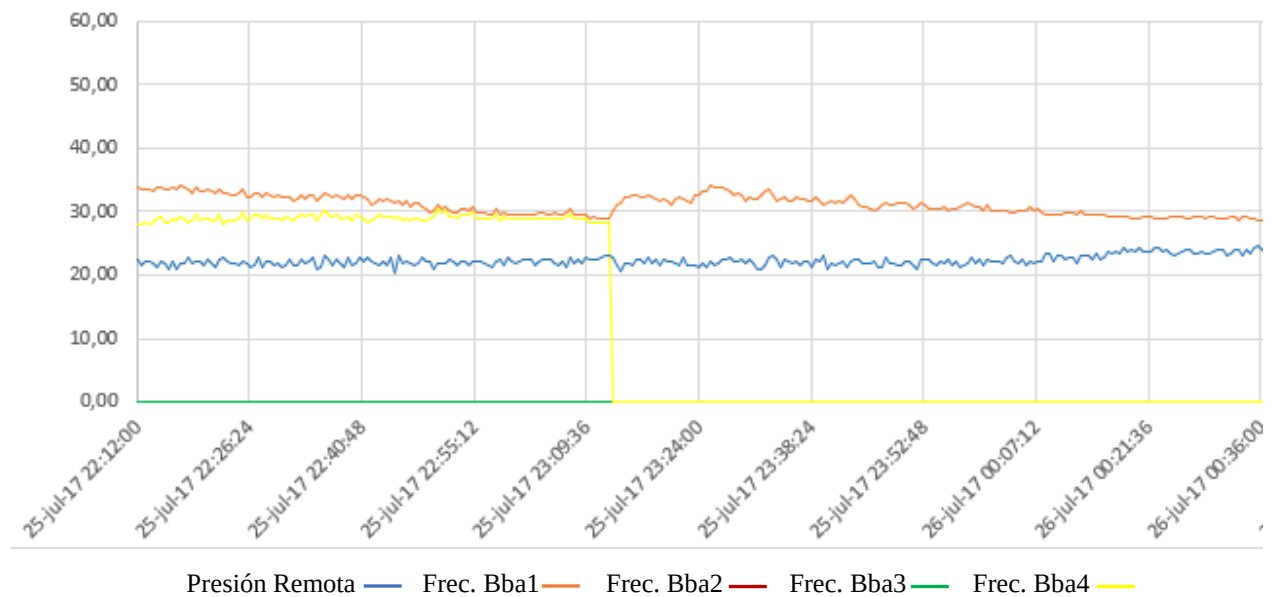


Figura 5.16. Parada de bomba N°4.



Figura 5.17. Caudal impulsión planta, parada de bomba N°4 (consumo clientes).

Tabla 5. 8. Parada de bomba N°4.

FECHA/HORA	FREC-01	FREC-02	FREC-03	FREC-04	CAUDAL L/S	PRESION REM
25-jul-17 23:08:00	29,61	0,00	0,00	29,01	34,94	21,72
25-jul-17 23:08:30	29,57	0,00	0,00	28,91	34,00	22,51
25-jul-17 23:09:00	29,55	0,00	0,00	28,92	34,18	21,83
25-jul-17 23:09:30	29,52	0,00	0,00	28,83	33,78	22,83
25-jul-17 23:10:00	29,04	0,00	0,00	28,41	29,42	22,31
25-jul-17 23:10:30	29,09	0,00	0,00	28,41	28,80	22,54
25-jul-17 23:11:00	28,93	0,00	0,00	28,26	27,82	22,61
25-jul-17 23:11:30	28,86	0,00	0,00	28,15	26,92	22,82
25-jul-17 23:12:00	28,93	0,00	0,00	28,25	27,48	22,96
25-jul-17 23:12:30	29,00	0,00	0,00	28,27	27,84	23,07
25-jul-17 23:13:00	30,06	0,00	0,00	0,00	22,88	22,90
25-jul-17 23:13:30	30,95	0,00	0,00	0,00	24,18	21,61
25-jul-17 23:14:00	31,27	0,00	0,00	0,00	25,30	20,71
25-jul-17 23:14:30	32,20	0,00	0,00	0,00	27,76	21,76
25-jul-17 23:15:00	32,16	0,00	0,00	0,00	27,80	21,77
25-jul-17 23:15:30	32,65	0,00	0,00	0,00	28,70	21,61
25-jul-17 23:16:00	32,74	0,00	0,00	0,00	28,44	22,41

6.- CONCLUSIONES.

6.1.- Aportes del trabajo realizado.

Este trabajo se realizó para empresa de agua potable Esval S.A., en donde muchos de los equipos ya estaban predefinidos por ser de uso regular y ya probados por mandante. Sin embargo, en la manera de realizar la lógica de funcionamiento existió amplia libertad para llevar a cabo mejoras y obtener un sistema más confiable y preciso en el control de la variable, en este caso la presión.

1. El proyecto planteaba controlar la presión en un rango más amplio y la puesta en marcha de las bombas de manera escalonada, por ejemplo, si presión de referencia se fija en 21 metros la puesta en marcha y detención de bombas opera de la siguiente manera: Si presión es menor a 21 metros se pone en marcha una bomba, si presión es menor a 18 metros dos bombas en funcionamiento y si es menor a 15 metros funcionan tres bombas. Deteniendo todas las bombas en funcionamiento al ser mayor la presión a 24 metros.

Por lo tanto, la mejora es significativa pues nuestro control implementado controla +/-10% en torno a valor de referencia: si referencia de presión a controlar es 21 metros, la presión controlada no es mayor a 23,1 metros y no es menor a 18,9 metros.

2. Esta planta es pionera en Esval por requerimiento de controlar presión con múltiples bombas, generando un amplio rango de caudal a suministrar. Las plantas controladoras de presión anteriores a ésta son con funcionamiento de una sola bomba.
3. También es la primera planta que cumple requerimiento de realizar control de presión de un punto remoto. Los controles implementados anteriores a esta instalación solo controlan presión local, permitiendo consignas de referencia diferentes y modificables remotamente desde CCO.
4. Con respecto a diferencia con trabajo planteado en estado del arte [1], nuestra planta permite monitoreo y control desde CCO remoto y ser controlada con dos presiones: presión local y presión remota, permitiendo además modificar las respectivas consignas de referencia.

6.2.- Trabajo futuro.

1. Al analizar las gráficas se observa pequeña oscilación en torno a variable de presión remota controlada de aproximadamente ± 50 centímetros en un periodo de 60 a 90 segundos. Esta fluctuación puede ser mejorado ajustando los parámetros PID del sistema y/o disminuyendo el tiempo de adquisición de datos de presión remota, que actualmente se realiza cada cinco segundos.
2. Incorporar subrutina de mayor eficiencia para el funcionamiento de planta. En capítulo 3.4.2. “Alternativas de Programación de Control PID”, se obtiene, para estas bombas, que funcionando entre 40 Hz y 47 Hz logran alcanzar el mejor rendimiento, es decir, mayor impulsión de caudal con menos energía consumida.

BIBLIOGRAFÍA

[1] PACHECO LOAIZA, JULIO. Estudio de Control de Sistema Multibombas para un Hotel utilizando un Modelo de Optimización Energética. [En línea]
<<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4740/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-39.pdf>>
[Consulta: 21 de octubre de 2017]

[2] Tarifas Aguas Andinas Vigentes.pdf [En línea]
<https://www.aguasandinas.cl/documents/20450/52092/Tarifas%20Aguas%20Andinas%20Vigentes.pdf> [Consulta: 24 de mayo de 2018]

[3] Tarifas de Agua Potable y Alcantarillado – Esval.
<http://portal.esval.cl/oficina-virtual/tarifas/valparaiso/> [En línea]
[Consulta: 24 de mayo de 2018]

[4] WEG. CFW11 - System Drive Convertidor de Frecuencia. [En línea]
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw11-system-drive-50021213-catalogo-espanol.pdf>>
[Consulta: 12 de octubre]

[5] ABB. Convertidores de frecuencia ABB de propósito general ACS550.[En línea]
<https://library.e.abb.com/public/42b1f1e8ebccf848c1257c3200314968/ES_ACS550catalogREVP.pdf> [Consulta: 12 de octubre de 2017]

[6] SCHNEIDER ELECTRIC. Modicon M241 logic controllers. Catalogue 2014
[En línea] <http://www.filkab.com/files/category_files/file_3072_bg.pdf>
[Consulta: 15 de octubre de 2017]

[7] Favereau Urquiza, Rafael Alejandro. *Aplicación Extensiva De Redes Ethernet IP Para Procesos De Control Industrial De Empresas Geográficamente Distribuidas*. Tesis (Ing. Civil Electrónico, mención Telecomunicaciones) Valparaíso: UTFSM, 2003.

[8] GOBIERNO DE CHILE SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS [En línea]
http://www.siss.gob.cl/586/articles-7663_recurso_5.pdf [Consulta: 24 de mayo de 2018]

ANEXOS

1.- Parámetros Variador de Frecuencia Booster Los Pinos.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
10	MARCHA/PARO/DIR	
1001	COMANDOS EXT1	PANEL
1002	COMANDOS EXT2	ED6
1003	DIRECCION	AVANCE
1004	SEL LENTITUD	SIN SEL
11	SELEC REFERENCIA	
1101	SELEC REF PANEL	REF2(%)
1102	SELEC EXT1/EXT2	ED2
1103	SELEC REF1	PANEL
1104	REF1 MINIMO	1562 rpm
1105	REF1 MAXIMO	2893 rpm
1106	SELEC REF2	SALPID1
1107	REF2 MINIMO	0,00%
1108	REF2 MAXIMO	100%
12	VELOC CONSTANTES	
1201	SEL VELOC CONST	SIN SEL
1202	VELOC CONST 1	2893 rpm
1209	SEL MODO TEMP	VC1/2/3/4
13	ENTRADAS ANALOG	
1301	MINIMO EA1	0,00%
1302	MAXIMO EA1	100%
1303	FILTRO EA1	0,1 s
1304	MINIMO EA2	0,00%
1305	MAXIMO EA2	100%
1306	FILTRO EA2	0,1 s

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
14	SALIDAS DE RELE	
1401	SALIDA RELE SR1	FALLO
1402	SALIDA RELE SR2	EN MARCHA
1403	SALIDA RELE SR3	FALLO (-1)
1404	RETAR ON SR1	0,0 s
1405	RETAR OFF SR1	0,0 s
1406	RETAR ON SR2	0,0 s
1407	RETAR OFF SR2	0,0 s
1408	RETAR ON SR3	0,0 s
1409	RETAR OFF SR3	0,0 s
1410	SALIDA RELE SR4	SIN SEL
1411	SALIDA RELE SR5	SIN SEL
1412	SALIDA RELE SR6	SIN SEL
1413	RETAR ON SR4	0,0 s
1414	RETAR OFF SR4	0,0 s
1415	RETAR ON SR5	0,0 s
1416	RETAR OFF SR5	0,0 s
1417	RETAR ON SR6	0,0 s
1418	RETAR OFF SR6	0,0 s
15	SALIDAS ANALOG	
1501	SEL CONTENID SA1	FREC SALIDA
1502	CONT SA1 MIN	0,0 Hz
1503	CONT SA1 MAX	50 Hz
1504	MINIMO SA1	4.0 mA
1505	MAXIMO SA1	20 mA
1506	FILTRO SA1	0.1 s
1507	SEL CONTENID SA2	POTENCIA
1508	CONT SA2 MIN	0.0 KW
1509	CONT SA2 MAX	40 KW
1510	MINIMO SA2	4.0 mA
1511	MAXIMO SA2	20 mA
1512	FILTRO SA2	0.1 s

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
16	CONTROLES SISTEMA	
1601	PERMISO MARCHA	ED5
1602	BLOQUEO PARAM	ABIERTO
1603	CODIGO ACCESO	0
1604	SEL REST FALLO	ED1
1605	CAMB AJ PAR USU	SIN SEL
1606	BLOQUEO LOCAL	SIN SEL
1607	SALVAR PARAM	REALIZADO
1608	PERMISO DE INI 1	SIN SEL
1609	PERMISO DE INI 2	SIN SEL
1610	ALARMAS PANEL	NO
1611	VISTA PARAMETROS	DE DEFECTO
1612	CTRL VENTILADOR	AUTO
1613	RES FALLO ACTUAL	POR DEFECTO
20	LIMITES	
2001	VELOCIDAD MINIMA	1562 rpm
2002	VELOCIDAD MAXIMA	2893 rpm
2003	INTENSIDAD MAXIMA	106 A
2005	CTRL SOBRETENS	ACTIVAR
2006	CTRL SUBTENSION	ACT (TIEMPO)
2007	FRECUENCIA MIN	27 Hz
2008	FRECUENCIA MAX	50 Hz
2013	SEL PAR MINIMO	PAR MIN 1
2014	SEL PAR MAXIMO	PAR MAX 1
2015	PAR MIN 1	-300%
2016	PAR MIN 2	-300%
2017	PAR MAX 1	-300%
2018	PAR MAX 2	-300%

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
21	MARCHA/PARO	
2101	FUNCION MARCHA	AUTO
2102	FUNCION PARO	RAMPA
2103	TIEMPO MAGN CC	0,3 s
2104	RETENCION POR CC	SIN SEL
2105	VELOC RETENC CC	5 rpm
2106	REF INTENS CC	30%
2107	TIEMPO FRENADO CC	0.0 s
2108	INHIBIR MARCHA	NO
2109	SEL PARO EM	SIN SEL
2110	INTENS SOBREPARE	100%
2112	RETARDO VEL CERO	SIN SEL
2113	INICIO RETARDO	0.0 s
22	ACEL/DECEL	
2201	SEL ACE/DEC 1/2	SIN SEL
2202	TIEMPO ACELER 1	5.0 s
2203	TIEMPO DESAC 1	5.0 s
2204	TIPO RAMPA 1	LINEAL
2205	TIEMPO ACELER 2	60 s
2206	TIEMPO DESAC 2	60 s
2207	TIPO RAMPA 2	LINEAL
2208	TIEMPO DESAC EM	1.0 s
2209	ENTRADA RAMPA 0	SIN SEL
23	CTRL VELOCIDAD	
2301	GANACIA PROP	5.00
2302	TIEMP INTEGRAC	0.5 s
2303	TIEMP DERIVACION	0 ms
2304	COMPENSACION ACE	0.0 s
2305	MARCHA AUTOAJUST	NO

Anexos

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
24	CTRL PAR	
2401	AUMENT RAMPA PAR	0.0 s
2402	DISMIN RAMPA PAR	0.0 s
25	VELOC CRITICAS	
2501	SEL VEL CRITICA	NO
2502	VELOC CRIT 1 BAJ	0 rpm
26	CONTROL MOTOR	
2601	OPTIMIZAC FLUJ	SI
2602	FRENADO FLUJO	DESACT
2603	TENS COMP IR	5.0 V
2604	FREC COMP IR	80%
2605	RELACION U/F	CUADRATICO
2606	FREC CONMUTACION	4 KHZ
2607	CTRL FREC CONMUT	SI
2608	RATIO COMP DESL	0%
2609	SUAVIZAR RUIDO	DESACTIVAR
2619	ESTABILIZADOR DC	DESACTIVAR
2625	SOBREMOTULACION	HABILITADO
2627	SOBREM. MAX	100
2628	SOBREM.MIN	25

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
30	FUNCIONES FALLO	
3001	EA<FUNCION MIN	SIN SEL
3002	ERROR COM PANEL	FALLO
3003	FALLO EXTERNO 1	SIN SEL
3004	FALLO EXTERNO 2	SIN SEL
	PROT TERMICA	
3005	MOTOR	FALLO
3006	TIEMPO TERM MOT	256 s
3007	CURVA CARGA MOT	100%
3008	CARGA VEL CERO	70%
3009	PUNTO RUPTURA	35 HZ
3010	FUNCION BLOQUEO	FALLO
3011	FREC DE BLOQUEO	20 HZ
3012	TIEMPO BLOQUEO	20 s
3017	FALLO TIERRA	ACTIVAR
3018	FUNC FALLO COMUN	SIN SEL
3019	TIEM FALLO COMUN	3.0 s
3021	EA1 FALLO LIMIT	0.0 %
3022	EA2 FALLO LIMIT	0.0 %
3023	FALLO CABLE	ACTIVAR
3024	FALLO TEMP CP	ACTIVAR
3028	ERR TIERRA NIVEL	MEDIUM
31	REARME AUTOMATIC	
3101	NUM TENTATIVAS	0
3102	TIEM TENTATIVAS	30 s
3103	TIEMPO DEMORA	0 s
3104	SOBREINTENS AR	DESACTIVAR
3105	SOBRETENSION AR	DESACTIVAR
3106	SUBTENSION AR	DESACTIVAR
3107	EA AR<MIN	DESACTIVAR
3108	FALLO EXTERNO AR	DESACTIVAR

Anexos

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
32	SUPERVISION	
3201	PARAM SUPERV 1	VELOCIDAD
3202	LIM SUPER 1 BAJ	1500 rpm
3203	LIM SUPER 1 ALT	1500 rpm
3204	PARAM SUPERV 2	INTENSIDAD
3205	LIM SUPER 2 BAJ	59 A
3206	LIM SUPER 2 ALT	59 A
3207	PARAM SUPERV 3	PAR
3208	LIM SUPER 3 BAJ	100%
3209	LIM SUPER 3 ALT	100%
34	PANTALLA PANEL	
3401	PARAM SEÑAL 1	FREC SALIDA
3402	SEÑAL 1 MIN	0.0 Hz
3403	SEÑAL 1 MAX	500 Hz
3404	FORM DSP SALIDA 1	DIRECTO
3405	UNIDAD SALIDA 1	Hz
3406	SALIDA 1 MIN	0.0 Hz
3407	SALIDA 1 MAX	500 Hz
3408	PARAM SEÑAL 2	INTENSIDAD
3409	SEÑAL 2 MIN	0.0 A
3410	SEÑAL 2 MAX	118 A
3411	FORM DSP SALIDA 2	DIRECTO
3412	UNIDAD SALIDA 2	A
3413	SALIDA 2 MIN	0.0 A
3414	SALIDA 2 MAX	118 A
3415	PARAM SEÑAL 3	EA 2
3416	SEÑAL 3 MIN	0.0 %
3417	SEÑAL 3 MAX	100%
3418	FORM DSP SALIDA 3	DIRECTO
3419	UNIDAD SALIDA 3	%
3420	SALIDA 3 MIN	0.0 %
3421	SALIDA 3 MAX	100%

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
35	TEMP MOT MED	
3501	TIPO DE SENSOR	NINGUNA
3502	SELEC DE ENTRADA	EA1
3503	IMITE DE ALARMA	0
3504	LIMITE DE FALLO	0
36	FUNCIONES TEMP	
3601	HABILITAR TEMPOR	SIL SEL
37	CURVA CARGA USUA	
3701	CARGA USUA MOD C	SIN SEL

Anexos

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
40	CONJ PID PROCESO 1	
4001	GANACIA	0.1
4002	TIEMPO INTEGRAC	1.5 s
4003	TIEMPO DERIVACION	0.4 s
4004	FILTRO DERIV PID	1.0 s
4005	INV VALOR ERROR	NO
4006	UNIDADES	%
4007	ESCALA UNIDADES	1
4008	VALOR 0%	0.0 %
4009	VALOR 100%	100.0 %
4010	SEL PUNTO CONSIG	EA1
4011	PUNTO CONSIG INT	40.0 %
4012	PUNTO CONSIG MIN	0.0 %
4013	PUNTO CONSIG MAX	100.0 %
4014	SEL REALIM	ACT1
4015	MULTIPLIC REALIM	SIN SEL
4016	ENTRADA ACT1	EA2
4017	ENTRADA ACT2	EA2
4018	ACT1 MINIMO	0%
4019	ACT1 MAXIMO	100%
4020	ACT2 MINIMO	0%
4021	ACT2 MAXIMO	100%
4022	SELECCIÓN DORMIR	SIN SEL
4023	NIVEL DORMIR PID	1560 rpm
4024	DEMORA DORM PID	300 s
4025	NIVEL DESPERTAR	2.7 %
4026	DEMORA DESPERTAR	0.5 s
4027	SERIE PARAM PID1	CONJUNTO 1

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VALOR
99	DATOS DE PARTIDA	
9901	IDIOMA	ESPAÑOL
9902	MACRO DE APLIC	CONTROL PID
9904	MODO CTRL MOTOR	VECTOR: VEL
9905	VOLT NOM MOTOR	380
9906	CORR NOM MOTOR	71,7
9907	FREC NOM MOTOR	50
9908	VELOC NOM MOTOR	2893
9909	POT NOM MOTOR	33
9910	PART ID	SI

2.- Base de Datos PLC Planta Booster Los Pinos.**SEÑALES ANÁLOGAS**

TIPO	DESCRIPTION	DIR SCADA	DIR PLC	I/O PLC	ESCALA	UNIDAD
LEC	FRECUENCIA VARIADOR 01	40021	20	%IW1.0	50	HZ
LEC	POTENCIA VARIADOR 01	40022	21	%IW1.1	40	KW
LEC	FRECUENCIA VARIADOR 02	40023	22	%IW1.2	50	HZ
LEC	POTENCIA VARIADOR 02	40024	23	%IW1.3	40	KW
LEC	FRECUENCIA VARIADOR 03	40025	24	%IW1.4	50	HZ
LEC	POTENCIA VARIADOR 03	40026	25	%IW1.5	40	KW
LEC	FRECUENCIA VARIADOR 04	40027	26	%IW1.6	50	HZ
LEC	POTENCIA VARIADOR 04	40028	27	%IW1.7	40	KW
LEC	CAUDAL ENTRADA	40029	28	%IW2.0	200	L/S
LEC	CAUDAL SALIDA	40030	29	%IW2.1	200	L/S
LEC	PRESION BOOSTER	40031	30	%IW2.2	10	BAR
LEC	NIVEL ESTANQUE ELEVADO	40032	31	%IW2.3		
LEC	NIVEL ESTANQUE SEMI ENTERRADO	40033	32	%IW3.0	10	M
LEC	HOROMETRO BOMBA 1	40034	33		65.000	HR
LEC	HOROMETRO BOMBA 2	40035	34		65.000	HR
LEC	HOROMETRO BOMBA 3	40036	35		65.000	HR
LEC	HOROMETRO BOMBA 4	40037	36		65.000	HR
ESC	NIVEL DESHABILITA IMPULSION	40041	40		10	M
ESC	NIVEL HABILITA IMPULSION	40042	41		10	M
ESC	CONSIGNA REFERENCIA REMOTA	40047	46		10	BAR
ESC	CONSIGNA REFERENCIA LOCAL	40047	47		10	BAR

SEÑALES DIGITALES

TIPO	DESCRIPTION	DIR SCADA	DIR PLC	I/O PLC
LEC	SELECTOR MODO PLC VARIADOR 01	40011.0	10.0	%I0.0
LEC	SELECTOR MODO MANUAL LOCAL VARIADOR 01	40011.1	10.1	
LEC	FUNCIONANDO VARIADOR 01	40011.2	10.2	%I0.1
LEC	FUNCIONANDO BOMBA 01	40011.3	10.3	
LEC	FALLA VARIADOR 01	40011.4	10.4	%I0.2
LEC	FALLA BOMBA 01	40011.5	10.5	
LEC	POZO SECO BOMBA 01	40011.6	10.6	%I0.3
LEC	SELECTOR MODO PLC VARIADOR 02	40011.7	10.7	%I0.4
LEC	SELECTOR MODO MANUAL LOCAL VARIADOR 02	40011.8	10.8	
LEC	FUNCIONANDO VARIADOR 02	40011.9	10.9	%I0.5
LEC	FUNCIONANDO BOMBA 02	40011.10	10.10	
LEC	FALLA VARIADOR 02	40011.11	10.11	%I0.6
LEC	FALLA BOMBA 02	40011.12	10.12	
LEC	POZO SECO BOMBA 02	40011.13	10.13	%I0.7
LEC	SELECTOR MODO PLC VARIADOR 03	40011.14	10.14	%I0.8
LEC	SELECTOR MODO MANUAL LOCAL VARIADOR 03	40011.15	10.15	
LEC	FUNCIONANDO VARIADOR 03	40012.0	11.0	%I0.9
LEC	FUNCIONANDO BOMBA 03	40012.1	11.1	
LEC	FALLA VARIADOR 03	40012.2	11.2	%I0.10
LEC	FALLA BOMBA 03	40012.3	11.3	
LEC	POZO SECO BOMBA 03	40012.4	11.4	%I0.11
LEC	SELECTOR MODO PLC VARIADOR 04	40012.5	11.5	%I0.12
LEC	SELECTOR MODO MANUAL LOCAL VARIADOR 04	40012.6	11.6	
LEC	FUNCIONANDO VARIADOR 04	40012.7	11.7	%I0.13
LEC	FUNCIONANDO BOMBA 04	40012.8	11.8	
LEC	FALLA VARIADOR 04	40012.9	11.9	%I0.14
LEC	FALLA BOMBA 04	40012.10	11.10	
LEC	POZO SECO BOMBA 04	40012.11	11.11	%I0.15
LEC	AUTOMATICO BOMBA DESAGUE	40012.12	11.12	%I0.16
LEC	MANUAL LOCAL BOMBA DASAGUE	40012.13	11.13	
LEC	FUNCIONANDO BOMBA DESAGUE	40012.14	11.14	%I0.17
LEC	FALLA TERMICA BOMBA DESAGUE	40012.15	11.15	%I0.18
LEC	FUNCIONANDO GRUPO GENERADOR	40013.0	12.0	%I0.19
LEC	FALLA GRUPO GENERADOR	40013.1	12.1	%I0.20
LEC	BAJO COMBUSTIBLE GRUPO GENERADOR	40013.2	12.2	%I0.21
ESC	REMOTO MANUAL VARIADOR 01	40016.0	15.0	
ESC	PARTIR PARAR VARIADOR 01	40016.1	15.1	
ESC	RESET VARIADOR 01	40016.2	15.2	
ESC	REMOTO MANUAL VARIADOR 02	40016.3	15.3	

Anexos

ESC	PARTIR PARAR VARIADOR 02	40016.4	15.4	
ESC	RESET VARIADOR 02	40016.5	15.5	
ESC	REMOTO MANUAL VARIADOR 03	40016.6	15.6	
ESC	PARTIR PARAR VARIADOR 03	40016.7	15.7	
ESC	RESET VARIADOR 03	40016.8	15.8	
ESC	REMOTO MANUAL VARIADOR 04	40016.9	15.9	
ESC	PARTIR PARAR VARIADOR 04	40016.10	15.10	
ESC	RESET VARIADOR 04	40016.11	15.11	
ESC	HABILITAR DESHABILITAR HORA PUNTA	40017.0	16.0	
ESC	PRESION A CONTROLAR: LOCAL (0); REMOTA (1)	40018.0	17.0	

SALIDAS DIGITALES PLC

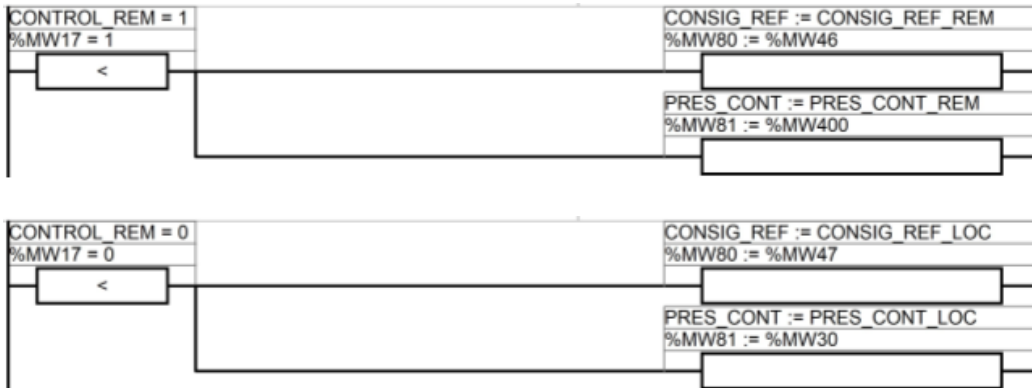
TIPO	DESCRIPTION	PLC
SAL	PARTIR VARIADOR BOMBA 1	%Q0.2
SAL	RESET VARIADOR BOMBA 1	%Q0.3
SAL	PARTIR VARIADOR BOMBA 2	%Q0.4
SAL	RESET VARIADOR BOMBA 2	%Q0.5
SAL	PARTIR VARIADOR BOMBA 3	%Q0.6
SAL	RESET VARIADOR BOMBA 3	%Q0.7
SAL	PARTIR VARIADOR BOMBA 4	%Q0.8
SAL	RESET VARIADOR BOMBA 4	%Q0.9

SALIDAS ANALOGAS PLC

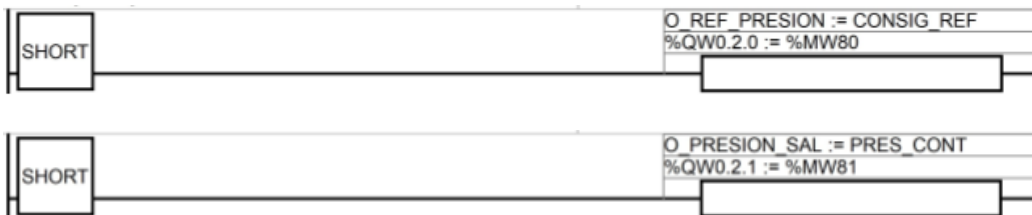
TIPO	DESCRIPTION	PLC	RANGO
SAL	CONSIGNA DE REFERENCIA	%QW2.0	0-10 V
SAL	PRESION A CONTROLAR	%QW2.1	0-10 V

3.- Programa Ladder de planta Booster Los Pinos.

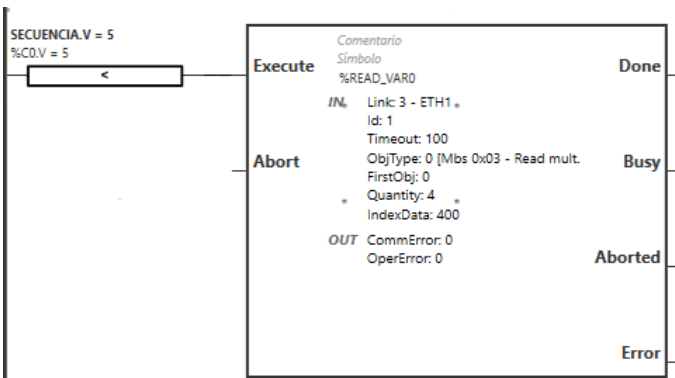
3.1.- Definición de Consigna de Referencia y Presión a Controlar: Local o Remota.



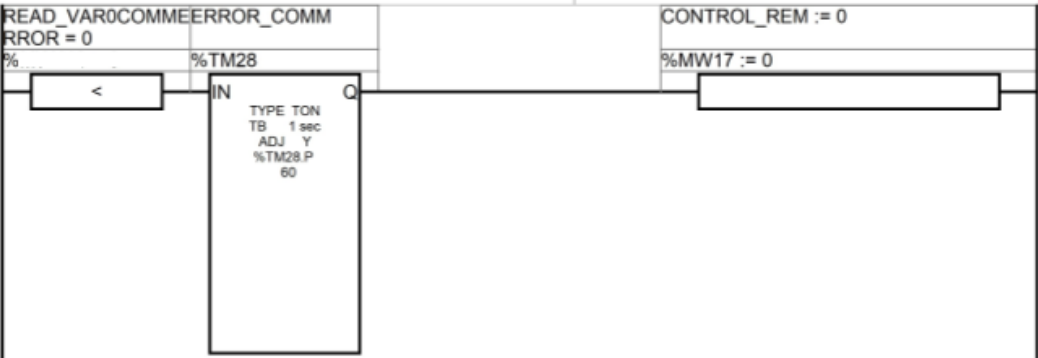
3.2.- Asignación a los canales de salidas análogas: la Consigna de Referencia y la Presión a Controlar.



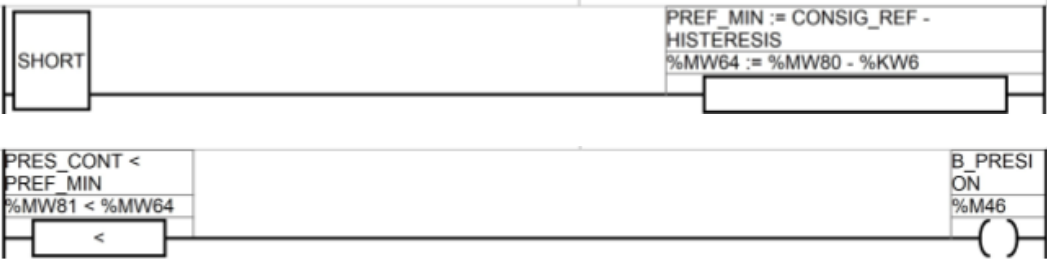
3.3.- Instrucción READ_VAR que adquiere presión remota.



3.4.- Ante falla de comunicación por más de 60 segundos la variable Control Remoto pasa a modo Local.



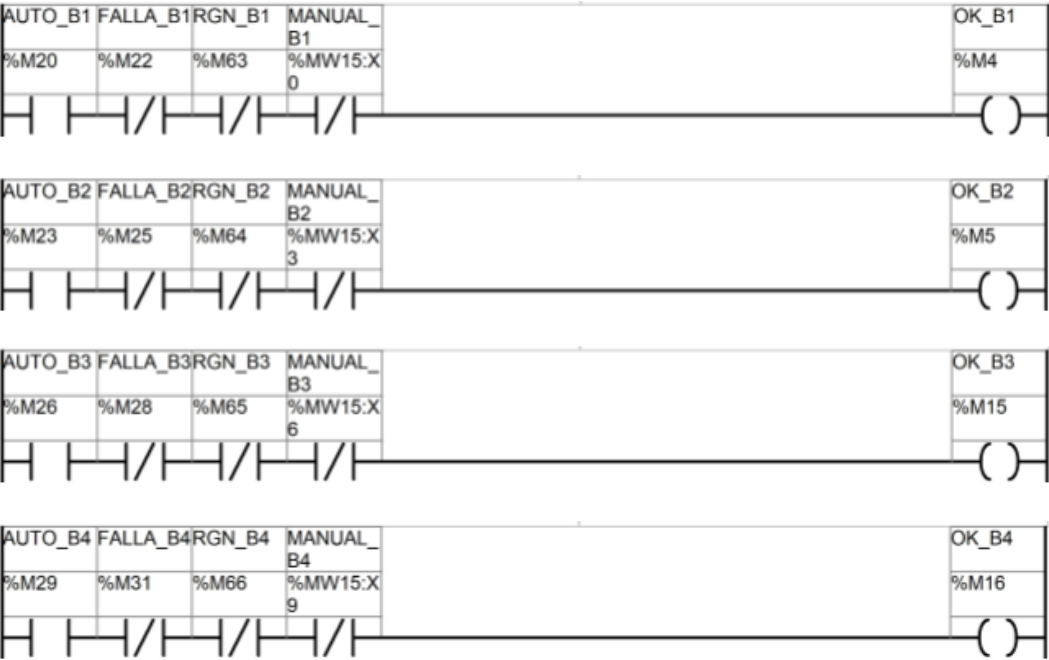
3.5.- Condición de Baja Presión.



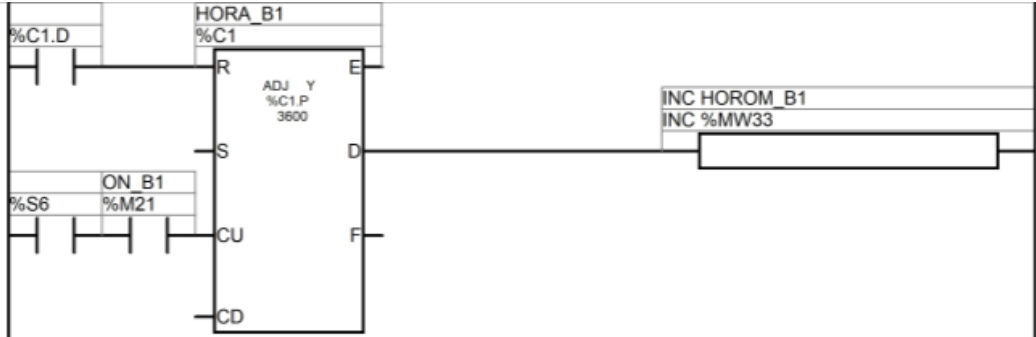
3.6.- Condición de Alta Presión.

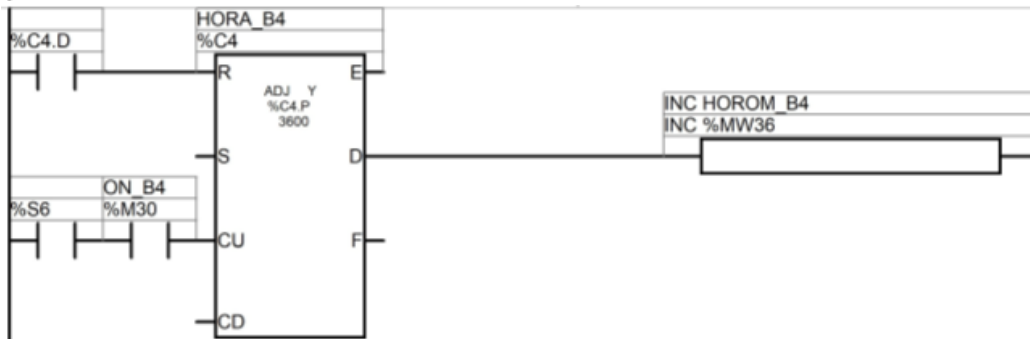
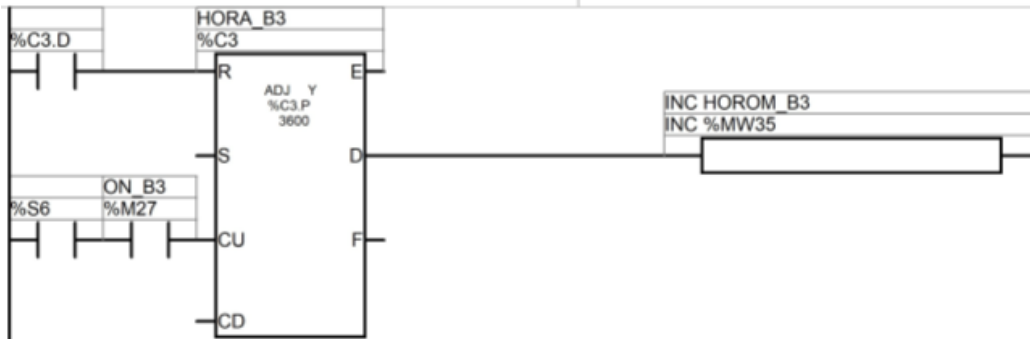
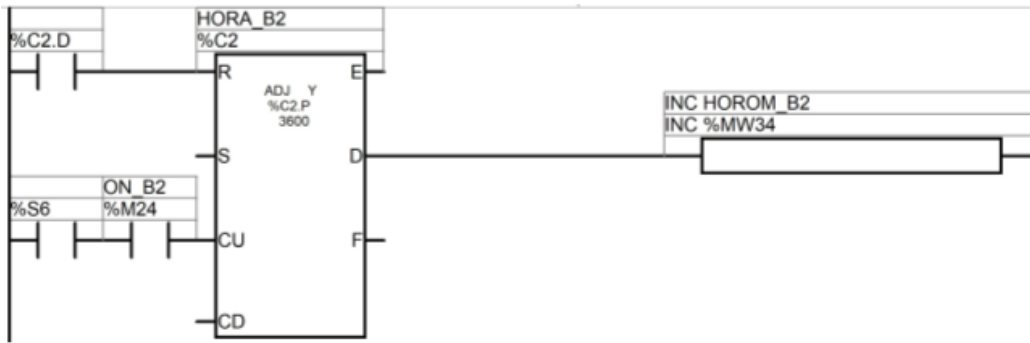


3.7.- Condición de bombas para funcionamiento sin problemas.



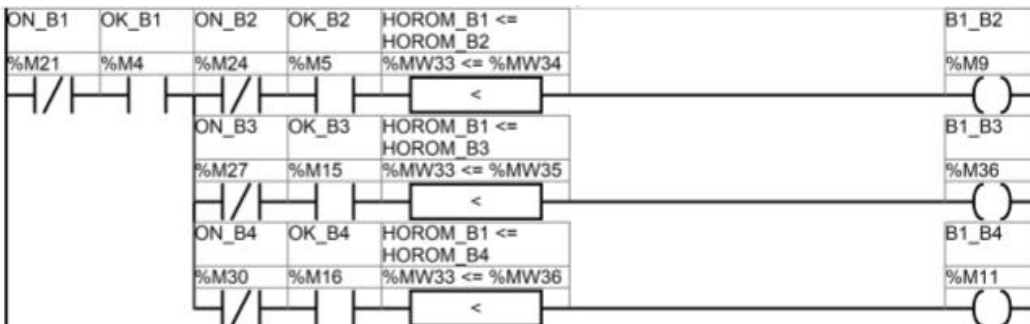
3.8.- Horómetros de bombas.



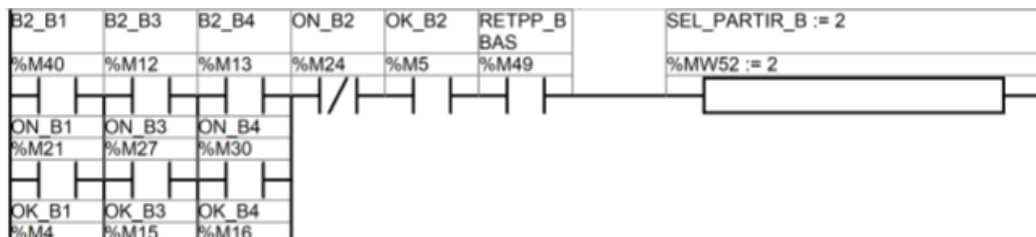
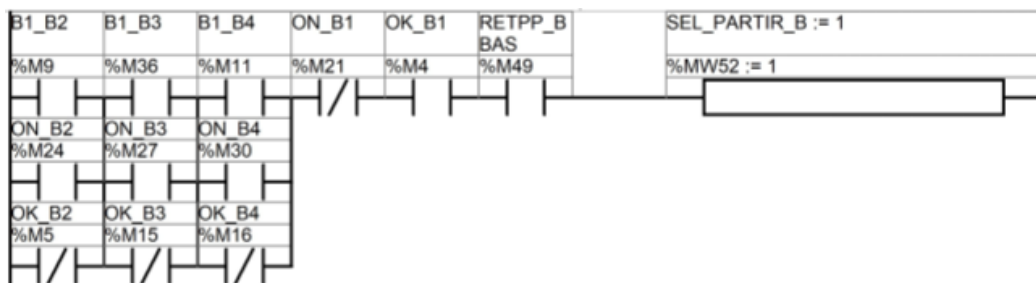
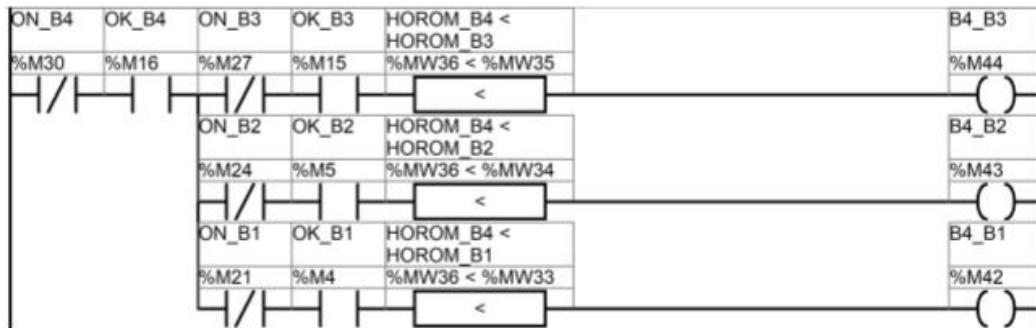
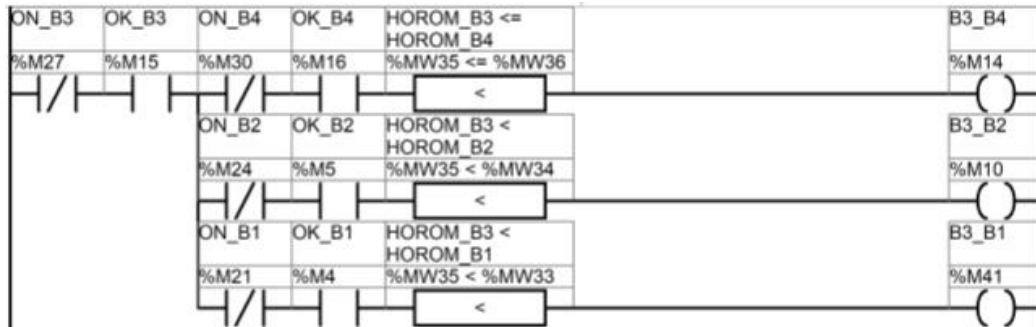
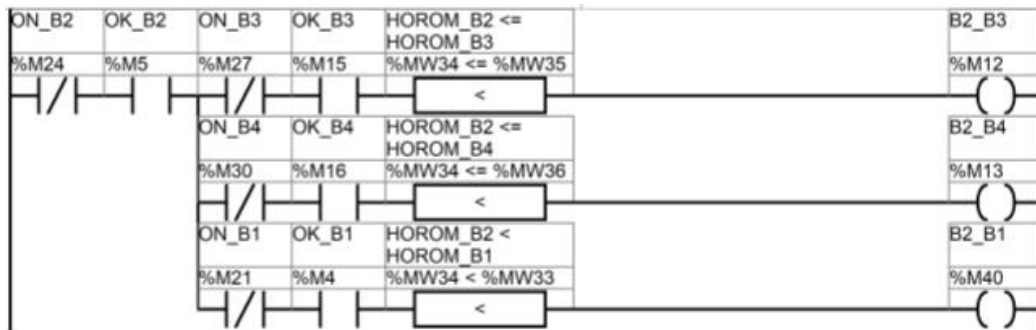


%S6: Pulso de 1 segundo interno de PLC.

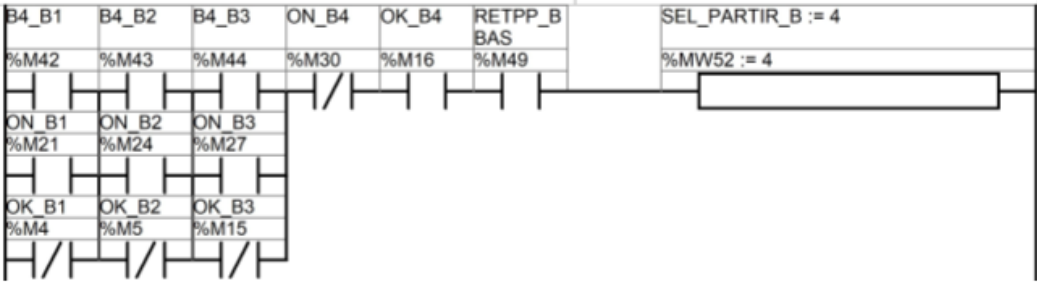
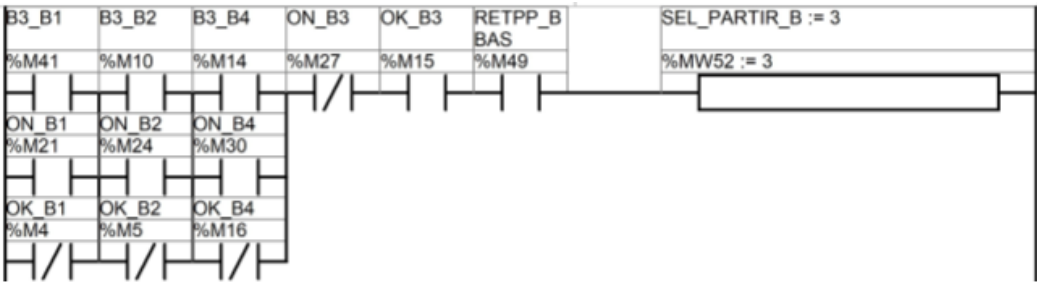
3.9.- Secuencia de selección de bomba a Partir.



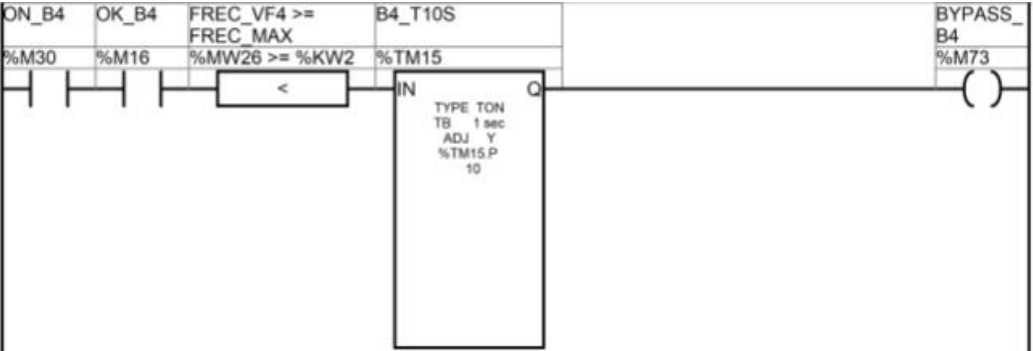
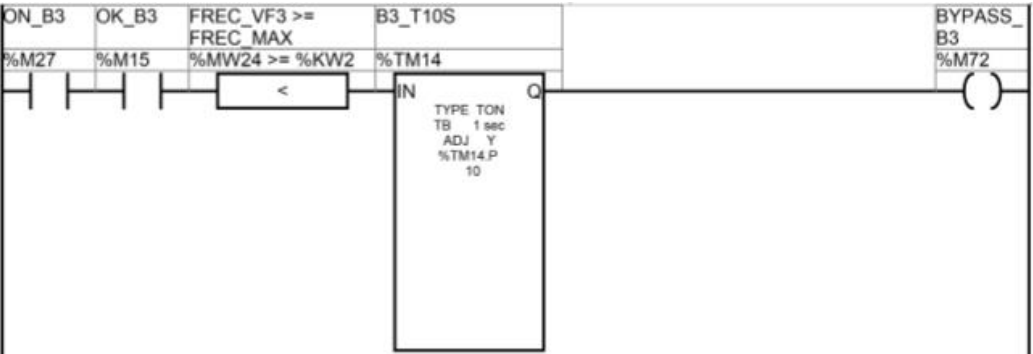
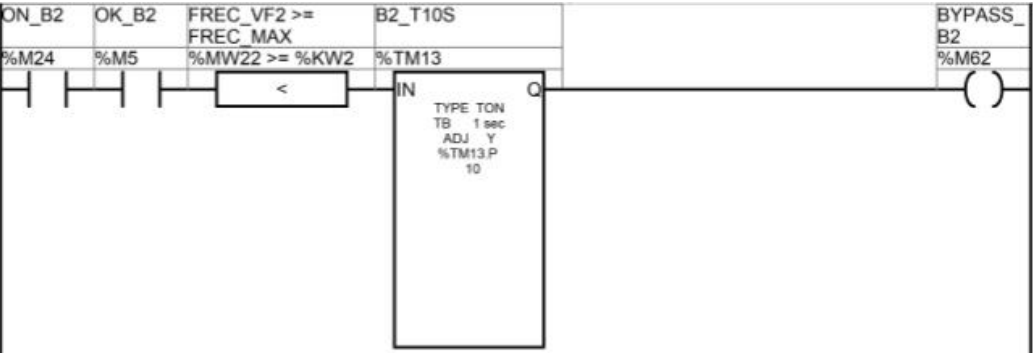
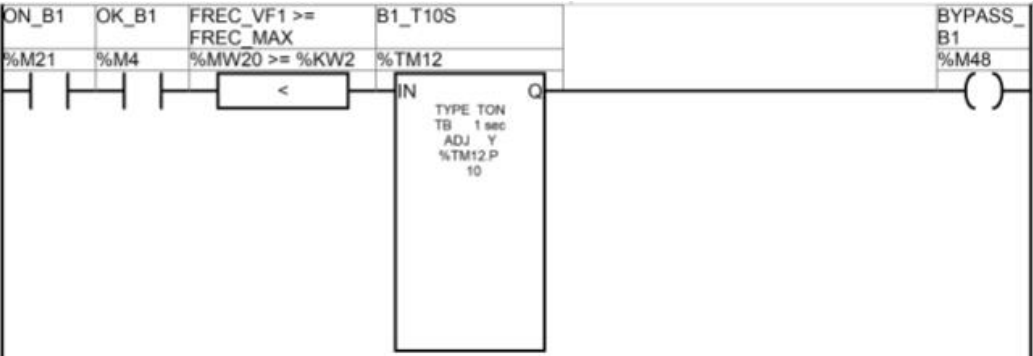
Anexos



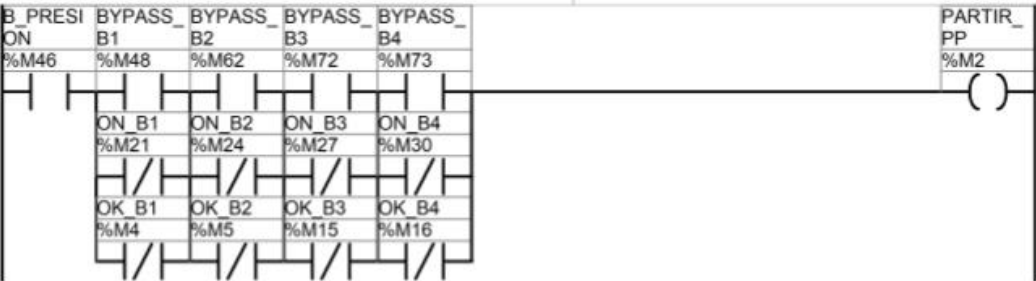
Anexos



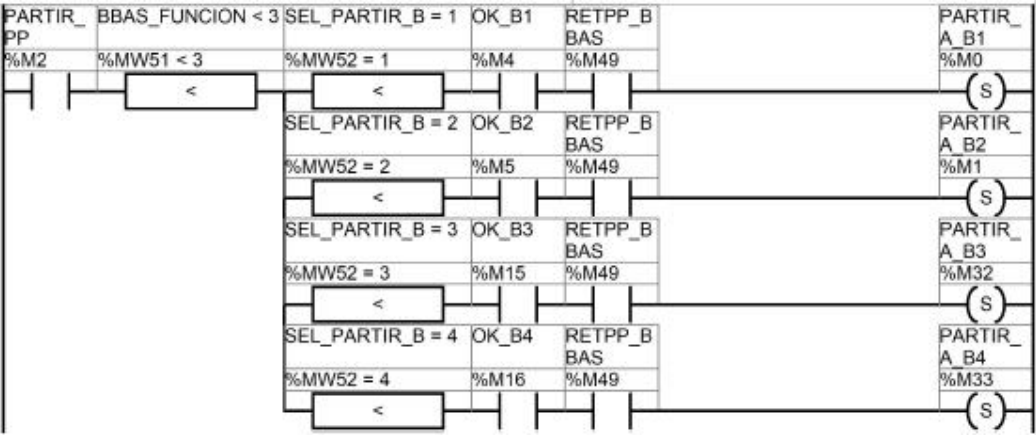
3.10.- Detección de bomba funcionando a frec. mayor a 49 Hz por más de 10 seg.



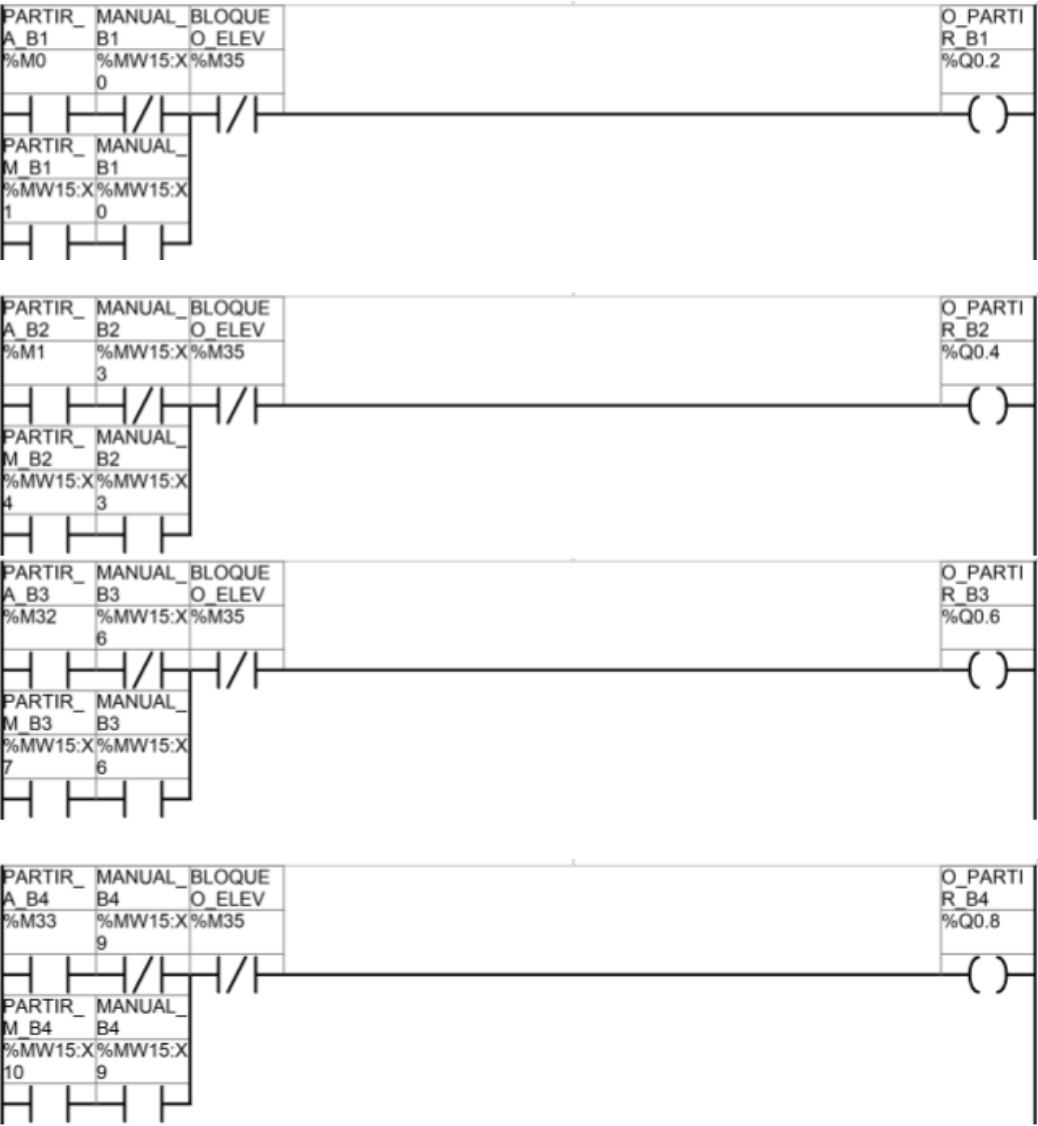
3.11.- Generación de Orden de Partida.



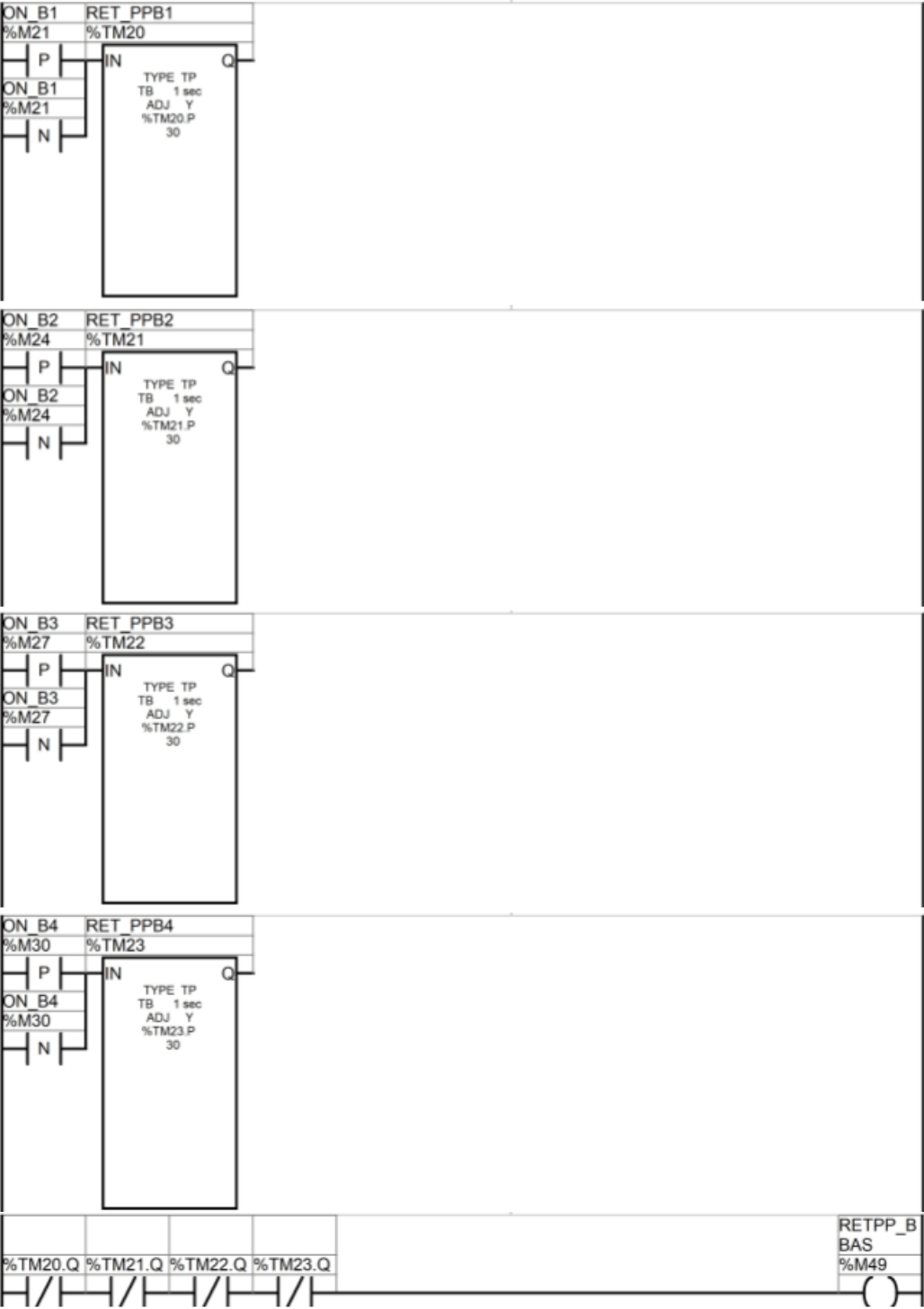
3.12.- Partida a bomba seleccionada.



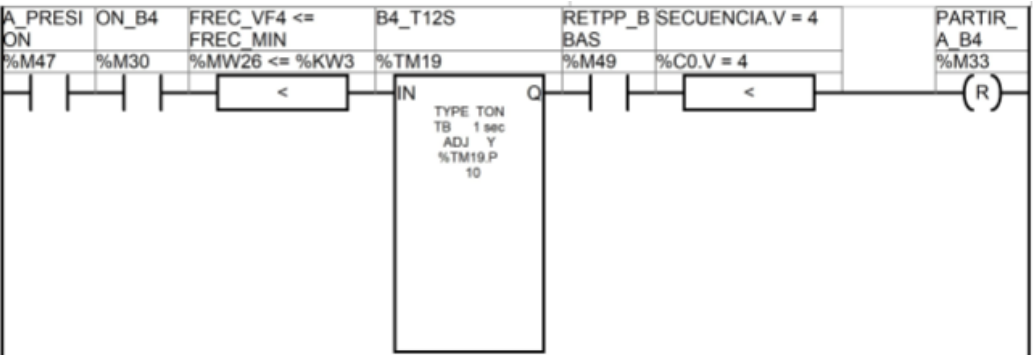
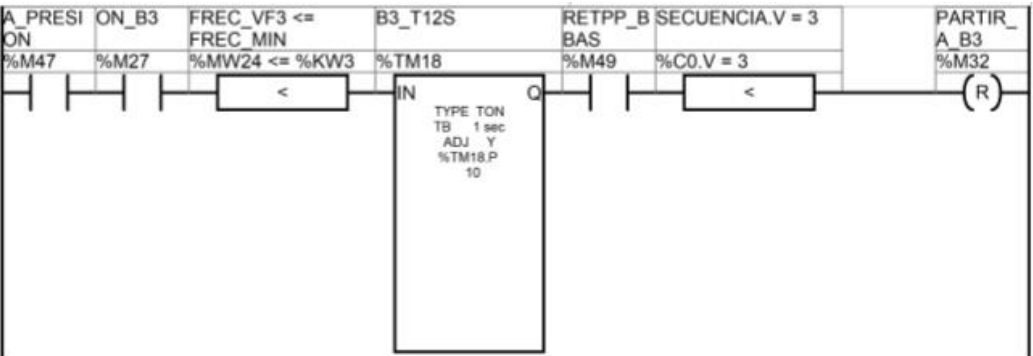
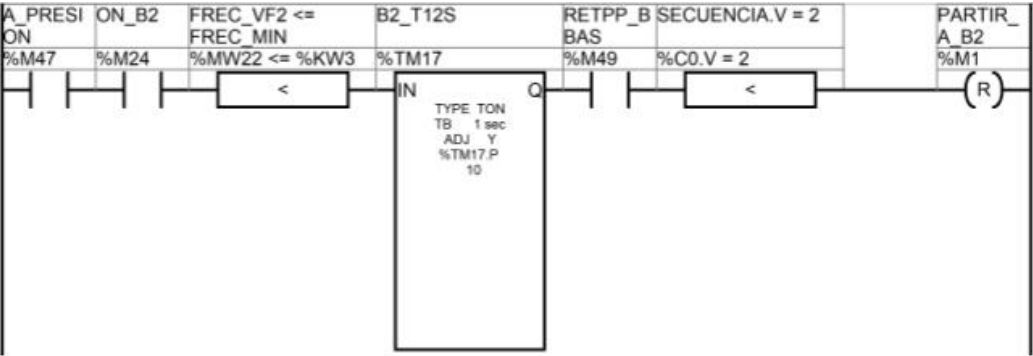
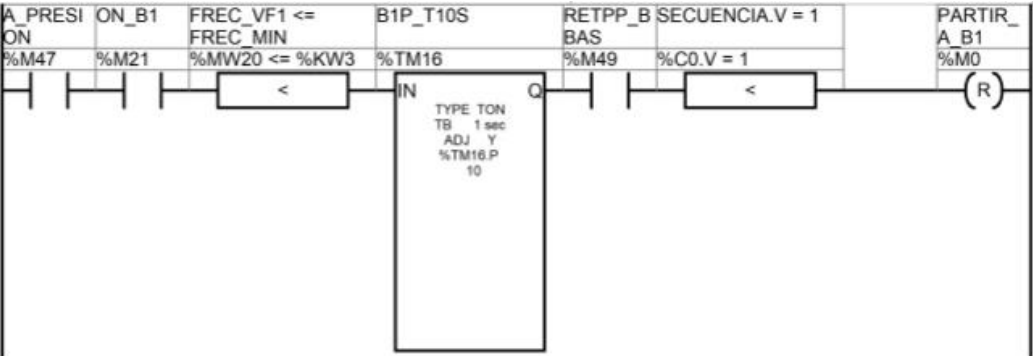
3.13.- Partida o parada de bomba en modo Automático o vía Telecomando.



3.14.- Generación de retardo de 30 segundos al partir o al parar bomba.



3.15.- Detención de bomba.



Anexos

