

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN EN LabVIEW PARA
LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARMEN
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

amb

JEAN ALEXANDER CHAPARRO MUÑOZ

ID: 75327



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2011**

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN EN LabVIEW PARA
LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARMEN
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

amb

JEAN ALEXANDER CHAPARRO MUÑOZ

ID: 75327

Trabajo de Grado como requisito parcial para optar el título de Ingeniería Electrónica

Docente Director
Phd. LUIS ANGEL SILVA
Supervisor en la empresa
Ing. JHOVANNY GREGORIO SUAREZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2011

Nota de Aceptación:

Docente Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Enero de 2012

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABLAS	
INTRODUCCIÓN	
1. GENERALIDADES	1
1.1 AUTOMATIZACIÓN	1
1.2 PLC	2
1.3 RTU	4
1.4 SEÑALES FÍSICAS DEL SISTEMA DE BOMBEO	5
1.5 SENSORES	7
1.5.1 CARACTERÍSTICAS DE UN SENSOR	7
1.5.2 TIPOS DE SENSORES	8
1.5.2.1 SENSOR ULTRASÓNICO DE NIVEL	10
1.5.2.2 SENSOR ULTRASÓNICO DE CAUDAL	13
1.5.2.3 SENSOR DE PRESIÓN	14
1.6 TELEMETRÍA	15
1.6.1 APLICACIONES E LA TELEMETRÍA	16
1.6.2 EQUIPO DE TELEMETRÍA USADO ACTUALMENTE POR EL amb	17
1.7 FACTORYLINK	18
1.7.1 FUNCIONALIDADES DEL FACTORYLINK	18
1.8 LabVIEW	20
1.8.1 COMO FUNCIONA EL LabVIEW	21
1.9 SISTEMA SCADA	25
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE BOMBEO EL CARMEN/LA CUMBRE	30
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE CADA UNO DE LOS COMONENTES DEL SISTEMA	31
2.2 TANQUE EL CARMEN	33
2.2.1 FORMA FÍSICA DEL TANQUE EL CARMEN	34
2.2.2 TANQUE DE SUCCIÓN	35
2.2.3 SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN	36
2.2.4 VÁLVULA DE ENTRADA DEL AGUA AL BOMBEO EL CARMEN	37
2.2.5 PLANO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN	38
2.2.6 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO	39
2.2.6.1 TUBERÍA DE ACERO DE 10 PULGADAS	39
2.2.6.2 VÁLVULA MARIPOSA DE 10 PULGADAS	40
2.2.6.3 VÁLVULA CHEQUE O ANTIRETORNO	41
2.2.6.4 REDUCCIÓN EXCÉNTRICA DE 10 X 6 PULGADAS	42
2.2.6.5 REDUCCIÓN CONCÉNTRICA DE 10 X 5 PULGADAS	42

2.2.6.6 BRIDA SLIP-ON DE 5 - 6 Y 10 PULGADAS	43
2.2.6.7 JUNTA ELÁSTICA BRIDADA DE 10 PULGADAS	44
2.2.6.8 BOMBA HIDRÁULICA AMERICAN MARSH DE 75 HP	44
2.2.6.9 ACOPLE Y GUARDA MOTOR-BOMBA	45
2.2.6.10 MOTOR ELÉCTRICO	47
2.2.7 DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN	47
2.2.8 REGISTRO DE CAUDAL DE SALIDA	48
2.2.9 PARÁMETROS ELÉCTRICOS SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN	49
2.2.10 ESTUDIO DE EFICIENCIA SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN	49
2.2.11 SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE INEFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN	53
2.3 TANQUE LA CUMBRE	56
2.3.1 FORMA FÍSICA Y FUNCIONAMIENTO DEL TANQUE LA CUMBRE	56
2.3.2 REGISTRO DE LA PRESIÓN DE AGUA EN EL TANQUE LA CUMBRE	57
2.3.3 MEDICIÓN DEL NIVEL DE AGUA EN EL TANQUE LA CUMBRE	58
2.3.4 TELEMETRIA DEL TANQUE LA CUMBRE	59
2.3.5 DISTRITO LA CUMBRE	60
3 MÁQUINA DE ESTADOS PARA EL ANÁLISIS DE UN PROCESO	61
3.1 TIPOS DE MÁQUINAS DE ESTADOS	61
4 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN SOBRE LA PLATAFORMA LabVIEW PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARMEN	63
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A SUPERVIZAR Y CONTROLAR	63
4.1.1 CONTROL DE LA VÁLVULA DE ENTRADA	64
4.1.2 PRUEBA REALIZADA CON TARJETA DE ADQUISIÓN DE DATOS	68
4.1.3 COMUNICACIÓN MODBUS	73
4.1.3.1 ARMADO DE LA TRAMA DE PETICIÓN	75
4.1.4 ASIGNACIÓN DEL PUERTO DE COMUNICACIÓN EN EL PC	81
4.1.5 LÓGICA DEL SISTEMA DE BOMBEO	82
4.1.5.1 MÁQUINA DE ESTADOS PARA REALIZAR EL CONTROL DEL BOMBEO DEACUERDO AL NIVEL DEL TANQUE LA CUMBRE	83
4.1.5.2 CONTROL PARA ALTERNAR EL ARRANQUE DE LAS UNIDADES HIDRÁULICAS DE BOMBEO 1 Y 2	85
4.1.5.3 CONDICIONES PARA EL ARRANQUE DEL BOMBEO	90
4.2 PANEL FRONTAL DE LA PLICACIÓN	92
4.2.1 PANEL FRONTAL USANDO MICROSOFT OFFICE VISIO	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: PLC MARCA UNITRONICS	3
FIGURA 2: RTU MODELO F6900	5
FIGURA 3: SENSOR ULTRASÓNICO DE NIVEL	11
FIGURA 4: SENSOR ULTRASÓNICO DE NIVEL USADO POR EL amb	12
FIGURA 5: TRANSMISOR DE CAUDAL	13
FIGURA 6: TRANSMISOR DE PRESIÓN	14
FIGURA 7: EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS RADIOS UHF MDS SD4	16
FIGURA 8: RADIO DE UHF MARCA GENERAL ELECTRIC SD4	17
FIGURA 9: PALETA DE HERRAMIENTAS LabVIEW	22
FIGURA 10: PALETA DE CONTROLES Y PALETA DE FUNCIONES	23
FIGURA 11: DIAGRAMA DE UN SISTEMA SCADA	27
FIGURA 12: ESQUEMA SCADA DE LA UBICACIÓN DE LOS TANQUES DEL amb	28
FIGURA 13: FOTO DEL TANQUE EL CARMEN	29
FIGURA 14: FOTO TANQUE LA CUMBRE	29
FIGURA 15: TOPOLOGÍA SISTEMA DE BOMBEO	30
FIGURA 16: FOTO SATELITE GOOGLE EARTH	31
FIGURA 17: RED DE DISTRIBUCIÓN TANQUES DEL amb	32
FIGURA 18: ESQUEMA EN 3D SISTEMA HIDRÁULICO EL CARMEN/LA CUMBRE	33
FIGURA 19: FORMA FÍSICA TANQUE EL CARMEN	34
FIGURA 20: DAÑO POR CAVITACIÓN DE UNA TURBINA	35
FIGURA 21: UNIDADES DE BOMBEO EL CARMEN	36
FIGURA 22: VÁLVULA DE ENTRADA	37
FIGURA 23: MONTAJE REAL VÁLVULA	37
FIGURA 24: PLANO HIDRÁULICO BOMBEO EL CARMEN	37
FIGURA 25: TUBERÍA DE 10 PULGADAS	39
FIGURA 26: VÁLVULA MARIPOSA	40
FIGURA 27: VÁLVULA ANTIRETORNO	41
FIGURA 28: REDUCCIÓN EXCÉNTRICA DE 10 X 6 PULGADAS	42
FIGURA 29: REDUCCIÓN CONCÉNTRICA DE 10 X 5 PULGADAS	42
FIGURA 30: BRIDA SLIP-ON	43
FIGURA 31: JUNTA ELÁSTICA BRIDADA	44
FIGURA 32: INTERIOR DE LA BOMBA	45
FIGURA 33: CARCASA DE LA BOMBA	45
FIGURA 34: ACOPLER MOTOR BOMBA	46

FIGURA 35: GUARDA DE SEGURIDAD	46
FIGURA 36: MOTOR ELÉCTRICO	47
FIGURA 37: DIAGRAMA UNIFILAR LINEA DE BOMBEO EL CARMEN	48
FIGURA 38: SONDAS DE CAUDAL	49
FIGURA 39: TRANSMISOR DE CAUDAL	49
FIGURA 40: GRÁFICA CABEZA Vs CAUDAL BOMBA DE 70 HP	50
FIGURA 41: GRÁFICA DE EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA DE 70 HP	50
FIGURA 42: GRÁFICA DE CABEZA Vs CAUDAL BOMBA DE 48 HP	52
FIGURA 43: GRÁFICA DE EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA DE 48 HP	52
FIGURA 44: GRÁFICA DE CABEZA Vs CAUDAL BOMBA DE 75 HP	53
FIGURA 45: GRÁFICA DE EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA DE 75 HP	53
FIGURA 46: GRÁFICA DE CABEZA Vs CAUDAL BOMBA DE 100 HP	54
FIGURA 47: GRÁFICA DE EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA DE 100 HP	54
FIGURA 48: INTERIOR BASE TANQUE	56
FIGURA 49: INTERIOR TANQUE ELEVADO	56
FIGURA 50: TANQUE LA CUMBRE	57
FIGURA 51: TRANSMISOR DE PRESIÓN	58
FIGURA 52: SENSOR DE NIVEL LA CUMBRE	58
FIGURA 53: RADIOS SPREAD SPECTRUM TRANSCEIVER	59
FIGURA 54: MÁQUINA DE MOORE	61
FIGURA 55: MÁQUINA DE MEALY	62
FIGURA 56: ESQUEMA SCADA amb PLANTA DE TRATAMIENTO FLORIDA	63
FIGURA 57: ESQUEMA MÁQUINA DE ESTADOS VÁLVULA DE ENTRADA	64
FIGURA 58: PANEL FRONTAL LLENADO DE TANQUE EL CARMEN	66
FIGURA 59: CASO CERO, DIAGRAMA DE BLOQUE VÁLVULA CERRADA	67
FIGURA 60: DIAGRAMA DE BLOQUES VÁLVULA ABIERTA	68
FIGURA 61: TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS T.A.D. USB PROYMELEC	69
FIGURA 62: CONEXIÓN T.A.D. USB PROYMELEC	69
FIGURA 63: GRÁFICA NIVEL Vs CORRIENTE	70
FIGURA 64: ESQUEMA REGISTRO DE NIVEL USANDO UNA T.A.D.	72
FIGURA 65: DIAGRAMA DE BLOQUES T.A.D.	72
FIGURA 66: ESQUEMA REGISTRO DE NIVEL UTILIZANDO PLC	73
FIGURA 67: DISEÑO DE LA TRAMA DE ENVIO DE PETICIÓN	77
FIGURA 68: RUTINA SUBVI DEL CRC	78
FIGURA 69: SUBVI ENVIO DE LA TRAMA DE PETICIÓN	79
FIGURA 70: SUBVI TRAMA DE RESPUESTA DEL PLC (FRAME 1)	80
FIGURA 71: ICONOS CREACIÓN DEL SUBVI	81
FIGURA 72: FRACCIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES ASIGNACIÓN PTO. COM	81
FIGURA 73: NIVELES DEL TANQUE LA CUMBRE	82

FIGURA 74: MÁQUINA DE ESTADOS CONTROL DE BOMBEO EL CARMEN	83
FIGURA 75: CASO CERO, CONDICIÓN INICIAL DEL PROCESO	84
FIGURA 76: CASO CERO, CONTROL DE ALTERNANCIA DE LAS BOMBAS 1 Y 2	85
FIGURA 77: CASO UNO: ENCENDIDO UNIDAD DE BOMBEO UNO	86
FIGURA 78: CASO DOS: ENCENDIDO UNIDAD DE BOMBEO DOS	87
FIGURA 79: PANEL FRONTAL, MONITOREO DE UNIDADES DE BOMBEO	88
FIGURA 80: CASO UNO. TIEMPO DE EXPIRACIÓN, NIVEL BAJO - BAJO	89
FIGURA 81: CASO TRES: ENCENDIDO UNIDAD DE BOMBEO TRES	90
FIGURA 82: CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA ENCENDER EL BOMBEO	91
FIGURA 83: PANEL FRONTAL DE LA APLICACIÓN	92
FIGURA 84: PANEL FRONTAL USANDO MICROSOFT OFFICE VISIO	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: CARCTERÍSTICAS DEL PLC VISION 280 DE UNITRONICS	4
TABLA 2: VARIABLES A MEDIR Y SU RESPECTIVO SENSOR	9
TABLA 3: MODO DE TRANSMISIÓN SERIE, COMUNICACIÓN MODBUS	74
TABLA 4: FUNCIONES DE MODBUS	76
TABLA 5: LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO	83

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN EN LabVIEW PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARMEN ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. **amb**

AUTOR: Jean Alexander Chaparro Muñoz

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: Phd. Luis Ángel Silva

RESUMEN

El **amb** Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. en su necesidad por prestar cada día un servicio más eficiente a los usuarios, está encaminado en la modernización de sus plantas de tratamiento, sistemas hidráulicos de bombeo y demás equipos necesarios para el funcionamiento de los mismos. Dada esta premisa, se plantea en este documento la metodología para el diseño de una aplicación sobre la plataforma de programación LabVIEW. Esta aplicación mejorará enormemente la calidad de la operación del sistema de bombeo El Carmen y de la entrega final del servicio, ya que mediante la interfase gráfica, el operador puede supervisar de manera acertada la totalidad del proceso de bombeo además de ejercer completo control de cada una de las etapas del sistema.

Palabras claves - LabVIEW, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, modernización, supervisar, control.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN APPLICATION FOR LabVIEW PUMPING STATION THE ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. [amb](#).

AUTHOR: Jean Alexander Chaparro Muñoz

FACULTY: Faculty of Electronic Engineering

DIRECTOR: Phd. Luis Ángel Silva

SUMMARY

The [amb](#) Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. in their need for each day provide more efficient service to users, is aimed at upgrading its treatment plants, pumping hydraulic systems and other equipment needed to operate them. Given this premise, this document presents the methodology for the design of an application on the platform of LabVIEW programming. This application will greatly improve the quality of the operation of the pumping system of El Carmen and final delivery of the service, because through the graphical interface, the operator can monitor how successful the entire pumping process in addition to exercising complete control of every stage of the system.

Keys Words – *LabVIEW, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, upgrading, monitor, control.*

INTRODUCCIÓN

El **amb** Acueducto Metropolitano de Bucaramanga en su necesidad por prestar cada día un servicio más eficiente a los usuarios, está encaminado en la modernización de sus plantas de tratamiento, Sistemas de Bombeo y demás equipos necesarios para el funcionamiento de las mismas.

Permanentemente realiza encuestas y estudios acerca de la conformidad de los usuarios con el servicio, de acuerdo a estos resultados ejecuta estrategias para suplir las necesidades y mejorar el rendimiento de sus sistemas.

Esta práctica empresarial y el desarrollo de este proyecto nacen de la mano con la modernización de la estación de Bombeo El Carmen y con la optimización de la eficiencia y satisfacción del usuario perteneciente al distrito La Cumbre.

Usando como herramienta de programación la plataforma LabVIEW, se diseña una aplicación capaz de monitorear y controlar el bombeo de la estación, partiendo desde el llenado del Tanque El Carmen, monitoreo del comportamiento del Tanque La Cumbre, ejecución del control de encendido y apagado de las unidades de bombeo del sistema y aseguramiento del equilibrio entre la demanda de agua de los usuarios del distrito y su abastecimiento, además de ofrecer tanto al operador como al supervisor del sistema una interface hombre máquina muy agradable y sencilla de monitorear y operar.

1. GENERALIDADES

En este capítulo se describirá el hardware y el software utilizado por los sistemas de bombeo y se hará especial énfasis en los dispositivos que actualmente está usando el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (**amb**) en la estación de bombeo El Carmen.

1.1 AUTOMATIZACIÓN:

La automatización consiste en ensamblar un sistema, desarrollar el software de adquisición de datos y control, de manera que responda ante los eventos específicos del sistema analizado sin que reemplace la toma de decisiones humana. Los dispositivos están programados para actuar cuando ocurre una condición.

Existen muchos trabajos donde no existe riesgo inmediato de la automatización. Ninguno de los dispositivos que ha sido inventado puede competir contra el ojo o el oído humano para la precisión y certeza en muchas tareas. El más inútil de los seres humanos puede identificar y distinguir mayor cantidad de esencias que cualquier dispositivo automático. Las habilidades para el patrón de reconocimiento humano, reconocimiento de lenguaje y producción de lenguaje se encuentran más allá de cualquier expectativa de los ingenieros de automatización.

Autómatas especializados, son utilizados para leer entradas de campo a través de sensores y en base a su programa, generar salidas hacia el campo a través de actuadores. Esto conduce para controlar acciones precisas que permitan un control estrecho de cualquier proceso industrial.

Existen dos tipos distintos: DCS o Sistema de Control Distribuido, y PLC o Controlador Lógico Programable. El primero era antiguamente orientado a procesos de tipo análogos, mientras que el segundo se utilizaba en procesos de tipo discreto (ceros y unos). Actualmente ambos equipos se parecen cada vez más, y cualquiera de los dos puede ser utilizado en todo tipo de procesos.

Las interfaces Hombre-Máquina (HMI) o interfaces Hombre-Computadora (CHI), formalmente conocidas como interfaces Hombre-Máquina, son comúnmente empleadas para comunicarse con los PLCs y otras computadoras, para labores tales como introducir y monitorear temperaturas o presiones para controles automáticos o respuesta a mensajes de alarma. El personal de servicio que monitorea y controla estas interfaces es conocido como ingenieros de estación; En el caso particular del **amb**, se denominan Operarios de Bombeo.

Existen dos (2) formas de automatizar los elementos del sistema:

- Por medio de lazos de control local: donde el equipo responde alarmas disparadas por valores que se salen de ciertos rangos de operación normal
- Vía software, a través de dispositivos programables tales como PLCs y computadores: el software recibe los datos ya sean del tipo continuo o discretos, los analiza y toma la decisión de las acciones a realizar.

1.2 **PLC**: (Control Lógico Programable)

Son equipos que convierten, procesan, almacenan y transmiten los datos; por medio de un protocolo de comunicaciones digital, reciben los mandos y los ejecutan. El PLC en realidad es un computador, por lo general provisto de un procesador de tipo Intel 80286. Las características principales de estos PLC son:

- Tiene y requiere poca memoria RAM, por el orden de los 4 a los 16 Mb
- Tienen un sistema operativo simple que realiza un ciclo del programa en un intervalo de tiempo determinado.
- No tiene monitor, teclado ni disco duro.
- Se programa por bloques y el programa se graba en EEPROM.
- Tiene uno o varios puertos de comunicaciones del tipo RS-232C ó RS-485, para realizar la transmisión de datos en forma serial.
- Tiene módulos de entradas y salidas analógicas y discretas.
- Tienen una dirección ó nombre ajustable, al cual pueden responder.
- Pueden realizar operaciones matemáticas, operaciones con cadenas de caracteres, manejo de memoria y conversión de tipos, así como las herramientas de comunicaciones tipo freeport.
- Pueden ser programados para activar o desactivar las salidas digitales con base en las señales de entrada o con base en comandos del usuario, lo cual es útil en automatización.

En la figura 1, se muestra la fotografía del PLC marca UNITRONICS, modelo Visión280 que actualmente el **amb** está usando. Esa es la razón principal por la que seguramente se escogerá este mismo el día que la empresa decida realizar el respectivo montaje e implementación de este proyecto en la estación de bombeo El Carmen. Hasta ahora ha podido trabajarse con este PLC, para ejecutar diferentes pruebas, este hace parte del Control y Monitoreo en el bombeo Bosconia. En la Tabla 1 se presentan las características del Vision280.

Este PLC cuenta con el módulo principal V200-18-E2B para el manejo de diversos tipos de entradas y salidas, sin embargo, tiene la posibilidad de adicionarle otros módulos de expansión (hasta ocho) para incrementar su capacidad de I/O's, permitiendo conectar la cantidad de entradas digitales necesarias en la aplicación. El módulo de comunicaciones maneja el protocolo MODBUS RS232, el cual le permite a un dispositivo maestro, acceder y modificar sus entradas y salidas; para este caso, como el maestro es el PC se debe realizar en LabVIEW toda la programación del protocolo MODBUS, la cual se explicará más adelante.



FIGURA 1: PLC MARCA: UNITRONICS MODELO: VISION 28

Tabla 1: Características del PLC Vision280 de Unitronics

MARCA	Unitronics
MODELO	Vision 280 (pantalla táctil incorporada)
FUENTE DE ALIMENTACION	12 Vdc o 24 Vdc
MÓDULO DE I/O'S	V200-18-E2B
ENTRADAS DIGITALES	(aisladas) 16 pnp/npn (24 Vdc)
ENTRADAS ANALOGAS	2 entradas de 10 bits, 0-10V, 4-20mA
SALIDAS DIGITALES AISLADAS	4 pnp/npn (24 Vdc) 10 salidas a relé
EXPANSION DE I/O'S	Vía adaptador, hasta 8 módulos de expansión Comprendiendo hasta 128 I/O's adicionales. Número de I/O's varía de acuerdo al módulo.
COMUNICACIÓN	2 puertos RS232 (COM1: 57600 bps, COM2: 115200 bps) 1 puerto Ethernet (opcional) Protocolos soportados Ethernet, GPRS, GSM/SMS, MODBUS, CANbus, OPC/DDE server, DataXport (a Excel).

1.3 **RTU**: (Unidad Terminal Remota).

Nombre genérico de la industria para estados remotos y unidades de control. Unidad modular inteligente diseñada para operar como un controlador autosuficiente o como parte de un sistema con cualquier numero de RTUs, centrales de control y subcentrales conectadas a través de una red de comunicaciones con varios enlaces y nodos.

El sistema de control de la estación El Carmen posee una RTU marca Motorola, modelo F6900A, como muestra la figura 2, esta posee un voltaje de alimentación de 110vac y cuenta con un sistema de baterías el cual soporta a la RTU en ausencia de tensión, por más de 12 horas.



FIGURA 2: RTU MODELO F6900A SERIE 214SFN0412

1.4 SEÑALES FÍSICAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Las señales físicas son los datos que se quieren medir ó monitorear y son físicamente interpretables. Las señales físicas monitoreadas por el sistema son:

- Nivel de tanque [cm]
- Caudal [l/s]
- Presión [m.c.a].
- Volumen acumulado [m3]
- Corriente [A]
- Voltaje [V]
- Potencia [kw]

Para la medición de los datos físicos es necesario recurrir al uso de elementos primarios de medición, los cuales pueden hacer mediciones directas ó indirectas del dato deseado; entre ellos están:

- Tubos de venturi, pitot, placas de orificio.
- Macromedidores: volumétricos, de velocidad, de propela.
- Campanas de aire, tomas de presión, compresores.
- Electrodo, flotadores, contactos y microswitches.
- Sensores en general.

Las señales físicas son directa o indirectamente tomadas por el elemento primario (en forma de presión manométrica o diferencial, etc.) y son convertidas luego en una señal analógica por medio de un transductor, o en señal digital por medio de un contador de pulsos (ó un módulo de entradas digitales discretas).

Una señal analógica es una variable que representa en forma análoga la variación de otra y comúnmente son de corriente de 4 a 20mA. En el caso de los niveles de un tanque, si se calibra de tal forma que 4 mA corresponde a la lectura cuando el tanque está en el piso y 20mA corresponde al nivel de rebose, puede medir el nivel en forma análoga midiendo la corriente en cualquier momento y haciendo un simple cálculo de regla de tres. Una señal del tipo “cuentapulsos” de un medidor woltman, es análoga, porque cada pulso generado por el giro de una de las manecillas corresponde a una cantidad de litros, los cuales divididos entre el tiempo dan el valor del caudal. Contando los pulsos ocurridos en un mes y multiplicándolos por el volumen de cada pulso se obtiene la producción mensual.

Las señales digitales discretas se generan por contactos que se cierran o abren, lo que de alguna forma indica la ocurrencia de una condición, que por analogía se puede interpretar como un dato. Este tipo de señales es útil en fenómenos físicos que tienen un comportamiento binario o bien escalonado. Un ejemplo de variables binarias necesarias de leer es el estado de un equipo donde el contacto abierto indica que el equipo está apagado y el contacto cerrado indica que el equipo está encendido.

Como ejemplo de una lectura escalonada, suponga un tanque dotado de 5 mini-flotadores con contactos espaciados uniformemente en sentido vertical, los cuales se van cerrando de acuerdo al nivel del agua. Haciendo un computo con los contactos cerrado y los que quedan abiertos, se puede estimar el nivel de tanque con intervalos de 20%.

La calibración de las señales analógicas de 4-20mA, consiste en ajustar el transductor para que devuelva una corriente de 4mA cuando se tiene el valor mínimo del dato y ajustarlo para que devuelva 20 mA en el caso del valor máximo posible. Esta calibración es importante para asegurar la exactitud y precisión de las lecturas.

1.5 **SENSORES:**

Un sensor o captador, no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior llamada variable de instrumentación, esta puede ser por ejemplo temperatura, presión, humedad o como en este caso en particular: Nivel, Caudal, Voltaje, Corriente, Potencia y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica que pueda cuantificarse y manipularse.

1.5.1 **CARACTERISTICAS DE UN SENSOR**

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor. Valor mínimo y valor máximo, en nuestro caso 4mA y 20 mA.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Offset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset. (4mA).
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.

- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetibilidad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.
- Span: Es la diferencia existente entre el valor máximo registrado por el Sensor y el respectivo valor Mínimo. Ejemplo $(20\text{mA} - 4\text{mA}) = 16$

En conclusión un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud a medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesamiento, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

1.5.2 TIPOS DE SENSORES

Existen muchos tipos de sensores en el mercado actual, como variables a medir, en la tabla 2 se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos.

Al finalizar la lista se hará especial énfasis en los tipos de Sensores que está usando el **amb** Acueducto Metropolitano de Bucaramanga actualmente para el montaje de sus proyectos y para la actualización y modernización de sus plantas, como lo son los sensores de nivel, caudal, presión, temperatura y lectores de variables Eléctricas.

Tabla 2: Variables a medir y su respectivo sensor

Magnitud	Transductor	Característica
POSICION LINEAL O ANGULAR	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
	Sensor Hall	Digital
DESPALZAMIENTO Y DEFORMACION	Transformador diferencial de variación lineal	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
	Magneto estrictivos	A/D
	Magneto resistivos	Analógica
	LVDT	Analógica
VELOCIDAD LINEAL Y ANGULAR	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo	Digital
	Servo-inclinómetros	A/D
	RVDT	Analógica
ACELERACIÓN	Acelerómetro	Analógico
	Servo-acelerómetros	Analógico
FUERZA Y PAR (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
	Triaxiales	A/D
PRESIÓN	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
CAUDAL	Turbina	Analógica
	<u>Ultrasónico</u>	Analógica
TEMPERATURA	Termopar	Analógica
	RTD	Analógica
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica
	Bimetal	I/O

PRECENCIA	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
CONTACTO	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógica
PROXIMIDAD	Sensor final de carrera	Digital
	Sensor capacitivo	Digital
	Sensor inductivo	Digital
	Sensor fotoeléctrico	Digital
ACUSTICA (presión sonora)	micrófono	Digital
ACIDEZ	IsFET	Analógica
LUZ	Fotodiodo	Analógica
	Fotorresistencia	Analógica
	Fototransistor	Digital
	Célula fotoeléctrica	Digital
NIVEL	<u>Sensores Ultrasónicos</u>	Analógica

1.5.2.1 SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL

El sensor de nivel UB-PROG2 que se observa en la figura 3, es uno de los tipos de Sensor ultrasónico que puede ser usado para el control de llenado de los Tanques El Carmen y La Cumbre, más adelante se observa la selección y cotización de este elemento a nivel de prototipo, para una distancia no superior a 500mm.

Los criterios de selección utilizados para el Sensor de Nivel son los siguientes.

Variable a Medir: Nivel (Proximidad)

Tipo de Fluido: Agua

Clase de Sensor: Ultrasónico

Característica: De Señal Analógica 4-20 mA

Bucaramanga, Julio 25 de 2.011

NX11-0339

Señores:
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
Att. Ing. Alexander Chaparro
Ciudad

Agradeciendo su solicitud estamos enviando la oferta de los siguientes equipos:

ITEM	CANT	DESCRIPCION	VALOR UND	VAL TOTAL
1	1	Sensor de proximidad Ultrasónicos, alcance 500 mm, diám 30 mm, , interface RS232, salida analoga tensión/corriente + 1 PNP , conector V15 (M12 x 1), 5 pines, MARCA: PEPPERL+FUCHS	\$ 1.446.000	\$ 1.446.000
2	1	CABLE DE PROGRAMACIÓN ULTRASONIC MARCA: PEPPERL+FUCHS	\$ 231.700	\$ 231.700
3	1	Conector Recto de 5 pines hembra con cable de 2 metros encauchetado PVC. MARCA: PEPPERL+FUCHS	\$ 48.000	\$ 48.000

CONDICIONES COMERCIALES:

TIEMPO DE ENTREGA: 30 Días
PRECIO: El estipulado más el IVA que se liquidara en el momento de facturación.
FORMA DE PAGO: 30 Días

Cordialmente,

Ing. Ximena Suárez R.
SENSOMATIC DEL ORIENTE
6434400 – 317-8585862
Carrera 25 N° 40 A - 04

Los equipos se cotizan de acuerdo a nuestra interpretación de las especificaciones dadas por el cliente, sin embargo es responsabilidad del cliente revisar que lo cotizado se ajuste a sus necesidades reales

UB-PROG2



FIGURA 3: SENSOR ULTRASÓNICO DE NIVEL

El sensor ultrasónico de Nivel utilizado actualmente por el acueducto para registrar los niveles del tanque El Carmen y el tanque La Cumbre es el Prosonic T FMU30 que se observa en la figura 4, es perteneciente a la firma ENDRESS & HAUSER y posee las siguientes características:

Tipo de fluido: Agua, clase de sensor: Ultrasónico, característica: señal analógica 4-20 mA, rango: 5m (16 ft).



FIGURA 4: SENSOR ULTRASÓNICO DE NIVEL [amb](#)

1.5.2.2 SENSOR ULTRASÓNICO DE CAUDAL

En el tanque El Carmen perteneciente a el [amb](#), se utiliza el sensor ultrasónico de caudal Prosonic Flow Clamp On 93W perteneciente a la firma ENDRESS & HAUSER como se ve en la figura 5, para registrar la velocidad de volumen de agua en (Litros/Segundo) suministrada por gravedad hacia el distrito El Carmen y a su vez, la bombeada hacia el distrito La Cumbre.

Este Sensor posee las siguientes características:

Tipo de Fluido: Agua

Clase de Sensor: Ultrasónico

Voltaje Alimentación: 110Vac

Característica: De Señal Analógica 4-20 mA



FIGURA 5: TRANSMISOR ULTRASÓNICO DE CAUDAL

1.5.2.3 SENSOR DE PRESIÓN:

El bombeo El Carmen y El tanque La Cumbre actualmente se están monitoreando las presiones a través de manómetros análogos. En este proyecto se propone la utilización de transmisores de presión analógicos con señal de 4-20mA.

De esta manera se estarán supervisando las tres variables que más relevantes en este sistema. nivel, caudal y presión, por medio de la aplicación montada sobre LabVIEW y a través del sistema Scada de la empresa.

En la figura 6 se observa una de las clases de Sensor utilizado por el **amb** en una de sus plantas para monitorear la presión, en bombes de Agua, centrales de lubricación y Refrigeración.

Este Sensor posee las siguientes características:

Tipo de Fluido: Agua

Span: 0..... 10bar

Característica: De Señal Analógica 4-20 mA

Clase de Sensor: Variación de Resistencia en material piezo-resistivo



FIGURA 6: TRANSMISOR DE PRESIÓN

1.6 **TELEMETRÍA:**

Es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema. Se utilizó por primera vez en 1915, a mediados de la primera guerra mundial, por el alemán Khris Osterhein y el italiano Francesco Di Buonanno para medir a qué distancia se encontraban objetivos de artillería.

El envío de información hacia el operador en un sistema de telemetría se realiza típicamente mediante comunicación inalámbrica, aunque también se puede realizar por otros medios (teléfono, redes de ordenadores, enlace de fibra óptica, etc). Los sistemas de telemetría reciben las instrucciones y los datos necesarios para operar desde el Centro de Control.

En este caso en particular, consiste en la lectura remota de los valores de parámetros operativos en los sistemas de acueductos, tales como: caudales, presiones, niveles, parámetros de calidad del agua y variables de los equipos eléctricos.

El objetivo de la telemetría es contar con la información de campo necesaria que permita tomar decisiones en cuanto a las maniobras y acciones a seguir en la operación del acueducto, como por ejemplo: cerrar o abrir válvulas, redistribuir el almacenamiento, encender o apagar equipos de bombeo o inclusive reducir ó aumentar la producción en las plantas.

Si se cuenta con la infraestructura, es posible realizar manipulaciones a distancia de algunos elementos del acueducto, tales como válvulas y equipos de bombeo. Para ello es necesario que las estaciones remotas se equipen con los dispositivos adecuados: contactos, relés y actuadores. El telemando consiste en la operación remota de dichos elementos mediante comandos enviados por un operador desde un centro de control, el cual toma la decisión de abrir/cerrar ó encender/apagar de acuerdo con los datos que dispone, los cuales pueden provenir de telemetría, de reportes vía teléfono, radio de voz ó consignas de sus superiores.

1.6.1 APLICACIONES DE LA TELEMETRÍA:

La telemetría se utiliza en grandes sistemas, tales como naves espaciales, plantas químicas, redes de suministro eléctrico, redes de suministro de gas entre otras empresas de provisión de servicios públicos, debido a que facilita la monitorización automática y el registro de las mediciones, así como el envío de alertas o alarmas al centro de control, con el fin de que el funcionamiento sea seguro y eficiente. Por ejemplo, las agencias espaciales como la NASA, la Q.K, la ESA y otras, utilizan sistemas de telemetría y de telecontrol para operar con naves espaciales y satélites.

La Telemetría se utiliza en infinidad de campos, tales como la exploración científica con naves tripuladas o no (submarinos, aviones de reconocimiento y satélites), diversos tipos de competición (por ejemplo, Fórmula 1 y MotoGP), o la operación de modelos matemáticos destinados a dar sustento a la operación de embalses.

En las fábricas, oficinas y residencias, el monitoreo del uso de energía de cada sección o equipo y los fenómenos derivados (como la temperatura) en un punto de control por telemetría facilita la coordinación para un uso más eficiente de la energía.



FIGURA 7: EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS RADIOS UHF MDS SD4

1.6.2 EQUIPO DE TELEMETRÍA USADO ACTUALMENTE POR EL amb:

MICROWAVE DATE SYSTEM SD4:

El MDS SD de la serie 4 constituye la industria de soluciones inalámbricas que proporcionan comunicaciones de larga distancia en las bandas de radio licenciadas, permitiendo a los usuarios de la interfaz Ethernet y dispositivos de serie como PLCs y RTUs recibir y enviar información desde los captadores y hacia estaciones de monitoreo y control a metros de distancia.

La serie SD es la última generación de dispositivos de banda estrecha con licencia MDS que proporciona un rendimiento inalámbrico de comunicación excepcional y confiabilidad para satisfacer la demanda de servicios IP/Ethernet, así como soporte para múltiples dispositivos y sistemas host.

La serie SD es compatible con las generaciones anteriores lo que permite una migración suave y controlada por los sistemas existentes.

A continuación se muestra una fotografía de este radio instalado y cableado en el tablero de control del Bombeo El Carmen.



FIGURA 8: RADIO DE UHF GENERAL ELECTRIC SD4

Esta parte del capítulo describirá algunas generalidades del software utilizado por el **amb** hasta el momento y explicará porque El Acueducto inicia el reemplazo y la selección de una nueva plataforma de programación.

1.7 FACTORYLINK:

FactoryLink es un software que proporciona modernas y completas herramientas que permiten al usuario configurar aplicaciones a medida, satisfaciendo exactamente las especificaciones. Pasando por la comunicación en tiempo real Hombre Máquina (HMI), el control y la adquisición de datos (SCADA) y por la administración de información en las aplicaciones Industriales, la flexibilidad del producto es virtualmente ilimitada.

1.7.1 FUNCIONALIDADES DEL FACTORYLINK:

- a. Tendencias: Permite al usuario ver fácilmente en tiempo real toda la información histórica en un solo gráfico facilitando a los operarios tomar decisiones más inteligentes.
- b. Interface gráfica de usuario: El interface Gráfico de FactoryLink se llama Client Builder, proporciona un entorno completo de visualización orientado a objeto permitiendo incrustar aplicaciones desarrolladas en Microsoft VBA para tener soluciones completamente a medida.
- c. Informes: El generador de Informe en tiempo real permite salvar los valores de tiempo real en un archivo de texto o archivo HTML para el uso con un navegador de Internet.
- d. Redes y redundancia: FactoryLink soporta fácilmente las aplicaciones redundantes mediante avanzadas funcionalidades de red. Es tan fácil como construir otras topologías de red incluyendo monopuesto, ClienteServidor, configuraciones de Multi-Estación e igual a igual.
- e. Recetas: las recetas permiten la carga y descarga fácil de variables de proceso con FactoryLink.

- f. Módulo Matemático-Lógico: La poderosa tarea permite que sea alcanzado cualquier requerimiento de cálculo. Puede trabajar en modo interpretado para más fácil depuración o bien en modo compilado para una mayor velocidad de cálculo.
- g. Eventos y Alarmas: el gestor de alarmas está completamente distribuido, así que múltiples aplicaciones pueden agregar sus alarmas y eventos, permitiendo a un solo usuario ver, reconocer y responder a aplicaciones geográficamente dispersas.
- h. Data Logger: Esta tarea de FactoryLink proporciona grabación de gran cantidad de datos a alta velocidad en formato columna orientada para la velocidad cruda o bien en formato fila orientada para permitir fácilmente las adiciones dinámicas.
- i. Bases de datos relacionables: FactoryLink soporta cualquier base de datos ODBC tal como SQL Server, que está incluido con el producto. Las bases de datos relacionales pueden comunicar simultáneamente con múltiples bases de datos de distintos proveedores.
- j. Servidor OPC: Único en la Industria, es el estándar de comunicación entre el servidor de FactoryLink y el cliente. Usted puede utilizar el servidor OPC para transmitir los datos de tiempo real a un cliente OPC.
- k. Tareas a medida: tareas desarrolladas con el programmer Access kit se integran completamente en el sistema de FactoryLink y son configuradas en el mismo como una tarea más de FactoryLink desarrolladas por UGS.
- l. Cliente OPC: Estándar de comunicación incluido en FactoryLink que permite enlazar con cualquier fuente de datos OPC de forma rápida y fácil.
- m. Interface XML: permite la conexión bidireccional y en tiempo real a la base de datos de FactoryLink para aplicaciones externas.
- n. Drivers de comunicación: Existe una gran librería de Drivers disponibles para la conexión con cientos de dispositivos de control de planta industrial desde los PLC, RTU Y hardware de DCS.

Actualmente el **amb** Acueducto Metropolitano de Bucaramanga cuenta con esta plataforma para realizar la Adquisición de Datos al SCADA, pero la tendencia de la empresa es llevar esta Aplicación hacia la plataforma LabVIEW, ya que es mucho más económica, fácil de programar y ofrece una interface Hombre Máquina mucho más amigable.

1.8 **LabVIEW:**

LabVIEW es una herramienta gráfica de chequeo, control y diseño mediante programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, que consiste en programación mediante gráficos y figuras. Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC y salió al mercado por primera vez en 1986.

Los programas hechos con LabVIEW se llaman VI (Virtual Instrument), lo que da una idea de uno de sus principales usos: el control de instrumentos. Esto significa que ésta herramienta no es solo enfocada al diseño de software, sino que busca combinar este software con todo tipo de hardware, como tarjetas de adquisición de datos (DAQ), controladores de automatización programables PAC, sensores, transductores y otros.

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas de automatización y monitoreo en procesos industriales y científicos, mediante la adquisición de datos, control de instrumentos o el uso de PAC's.

Presenta facilidades de comunicación con dispositivos electrónicos externos mediante el uso de protocolos de comunicación como son: puerto serie, puerto paralelo, GPIB (General Purpose Interface Bus), TCP/IP, IRDA (Infrared Data Connections), MODBUS, Bluetooth, USB, OPC (OLE for Process Control); además cuenta con la capacidad de interactuar con diferentes aplicaciones tales como dll, ActiveX, Matlab, Simulink, entre otras.

Tomado de la pagina web <http://www.mecco.es/html/marketing/FactoryLink>

1.8.1 ¿CÓMO TRABAJA LabVIEW?

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación Convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs.

Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs. A continuación se procederá a realizar una somera descripción de estos conceptos.

a) Panel Frontal

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

Cada uno de ellos puede estar definido como un control (a) o un indicador (b). Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

b) Diagrama de bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales. A continuación se presenta un ejemplo de lo recién citado:

(a) Función.

(b) Terminales (control e indicador).

(c) Estructura.

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

LabVIEW posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, Comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

Las estructuras, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle for, while, case,...).

Los cables son las trayectorias que siguen los datos desde su origen hasta su destino, ya sea una función, una estructura, un terminal, etc. Cada cable tiene un color o un estilo diferente, lo que diferencia unos tipos de datos de otros.

c) Paletas.

Las paletas de LabVIEW proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el panel frontal como el diagrama de bloques. Existen las siguientes paletas:

Paleta de herramientas (Tools palette)

Se emplea tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques; Ver figura 9.

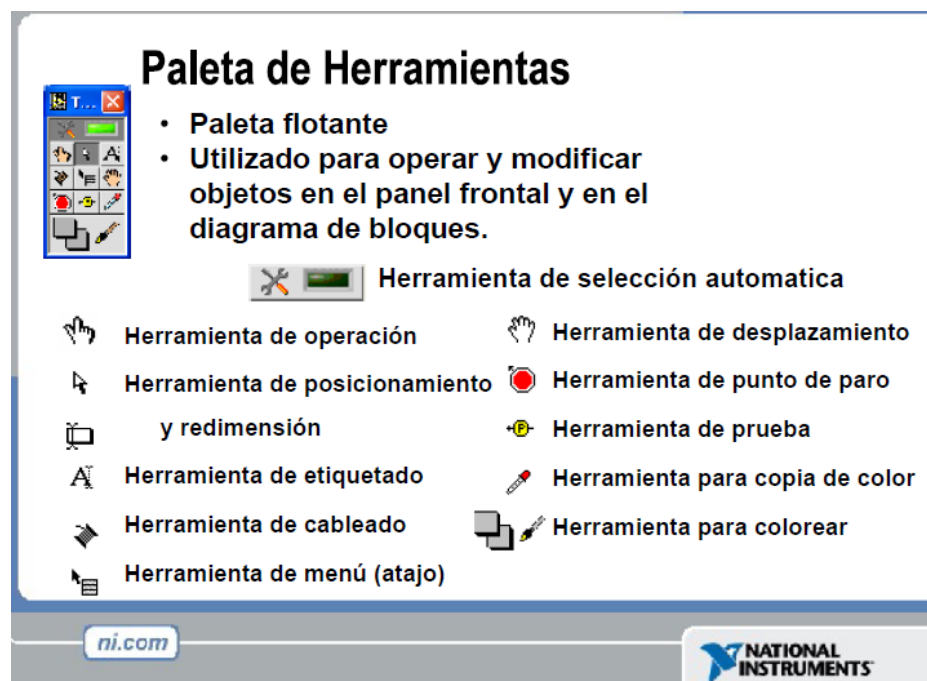


FIGURA 9: PALETA DE HERRAMIENTAS LabVIEW

Paleta de controles (Controls palette)

Se utiliza únicamente en el panel frontal. Contiene todos los controles e indicadores que se emplearán para crear la interfaz del VI con el usuario; Ver figura 10.

Al seleccionar objetos desde el menú Controls estos aparecen sobre el panel frontal, pueden colocarse donde convenga, y además tienen su propio menú desplegable que permite la configuración de algunos parámetros específicos de cada tipo de control.

Paleta de funciones (functions palette)

Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. La paleta de funciones contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa del VI, ya sean funciones aritméticas, de entrada/salida de señales, entrada/salida de datos a fichero, adquisición de señales, temporización de la ejecución del programa,...

Para seleccionar una función o estructura concretas, se debe desplegar el menú Functions y elegir entre las opciones que aparecen; Ver figura 10.

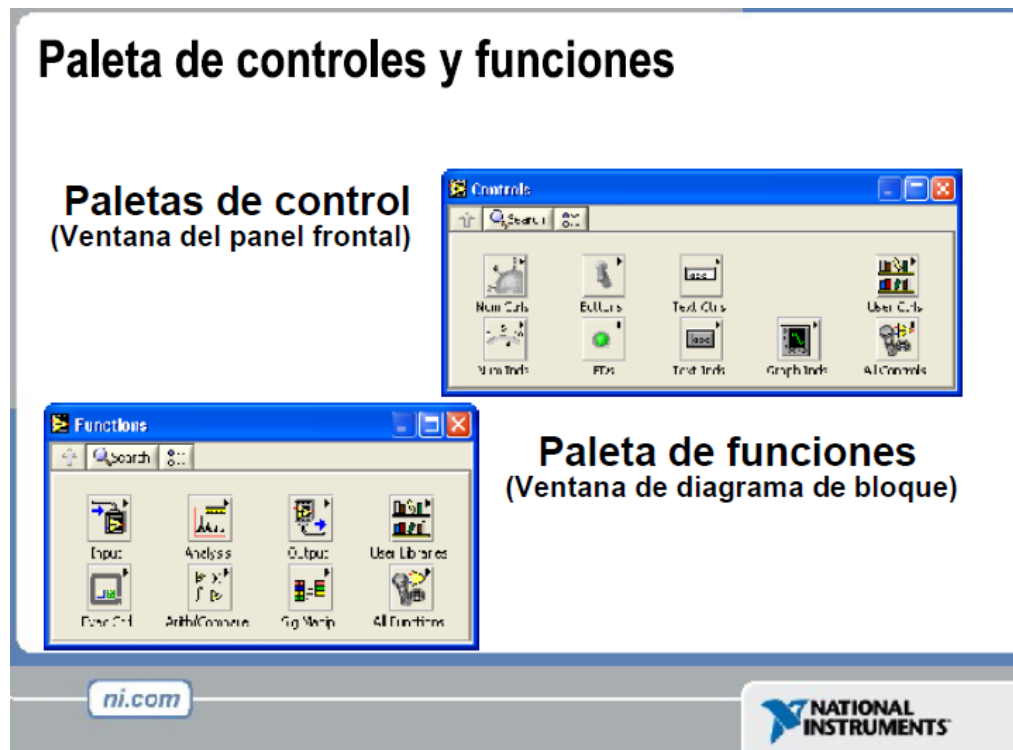
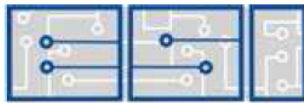


FIGURA 10: PALETA DE CONTROLES Y PALETA DE FUNCIONES

A continuación se presentará la cotización enviada al Ingeniero Electrónico de la UIS Wilfred Yesid Reyes contratista **amb** Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, en la cual la compañía ES INSTRUMENTACION de Bogotá, expone el valor de la licencia de LabVIEW como programa más un ejecutable del programa; además de los descuentos y las clausulas de garantía, las cuales son muy importantes a la hora de determinar el proveedor del producto y si este es o no costoso.



ES INSTRUMENTACION NIT 830.053.412-1

COTIZACION 11536

PRECIOS EN PESOS COLOMBIANOS

Institucion: Acueducto de Bucaramanga

Email: yreyes.electronico@gmail.com

Atn. Yesid Reyes

Direccion: Parque del Agua Diagonal 32 No.30A-51
Contratista

Proyecto:

Telefonos: 6320220 x620 **Ciudad:** BUCARAMANGA

Fax:

Contacto en ventas: Ing Monica Guarin Castañeda

Item	Cantidad	No. Parte	Descripcion	Valor Unitario	Valor Total
1	1	776670-35	LabVIEW Full Development System, Windows. NI Software Service provides free, automatic upgrades for your software & access to NI Application Engineer s via phone/email for technical support.	\$6,692,400	\$6,692,400
2	1	776675-35	LabVIEW Application Builder English for Windows is an add on package to create stand-alone executables.	\$2,574,000	\$2,574,000
DESCUENTOS: 16% por pago 100% anticipado. 12% por pago contraentrega 8% por pago a 15 dias calendario de la fecha de la factura.				SubTotal IVA	\$ 9,266,400 \$ 1,482,624
Comentarios:				Total	\$ 10,749,024
Esta cotizacion tiene una validez de 15 dias calendario a partir del 22 de Junio de 2011					

Garantía.

ES Instrumentación se encargará de todos los gastos y trámites de garantía de las partes durante un periodo de un (1) año a partir de la fecha de recibido. Si el daño es por mal manejo, el cliente asumirá el costo de reparación.
National Instruments garantiza al Cliente que la fabricación del hardware y los materiales que lo componen, se entrega libre de defectos de fabricación, la garantía del Hardware sera de (1) año, valida desde la fecha de recepción de los equipos por parte del cliente, el Software licenciado por National Instruments, se garantiza por un periodo de Noventa - 90 - dias desde la fecha de entrega, los términos de garantía se encontraran señalados en el Contrato de la Licencia.
La única responsabilidad de National Instruments bajo la presente garantía será la de proceder a la reparación de los Equipos Hardware / software o la sustitución de los mismos.
En el supuesto de que dicha reparación o sustitución no fuera razonable o factible National Instruments reembolsará el precio de venta / canon de licencia.
Salvo acuerdo contrario, la reparación o sustitución se llevará a cabo en las instalaciones de National Instruments, en Austin - Texas USA.

Forma de Pago: 30 dias fecha de la factura

Tiempo de Entrega: 30 dias habiles despues de la fecha de la orden de compra.

Carrera 51 # 104B-69 Of.- L.103-Bogotá-PBX: 4824888 Fax 2183062 - L. Gratuita: 01 8000 513680

Pago de anticipos: Cuenta Corriente BANCOLOMBIA #2070-1823660 a nombre de E.S. INSTRUMENTACION

1.9 **SISTEMAS SCADA**: (Supervisory Control and Data Adquisition)

En los sistemas SCADA los PLC se encargan de “medir” por medio del módulo de entradas analógicas, el valor del dato análogo, en el caso particular de esta aplicación, la variable primordial a medir es el NIVEL. Este módulo mide la corriente en el conductor que viene del sensor. Esa corriente es proporcional al dato.

A su vez el módulo convierte la lectura en un valor numérico, usualmente entre 0 y 1000 y se debe programar una ecuación de conversión de este número (que también es análogo) en el valor real del dato en campo. A esto se llama calibrar el PLC.

Un Sistema SCADA en el caso de los acueductos tiene como finalidad realizar el monitoreo de variables tales como caudales, presiones, niveles de tanque, calidad del agua, variables eléctricas de los equipos de bombeo y la operación remota de válvulas, bombes y pozos, así como:

- Controlar el nivel de los tanques, para evitar reboses o minimizar reboses, impedir el desabastecimiento de los sectores y trasegar agua entre zonas y tanque.
- Monitorear el comportamiento de la demanda y el almacenamiento en tanques.
- Registrar y monitorear la producción en las principales fuentes de abastecimiento, con el fin de decidir si es necesario bajar o subir la producción.
- Monitorear variables de calidad del agua, para asegurar dicha calidad a los consumidores del agua.
- Operar remotamente los dispositivos que se manipulan más frecuentemente con el fin de reducir costos operativos y aumentar la velocidad de respuesta del sistema.
- Llevar un registro del comportamiento del sistema, diariamente, mensual y estacionalmente.

El proceso del monitoreo se debe realizar en tiempo real, es decir que en el Centro de Control se observe el valor instantáneo de cada parámetro. Para ello existen estaciones remotas, que realizan constantemente las lecturas de las variables y luego las reportan al computador central (servidor de adquisición de datos), el cual almacena en una base de datos histórica, los diferentes valores de las variables monitoreadas.

Continuando con las generalidades del SCADA, se hace referencia a que la comunicación entre el servidor y las estaciones remotas es de dos vías: a) el Computador interroga a la estación remota y le transmite los comandos del operador

(telemando) y b) la estación remota realiza las acciones, informa los valores solicitados por el computador y confirma la realización de los mandos.

Debido a la gran cantidad de estaciones remotas que se comunican con el computador central, el SCADA utiliza un protocolo de comunicaciones y un mecanismo de acceso al canal de comunicaciones, para que haya un orden en cuanto al envío de los mensajes, de lo contrario se causarían interferencia entre sí.

En un sistema SCADA inalámbrico (en el caso del SCADA del [amb](#)) cada una de las estaciones remotas se comunica mediante radio UHF en sub banda 490 – 512 MHz con la estación maestra o servidor. Utilizando un protocolo de comunicaciones (MDLC), las remotas reportan las lecturas al servidor y el servidor envía las consignas de telemando a las remotas. Las remotas tienen una identificación única en la red y cuando el servidor envía una transmisión, todas las remotas “oyen” y solamente aquella para la cual va destinada la transmisión responde. Con esta topología de red inalámbrica, el servidor transmite multidireccionalmente y las remotas transmiten unidireccionalmente.

Cada estación remota está conformada por:

- Elementos primarios: son aquellos dispositivos que directa ó indirectamente miden la variable, entre estos se tienen: tubos de venturi, sensores de presión, electrodos, sensores ultrasónicos de caudal y nivel, pitómetros, generadores de pulsos eléctricos, etc.
- Transductores: Equipos que convierten señal de los elementos primarios en señales apropiadas para dispositivos de entrada /salida.
- Actuadores: dispositivos que accionan válvulas y motores.
- PLC (Controladores Lógicos Programables): son equipos que convierten, procesan, almacenan y transmiten los datos, por medio de un protocolo de comunicaciones digital reciben los mandos y los ejecutan. (Y a anteriormente mencionados).
- RTU- “Remote Terminal Unit” (Unidad Terminal Remota). Nombre genérico de la industria para estados remotos y unidades de control. Unidad modular inteligente diseñada para operar como un controlador autosuficiente o como parte de un sistema con cualquier numero de RTUs, centrales de control y subcentrales conectadas a través de una red de comunicaciones con varios enlaces y nodos.
- Enlaces de radio: compuesto por el radio-módem, el panel y antena, constituyen el canal físico por donde se transfiere la información.

El SCADA además puede contar con una estación maestra, conectada a un computador, el cual controla las comunicaciones, registra tiempos, almacena datos y posee una interfaz visual con el usuario, la cual entrega reportes y consultas.

Un sistema SCADA para funcionar requiere convertir los valores físicos en valores numéricos que sean interpretados por un operador mediante el uso de un computador. El proceso de conversión inicia con la señal física la cual es convertida en señal analógica por medio del uso de un sensor. La señal analógica es luego interpretada por el PLC que la convierte en un dato digital numérico, que llega al computador para que sea interpretado por el operador.

En la figura 11, se presenta la configuración del sistema SCADA, donde se muestran tres (3) estaciones remotas típicas.

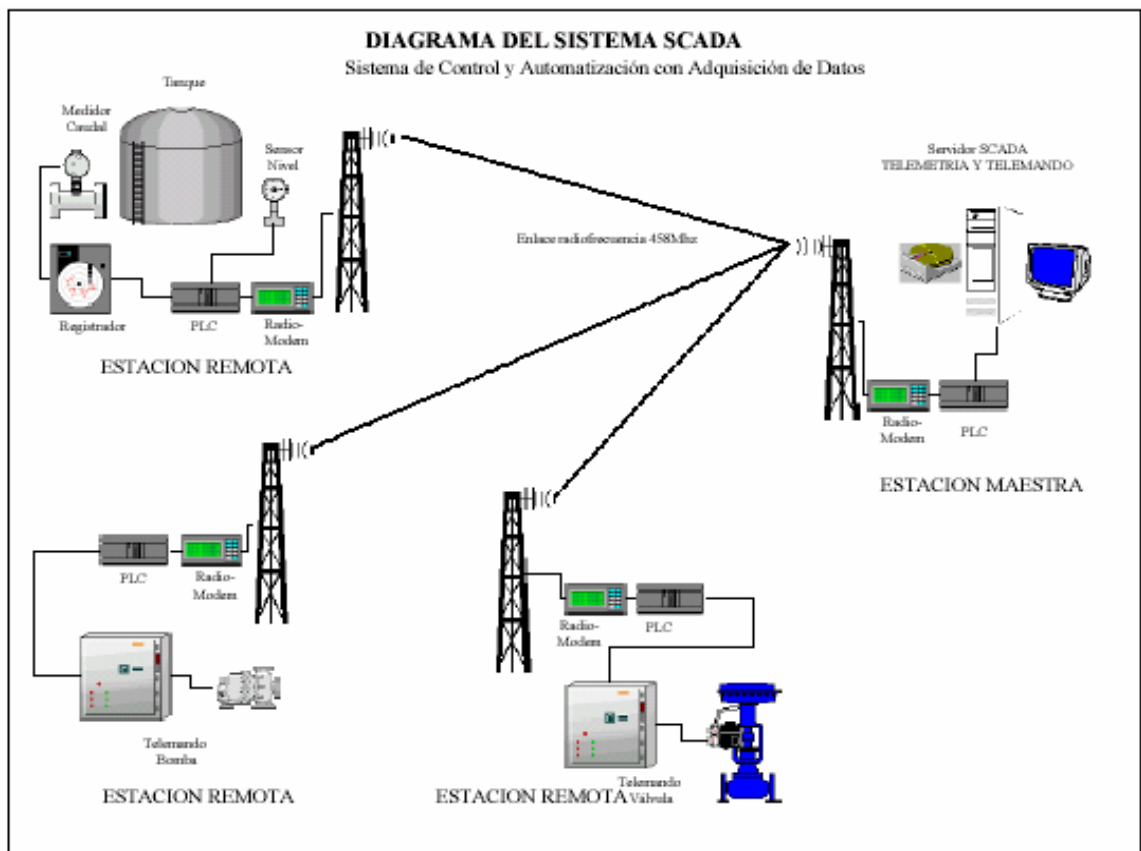


FIGURA 11: DIAGRAMA DE UN SISTEMA SCADA

A continuación se observará en la Figura 12 una foto instantánea del SCADA perteneciente al **amb**, de la forma en que están distribuidos los tanques de agua de Bucaramanga y su área metropolitana.

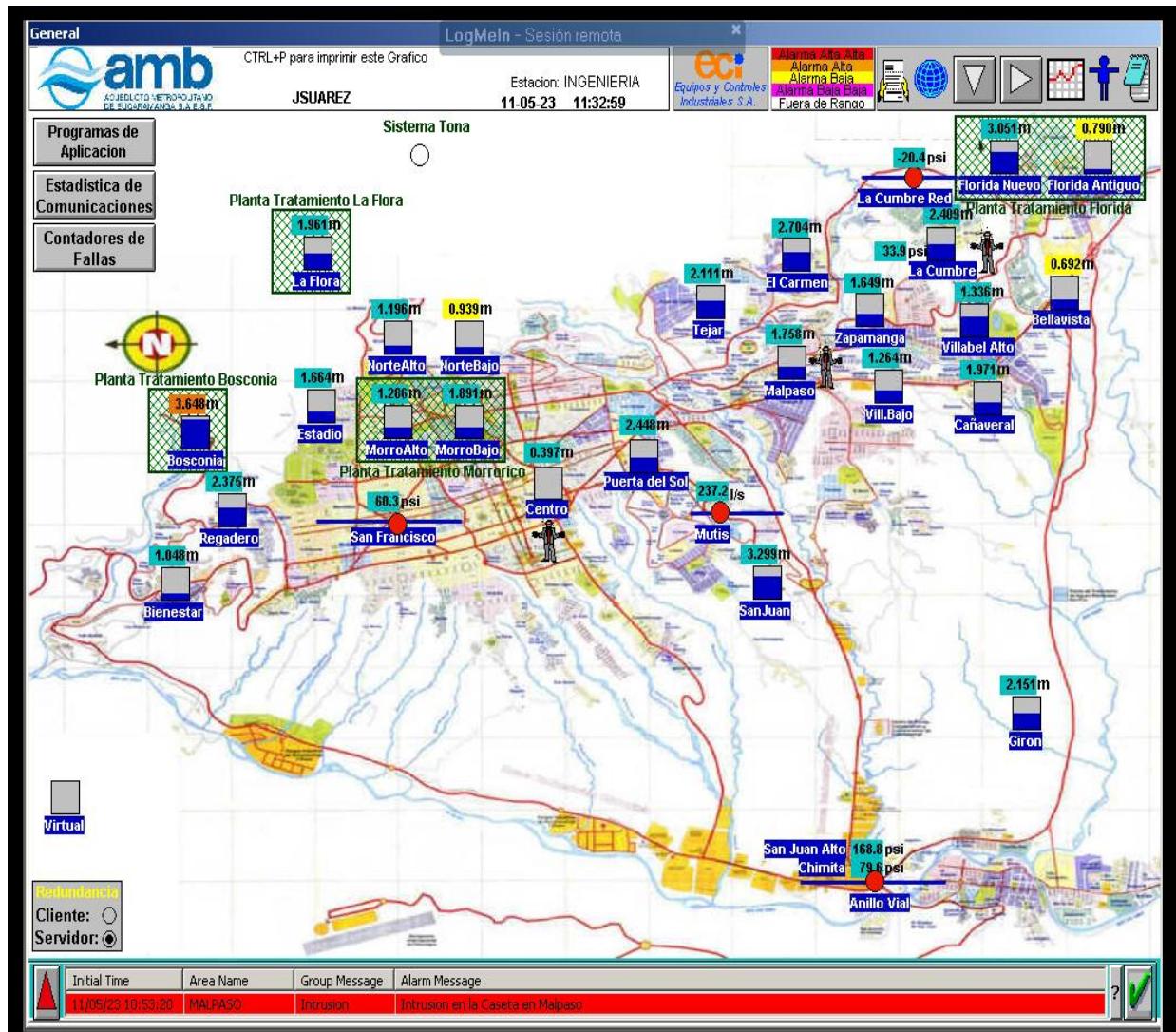


FIGURA 12: ESQUEMA DEL SCADA DE LA UBICACIÓN DE LOS TANQUES **amb**

En el esquema SCADA **amb** de la foto instantánea de la Figura 13 del tanque El Carmen, se puede monitorear el caudal de agua que está ingresando al tanque (72,4L/S), el estado en el que se encuentra la válvula de entrada de agua al tanque (abierta/cerrada), la capacidad máxima del tanque y su nivel actual, el suministro de agua (usando método de Gravedad) para el distrito Angelinos (37,8 L/S), cuál de las unidades de bombeo está encendida y el determinado caudal de agua que está bombeando hacia el distrito La Cumbre (59,2L/S).

Además de todas las Variables anteriormente mencionadas a monitorear, otra función muy importante del sistema SCADA que podemos notar a través de este esquema es la posibilidad de ejercer CONTROL sobre los diferentes elementos que intervienen en el Sistema, como lo es realizar el apagado/conmutación /encendido de las unidades de bombeo, abrir o cerrar la válvula de entrada de agua al tanque El Carmen.

En el esquema del sistema SCADA de la Figura 14 se puede monitorear el caudal de agua que está llenando el tanque La Cumbre, la capacidad máxima de este y su nivel y presión actuales.

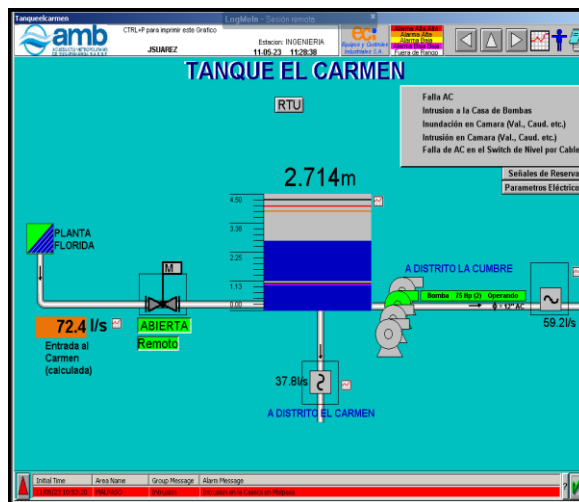


FIGURA 13: FOTO TANQUE EL CARMEN

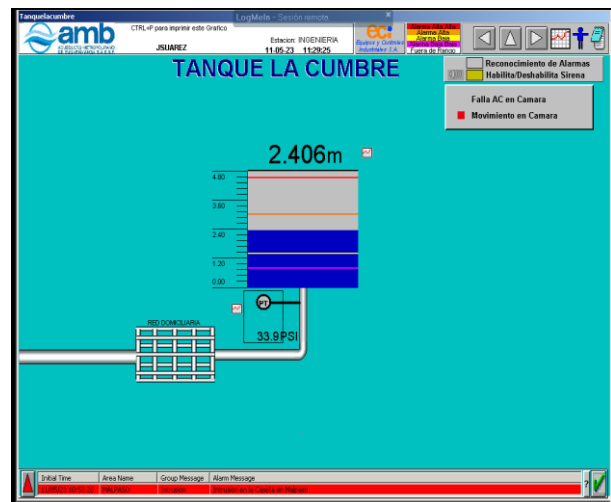


FIGURA 14: FOTO TANQUE LA CUMBRE

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL DE BOMBEO EL CARMEN / LA CUMBRE:

En este capítulo se describe la ubicación geográfica donde se encuentra localizado el sistema de bombeo El Carmen y como este es alimentado de agua por el tanque Florida mediante el sistema de gravedad, se enumeran cada uno de los diferentes dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que conforman el sistema actual y la labor que desempeñan en el proceso de bombeo, y como a través de un estudio de eficiencia el **amb** toma la decisión de re-potenciar el sistema y aprovechar la reforma para montar una aplicación sobre la plataforma LabVIEW y así poder monitorear y controlar de una manera óptima cada etapa de funcionamiento.

Debido a que el distrito y el tanque de almacenamiento La Cumbre se encuentran ubicados en una cota más alta que la del tanque El Carmen, es necesario hacer el abastecimiento de estos por medio del conjunto de equipos electromecánicos que constituyen la estación de bombeo; Actualmente cuatro unidades hidráulicas impulsan cuesta arriba el agua tratada a través de una tubería de 12 pulgadas, como se muestra en la figura 15.

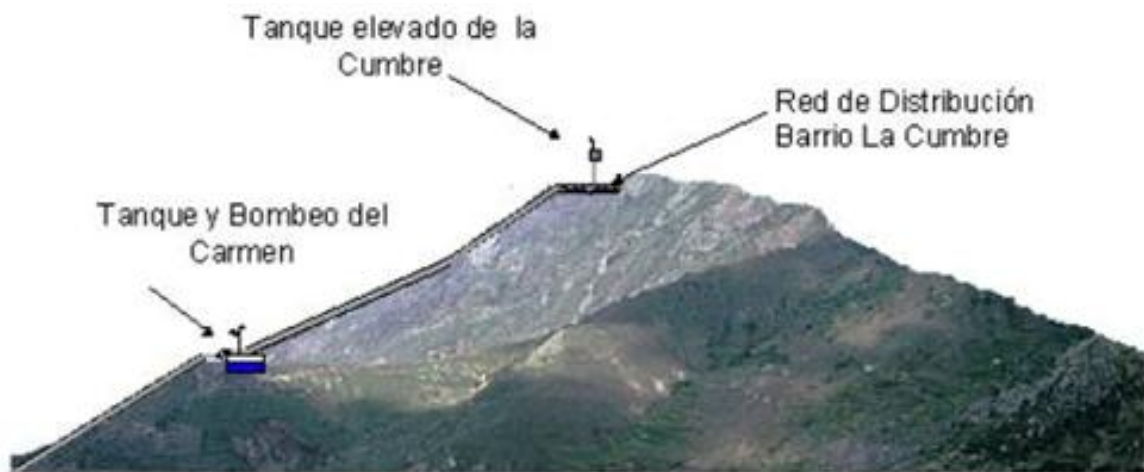


FIGURA 15: TOPOLOGÍA SISTEMA DE BOMBEO

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

A través del programa Google Earth, En la figura 16 puede observarse una foto del mapa de Floridablanca (Santander), este muestra la ubicación de cada uno de los elementos que intervienen en el sistema de Bombeo y en parte del sistema SCADA perteneciente al **amb**.

En el costado Sur-Oriental se encuentra ubicado el tanque Florida y la planta de Tratamiento de Agua Florida, esta agua es conducida por gravedad hasta el tanque El Carmen, ubicado un poco más hacia el Nor-Occidente, quien a su vez por gravedad entrega una parte de su agua para el distrito El Carmen, mientras la restante es bombeada hasta el distrito La Cumbre y su respectivo tanque elevado o tanque Compensador.

Sobre el Barrio la Trinidad, Floridablanca se encuentra ubicada la antena repetidora para el sistema SCADA, a la cual llegan las señales de cada Estación o planta a través de los radios UHF MDS (MicroWave Data System) SD4.

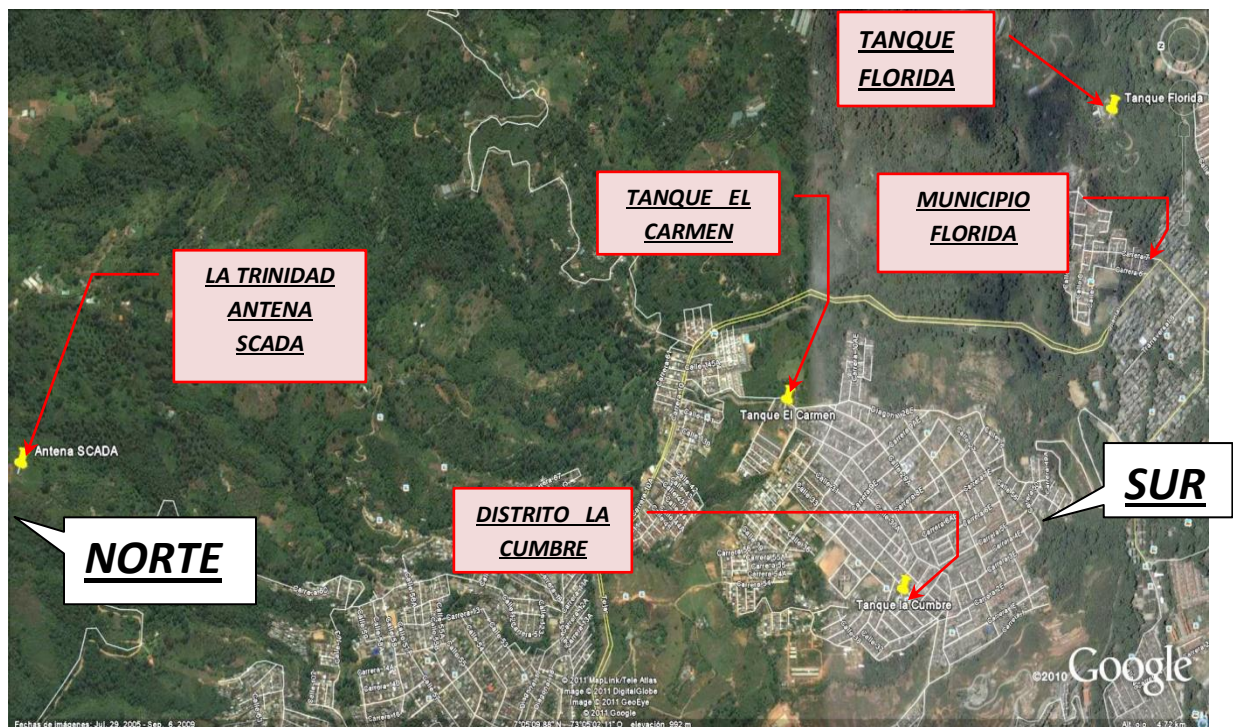


FIGURA16: FOTO SATÉLITE GOOGLE EARTH FLORIDABLANCA/SANTANDER

Para complementar la información anterior, en la figura 17, dentro del recuadro punteado amarillo, se observa una sección de la red de distribución de tanques del **amb**, la gráfica está diseñada de modo tal que pueda apreciarse las diferencias de altura entre tanques y el porqué de la conducción del líquido en algunos casos utilizando el método de gravedad y en los otros mediante el sistema de bombeo, adicional a esta información, se encuentra la medida actual de la altura del agua en metros dentro de cada tanque representado por unos números decimales de color negro ubicados en la parte superior de cada tanque, estas alturas hacen que el operador encargado de monitorear el sistema, tome decisiones para realizar maniobras de cierre o apertura de válvulas o simplemente pueda hacer el respectivo reporte de información del llenado de los tanques para así establecer las horas pico del sistema y la demanda existente.

Se toma como referencia el tanque Florida Nuevo, el cual se encuentra ubicado en el sector Sur-Oriente de Floridablanca a 1032,9 m. sobre el nivel del mar y con una altura de llenado de agua actual de 3,051 m, posteriormente el tanque El Carmen se encuentra ubicado al Nor-Occidente del tanque Florida a 1020 m. sobre el nivel del mar y con una altura de llenado de agua de 2,704 m, razón por la cual fue viable el suministro de agua desde Florida hasta este tanque por el método de gravedad; Seguidamente se encuentra el distrito La Cumbre y su respectivo tanque compensador La Cumbre, el cual está situado un poco más al Nor-Occidente de el tanque Florida pero con una altura muy superior a las dos anteriores 1059 m. sobre el nivel del mar, este presenta un medida de llenado de 2,4 m. razón clara del porqué hasta allí llega el agua a través del sistema de bombeo El Carmen.



FIGURA 17: RED DE DISTRIBUCIÓN TANQUES DEL **amb**

En la figura 18 se observa un plano en 3D diseñado usando el programa Google SketchUp, en este se muestra la forma en que se distribuye el líquido desde los tanques Florida, El Carmen y La Cumbre hacia los distritos; Algo importante a apreciar, es la forma física de los tanques los cuales manejan una proporción a escala entre ellos y los componentes más relevantes que intervienen en el sistema, como la válvula de entrada de agua de el tanque Florida a el tanque El Carmen y las unidades de bombeo ubicadas en el tanque El Carmen.

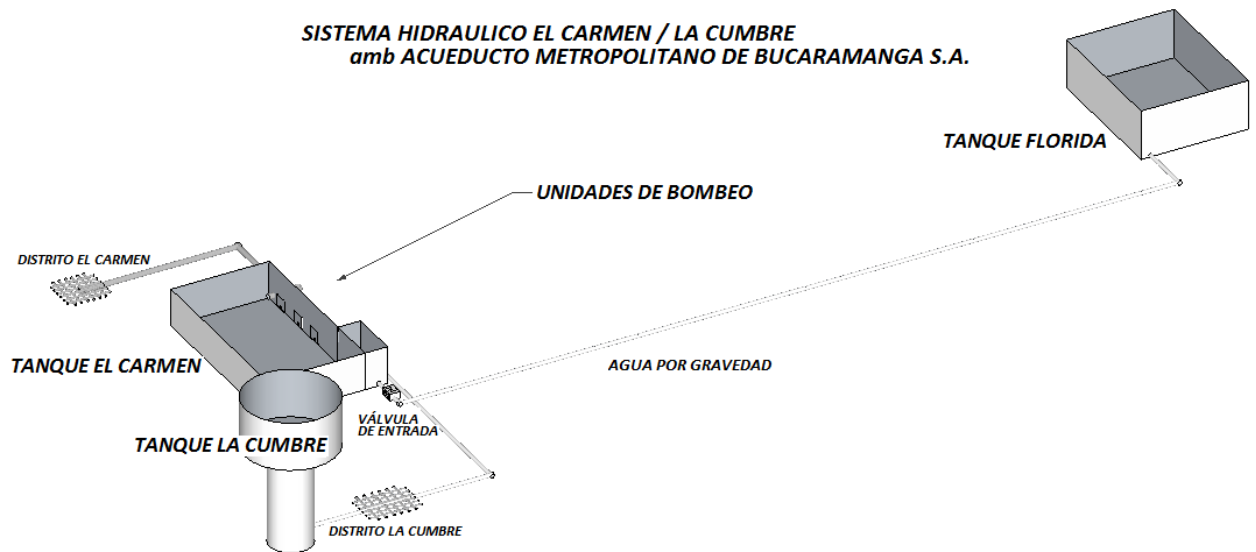


FIGURA 18: ESQUEMA EN 3D SISTEMA HIDRÁULICO EL CARMEN / LA CUMBRE

2.2 TANQUE EL CARMEN:

Hecho de concreto y con un volumen de 4888 m³, está encargado de cubrir la demanda de agua del distrito El Carmen mediante el método de gravedad y del distrito La Cumbre a través de las unidades de bombeo ubicadas en el área de succión del mismo.

Este tanque recibe el agua proveniente de la Planta de Tratamiento Florida de igual manera utilizando el método de gravedad en una conducción expresa de 12 pulgadas, cuyo control de acceso se hace a través de una electro-válvula mariposa ubicada en una cámara dentro del mismo tanque.

2.2.1. FORMA FÍSICA DEL TANQUE EL CARMEN

En la Figura 19 se observa la forma interna del tanque El Carmen el cual tiene una altura de 4,5 metros, la cámara de alojamiento para la válvula que controla la entrada del agua proveniente de la planta Florida, los ductos de transporte del líquido, los sentidos de circulación del agua, el símbolo hidráulico del distrito El Carmen y el bombeo como deberá estar al cabo de un tiempo, reducido de cuatro a tres unidades.

Dentro del tanque existe un pequeño habitáculo en donde se encuentran alojadas las válvulas de entrada de agua proveniente de la Planta de Tratamiento y el Tanque Florida, una de ellas posee un actuador electrónico mientras que la otra es netamente mecánica, utilizada como by-pass cuando falla el sistema o cuando se requiere mantenimiento.

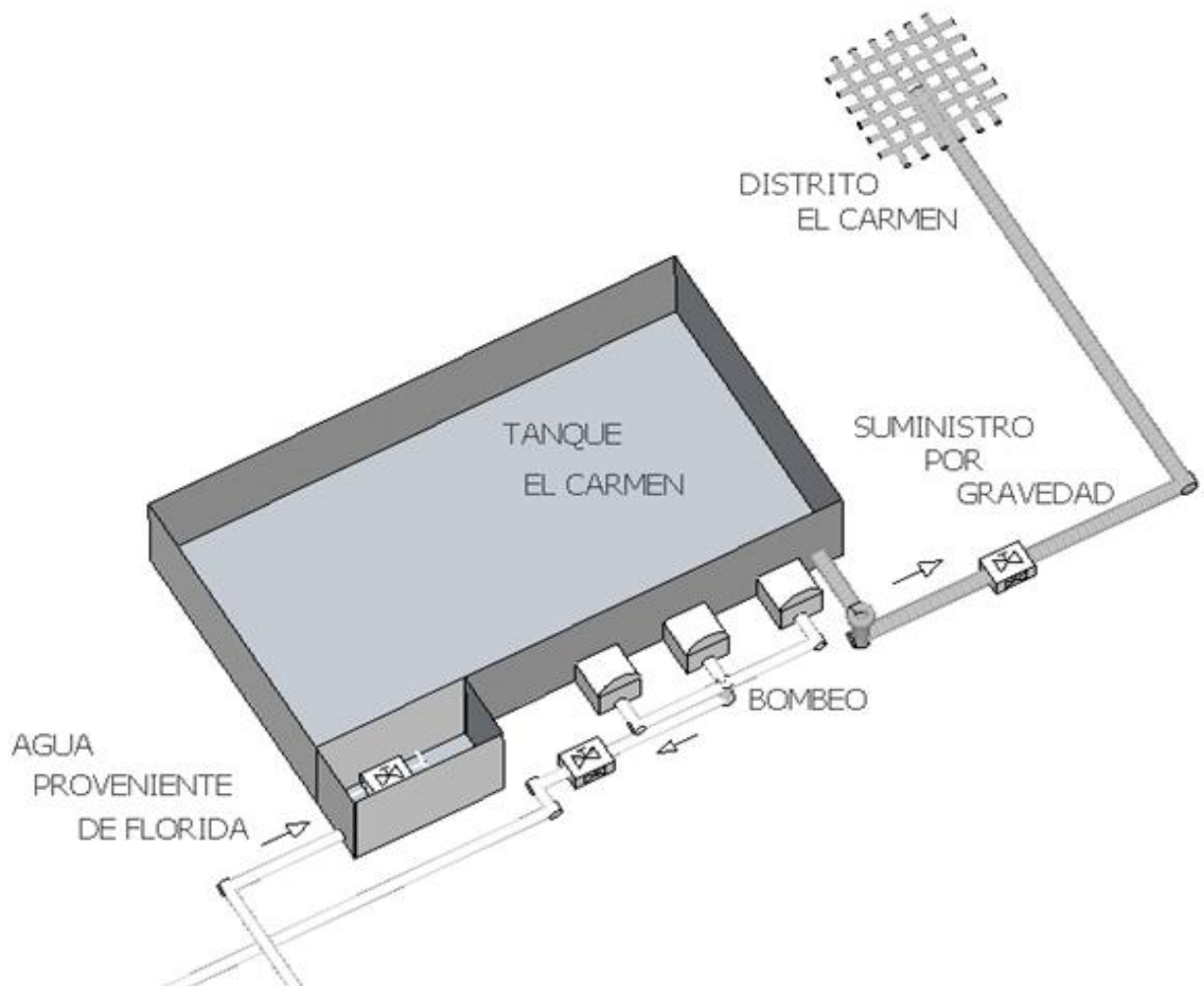


FIGURA 19: FORMA FÍSICA TANQUE EL CARMEN

2.2.2 TANQUE DE SUCCIÓN

Ocupa el nivel inferior del tanque El Carmen, debe mantenerse siempre lleno de agua hasta su nivel máximo, pues esto garantiza que las unidades de bombeo operen correctamente y no se produzca en ellas el fenómeno de cavitación que en la mayoría de los casos es un suceso indeseable. En dispositivos como hélices y bombas, la cavitación puede causar mucho ruido, daño en los componentes y una pérdida de rendimiento.

La cavitación de succión ocurre cuando la succión de la bomba se encuentra en unas condiciones de baja presión/alto vacío, que hace que el líquido se transforme en vapor a la entrada del rodete; Este vapor es transportado hasta la zona de descarga de la bomba donde el vacío desaparece y el vapor del líquido es nuevamente comprimido debido a la presión de descarga, se produce en ese momento una violenta implosión sobre la superficie del rodete; Un rodete que ha trabajado bajo condiciones de cavitación de succión presenta grandes cavidades producidas por los trozos de material arrancados por el fenómeno. Esto origina el fallo prematuro de la bomba, como se observa en la figura 20.



FIGURA 20: DAÑO POR CAVITACIÓN DE UNA TURBINA

2.2.3 SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN

Actualmente está compuesto por cuatro unidades de bombeo, como se aprecia en la figura 19, donde una es de 70 Hp, otra es de 75 Hp y dos de 48Hp. Es un sistema redundante, es decir sólo opera una bomba de 70 Hp o 75 Hp y una de las dos bombas de 48 Hp simultáneamente, pero no las de 70 Hp y de 75 Hp al tiempo y de igual manera pasa con las dos de 48Hp.

El cableado de control fue diseñado para proporcionar alternancia, es decir si se apaga una bomba, la siguiente vez enciende la que no operó. Igualmente está diseñado para que se encienda una bomba de 70 Hp o 75 Hp cuando el contacto del interruptor de nivel por cable (en el tanque La Cumbre) alcance el nivel bajo y se apague cuando el flotador del interruptor de nivel por cable alcance el nivel alto. El encendido de los motores de las unidades de bombeo (Figura 21) se hace a través de unos arranques suavizados que utilizan el método de tensión reducida.

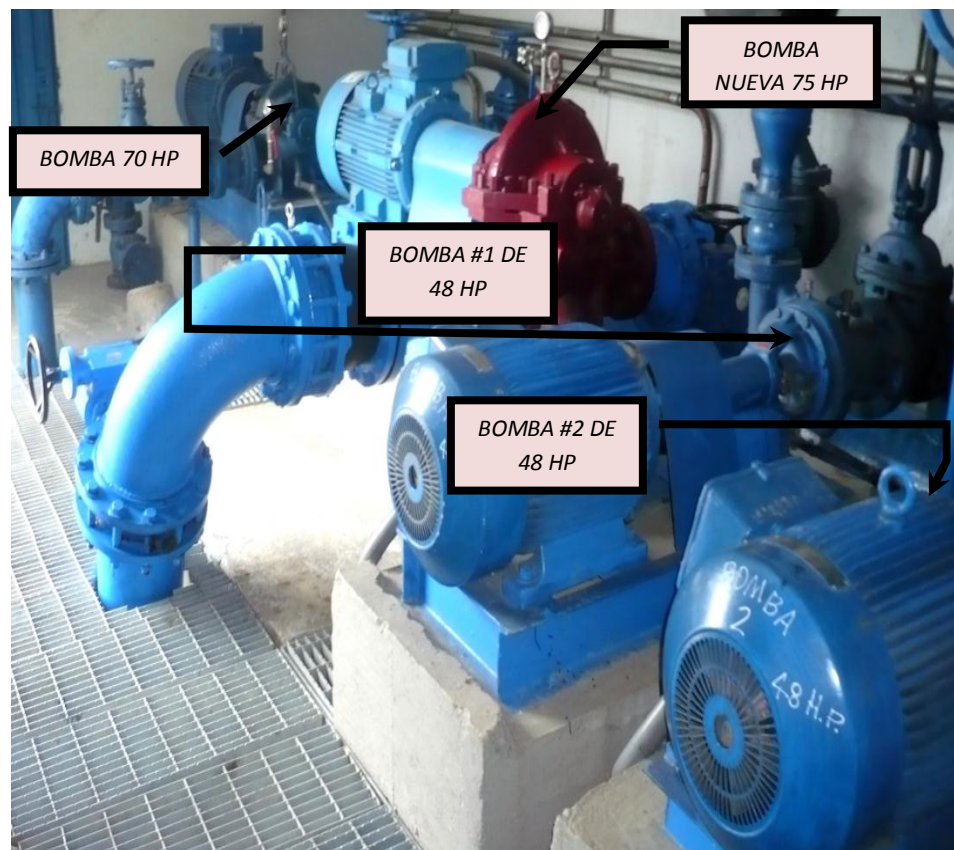


FIGURA 21: UNIDADES DE BOMBEO EL CARMEN

2.2.4 VÁLVULA DE ENTRADA DEL AGUA AL BOMBEO EL CARMEN

Está ubicada a la entrada del tanque El Carmen, es la encargada de permitir o impedir la entrada de agua proveniente del tanque y la planta de tratamiento Florida mediante el método de gravedad, posee un actuador electrónico como se muestra en la figura 22 y en la figura 23.

Válvula con Actuador Eléctrico marca Rotork referencia IQ

Proporciona opciones de comunicación inteligente y un display multilingüe. La gama IQ ofrece servicios tanto multivuelta (rotatorio) como de cuarto de vuelta aislados y de regulación.

Características del actuador:

- Control del motor completo integrado.
- Ajuste y puesta en marcha simple, no intrusivo mediante infrarrojos
- Control remoto y reporte del estado digital, analógico o mediante bus de comunicaciones.
- Herramientas precisas de software para registro en planta y análisis del rendimiento de la válvula.



FIGURA 22: VÁLVULA DE ENTRADA



FIGURA 23: MONTAJE REAL VÁLVULA

<http://www.rotork.com/es/product>

El desarrollo de la Aplicación en LabVIEW para el sistema de bombeo El Carmen empieza a partir del CONTROL de la Válvula de entrada, ya que partiendo de la condición de tanque lleno en Florida, se proporciona el comando de apertura de la válvula para proceder al llenado del tanque El Carmen, de igual manera una vez este tanque ha alcanzado su nivel máximo procedemos a emitir a través de la aplicación en LabVIEW el comando de cierre a la válvula.

2.2.5 PLANO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN

En la figura 24 se puede observar el plano hidráulico de una sección del sistema de bombeo El Carmen, este fue diseñado por el ingeniero Juan Manuel Galvis perteneciente al departamento de Operaciones del [amb](#), aquí se describen cada uno de los diferentes elementos que intervienen en el montaje hidráulico del sistema.

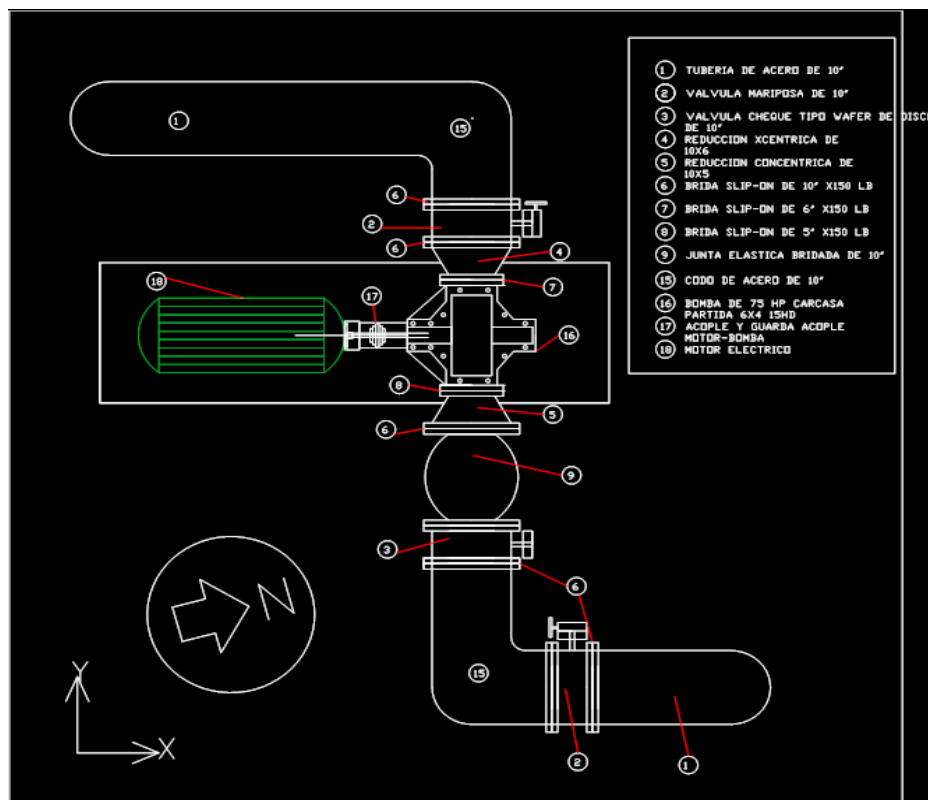


FIGURA 24: PLANO HIDRÁULICO BOMBEO EL CARMEN

2.2.6 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO

A continuación se definirán cada uno de los ítems numerados en la figura 22 y su importancia dentro del montaje hidráulico, dichos conceptos están basados principalmente en la percepción y experiencia de los mecánicos del **amb**, pertenecientes a la planta de Bombeo Bosconia.

2.2.6.1 Tubería de acero de 10 pulgadas:

La estación de bombeo El Carmen actualmente está siendo sometida a una serie de restauraciones y cambios como solución a diferentes problemas detectados en la entrega del servicio a los usuarios del distrito La Cumbre, la utilización de una tubería de 10 pulgadas en acero tanto en la succión directa del tanque como a la salida del bombeo constituye una de estas soluciones, ver instalación de tubería en la figura 25.



FIGURA 25: TUBERIA DE 10 PULGADAS

2.2.6.2 Válvula mariposa de 10 pulgadas:

Una válvula mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada «mariposa», que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo. En este caso en particular el fluido a utilizar es agua potable y la válvula se utiliza completamente cerrada o completamente abierta, a pesar de que se opere a través de un volante como se ve en la figura 26.

Características de las válvulas mariposa:

- Están en todos los casos contenidas al interior de la tubería.
- Tienen una baja pérdida de carga cuando están totalmente abiertas.
- La relación entre el área de paso y el ángulo de giro de la mariposa no es lineal.



FIGURA 26: VÁLVULA MARIPOSA

2.2.6.3 Válvula Cheque o Antiretorno:

Las válvulas antiretorno, también llamadas válvulas de retención, válvulas uniflujo o válvulas "check", tienen por objetivo cerrar por completo el paso del fluido en circulación en un sentido y dejarlo libre en el contrario. Tiene la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total. Se utilizan cuando se pretende mantener a presión una tubería en servicio y poner en descarga la alimentación. El flujo del fluido que se dirige desde el orificio de entrada hacia el de utilización tiene el paso libre, mientras que en el sentido opuesto se encuentra bloqueado. También se las suele llamar válvulas unidireccionales.

Las válvulas antiretorno son ampliamente utilizadas en tuberías conectadas a sistemas de bombeo para evitar golpes de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba, como se observa en la figura 27.



FIGURA 27: VÁLVULA ANTIRETORNO

2.2.6.4 Reducción excéntrica de 10 x 6 pulgadas:

En la figura 28 puede verse como este elemento se encuentra ubicado justo antes de la bomba hidráulica y su función principal dentro del sistema es la de evitar que se produzcan burbujas de aire en el fluido que va hacia la bomba y así esta no se desboque o se Cavite.

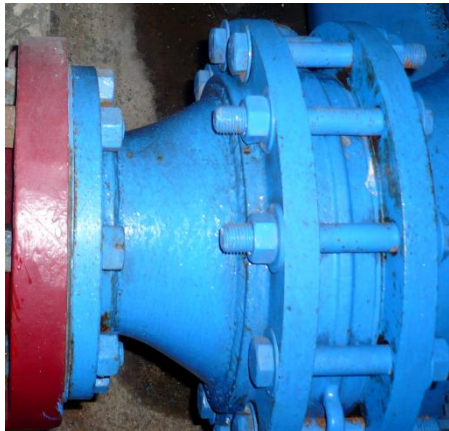


FIGURA 28: REDUCCIÓN EXCÉNTRICA

2.2.6.5 Reducción Concéntrica de 10 x 5 pulgadas:

Se encuentra ubicada justo después de la Bomba Hidráulica, la función principal de este es la de ayudar a mantener un fluido más lineal, es decir menos turbulento a la salida de la Bomba, lo cual facilita y da mayor precisión en la medición de caudales. Ver figura 29.



FIGURA 29: REDUCCIÓN CONCÉNTRICA

2.2.6.6 Brida Slip-On de 5, 6 y 10 pulgadas para 150 Lb:

La Brida Slip-On, hacen más fácil acoplar o desacoplar los diferentes elementos dentro del montaje hidráulico como se observa en la figura 30 lográndose así un mantenimiento más eficaz.

En los diseños hidráulicos es posible usar las diferentes clases de bridas slip-on existentes (Deslizable, ciega, roscable, de cuello soldable) ya que es imposible regirse a un montaje estandarizado, pues las condiciones de ambiente y espacio lo impiden.

En el montaje hidráulico del Carmen se usaron bridas de 6 pulgadas para realizar conectar la reducciones excéntricas a la entrada de las bombas, de 5 pulgadas para conectar las reducciones concéntricas a la salida de las bombas (ítems 6 y 7 de la gráfica 24) y de 10 pulgadas para interconectar los demás elementos hidráulicos.

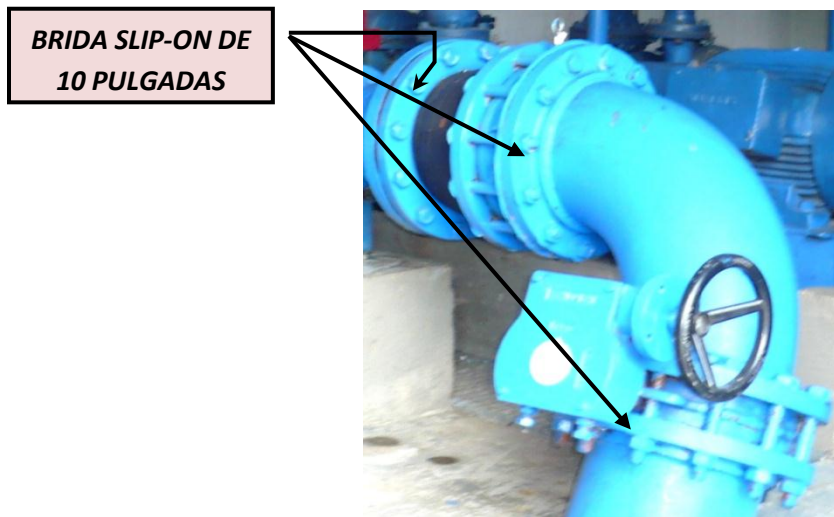


FIGURA 30: BRIDA SLIP-ON

2.2.6.7 Junta Elástica Bridada de 10 pulgadas:

La función de este elemento es la de liberar tensiones en el sistema, es decir disminuir la rigidez del montaje hidráulico con el fin de evitar rupturas o daños debido al gran tamaño de los diferentes elementos. Observar figura 31.



FIGURA 31: JUNTA ELÁSTICA BRIDADA

2.2.6.8 Bomba Hidráulica American Marsh de 75Hp:

Esta quizás constituye la parte más importante de todo el sistema, es su corazón, el elemento que hace que fluya el agua hacia las diferentes localidades. En la figura 32 se observa la parte interna de la bomba y su impeler el cual esta de color amarillo y en la figura 33 se observa una foto de la vista superior de la carcasa.

Especificaciones:

Carcasa: Está diseñada de hierro fundido en forma de caracol con doble succión, posee una entrada sobre el centro de su línea horizontal con las boquillas de succión y de descarga integradas a la mitad inferior de la carcasa.

Impeler: El impeler o impulsor es de doble succión, tipo encapsulado, está hecho casi siempre de bronce, maquinado y terminado con un perfecto balanceo dinámico e hidráulico.

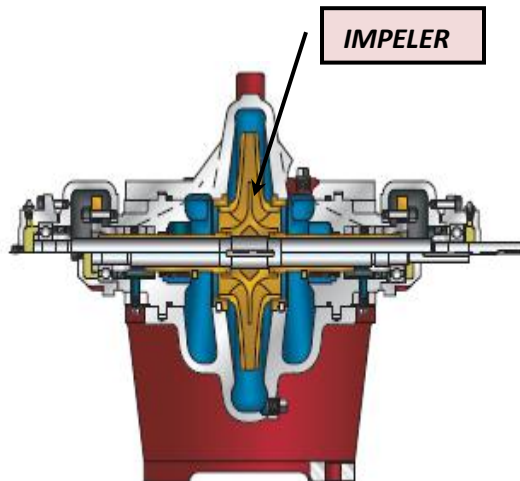


FIGURA 32: INTERIOR DE LA BOMBA

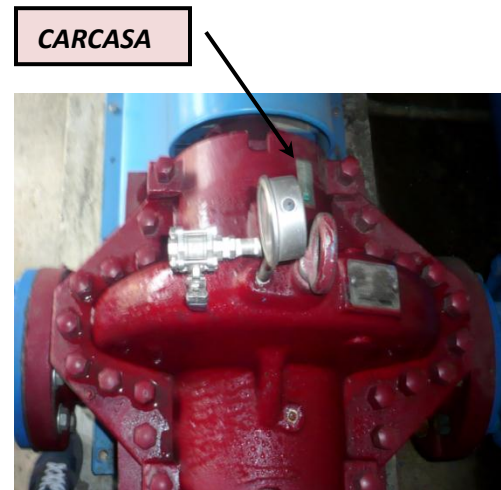


FIGURA 33: CARCASA DE LA BOMBA

2.2.6.9 Acople y Guarda, Motor-Bomba:

Los acoples motor eléctrico / bomba, ayudan en muchas formas:

- Montaje y desmontaje rápido y Fácil. El elemento consiste de dos mitades divididas longitudinalmente.
- Protege el equipo. En montajes difíciles, incómodos y de poco espacio, el acople es la mejor solución ya que el elemento superflexible de uretano es capaz de soportar un desalineamiento angular de hasta 4" y uno paralelo de 3/16".
- Mayor duración del sistema. Menor peso de inercia. Menor transmisión de vibraciones y mayor duración de los rodamientos de las bombas y motores.
- Estos acoples son compactos, no se necesita dejar espacio extra para retirar los pernos del acoplamiento.

- e. Es seguro, no genera chispas, reduciendo el riesgo de incendio.
- f. Bajo costo de mantenimiento, no requiere lubricación.

En la figura 34 se puede ver el tipo de acople usado por el **amb** en las unidades de bombeo, se denomina acople omega, consiste en dos mitades divididas longitudinalmente que hacen que se reduzca la transmisión de vibraciones de un elemento hacia el otro, lo cual se traduce en mayor duración de los rodamientos del motor y de la bomba, no necesita una perfecta alineación a la hora de su montaje, lo cual lo hace rápido, práctico y sencillo de instalar, no genera chispas y no requiere lubricación.

En la figura 35 se observa la guarda de seguridad que protege al operador o al equipo de mantenimiento del **amb** de cualquier incidente ocasionado por la rotación del acople omega.



FIGURA 34: ACOPLA MOTOR/BOMBA



FIGURA 35: GUARDA DE SEGURIDAD

2.2.6.10 Motor Eléctrico:

En la figura 36 se observa el tipo de motor que usa el **amb**, es un motor eléctrico marca Siemens con una potencia de 75Hp, trifásico, voltajes posibles de conexión **440v/220v**, amperajes **91A/182A**, frecuencia 60 Hz, revoluciones 1800rpm.

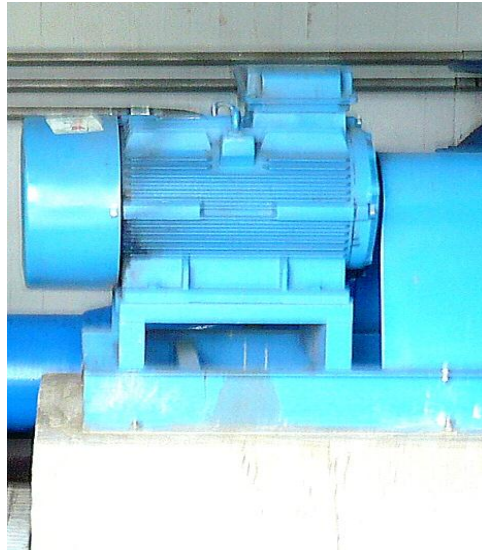


FIGURA 36: MOTOR ELÉCTRICO

2.2.7 DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN

En la figura 37 se muestra el diagrama unifilar correspondiente a la forma de instalación de una de las líneas del bombeo El Carmen, a partir del diseño hecho sobre Autocad mostrado en la figura 24, se dispone el orden de los diferentes elementos que intervienen en el sistema. Este diagrama aunque básico, fue desarrollado bajo la asesoría del Ingeniero Juan Manuel Galvis, Ingeniero mecánico perteneciente a la división Electro-Mecánica del departamento de operaciones del **amb**, ya que parte de la simbología utilizada no aparece consignado en los libros de Hidráulica.

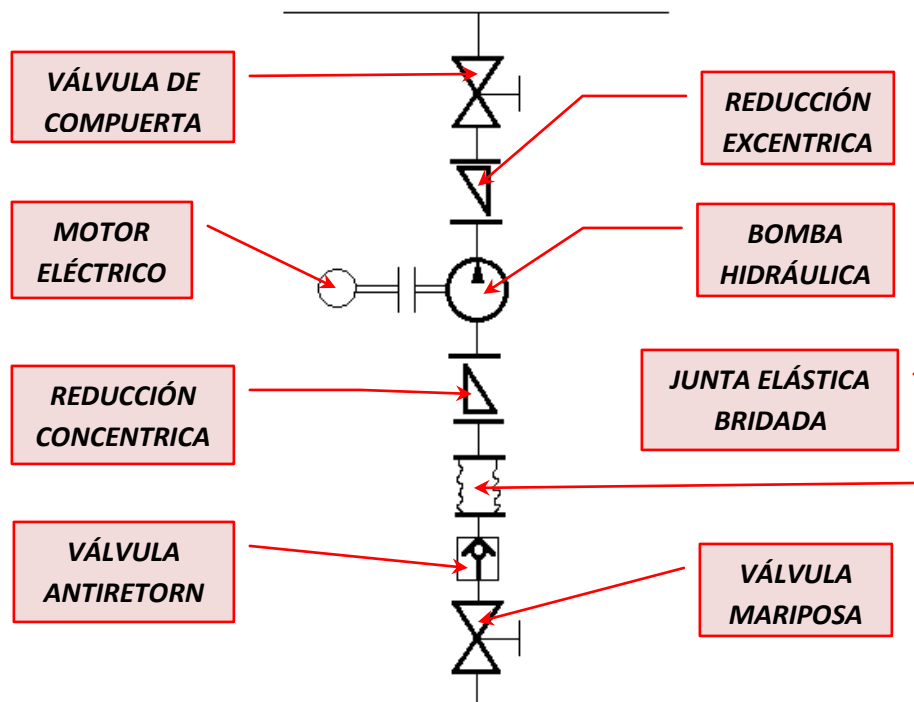


FIGURA 37: DIAGRAMA UNIFILAR LINEA DE BOMBEO EL CARMEN

2.2.8 REGISTRO DEL CAUDAL DE SALIDA

A la salida del sistema de bombeo El Carmen son registrados el caudal de agua suministrada por el método de gravedad hacia el distrito el Carmen y el caudal que es bombeado por el sistema hacia el distrito La Cumbre y su respectivo tanque de compensación.

El instrumento utilizado para realizar este registro es un Caudalímetro ultrasónico, el cual está conformado por las sondas ultrasónicas que se muestran en la figura 38 las cuales toman la medida directamente sobre la superficie de la tubería que lleva el agua hacia los diferentes distritos y por el transmisor mostrado en la figura 39 encargado de mostrarnos el valor de dichos caudales en un display.

Esta medida solo es usada para monitoreo y supervisión y no como control.



FIGURA 38: SONDAS DE CAUDAL



FIGURA39: TRANSMISOR DE CAUDAL

2.2.9 PARÁMETROS ELÉCTRICOS SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN

La subestación es de 150 KVA, cuenta con un transformador de servicios auxiliares de 7.5 KVA, para la alimentación del sistema actual de bombeo compuesto por un motor de 75 HP, Uno de 70 HP y Dos de 48 Hp.

Existe un tablero eléctrico que aloja el banco de condensadores para corregir el factor de potencia y un tablero de transferencia eléctrica: Este tablero contiene la transferencia de la red comercial a la planta eléctrica, su función es detectar la falta de energía o fase en la red en cuyo caso prenderá la planta generadora.

2.2.10 ESTUDIO DE EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN

Observando diversos problemas de caudal y presión a la salida de la estación de bombeo El Carmen, debido al gran aumento en la demanda de agua producido por el incremento de los usuarios del distrito La Cumbre al sistema, el departamento de operaciones del **amb** procedió a realizar el respectivo estudio de la eficiencia de las bombas existentes de acuerdo al caudal necesitado y a la columna de agua (Cabeza de la Bomba) requerido por la topografía del terreno y por el diseño hidráulico del sistema.

Mediante el programa de análisis gráfico Epanet versión 2.0, pudieron evaluar y diagnosticar lo que estaba sucediendo con el sistema de bombeo El Carmen.

Introduciendo al programa los valores medidos de caudal y presión en puntos estratégicos del distrito la cumbre se obtuvieron una serie de gráficas que se mostrarán a continuación, mediante las cuales el departamento de operaciones desarrollo la toma de decisiones para realizar los diferentes cambios en el sistema de bombeo El Carmen.

En la figura 40 se observa la gráfica para la bomba hidráulica marca Patterson de 70 Hp actualmente utilizada en el bombeo, en la cual con una columna de agua de **57m.c.a.** (metros columna de agua) tenemos un caudal muy inferior a los **50L/S** (Litros / segundo) y si revisamos la figura 40, correspondiente a la gráfica de eficiencia de la misma bomba podemos ver que nunca supera el 50%.

Para las Bombas Patterson de 70HP:

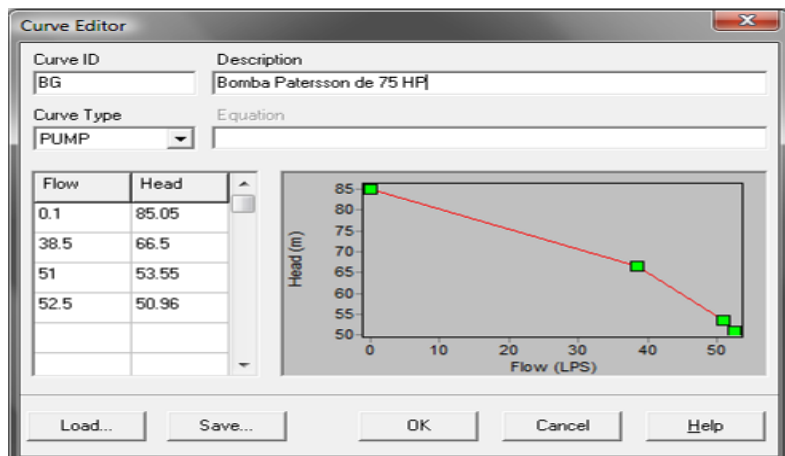


FIGURA 40: GRÁFICA DE CABEZA Vs CAUDAL BOMBA 70 HP

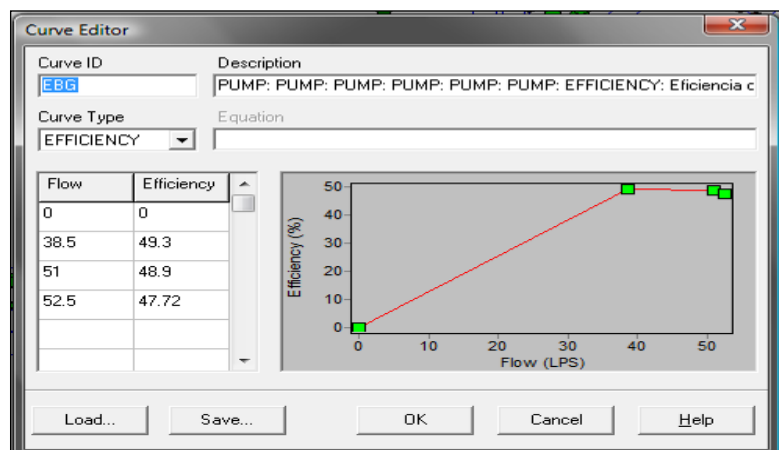


FIGURA 41: GRÁFICA EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA 70HP

A continuación se mostrará la fórmula a través para calcular la eficiencia de una unidad de bombeo (bomba hidráulica):

$$\mathcal{E} = \frac{(\beta) (A)(Q)}{P}$$

Donde:

$\mathcal{E}$ Eficiencia%

Q Caudal L/S

P Potencia de placa de la Bomba Hp

β Constante del Peso Especifico del Agua

A Altura a la cual se va a bombear en m.c.a.

De la fórmula se concluye que a mayor $\mathcal{E}$ eficiencia, el gasto monetario en energía eléctrica es menor (P potencia), ya que la eficiencia y la potencia son inversamente proporcionales.

Según la asesoría de los Ingenieros Daniel Sanavria Ing. Electrónico y Juan Manuel Galvis Ing. Mecánico, pertenecientes a la división de operaciones del [amb](#), un sistema de bombeo se considera eficiente si $\mathcal{E} \geq 0,8$ o si multiplicamos por cien, al 80%.

Este mismo análisis se le realizó a las bombas de 48 Hp y los resultados fueron muy parecidos, en la figura 42 se obtuvo un bajo caudal a una columna de Agua requerida y en la figura 43 se generó un porcentaje de eficiencia inferior al 42%.

Para las bombas Hidroma de 48 Hp

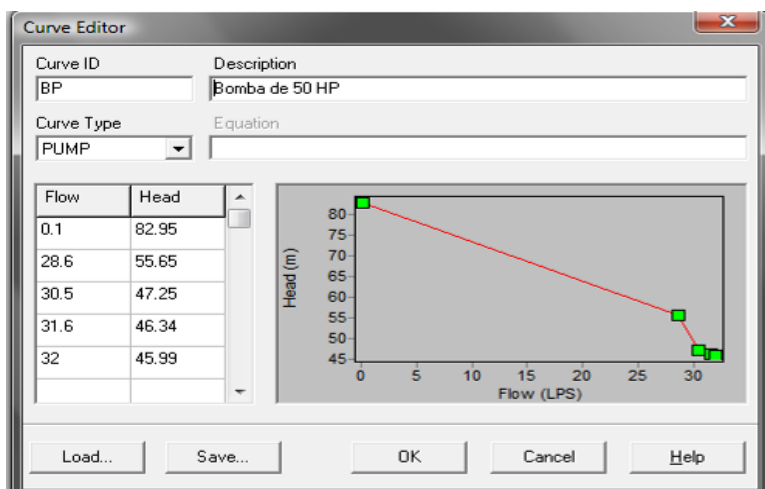


FIGURA 42: GRÁFICA DE CABEZA Vs CAUDAL BOMBA 48HP

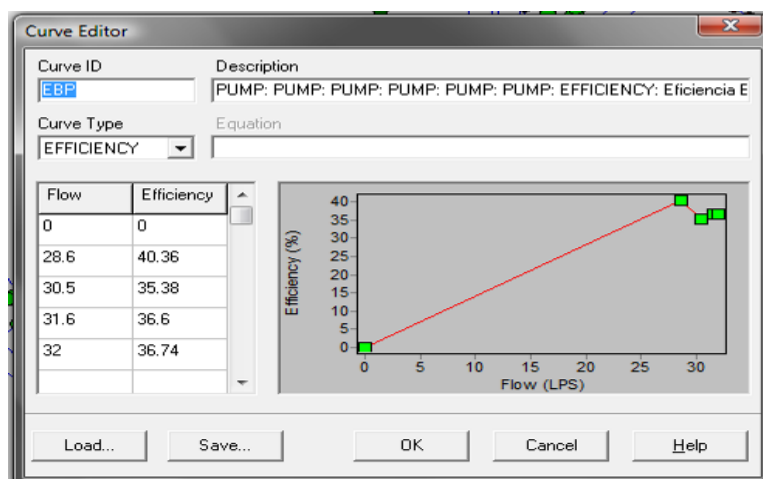


FIGURA 43: GRÁFICA EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA 48HP

Estos resultados indican que es necesario cambiar las bombas para mejorar la eficiencia del sistema de bombeo y por ende así incrementar los márgenes monetarios reduciendo el consumo de potencia.

2.2.11 SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE INEFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO EL CARMEN

Una vez analizado el estudio anteriormente expuesto por el departamento de operaciones del **amb**, este decidió reemplazar las bombas existentes por unas nuevas, repotenciando el sistema de la siguiente manera:

Dos bombas de 75 Hp marca American Marsh, con un caudal de 60 l/s, una cabeza de 57 m.c.a. como se observa en la figura 44 y un porcentaje de Eficiencia que se muestra en la figura 45 que supera el 78%, las cuales reemplazarán a las dos bombas marca Patterson existentes de 70Hp.

Para las Bombas Marca American Marsh de 75HP

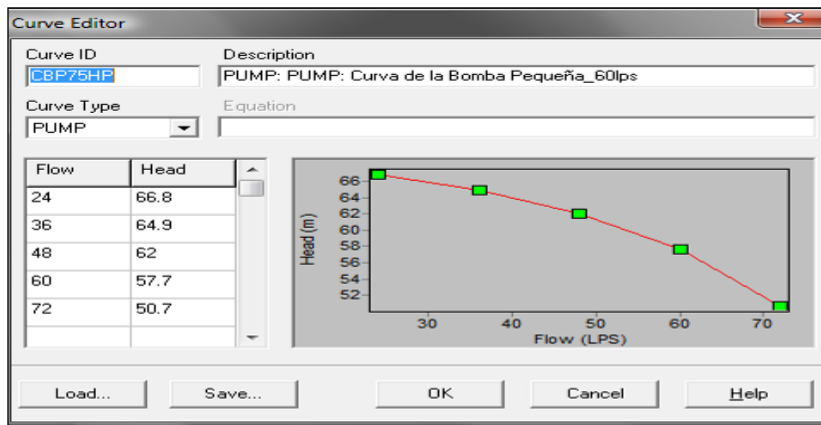


FIGURA 44: GRÁFICA DE CABEZA Vs CAUDAL BOMBA 75 HP



FIGURA 45: GRÁFICA EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA 75 HP

Las dos bombas Hidroma de 48 Hp serán reemplazadas por una bomba de 100 HP marca American Marsh, la cual presenta un caudal de 80 l/s, a una cabeza de 57 m.c.a. como se muestra en la figura 46, esto quiere decir que los últimos usuarios ubicados en lo más alto del distrito tendrán la presión y el caudal necesario para construir viviendas de más de tres pisos.

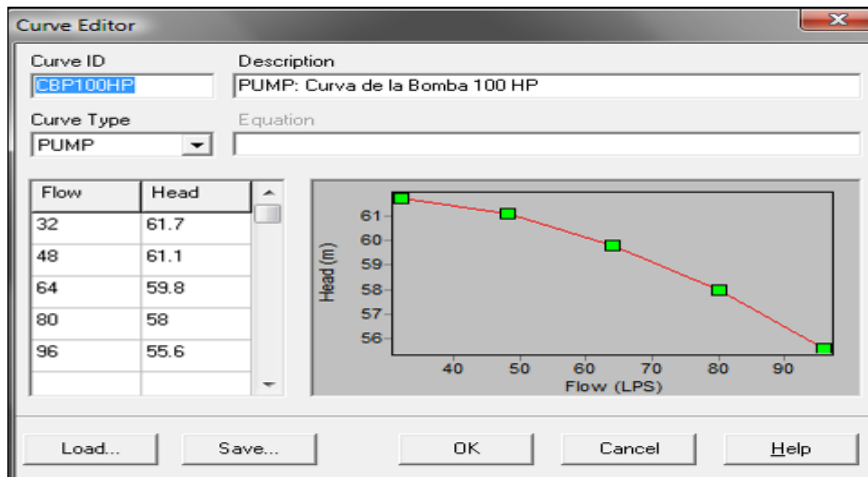


FIGURA 46: GRÁFICA DE CABEZA Vs CAUDAL BOMBA 100HP

En la figura 47 se aprecia la gráfica de eficiencia Vs caudal y puede notarse una eficiencia superior al 85%, es decir se reduce el consumo de potencia por tanto inician los beneficios lucrativos.

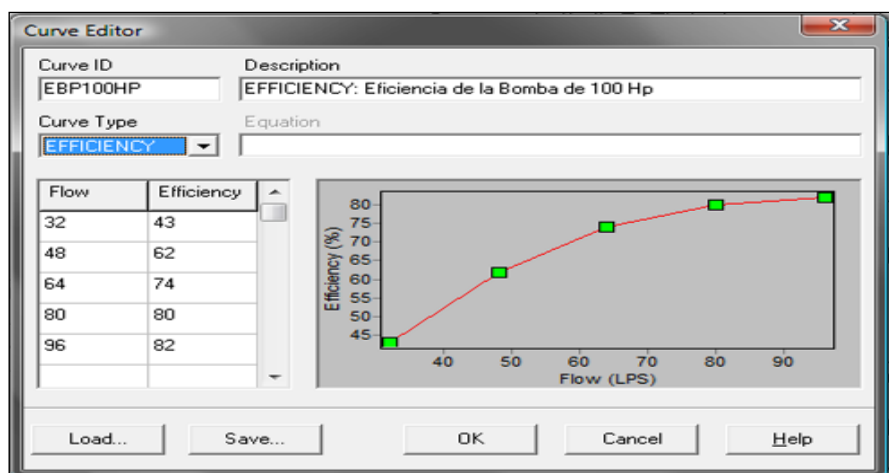


FIGURA 47: GRÁFICA EFICIENCIA Vs CAUDAL BOMBA 100 HP

Realizando estos cambios en el modelo de la estación de bombeo El Carmen, se reduce el inventario de 4 unidades hidráulicas de bombeo a solo 3, así:

Se reemplazarán las dos bombas Patterson de 70 Hp por dos bombas American Marsh de 75 Hp y la dos bombas Hidroma de 48Hp se reemplazarán por una sola bomba American Marsh de 100 hp; esta última operará como bomba de refuerzo para las dos bombas de 75Hp.

Estas sustituciones hacen necesario realizar también algunos cambios en el resto del sistema, como los son:

- a. Reemplazo del arrancador (Soft Starter Weg) SSW 04 que pertenece a las antiguas unidades de 48Hp por uno de mayor potencia para la unidad de bombeo American Marsh de 100 hp.
- b. Reemplazo de los contactores de potencia y sus respectivos relés térmicos que suministrarán la energía directa y protección al motor de la unidad de bombeo American Marsh de 100 hp.
- c. En la RTU se debe reemplazar la rutina de control de encendido y apagado de los motores de las unidades de 48 Hp por una diferente para el motor de 100 hp de la nueva unidad American Marsh.
- d. Aprovechando el proceso de cambio al que se verá sometido el sistema de bombeo El Carmen, el departamento de operaciones del **amb** decidió que sería conveniente modernizar la manera como se supervisa y se opera la estación creando una aplicación sobre la plataforma LabVIEW en la cual podrán monitorearse y controlarse las diferentes variables que intervienen en el proceso. El desarrollo de esta aplicación se llevará a cabo a través de esta práctica.

Más adelante nos adentraremos en la plataforma LabVIEW y en el respectivo desarrollo de la aplicación para el monitoreo y control de el sistema de bombeo El Carmen.

2.3 TANQUE LA CUMBRE:

El tanque La Cumbre ocupa un lugar muy importante dentro del sistema de bombeo El Carmen, pues se convierte en el indicador, en el visualizador de la forma como se está realizando el consumo de agua en el distrito La Cumbre, algunos operarios de la empresa le llaman a este, “Tanque Switché”, la razón de este nombre es que mediante el, se encienden y se apagan las unidades de bombeo en el tanque El Carmen.

2.3.1 FORMA FÍSICA Y FUNCIONAMIENTO DEL TANQUE LA CUMBRE

Sobre una estructura cilíndrica hueca de hormigón con 27m de longitud como se muestra en la figura 48, se aloja un tanque igualmente de forma cilíndrica con mucha más área (28 m^2) pero con tan solo 3 m de altura como se muestra en la figura 49, siendo lo anterior una limitación para poder almacenar grandes cantidades de agua. La unión del soporte cilíndrico y el tanque elevado hacen semejar a este conjunto, la forma de una torre de ajedrez (ver figura 50).

El tanque La Cumbre funciona como tanque de Compensación, es decir el agua que no es consumida por los usuarios del distrito la Cumbre, llega a este tanque, (agua con sentido hacia arriba). Cuando se alcanza un nivel alto en el tanque se apaga automáticamente el sistema de bombeo, si por el contrario los usuarios demandan más agua que la que se bombea en ese instante, el agua en el tanque cambia de sentido y pasa a cubrir la demanda no satisfecha por el bombeo, cuando el nivel baja demasiado este es detectado por un sensor, el cual enciende el sistema de bombeo nuevamente.



FIGURA 48: INTERIOR BASE TANQUE



FIGURA 49: INTERIOR TANQUE ELEVADO



FIGURA 50: TANQUE LA CUMBRE

2.3.2 REGISTRO DE LA PRESIÓN DE AGUA EN EL TANQUE LA CUMBRE:

El registro de la presión de agua se hace a través de una toma directa en la base del tubo que transporta bidireccionalmente el agua al tanque La Cumbre.

Mediante la medida de presión podemos verificar el nivel que tiene actualmente el tanque La Cumbre pues la presión estática fácilmente se convierte a metros columna de agua (Multiplicando por un factor de 0.7). De esta manera se puede establecer claramente cuando hay rebose en el tanque lo que proporcionaría también la medida de nivel en el.

En la figura 51 se observa el transmisor de presión instalado en la base de tubo que conduce el agua hacia o desde el tanque elevado La Cumbre.



FIGURA 51: TRANSMISOR DE PRESIÓN LA CUMBRE

Aunque la presencia del transmisor de presión teóricamente es la solución para conocer los niveles del tanque La Cumbre y por ende serviría para el control de encendido y apagado del bombeo El Carmen, es aconsejable tener como respaldo un interruptor de nivel pero de tipo ultrasónico.

2.3.3 MEDICIÓN DEL NIVEL DE AGUA EN EL TANQUE LA CUMBRE

Para medir el nivel de agua tanto en el tanque El Carmen como en el tanque La Cumbre se usa un sensor ultrasónico de nivel, análogo con salida de 4 – 20 mA, marca Endress Hauser (Proveedor Colsein) como se muestra en la figura 52.

Adicional al Sensor de Nivel por ultrasonido, se encuentra instalado también un interruptor de nivel por flotador, como su costo de mantenimiento es bajo se mantiene este equipo como segundo respaldo frente a un rebose del tanque.



FIGURA 52: SENSOR DE NIVEL LA CUMBRE

2.3.4. TELEMETRÍA DEL TANQUE LA CUMBRE

La comunicación de señales eléctricas entre el tanque de bombeo El Carmen y el tanque La Cumbre se efectúa a través de un par de radios Spread Spectrum como los que se muestran en la figura 53, este sistema de comunicación es de una sola vía es decir, un transmisor y un receptor, ya que no existe la necesidad de enviar datos hacia el barrio La Cumbre, pero si se requiere tenerlos en El Carmen para interconectarlos al control del bombeo. Según las investigaciones el sistema posee un by-pass adicional a la transmisión por radio, usando un sistema alámbrico (cable).

El fundamento básico que explica la forma en que se realiza la transmisión es el "ensanchamiento" de la señal a transmitir a lo largo de una banda muy ancha de frecuencias, mucho más amplia, de hecho, que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que se quiere enviar. No se puede decir que las comunicaciones mediante espectro ensanchado o spread Spectrum son medios eficientes de utilización del ancho de banda. Sin embargo, rinden al máximo cuando se los combina con sistemas existentes que hacen uso de la frecuencia. La señal de espectro ensanchado, una vez ensanchada puede coexistir con señales en banda estrecha, ya que sólo les aportan un pequeño incremento en el ruido. En lo que se refiere al receptor de espectro ensanchado, él no ve las señales de banda estrecha, ya que está escuchando un ancho de banda mucho más amplio gracias a una secuencia de código preestablecido.



FIGURA 53: RADIOS SPREAD SPECTRUM TRANSCEIVER

http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado

2.3.5 DISTRITO LA CUMBRE

El distrito La Cumbre esta abastecido por una red de 37 Km de tubería, entre las que se presentan diámetros de 1 ½, 2, 3, 4, 6, 8, 10 pulgadas en materiales como PVC, asbesto cemento (AC), hierro fundido (HF), hierro galvanizado (HG) y acero.

La red de distribución del distrito La Cumbre actualmente presenta problemas asociados a presiones de consumo, lo cual se ha vislumbrado en la no aprobación de proyectos de construcción con más de tres pisos, si no poseen proyecto hidráulico.

El bombeo que se realiza directamente a la red de distribución desde el tanque el Carmen. Dentro de la red de distribución del distrito se encuentra ubicado un tanque elevado el cual funciona como un interruptor para el encendido de las bombas y además sirve para modular la demanda en las horas de máximo consumo. El funcionamiento del tanque se basa en el consumo de los usuarios del distrito. A las horas de consumo bajo el tanque empieza a ser llenado por una bomba de 75 Hp hasta que logra el nivel máximo. Cuando el tanque es llenado por completo la bomba se apaga y la demanda del distrito es abastecida por el tanque en mención hasta llegar a un nivel mínimo donde la bomba es otra vez encendida. Para los casos donde el tanque elevado está desocupado y la demanda es alta se encenderá una bomba de refuerzo de 100 HP que ayuda a suplir el consumo del distrito, esto es lo que constituye al tanque La Cumbre en tanque de compensación.

3. MÁQUINA DE ESTADOS PARA EL ANÁLISIS DE UN PROCESO

Este tema es de vital importancia pues constituye la base para gran parte del diseño de la aplicación sobre la plataforma LabVIEW.

A una máquina de estados generalmente se le denomina máquina de estados finitos (FSM), debido a que actualmente sólo es posible modelar en los computadores elementos finitos que pueden ser 0 ó 1.

Una máquina de estados es un sistema secuencial sincrónico que posee un número fijo de posibles estados. El valor de sus salidas y la transición entre los estados depende del valor de sus entradas y del estado en que se encuentra actualmente.

3.1. TIPOS DE MÁQUINAS DE ESTADOS:

a. Máquina de Moore:

La salida solo depende del estado actual, como se muestra en la figura 54.

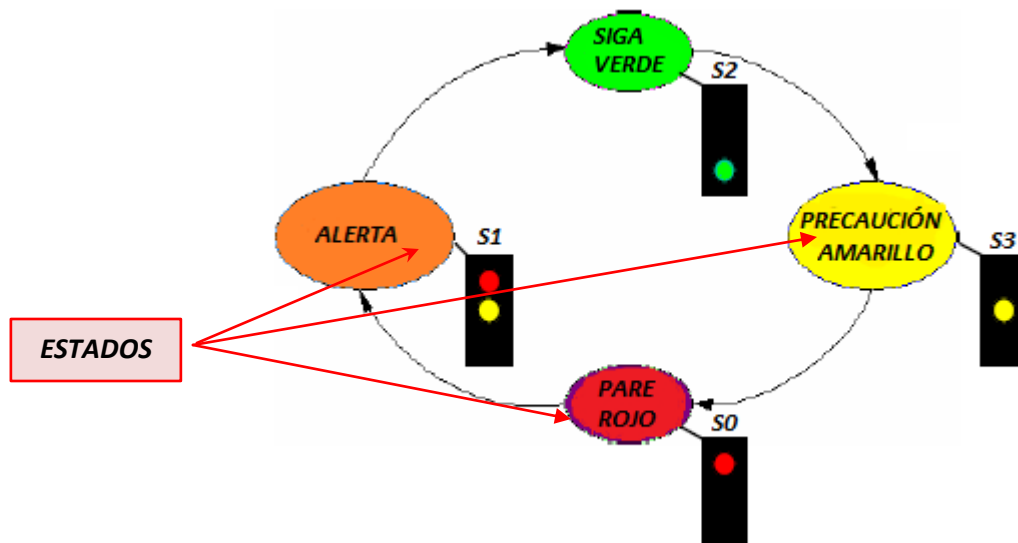


FIGURA 54: MÁQUINA DE MOORE

b. Máquina de Mealy:

La salida depende del estado actual y de las entradas o condiciones.

Este es el tipo de máquina que se usa en el desarrollo de la aplicación, ya que las entradas o condiciones en la ejecución del control del sistema de bombeo son numerosas e implican la ejecución de diversas acciones, como se observa en la figura 55.

El uso de este método facilita enormemente el desarrollo y el entendimiento de una aplicación en cualquier tipo de proceso de la industria.

Del diagrama de la máquina de estados se pasa a la tabla de transición de estados, en la cual se consigna en el eje vertical las diferentes acciones que se ejecutan en el proceso, enfrentándolo contra el eje horizontal donde se consignan las condiciones que alteran o hacen que se desarrollen dichas acciones.

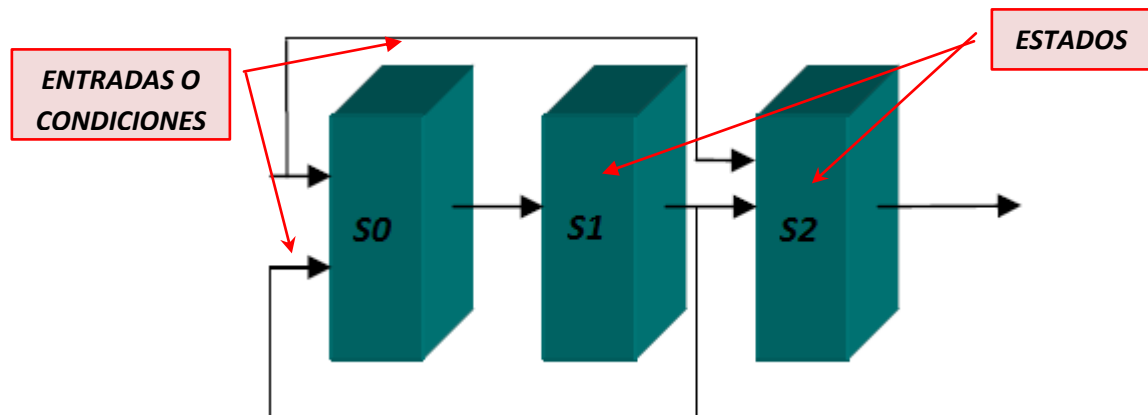


FIGURA 55: MÁQUINA DE MEALY

4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN SOBRE LA PLATAFORMA LabVIEW PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARMEN

4.1 DESCRIPCION DEL PROCESO A SUPERVISAR Y CONTROLAR

Existe una planta perteneciente al **amb** ubicada en la cabecera del municipio de Floridablanca, llamada planta Florida, allí además de realizarse los procesos de captación de agua del afluente río Frio, tratamiento y abastecimiento de agua de los sectores Caracolí, Bucarica, Santa Ana, Panorama, Zapamanga y el centro de Floridablanca, también se provee de agua mediante el método de gravedad al tanque El Carmen, como se muestra en la figura 56 dentro del recuadro punteado amarillo.

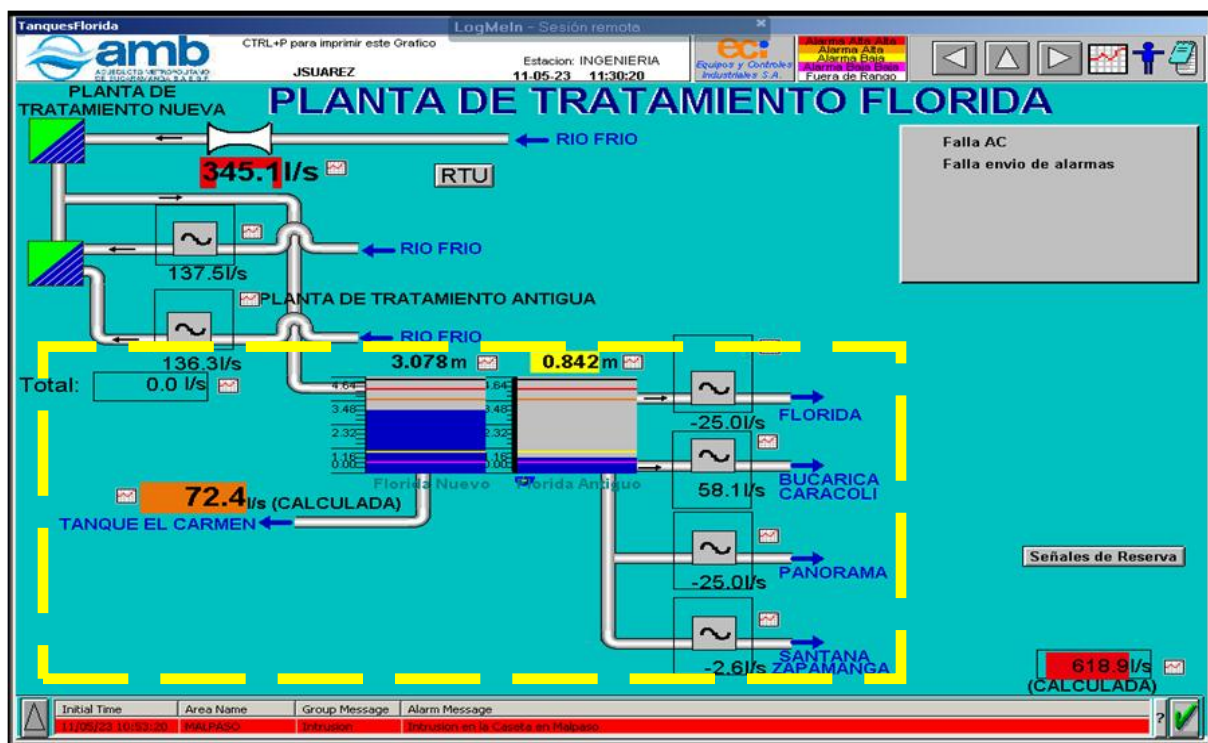


FIGURA 56: ESQUEMA SCADA **amb** PLANTA DE TRATAMIENTO FLORIDA

Mediante una tubería de diámetro 12 pulgadas es transportada el agua desde el tanque Florida hasta el tanque El Carmen valiéndose del método de gravedad, una vez llega allí, se encuentra una válvula mariposa asistida con un actuador eléctrico, esta es la encargada de impedir o dejar pasar el agua hacia el tanque dependiendo de la señal que emita el sensor ultrasónico encargado de monitorear el nivel de agua del tanque El Carmen.

4.1.1 CONTROL DE LA VÁLVULA DE ENTRADA

Los únicos estados o las únicas acciones que se realizan sobre esta válvula en este determinado proceso es ABRIR/CERRAR. Ver figura 57.

Dicha acción depende del registro de nivel que le hace el sensor ultrasónico al tanque El Carmen; si el sensor detecta nivel bajo, da la orden al actuador para que abra la válvula y si por el contrario el Sensor detecta que el nivel máximo se ha superado, emite la orden al actuador para que cierre la válvula.

Máquina de Estados realizado al Control de la Válvula

- Número de estados (2): ABIERTA / CERRADA.
- Número de condiciones (2):
 - SI Nivel $\leq 1,13m$ Entonces ABRIR la válvula.
 - SI Nivel $\geq 4m$ Entonces CERRAR la válvula.

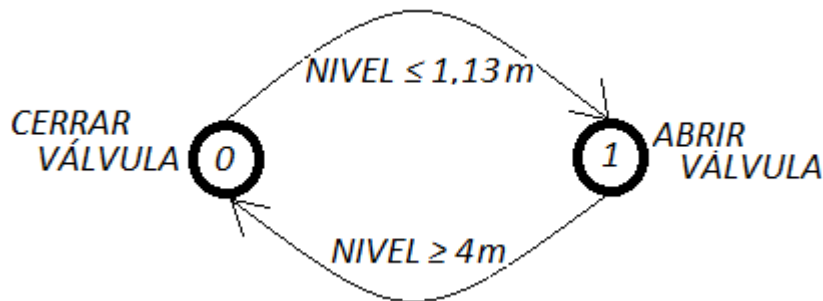


FIGURA 57: ESQUEMA MÁQUINA DE ESTADOS VÁLVULA DE ENTRADA

La medida total del tanque El Carmen es de 4,5m. En las pantallas del SCADA del **amb** se visualiza como están determinados y programados los niveles.

Nivel Bajo: 1,13 m.

Nivel Alto: 4 m.

Los parámetros Nivel $\leq 1,13\text{m}$ y Nivel $\geq 3,8\text{m}$ se convierten en las condiciones para navegar o pasar de un estado a otro, en este caso del estado 0 (válvula cerrada) al estado 1 (válvula abierta).

A continuación se realiza la implementación del proceso de llenado y control de nivel del tanque El Carmen analizado en la máquina de estados sobre la plataforma LabVIEW.

Para la verificación del funcionamiento de este proceso se reemplaza el sensor de nivel ultrasónico por un control numérico  y el tanque El Carmen se simboliza mediante un indicador numérico.

Dentro del panel frontal se usa un indicador luminoso (LED) para simular el estado de la válvula, encendido es válvula abierta y apagado válvula cerrada; un control numérico para simular el sensor de nivel del tanque El Carmen el cual se programó de 0 – 4,5 valores correspondientes a la altura real del tanque en metros.

Se uso un indicador numérico tipo tanque para monitorear a través de este, la forma como se efectúa el llenado del tanque o como ocurre su vaciado. Para reforzar el monitoreo anterior se introdujo un graficador Chart en el panel frontal como se muestra en la figura 58, el cual mostrará las diferentes variaciones de nivel en el tanque con la ventaja que se puede navegar a través de ella para ver el histórico del comportamiento del mismo.

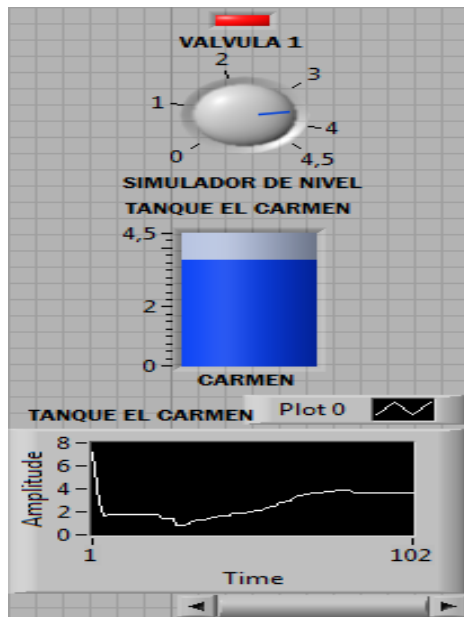


FIGURA 58: PANEL FRONTAL, LLENADO DEL TANQUE EL CARMEN

En el panel frontal se aplica lo analizado en la máquina de estados, para el control de nivel del tanque El Carmen; Se establece una estructura CASE con dos casos, caso 0 y caso 1, los cuales corresponden a los estados 0 y 1.

En el caso 0 se efectúa la acción de cerrar o apagar la válvula como se muestra en la figura 59, simplemente se agrega una función booleana falsa a la salida que va hacia el indicador luminoso (LED).

Permanentemente la aplicación está realizando la comparación de nivel, con cuyo resultado toma la decisión de continuar en el caso cero si no ha sido alcanzado el nivel bajo o pasar al caso 1 si el nivel de agua descendió lo suficiente como para alcanzar o sobrepasar el nivel bajo (1,13m). Cuando esto ocurre, el comparador arroja una salida booleana cuyo valor es verdadero, mediante un convertidor de booleano a decimal se obtiene un número (1) el cual se entrega a la bandera de estado.

La bandera de estado se representa mediante un indicador numérico el cual se encarga de llevar el dato al registro para realizarse la migración de un estado a otro.

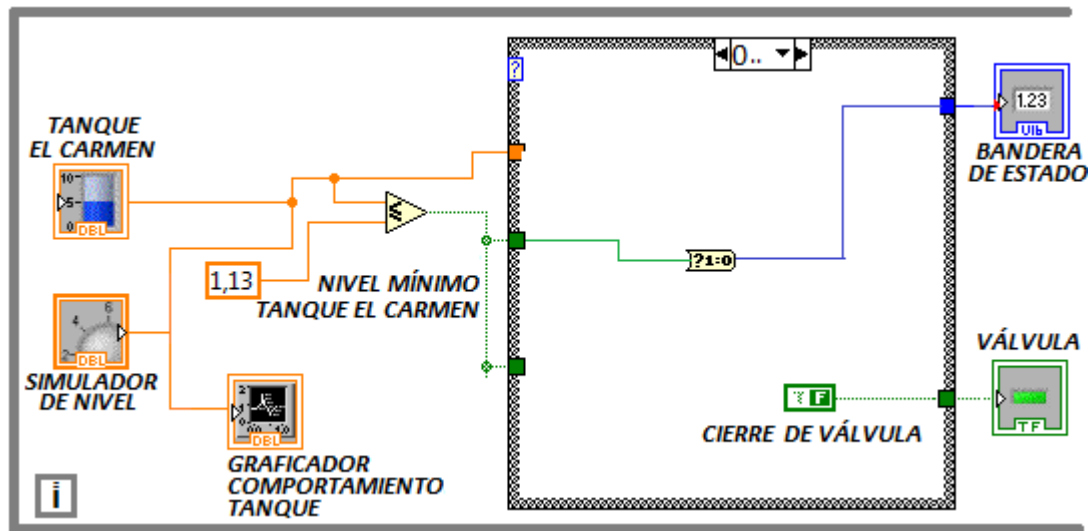


FIGURA 59: CASO 0, DIAGRAMA DE BLOQUES VÁLVULA CERRADA

En el caso 1 se realiza la acción de abrir o encender la válvula.

A demás en la figura 60 se observa cómo se aplican las condiciones para los cambios de estados por medio de comparadores, en los cuales se compara la medida actual del nivel (corresponde a la señal entregada por el sensor ultrasónico de nivel, pero para efectos de simulación se ha reemplazado por un control numérico) contra una constante numérica plenamente establecida por el **amb** según experiencias y análisis anteriores, los cuales son los valores de nivel mínimo y nivel máximo. (Nivel mínimo $\leq 1,13\text{m}$ Y Nivel máximo $\geq 3,8\text{m}$).

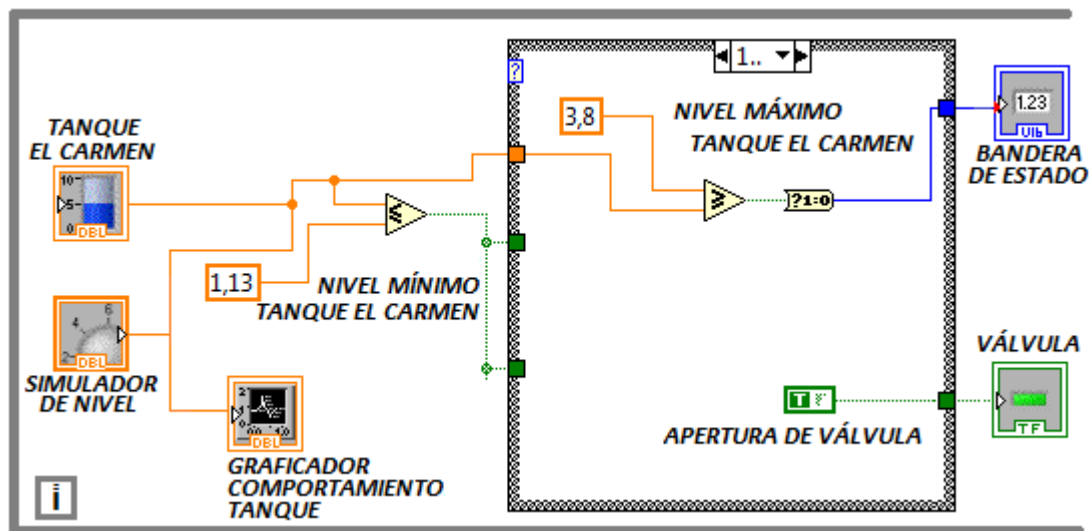


FIGURA 60: DIAGRAMA DE BLOQUES VÁLVULA ABIERTA

A continuación se valida el correcto funcionamiento de la aplicación hasta ahora implementada, suspendiendo el control numérico usado como simulador de sensor de nivel y utilizando una tarjeta de adquisición de datos (T.A.D.) y un sensor que actualmente se encuentra instalado en una de las unidades de bombeo pertenecientes a la estación de bombeo Bosconia.

4.1.2 PRUEBA REALIZADA CON TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En la figura 61 se observa la tarjeta de adquisición de datos T.A.D. USB PROYMELEC, fabricada por el profesor de la Universidad Pontificia Bolivariana Jorge E. Santamaría y utilizada como herramienta en la especialización de control e instrumentación industrial; La cual cuenta con un software especializado, pues trae una aplicación para LabVIEW que simplemente recoge y lee datos.

Mediante esta tarjeta se programa el puerto USB del computador.

A las entradas análogas de la tarjeta se introduce la señal de un sensor analógico con salida de 4-20mA que se encuentra instalado y haciendo registro dentro del proceso de bombeo de la planta Bosconia, pero como la entrada que maneja la T.A.D. es en voltaje, se usa una resistencia calculada por medio de la cual se hace el acondicionamiento de la señal.

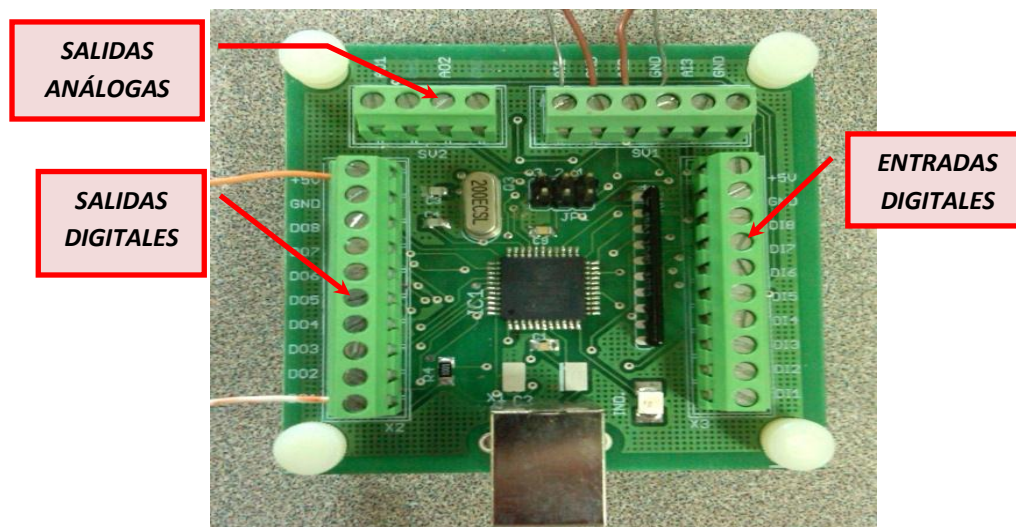


FIGURA 61: TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS T.A.D. USB PROYMELEC

Cálculo de la resistencia para realizar el acondicionamiento de la señal:

Señal máx. De Corriente del sensor 20mA

Señal máx. De Voltaje de Entrada Tarjeta 5v

$$R = \frac{5v}{20mA}$$

$$R = 250 \, \Omega$$

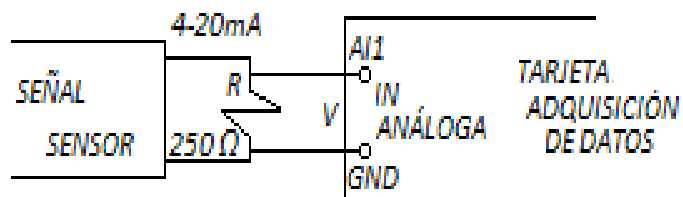


FIGURA 62: CONEXIÓN T.A.D. USB PROYMELEC

Cálculo de Niveles del Tanque:

Linealización de parámetros que intervienen en el registro de nivel del tanque El Carmen. Usando Microsoft Office Excel, se introducen los puntos para obtener la gráfica que se muestra en la figura 63.

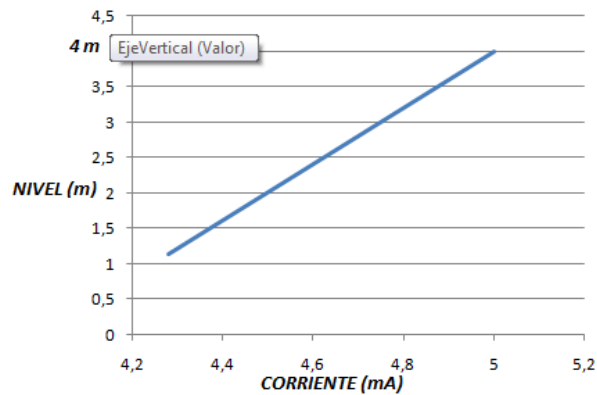


FIGURA 63: GRÁFICA NIVEL Vs CORRIENTE

4m ----- Y2
1,13m ----- Y1

5mA ----- X2
4,28mA ----- X1

Se halla la ecuación:

$$Y = mx + b$$

Donde $m = Y2 - Y1 / X2 - X1$

$$m = \frac{4m - 1,13m}{5mA - 4,28mA}$$

$$m = 4$$

$Y = mX + b$ usando el punto (5,4)

$$b = - 16$$

$$Y = 4X - 16$$

Con la Ecuación se pueden situar los puntos estratégicos del Nivel.

- Para un Nivel de 3,8m la corriente es 4,95mA.
- Para un Nivel de 1,13m la corriente es 4,28mA.

Se Hace la conversión de Corriente a Voltaje, para comparar con la medida recibida en la entrada analógica de voltaje de la tarjeta de adquisición de datos, usando el valor de Resistencia calculada anteriormente.

$$V = 8,52\text{mA} \times 250\Omega$$

$$V = 2,13\text{v}$$

Las siguientes funciones son propias del driver de la tarjeta de adquisición de datos T.A.D. USB PROYMELEC.



Función Open_PIPE.vi



Funciones para I/O TAD_USB.vi



Función Close_PIPE.vi

La finalidad de esta tarjeta de adquisición de datos es la de realizar la Interfase entre cualquier señal de tipo analógica o digital, en este caso la proveniente de un sensor de corriente y la aplicación en LabVIEW como se observa en la figura 64.

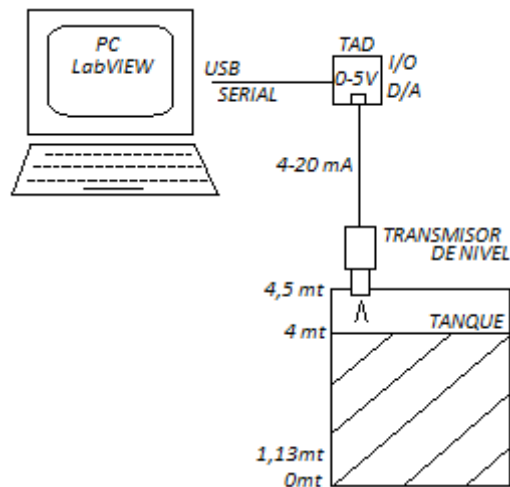


FIGURA 64: ESQUEMA REGISTRO DE NIVEL UTILIZANDO UNA T.A.D.

A continuación en la figura 65 se muestra el diagrama de bloques correspondiente a la adaptación de la T.A.D. con la aplicación sobre la plataforma LabVIEW para realizar la apertura y cierre de la válvula de entrada.

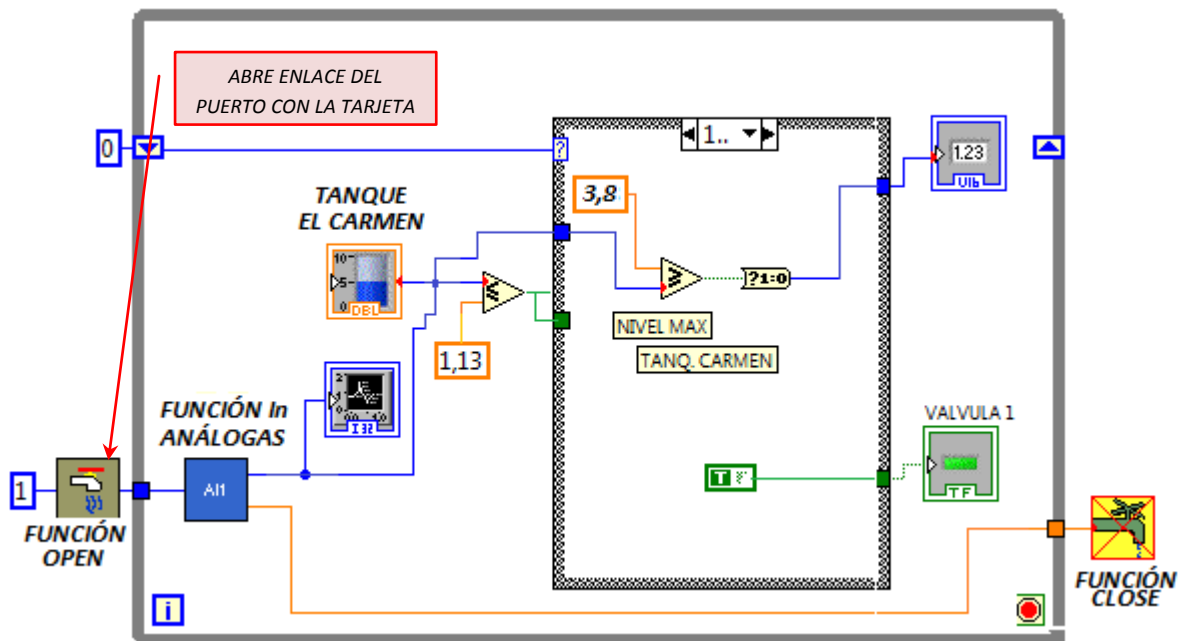


FIGURA 65: DIAGRAMA DE BLOQUES TARJETA ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la Implementación de este proyecto es más conveniente utilizar un PLC que una tarjeta de adquisición de datos, ya que se manejan varias señales provenientes de diversos sensores, además con el PLC se evita la realización del acondicionamiento de señal ya que este trae entradas análogas de corriente. El esquema correspondiente para registrar en nivel del tanque a través de un PLC se muestra en la figura 66.

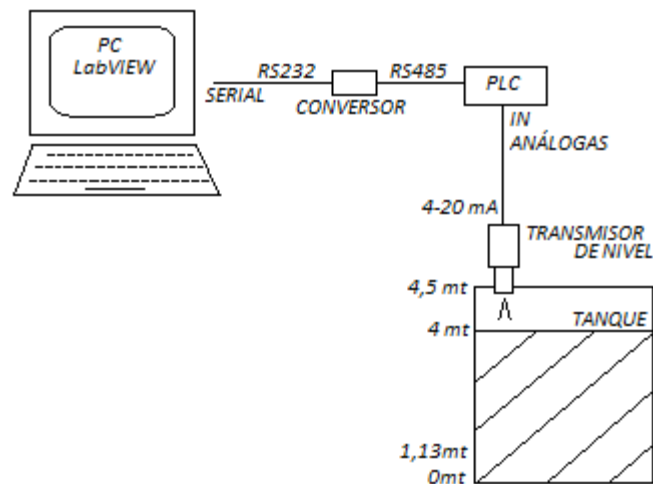


FIGURA 66: ESQUEMA REGISTRO DE NIVEL UTILIZANDO UN PLC

Ya que muy pronto y una vez se apruebe el presupuesto, el **amb** pondrá en marcha la implementación física de este proyecto, se hace necesario establecer dentro de la aplicación sobre la plataforma LabVIEW, un lenguaje de comunicación entre el PLC o los diferentes dispositivos electrónicos que se vayan a emplear y la aplicación. El protocolo de comunicación ModBus servirá de puente y solución a estos requerimientos.

4.1.3 Comunicación ModBus:

El medio físico de conexión puede ser un bus semidúplex (half dúplex), (RS485 o fibra óptica) o dúplex (full dúplex), la comunicación es asíncrona y las velocidades de transmisión previstas van desde los 75 baudios a 19,200 baudios. La máxima distancia entre estaciones depende del nivel físico pudiendo alcanzar hasta 1200mt sin repetidores.

La estructura lógica es del tipo maestro-esclavo, con acceso al medio controlado por el maestro. El número máximo de estaciones previstas es de 63 esclavos más una estación maestra.

Los intercambios de mensaje pueden ser de dos tipos:

- a. Intercambios punto a punto, basados en 2 mensajes, una demanda del maestro y una respuesta del esclavo.
- b. Mensajes difundidos. Estos consisten en una comunicación unidireccional del maestro a todos los esclavos. Este tipo de mensajes no tiene respuesta por parte de los esclavos y se suelen emplear para mandar datos comunes de configuración, reset, etc.

Estos mensajes constan de 4 pasos fundamentales para asegurar una correcta comunicación:

- ARMAR una trama de petición.
- ENVIAR la trama a un puerto Com.
- LEER la Trama de respuesta.
- DECODIFICAR la Información.

La codificación de datos de la Trama puede hacerse o en modo ASCII o puramente Binario, según el estándar RTU (Unidad de Transmisión Remota), en cualquiera de los casos cada mensaje obedece a una trama que contiene cuatro campos principales, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: MODO DE TRANSMISIÓN SERIE. COMUNICACIÓN MODBUS

MODO	ASCII	RTU
Sistema de codificación	Sexagesimal, caracteres ASCII 0-9, A-F	Binario 8-bits, caracteres sexagesimales 0-9, A-F
Bits por Bytes	1 bit de arranque 7 bits de datos 1 bit paridad par o impar ningún bit si no hay 1 bit de paro si usa paridad dos bits si no usa paridad	1 bit de arranque 8 bits de datos 1 bit paridad par o impar ningún bit si no hay 1 bit de paro si usa paridad dos bits si no usa paridad
Comprobación de error	LRC Comprobación Longitudinal Redundante	CRC Comprobación Cíclica Redundante
	Permite intervalos de t sin dar error hasta de 1 seg	Por mayor densidad tiene mejor rendimiento q` ASCII

MODO RTU:

DIRECCIÓN	FUNCIÓN	SUB-FUNCIÓN	CRC
-----------	---------	-------------	-----

4.1.3.1 ARMADO DE LA TRAMA DE PETICIÓN

Dirección:

Este proceso está fundamentado en el protocolo MODBUS. Como este se basa en la técnica de maestro – esclavo para tener acceso al medio, en esta aplicación el computador funciona como el maestro mediante LabVIEW y los demás dispositivos se configuran como esclavos.

Es de una longitud de 1 byte. Permite direccionar un máximo de 63 esclavos con direcciones que van del 01H hasta el 3FH, el número 00H se reserva para los mensajes difundidos.

Para la futura implementación física de este proyecto se usará un PLC como esclavo, el cual se encargará de en sus entradas I1, I2, I3 recibir las señales de los sensores de nivel, caudal y presión.

La dirección que asignamos a este esclavo (PLC) es la 0000 0001, y la trama se empieza a construir a partir de este número 1.

Función:

Cada función permite transmitir datos u órdenes al esclavo. Existen dos tipos básicos de órdenes:

- Órdenes de lectura/escritura de datos en los registros o en la memoria del esclavo.

- Órdenes de control del esclavo y el propio sistema de comunicaciones (RUN / STOP, carga y descarga de programas, verificación de contadores de intercambio, etc).

La siguiente tabla muestra la lista de funciones disponibles en el protocolo MODBUS con sus correspondientes módulos de operación.

Tabla 4: DE FUNCIONES MODBUS

<i>FUNCIÓN</i>	<i>CÓDIGO</i>	<i>TAREA</i>
0	00 _H	CONTROL DE ESTACIONES ESCLAVAS
1	01 _H	LECTURA DE <i>n</i> BITS DE SALIDA O INTERNOS
2	02 _H	LECTURA DE <i>n</i> BITS DE ENTRADAS
3	03 _H	LECTURA DE <i>n</i> PALABRAS DE SALIDAS O INTERNOS
4	04 _H	LECTURA DE <i>n</i> PALABRAS DE ENTRADAS
5	05 _H	ESCRITURA DE UN bit
6	06 _H	ESCRITURA DE UNA PALABRA
7	07 _H	LECTURA RAPIDA DE 8 bits
8	08 _H	CONTROL DE CONTADORES DE DIAGNÓSTICOS NÚMERO 1 A 8
9	09 _H	NO UTILIZADO
10	0A _H	NO UTILIZADO
11	0B _H	CONTROL DE CONTADOR DE DIAGNÓSTICOS NUMERO 9
12	0C _H	NO UTILIZADO
13	0D _H	NO UTILIZADO
14	0E _H	NO UTILIZADO
15	0F _H	ESCRITURA DE <i>n</i> bits
16	10 _H	ESCRITURA DE <i>n</i> PALABRAS

Para el montaje de este proyecto se usará la función que permita leer *n* palabras o bytes en las entradas, así que el número obtenido para esta parte de la trama será **4**.

Sub-función:

Este campo suele contener en primer lugar, los parámetros necesarios para ejecutar la función indicada por el byte anterior. Estos parámetros podrán ser códigos de subfunciones en el caso de órdenes de control o direcciones del primer bit o byte, número de bits o palabras a leer o escribir, valor del bit o palabra en caso de escritura, etc.

En conclusión en este espacio simplemente se colocan: como primera medida la dirección a partir de la cual vamos a empezar a leer datos, por ejemplo en las entradas del PLC I1 nivel, en I2 caudal, en I3 presión, entonces como los registros empiezan a partir de la entrada I1, la dirección será la 01, cada PLC trae su mapa de MI (memorias internas) y de la 0000 a la 3000 se ubican las entradas de tipo análogo; para este ejemplo se escogió la 0001.

En segunda instancia se consigna el total de entradas que se van a leer en el PLC, para este caso 3 (I1, I2, I3), entonces el dato será 03, así se obtiene para esta parte de la trama el siguiente número **0103**.

En la figura 67 se muestra la trama de envío de petición obtenida para el protocolo de comunicación ModBus entre el PLC recibiendo solo tres señales analógicas de entrada y la aplicación sobre la plataforma LabVIEW.

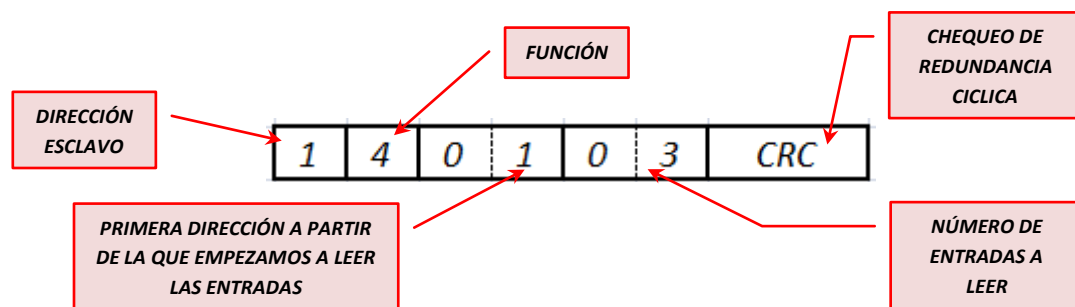


FIGURA 67: DISEÑO DE LA TRAMA DE ENVIO DE PETICIÓN

CRC:

Chequeo de redundancia cíclica, es un SubVi previamente elaborado, se ha implementado en las diversas aplicaciones usadas por el **amb** en sus programas, este campo contiene un valor de 16 bits implementado como dos bytes de 8 bits. Este valor es el resultado de un cálculo de comprobación cíclica redundante (CRC) realizado sobre el contenido del mensaje y calculado según el algoritmo CRC16.

El CRC es añadido a la trama como el último campo del mensaje. En la figura 68 se observa el diagrama SubVi del CRC que se usa para el desarrollo de esta aplicación.

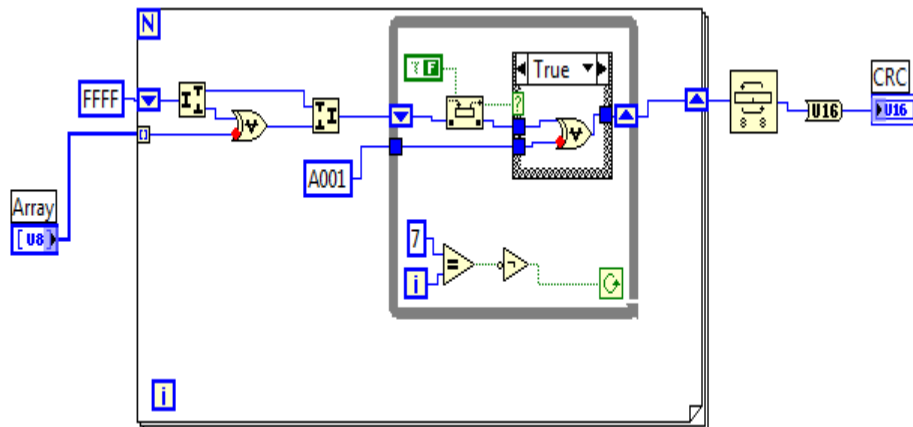


FIGURA 68: RUTINA SUBVI DEL CRC

Lo relacionado con la programación en LabVIEW de los bloques del protocolo MODBUS, principalmente el SubVi del CRC están basados en la tesis: MODBUS. MONITOREO DE LA RED EMPLEANDO LabVIEW de los autores Sinle Marcela Carreño Martínez y Pedro Ardila Albarracín, año 2005, y en la tesis: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN EN LabVIEW PARA EL MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS Y CONTROL DE LOS EQUIPOS DE CORTE DE LA SUBESTACIÓN BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA **amb** S.A. de los autores Silvana María Navarro Carrascal y Wilfred Yesid Reyes Galvis sin embargo, se hacen algunas modificaciones a los bloques desarrollados en la tesis mencionadas.

La primera modificación importante consiste en eliminar lo relacionado con la conversión para el modo de transmisión ASCII, ya que el hardware usado hasta ahora por el **amb** trabaja únicamente en modo RTU, por tanto se dejan fijas todas las operaciones RTU, sacándolas de las estructuras case. El uso de la estructura stacked sequence para el manejo de las dos partes de la función MODBUS, que son envío de la petición y lectura de la respuesta, permanece sin modificación. En la Figura 69 se muestra el diagrama de bloques para el envío de la petición para la función 04.

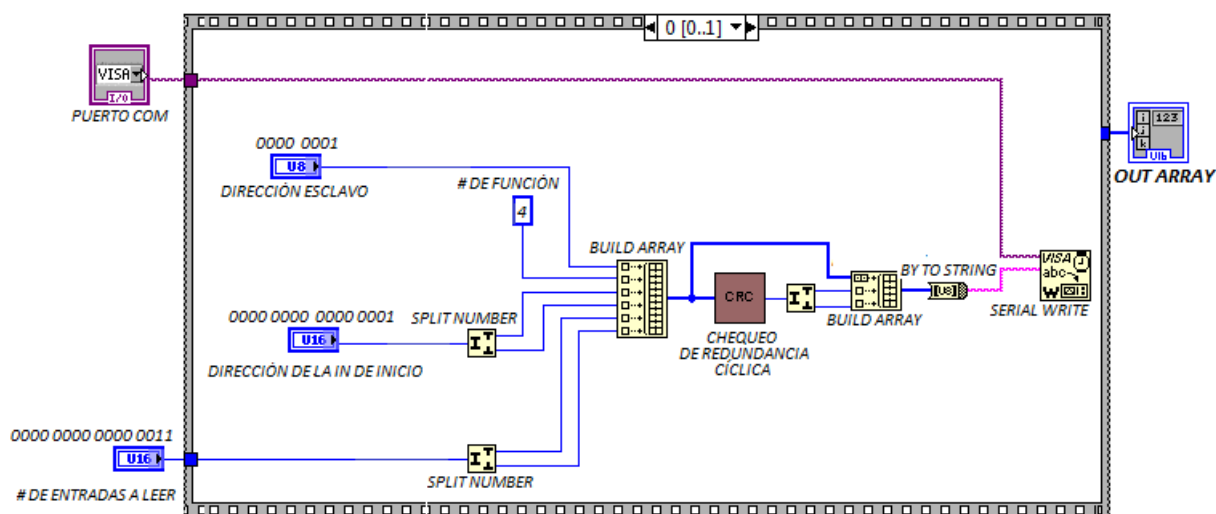


FIGURA 69: SUBVI. ENVIO DE LA TRAMA DE PETICIÓN (FRAME 0)

Al igual que se explicó anteriormente cuando se elaboraba la trama de petición, al diagrama de bloques basado en una Estructura Stacked Sequence se le administran los datos de dirección del Esclavo U8(0000 0001) al cual se va a enviar esta trama, también se le introduce el código de la función Modbus, para este caso es la F4 Lectura de n palabras de entrada (usamos la constante numérica 4), pues se van a leer las señales análogas que los sensores de nivel, presión, caudal han llevado al PLC; seguidamente se adiciona como entrada al diagrama, la dirección donde se encuentra ubicada la entrada del PLC que se asignó como primera U16(0000 0000 0000 0001) para recibir la señal de un sensor análogo; Es necesario adicionar también la cantidad de entradas que van a ser leídas por el PLC, para este caso las tres nombradas anteriormente nivel, presión y caudal U16(0000 0000 0000 0011).

El diagrama de bloques utilizado para obtener la trama de respuesta del PLC es simplemente el Frame 1 de la estructura Staqued Sequence como se observa en la figura 70, en esta se usa un comprobador de trama errónea, cada vez que se lee una trama en el puerto se revisa que dicho dato sea diferente del número 84, ya que cuando la trama es correcta el número que se obtiene es el 4 (0000 0100), pero cuando se produce un error de comunicación, ya sea debido a que el puerto de comunicaciones se encuentra apagado o cuando el medio de conexión físico entre el PC y el esclavo está averiado, desconectado o conectado en el puerto incorrecto, es entonces cuando el sistema simplemente antepone un 1 en la trama de respuesta y el número que se obtiene es 84 (1000 0100); en este frame además se adecuó un testigo o un indicador para cuando el tiempo que debe tardar en responder la comunicación con la trama de respuesta expira.

Parte de la corrección que hace el programa consiste en limpiar el contenido del buffer del puerto serie cuando ocurre un error de CRC (Código de Redundancia Cíclica). Esto se hace con el bloque VISA CLR.

Esta acción es importante debido a que cuando ocurre un error de CRC, significa que los datos recibidos son erróneos, ya sea por simple error en la comunicación o por que había una cantidad determinada de datos acumulados en el buffer esperando a ser leídos y por tanto, no deberían ser tenidos en cuenta. Al no realizar la limpieza, los datos que llegan se van a seguir acumulando y por tanto, nunca se va a obtener una trama correcta.

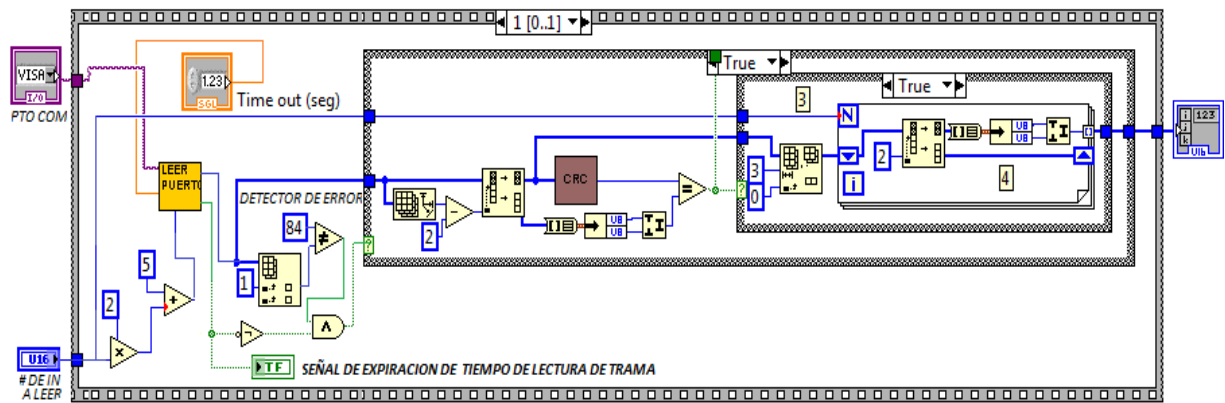


FIGURA 70: SUBVI. TRAMA DE RESPUESTA DEL PLC (FRAME 1)

El Vi anterior (Figuras 69 Y 70) fue necesario convertirlo en un SubVi, para minimizar el programa. La creación de este SubVi se hizo creando una aplicación nueva, implementándola sobre un proyecto nuevo (New Project), y asignándole un nombre con el cual se guarda.

Luego se entró en la aplicación principal, se coloca el cursor sobre el diagrama de bloques y oprimiendo clic derecho se escoge la función "Select a Vi", de esta manera se llama a la aplicación anteriormente creada como new Project.

En el diagrama de bloques aparecerá un ícono representado como un gráfico dentro de un cuadro pequeño, este gráfico se puede reformar a criterio personal.

Ahora es necesario asignar las entradas y las salidas del ícono que está representando el SubVi, para así establecer sus conexiones con la aplicación principal. La manera de hacerlo es haciendo clic sobre el ícono, trasladándose así al panel frontal del SubVi, en cuya parte superior derecha se encuentra el gráfico del ícono, se hace clic derecho sobre él y se selecciona en la función show Connector, de esta manera se procede a asignar las entradas y las salidas, como se muestra en la figura 71.

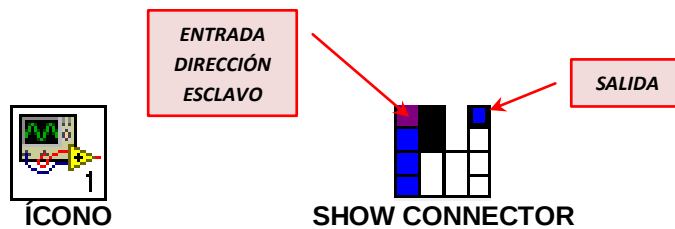


FIGURA 71: ÍCONOS CREACIÓN DE SUBVI

4.1.4 ASIGNACIÓN DE PUERTO DE COMUNICACIÓN EN EL PC

La asignación del puerto se hace en el Vi Principal.

Para asignar el puerto del computador por el cual se ejecuta la comunicación se ingresa dentro de las funciones de LabVIEW a DATA COMMUNICATION, una vez dentro de esta se selecciona la aplicación PROTOCOLS, dentro de las opciones que aparecen se escoge SERIAL, el cual conduce hacia CONFIGURE PTO. De allí se obtiene el ícono de VISA Serial, en la figura 72 se observa esta función dentro de la aplicación.

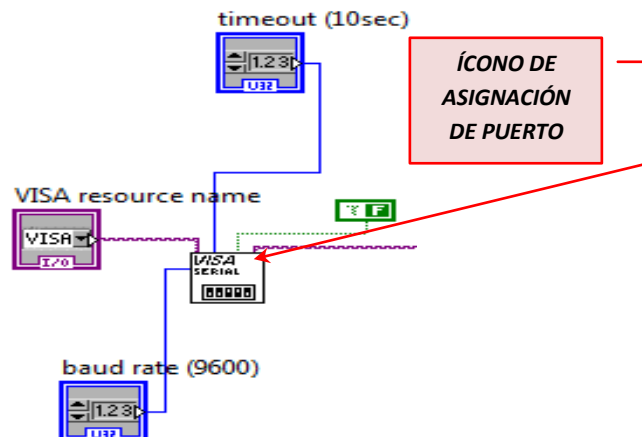


FIGURA 72: FRACCIÓN DE DIAGRAMA DE BLOQUES ASIGNACIÓN PTO. COM

Una vez se haya finalizado la implementación de la aplicación en LabVIEW para la estación de bombeo El Carmen, se debe dar la instrucción para cerrar el Puerto Serial por fuera de la estructura principal while loop.

La siguiente parte de la aplicación sobre la plataforma LabVIEW, se considera la más importante e indispensable del programa.

4.1.5 LÓGICA DEL SISTEMA DE BOMBEO:

De acuerdo a lo consignado en el primer capítulo de este documento, acerca del comportamiento del tanque La Cumbre, se planteó con el jefe de la división Electro-Mecánica perteneciente al departamento de operaciones, Ing. Jairo Fabián Jaimes la lógica de funcionamiento del sistema de bombeo.

El arranque y la parada de las unidades del sistema de bombeo El Carmen dependen explícitamente del nivel del tanque La Cumbre, quien a su vez se convierte en el indicador del consumo de agua hecho por los usuarios de su mismo distrito. En la figura 73 anterior se pueden apreciar los niveles que se van a manejar para realizar la LÓGICA de funcionamiento del sistema de bombeo.

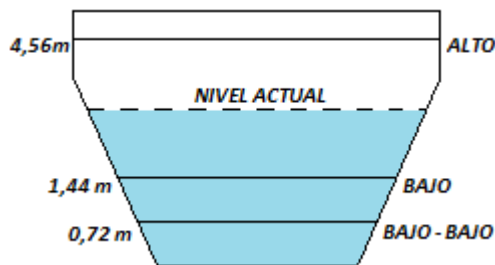


FIGURA 73: NIVELES DEL TANQUE LA CUMBRE

En la tabla se observa cómo se desarrolla la lógica de funcionamiento del bombeo; La unidad de bombeo 1 marca American Marsh de 75 Hp funcionará de manera alterna con la unidad de bombeo 2 también American Marsh de 75 hp, es decir: si en este momento está encendida la unidad 1, la siguiente o la próxima vez que necesitemos suministro de una bomba de 75 Hp, la que encenderá será la unidad de bombeo 2.

Dentro de la lógica de funcionamiento se manejan tres Niveles:

- Bajo - Bajo
- Bajo
- Alto.

Para proceder a explicar cómo funcionará la lógica del proceso, se asume la condición de que el tanque La Cumbre está lleno y el sistema está estático, como lo muestra la figura 73. En esta situación el bombeo se encuentra totalmente OFF, es decir las unidades de bombeo 1, 2 y 3 están apagadas.

Tabla5: LÓGICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS

NIVELES UNIDADES	ALTO	BAJO	BAJO BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO BAJO	BAJO	ALTO	BAJO
Bomba 1 (75Hp)	F	V	F	F	F	F	F	F	F	V
Bomba 2 (75Hp)	F	F	F	F	F	V	F	F	F	F
Bomba 3 (100Hp)	F	F	V	V	F	F	V	V	F	F

4.1.5.1 MÁQUINA DE ESTADOS PARA REALIZAR EL CONTROL DEL BOMBEO DE ACUERDO AL NIVEL DEL TANQUE LA CUMBRE

A continuación se enuncian cada uno de los estados de esta etapa del proceso y se lleva cada uno de ellos al diagrama de la máquina de estados de la figura 74:

- B1: Unidad de bombeo 1 American Marsh de 75 Hp.
- B2: Unidad de bombeo 2 American Marsh de 75 Hp.
- B3: Unidad de bombeo 3 American Marsh de 100 Hp.
- S: Bandera de Estado de Siguiente.

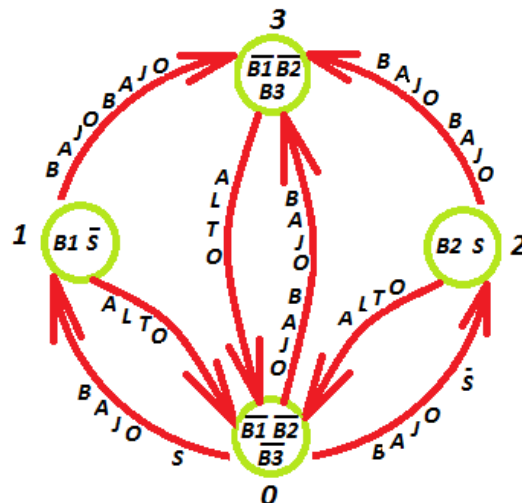


FIGURA 74: MÁQUINA DE ESTADOS CONTROL DE BOMBEO EL CARMEN

De acuerdo a la máquina de estados, esta fracción del proceso ejecuta 4 estados los cuales se llevan a la aplicación sobre la plataforma LabVIEW como 4 casos (0,1, 2,3).

En el caso cero se perciben las tres unidades de bombeo apagadas, en el caso 1 se enciende la bomba 1 y las otras dos permanecen apagadas, en el caso 2 se enciende la bomba 2, la 1 y la 3 permanecen apagadas y en el caso 3 se enciende la bomba 3, la 1 y la 2 permanecen apagadas, estas corresponden a las acciones a ejecutar dentro de cada caso de la estructura CASE, encendidas con verdadero (T) y apagadas con Falso (F).

En la figura 75 dentro del recuadro amarillo, se observa cómo las bombas 1, 2 y 3 representadas mediante indicadores leds verdes, están precedidas de una señal booleana FALSE, la cual ingresa como condición a una compuerta and arrojando como resultado una señal de apagado a las tres unidades de bombeo. Por fuera del diagrama de flujo se observa un control numérico utilizado para simular la respuesta de un sensor análogo de nivel, el cual al manipularse adiciona variación en la medida de nivel a la aplicación, esta variación se ha programado entre 0 y 4,5 metros. (Altura del tanque La Cumbre).

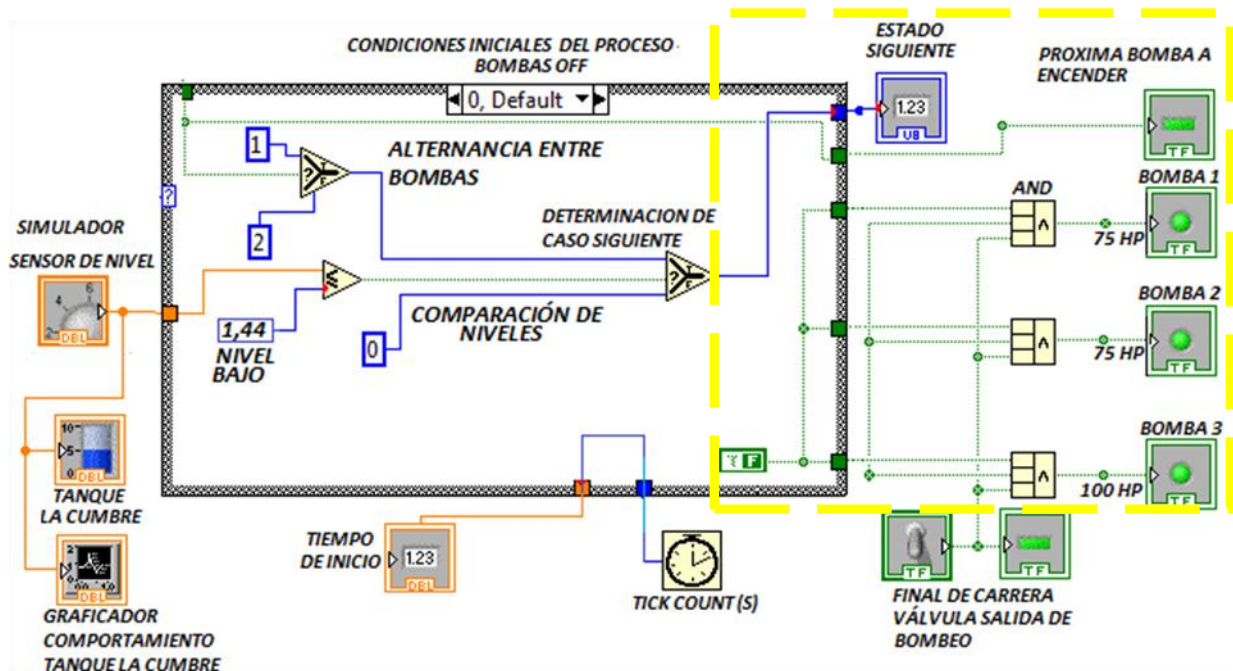


FIGURA 75: CASO CERO. CONDICIÓN INICIAL DEL PROCESO

De igual manera en el exterior del CASE se encuentra un indicador numérico en forma de tanque, el cual hace el gráfico del nivel de agua existente en el tanque La Cumbre y la manera como varia, como soporte a este se a adicionado un graficador Chart para observar esta misma variación del nivel a través del tiempo.

Al cerrar el CASE se halla un indicador numérico de caso siguiente usado como bandera, también se observa un indicador led encargado de mostrar cual será la siguiente unidad de bombeo a encender en cuanto se refiere a las unidades de 75Hp, se recuerda que las bombas 1 y 2 funcionarán de manera alterna.

4.1.5.2 CONTROL PARA ALTERNAR EL ARRANQUE DE LAS UNIDADES DE BOMBEO 1 Y 2

En el Caso 0, se decide si hay que dar encendido a alguna de las dos unidades de 75 Hp (Bombas 1 y 2), pues es allí donde se maneja el control del nivel **Bajo**; La forma como se controla la alternancia de la operación de estas unidades es a través de una herramienta llamada selector como se observa en la figura 76 dentro del recuadro punteado de color amarillo, esta herramienta da encendido a la bomba 1 o a la bomba 2 dependiendo de una señal booleana que se suministra, esta señal oscila entre verdadero y falso (True-False).

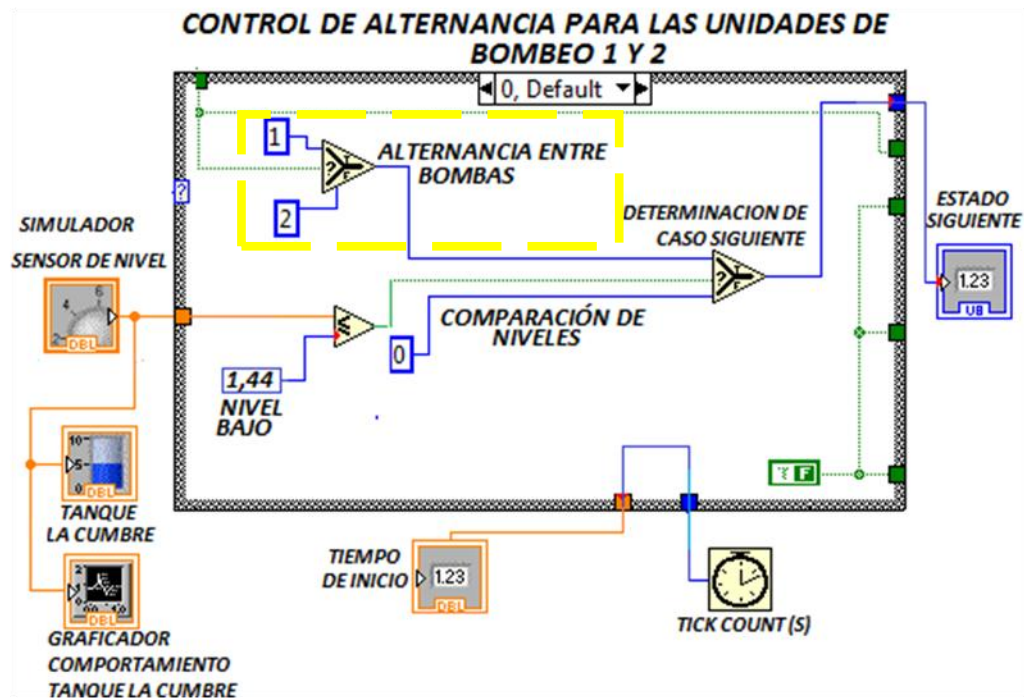


FIGURA 76: CASO CERO – CONTROL DE ALTERNANCIA BOMBAS 1 Y 2

Como condición de inicio se ha insertado una constante de verdadero para aplicar al selector, haciendo que la primera unidad de bombeo en operar sea la bomba 1.

En el caso 1 se energiza la unidad de bombeo 1, simplemente se le adiciona una constante booleana al indicador luminoso que representa la bomba 1 como se observa en la figura 77 dentro del recuadro amarillo, en este mismo caso se proporciona una constante booleana de valor Falso a la bandera indicadora de alternancia, esto simplemente ocasionará que la siguiente señal que llegue al selector sea esta misma (Falso) y que el selector conmute hacia la bomba 2, para que sea la que se energice la próxima vez.

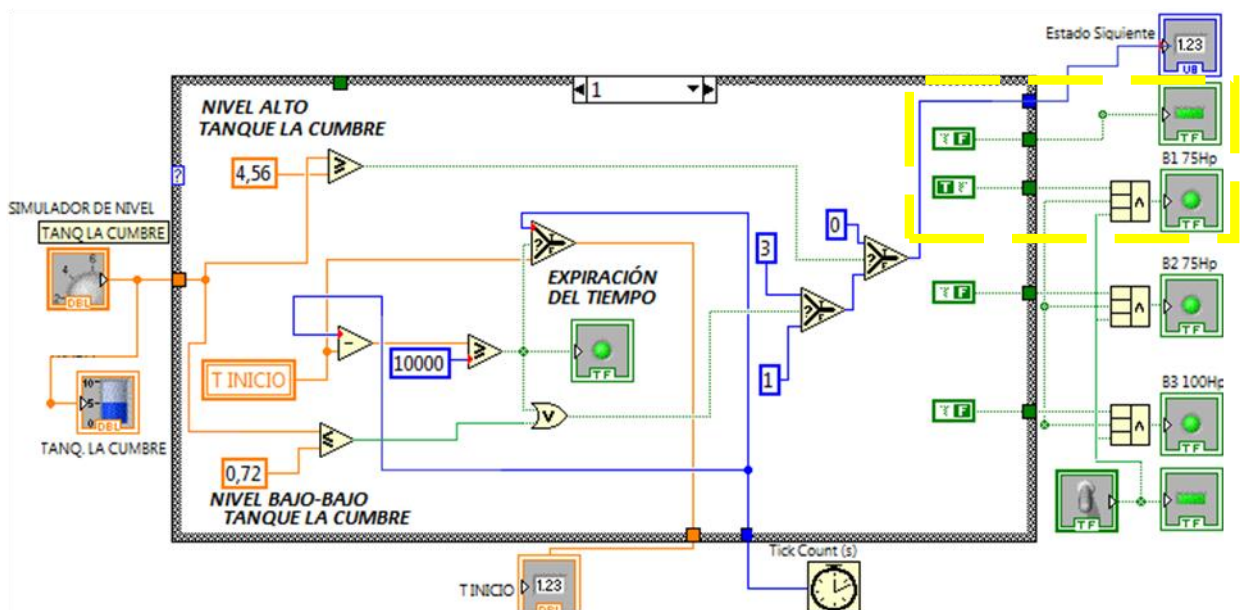


FIGURA 77: CASO UNO. ENCENDIDO UNIDAD DE BOMBEO 1

En el caso 2, se energiza la bomba 2 hasta que el nivel supere el valor de la constante de nivel máximo (4,56m) se proporciona una constante booleana de valor verdadero a la bandera indicadora de alternancia como se observa en la figura 78 dentro del recuadro amarillo, esto simplemente ocasionará que la siguiente señal que llegue al selector sea esta misma (Verdadera) y que el selector conmute hacia la bomba 1, para que sea la que se energice la próxima vez. Y así sucesivamente continua el proceso.

En el caso 2 al igual que en el caso 1 se tiene en cuenta el tiempo que tarde en alcanzarse el nivel máximo del tanque elevado La Cumbre, pues desde este caso también se puede optar por migrar hacia el caso 3 si el tiempo ha expirado.

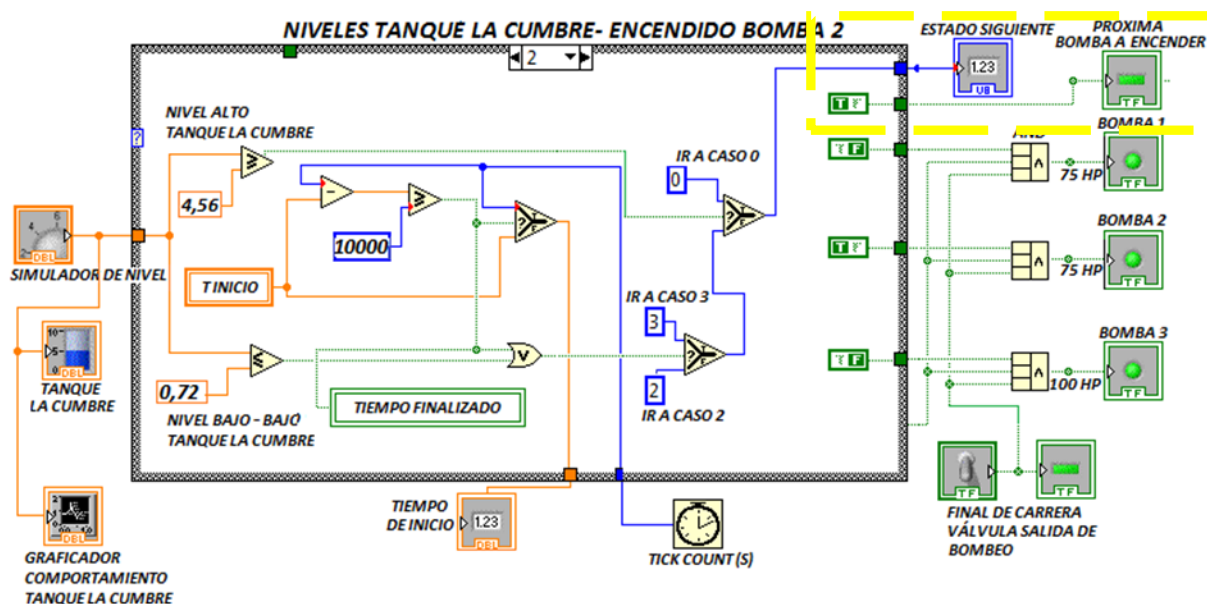


FIGURA 78: CASO DOS. ENCENDIDO UNIDAD DE BOMBEO 2

Una vez los usuarios empiezan a utilizar agua, el sistema inicia su funcionamiento, las unidades de bombeo siguen apagadas y el nivel del tanque La Cumbre empieza a descender con una tasa de cambio proporcional al del porcentaje % de agua que esté utilizando el distrito; Cuando el nivel de agua del tanque alcanza un valor igual o inferior a **Bajo** (1,44 m), este es detectado por un sensor ultrasónico de nivel y enviado como una señal análoga entre 4-20 mA a un PLC encargado de recoger las señales de los diferentes instrumentos y entregarlas a través del puerto serial del computador a la aplicación en LabVIEW desarrollada para este proceso; En la aplicación se simula la señal del sensor mediante un control numérico el cual introduce un valor variable de nivel en metros a un comparador de menor o igual a y lo compara contra el valor de nivel **Bajo** (1,44m) representado por una constante numérica, cuyo valor se obtuvo por el personal del **amb** de diversas pruebas y experiencias realizadas sobre nivel al tanque elevado.

Si la medida de nivel entregada por el sensor o por el simulador es menor que el valor de la constante (1,44m), se genera un valor numérico que puede ser 1 o 2, los cuales se convierten en el número del estado o del caso siguiente al que se debe pasar, en la figura 75 se observa el caso 1 para el bombeo, allí se le da encendido a la bomba 1 de 75 Hp; La inclinación del programa por el caso 1 o el 2 depende de qué estado se ejecuto la anterior vez, pues estos casos siempre se ejecutarán de manera alternada en el transcurso de toda la aplicación. En la figura 79 se observa parte del panel frontal donde se pueden monitorear las unidades de bombeo, como ha sido hasta el momento la alternancia de estas y cuál es la próxima bomba que encenderá entre las dos de 75 Hp.

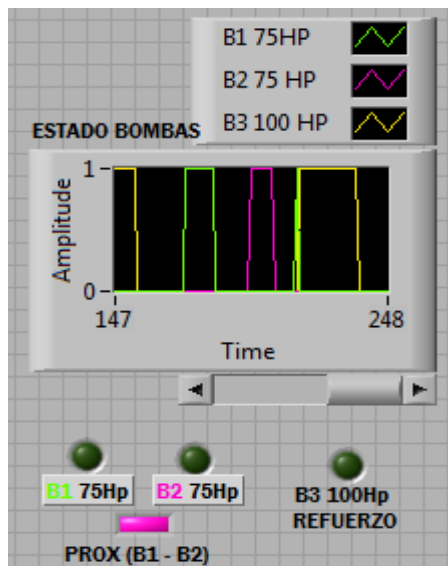


FIGURA 79: PANEL FRONTAL, MONITOREO DE UNIDADES DE BOMBEO

Los casos 1 y 2, son muy similares, en el caso 1 se le da arranque a la bomba 1 y en el caso 2 a la bomba 2, estas se encargan de abastecer o bombear agua hacia el distrito La Cumbre. Si la demanda del distrito no es tan elevada, el agua sobrante empezará a llenar el tanque la cumbre y su nivel comienza a subir, en este momento el sentido del agua en el tanque es ascendente; si el agua en el tanque elevado La Cumbre iguala o supera el nivel **Alto** (4,56m), el sensor de nivel envía esta señal a la aplicación en LabVIEW, llegando hasta un comparador de mayor o igual el cual al ser superado me genera una respuesta que hace que el programa ejecute el CASE 0 y la bomba que en ese momento este encendida ya sea la bomba 1 o la bomba 2 se apaga; si por el contrario el nivel **Alto** no se iguala ni se supera existe una solución que puede ser ejecutada por dos diferentes circunstancias.

1. Si el nivel **Alto** no es superado en un delta de tiempo (este puede estimarse en horas o días y está establecido previamente de común acuerdo entre el operador del bombeo que cuenta con experiencia en horas de operación y el ingeniero a cargo de la estación) la aplicación a través de una simple lógica iguala el tiempo de inicio de operación de la bomba 1 o la bomba 2 al tiempo actual (hace un reset del tiempo de inicio cada vez que se ejecuten tanto el caso 1 como el caso 2) y un instante después de que se esté ejecutando el proceso de bombeo que intenta sacar al nivel de un valor **Bajo**, realiza la diferencia entre los dos tiempos anteriores para hallar un delta de tiempo y este poder compararlo con una constante numérica, como se observa en la figura 78 dentro del recuadro amarillo.

2. La segunda circunstancia que hace que la aplicación y el bombeo cambien su estado ocurre cuando el nivel del tanque elevado desciende tanto que alcanza o cae por debajo del nivel Bajo – Bajo como se observa en la figura 80 dentro del recuadro rojo, aun cuando la bomba 1 o la bomba 2 estén encendidas (La causa de este suceso es la demanda elevada de agua por parte de los usuarios del distrito La Cumbre) cuando esto ocurre, la señal que emite el sensor de nivel llega hasta el PC a través del PLC e ingresa a un comparador de menor o igual a el valor de la constante numérica 0,72m y por medio de la compuerta OR emite un valor verdadero (True) que hace que la bandera de estado siguiente se coloque en 3, y vaya a este caso en la aplicación.

En los casos 0 y 3 se hace el tiempo de inicio igual al tiempo actual.



En el caso 3 simplemente se apaga las unidades de bombeo 1 y 2 y se enciende la unidad de bombeo 3, hasta que iguale o supere el valor de nivel Alto, 4.56 metros, como se observa en la figura 81.

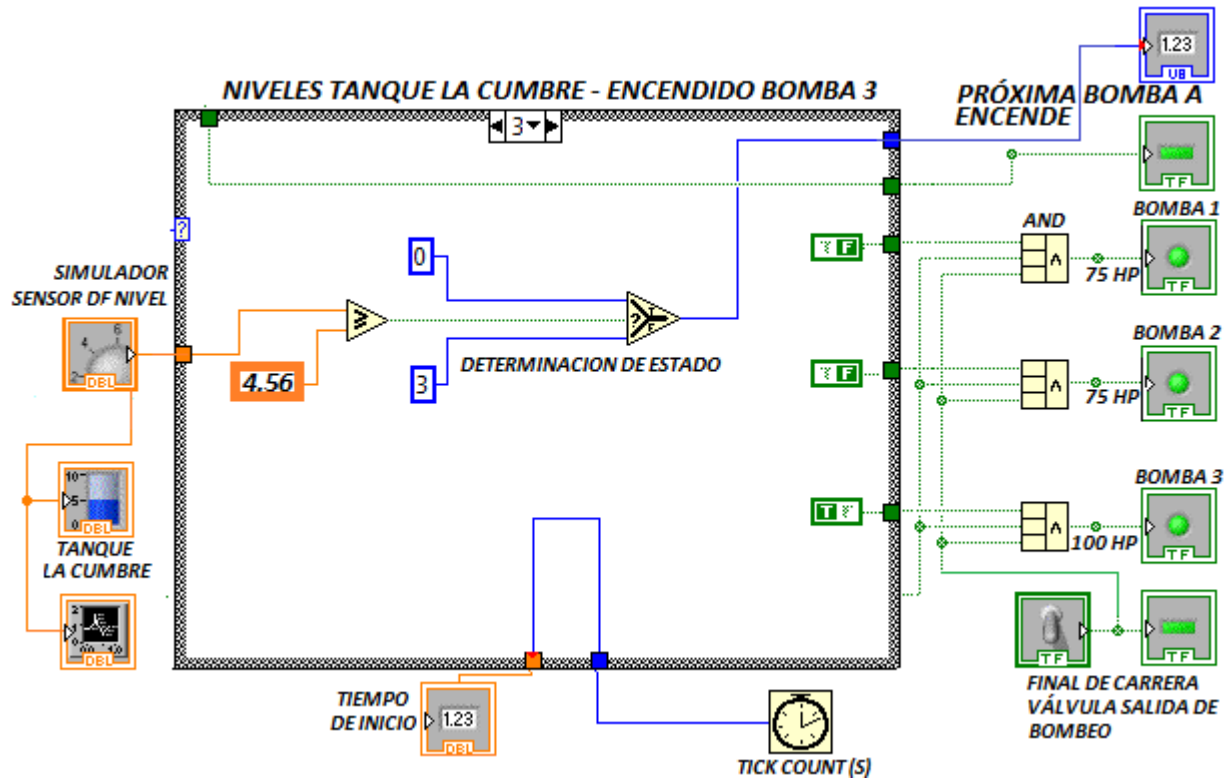


FIGURA 81: CASO TRES. ENCENDIDO UNIDAD DE BOMBEO 3

En el diseño total de esta aplicación se programaron algunas medidas de seguridad o de monitoreo las cuales se tienen en cuenta antes de poderse energizar las unidades de bombeo.

4.1.5.3 CONDICIONES PARA ARRANQUE BOMBEO

En la figura 82 se muestra como se inserto una compuerta AND por unidad de bombeo, para realizar a través de esta el control de las condiciones de seguridad o mínimos requerimientos para encender el bombeo. Cada compuerta posee tres entradas:

1. La señal booleana de verdadero o falso (True-False) proveniente de cada caso, para encender o apagar las bombas según el funcionamiento de la aplicación :

Caso 1: Bomba 1 (True)

Caso 2: Bomba 2 (True)

Caso 3: Bomba 3 (True)

2. La señal que me indica si el nivel de agua del tanque El Carmen está por encima del valor mínimo (1,13m), con esta norma de seguridad se evitan posibles cavitaciones, aunque como se observó en las generalidades acerca de este tanque, el cuenta con una sección llamada tanque de succión la cual siempre permanece llena de agua precisamente para evitar este tipo de inconvenientes.
3. A la salida del bombeo se encuentra instalada una válvula mariposa, la cual controla el paso de agua hacia el distrito La Cumbre, esta válvula es cerrada ocasionalmente por labores de mantenimiento, de común acuerdo con el Ing. Jairo Fabián Jaimes jefe de la división electro-mecánica y el Ing. Wilfred Yesid Reyes contratista **amb** y encargado de la programación e implementación de sistemas de monitoreo y control sobre la plataforma LabVIEW, se toma la decisión de implementar a futuro un detector de posición con un final de carrera o un sensor de proximidad para detectar el estado de la válvula, ya sea completamente cerrada o completamente abierta; La señal del detector e posición es enviada a la compuerta AND para a través de esta evitar que se encienda alguna unidad de bombeo estando cerrado el paso del agua.

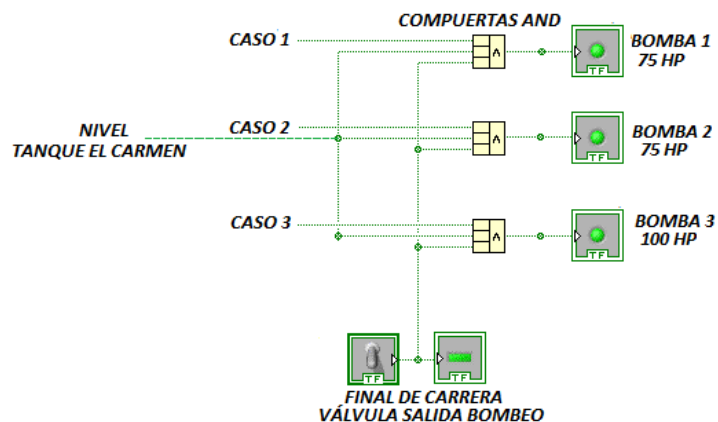


FIGURA 82: CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA ENCENDER EL BOMBEO

4.2 PANEL FRONTAL DE LA APLICACIÓN

En la figura 83 se observa el panel frontal para toda la aplicación, pero este no es de fácil entendimiento a cualquier tipo de operador, debe ser un operario con unos mínimos conocimientos de electrónica o por lo menos programación.

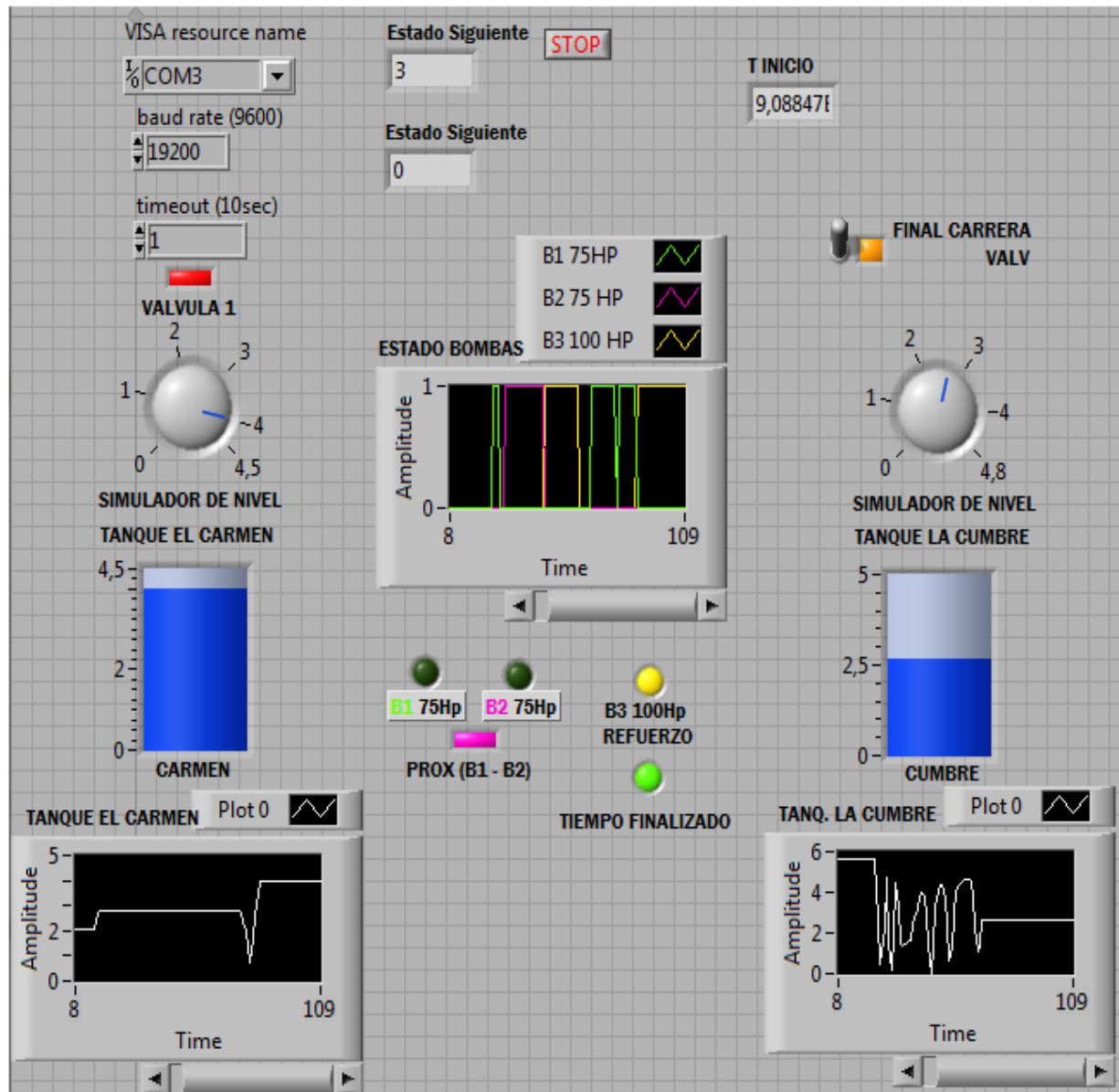


FIGURA 83: PANEL FRONTAL APLICACIÓN

4.2.1 PANEL FRONTAL USANDO MICROSOFT OFFICE VISIO

Por lo anterior es conveniente profundizar en el diseño gráfico sobre Microsoft Office Visio, en este caso se utiliza la versión 2007; Podría describirse como una versión avanzada del Paint. Simplemente se llevo a Visio un esquema gráfico muy parecido a la realidad, incluyendo componentes, colores y diseños.

En la figura 84 se muestra el diseño del sistema de bombeo El Carmen, el tanque La Cumbre y su respectiva tubería hidráulica, este se llevo trazo por trazo a Microsoft Office Visio en donde se le implementaron los ductos o tuberías de conducción del agua, la válvula de entrada y demás accesorios, se usaron colores acordes a los empleados en la estructura física real del sistema y se utilizaron tanto medidas de escala análogas como display digitales para indicar los diferentes niveles de los tanques.

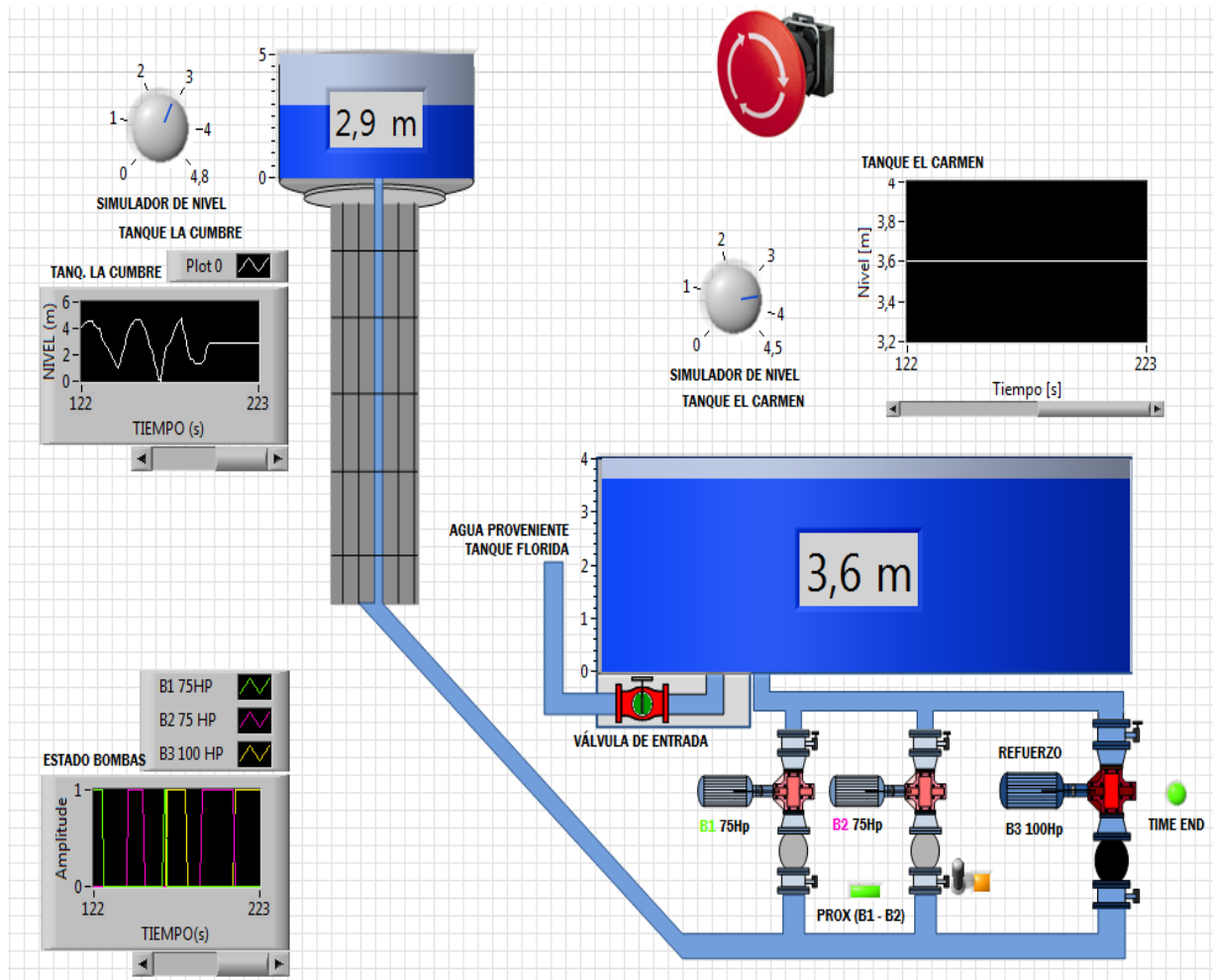


FIGURA 84: PANEL FRONTAL USANDO MICROSOFT OFFICE VISIO

CONCLUSIONES

- En realidad muy pocos de nosotros nos preguntamos cómo es que llega el agua hasta nuestros hogares y si lo hacemos seguro nos imaginamos algo muy sencillo, que requiere de poco personal y los más mínimos requerimientos técnicos; Después de la realización de esta práctica o sencillamente leyendo una parte de este documento, se puede apreciar como el monitoreo y el control de un solo proceso acarrea tanta investigación, inversión, personal idóneo y calificado y mejor aun, exige estar a la vanguardia de los avances tecnológicos para poder ofrecer así un excelente y eficiente servicio a los usuarios.
- La instrumentación industrial desempeña un papel muy importante en el desarrollo de esta práctica ya que hace posible el registro exacto de las variables que intervienen en el proceso del bombeo del agua, como lo son el nivel, la presión, el caudal, el voltaje, la corriente, la potencia, el factor de potencia, la frecuencia y la temperatura entre otras, existiendo un dispositivo especializado en su lectura y en la transmisión de su medida, la cual hace posible la utilización de estos parámetros en la ejecución del control de diversos actuadores.
- LabVIEW es una herramienta muy poderosa en la industria, poder supervisar un proceso y mejor aun poder ejercer control del mismo a través de una computadora y sin importar las distancias se ha constituido en el requerimiento de la gran mayoría de las empresas que manejan procesos de fabricación, ensamble, embalaje, supervisión, control de calidad, servicios públicos y un sin número de actividades más, que gracias a esta hacen posible un elevado margen de competitividad.

BIBLIOGRAFIA

- LabVIEW 8.20 Entorno gráfico de Programación. Jose Rafael Lajara Vizcaino, Jose Pelegri Sebastia. AlfaOmega, Marcombo.
- Wilfred Yesid Reyes. Tesis de grado (2007), “Desarrollo e implementación de una Aplicación en LabVIEW para el monitoreo de los parámetros eléctricos y mecánicos y control de los equipos de corte de la subestación Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga amb s.a.”
- Jhovanny Gregorio Suarez. Tesis de grado (2007). “Diseño de un sistema de Telemetría y control para el bombeo del tanque La Cumbre utilizando el sistema Scada.”