Automatización de la estructura de reparto a decantadores primarios de la planta de tratamiento de aguas residuales de la PTAR Salitre fase II

EUREN ESTEBAN QUIROGA AGUILAR
Ing. En Mecatrónica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Email: quirogaeuren@gmail.com

MANUEL ALEJANDRO NIETO CÁRDENAS
Ing. Civil
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Email: manietoc@correo.udistital.edu.co

***Resumen* — En el 2007 se firmó el Convenio No. 171 Interadministrativo entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y la Secretaria Distrital de Ambiente con el fin de aunar esfuerzos para contribuir al saneamiento del Rio Bogotá, estableciendo el alcance del megaproyecto y la definición de las obras, en este contexto, se da paso a la fase II de la PTAR. En este trabajo se presenta el diseño y simulación de la automatización de la estructura de reparto a decantadores primarios de la planta de tratamiento de aguas residuales de la PTAR Salitre Fase II, valiéndose de un PLC modular y una pantalla HMI, donde se podrá tener la trazabilidad y control del sistema de forma gráfica e intuitiva.**

***Palabras claves* — PTAR, Canaleta Parshall, SetPoint, HMI, Analógico.**

I. INTRODUCTION

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR El Salitre es un complejo tecnológico fundamental para el saneamiento del río Bogotá, ubicado, al noroccidente de la ciudad, en la salida por la calle 80 entre las localidades de Engativá y Suba. El predio se encuentra al costado izquierdo del Humedal Juan Amarillo y al oriente del río Bogotá, próximo a los barrios de Lisboa y Santa Cecilia de la localidad de Suba, y las urbanizaciones el Cortijo y Ciudadela Colsubsidio de la localidad de Engativá. Ver figura 1

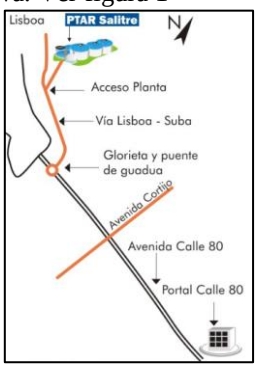


Fig. 1, Ubicación PTAR Salitre
Tomada de: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP.

El sitio en donde se encuentran las instalaciones actuales de la PTAR El Salitre y en donde se piensa hacer su ampliación, corresponde al antiguo botadero de basuras denominado El Cortijo que, fue cerrado en el año 1985, después de haber funcionado durante cerca de 20 años como uno de los botaderos de basura empleados por el Distrito a través de la EDIS (Empresa Distrital de Servicios Públicos). Después del cierre del botadero, se autorizó disponer en ese lote únicamente tierra y desechos de construcción para conformar la cobertura de las basuras.

La construcción de la primera fase de la PATR se inició en septiembre de 1997 y terminó en el año 2000, entrando en operación la planta en septiembre de dicho año. Para la construcción de la primera fase de la PTAR El Salitre fue necesario retirar cerca de 153.000 m3 de basuras y escombros que estaban depositados en la zona que ocuparían las obras; estos materiales se depositaron en la zona media del lote, generando unas terrazas.

Es así como, el 26 de junio de 2007 se firmó el Convenio No. 171 Interadministrativo entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la CAR y la Secretaría Distrital de Ambiente, cuyo objeto es "aunar esfuerzos para contribuir al logro del saneamiento del Río Bogotá", donde claramente se establece el alcance del Megaproyecto Río Bogotá y se define cómo se ejecutarán las obras allí incluidas, así como las distintas fuentes financieras para su realización.

El diseño básico de la PTAR fase II se realizó para un caudal promedio de diseño de 7 m^3/s, con un caudal pico horario con clima seco de 14 m^3/s. Una consideración clave en el diseño básico consistió en la incorporación de la planta existente (4 m^3/s,) dentro de la planta nueva (7 m^3/s.) ya ampliada, teniendo en cuenta las restricciones en el perfil hidráulico. De acuerdo con esto, el agua residual continuará siendo tratada, sin interrupción, durante la construcción de las nuevas obras y durante las modificaciones a dichas instalaciones existentes, por lo tanto se hace de vital importancia la que la estructura de

reparto a los decantadores primarios de la PTAR fase I y los decantadores primarios de la PTAR fase II de la planta de tratamiento de aguas residuales El PTAR salitre, dichos decantadores están conformados en dos grupos de 4 para los decantadores de la PTAR fase I y dos grupos de 3 decantadores en la PTAR fase II para un total de 14 decantadores primarios que se ocuparan de la eliminación de los sólidos sedimentables y las materias flotantes del agua cruda que entra a la planta *[1]*.

El funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales se pueden identificar dos líneas de tratamiento visualizadas en la Figura 2.:

Línea de agua: en este proceso se realizará la remoción de las partículas en suspensión, las cuales deben ser monitorizadas rigurosamente desde el inicio del proceso.

Línea de Fangos: en este proceso se llevará a cabo la reducción de volumen para evitar el manejo de grandes cantidades de fango, la estabilización de estos para evitar problemas de fermentación y otros riesgos y su posterior disposición.

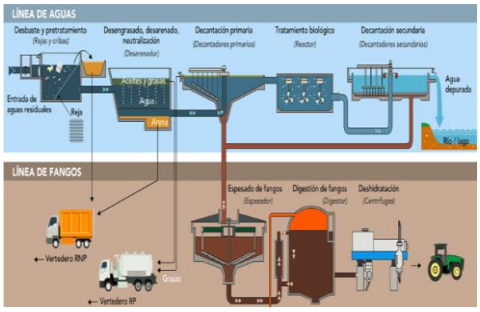


Fig. 2, Línea de agua y línea de fangos PTAR Salitre

De acuerdo con el proceso, en la línea de aguas la variable caudal representa un pilar importante en la calidad del agua tratada entregada al rio Bogotá, con lo cual se deberá garantizar que el volumen de agua en cada uno de los diferentes procesos sea el adecuado para que la remoción de carga orgánica cumpla con la normativa colombiana *[2]*.

II. Marco Teórico

A. *PTAR Salitre*

Las aguas residuales del norte y centro de Bogotá llegan a la PTAR El Salitre, ubicada en el noroccidente de la ciudad entre las localidades de Suba y Engativá, luego de que el agua ha sido tratada en la planta, se vierte al río Bogotá a la altura de la calle 80.

El proyecto de Ampliación de la Planta de Tratamiento El Salitre, se enmarca en la Sentencia 479 de 2004 del Tribunal de Cundinamarca, ratificada el 28 de marzo de 2014, la cual da un plazo perentorio de máximo tres años para implementar un Plan de Salvamento del Rio Bogotá y sentar las bases de su descontaminación definitiva *[3]*.

Actualmente la PTAR Salitre tiene un tratamiento primario de 4 metros cúbicos de agua por segundo, sin embargo, le llegan 15 metros cúbicos por segundo producido por cerca de 3 millones de habitantes que comprende la cuenca Salitre, la cual va desde la calle 220 hasta la calle 26 y desde los cerros orientales hasta el rio Bogotá. La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR es la encargada del proyecto de ampliación y optimización de la PTAR Salitre, permitiendo que a las aguas del norte y centro de la ciudad se les dé un tratamiento secundario con desinfección a las aguas residuales y se logre tratar un caudal promedio de 7,1 m^3/s.

Los trabajos de la planta serán ejecutados con tecnología de punta denominada “Lodos activados” avalada por el Banco Mundial, quien ha acompañado a la CAR durante todo el proceso de investigación y diseño del proyecto. La tecnología consiste en el aprovechamiento de los biosólidos, (residuos orgánicos) que se produzcan en el tratamiento de aguas y que serán utilizados en la recuperación de los suelos degradados de la jurisdicción *[4]*.

Planta estructura de derivación. La obra de reparto prevista pretende distribuir el caudal entrante de igual manera entre los catorce decantadores primarios (ocho existentes y seis nuevos) en cualquier circunstancia.

Esto se consigue con la ejecución de una obra que consta de dos partes. Una primera equipada con cuatro compuertas vertedero que en función del caudal de entrada repartirán el caudal de manera equitativa a cada uno de los catorce decantadores. La segunda parte consiste en canales Parshall los cuales permiten medir el caudal en canales abiertos.

B. *Canales Parshall*

Las canaletas Parshall son estructuras hidráulicas en las cuales se puede medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado. Los medidores Parshall se conforman de cuatro zonas principales: Transición de entrada, Sección convergente, Garganta y Sección divergente.

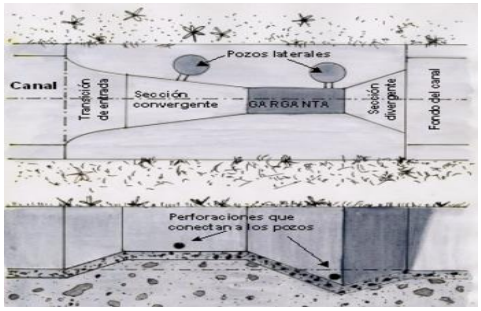


Fig. 2, Canal de Parshall
Tomada de: http://www.sierterm.es/tiki-index.php?page=canal+aforador

La deducción del valor del caudal está relacionado con la altura que alcanza el fluido en la zona de divergencia, ya que experimenta un cambio estrechando la anchura de la garganta y levantando la base, esto genera que el fluido se eleve o se remanse, allí se establece una relación entre la elevación del agua y el gasto. La expresión matemática que determina el valor del caudal es la siguiente:

$$Q = C * (Ha)^n \qquad (1)$$

Donde:
Q: Caudal.
Ha: Profundidad del agua en una posición dada.
C y n: Constantes que dependen de las dimensiones del canal y

se determinan en laboratorio.

C. *Sensor de nivel por radar*

El nivel del líquido se mide mediante señales de radar transmitidas desde la antena en la parte superior del canal. Una vez que la señal de radar se refleja en la superficie líquida, el eco es captado por la antena. Dado que la señal varía en frecuencia, el eco tiene una frecuencia ligeramente diferente a la de la señal transmitida en ese momento. La diferencia de frecuencia es proporcional a la distancia al líquido, y se puede calcular con precisión. Este método se denomina de Onda Continua de Frecuencia Modulada (FMCW, por sus siglas en inglés), y se utiliza en todos los medidores por radar de alto rendimiento gracias a que también su curva característica es lineal *[5]*.

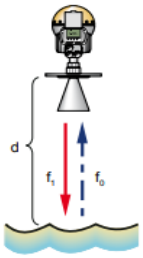


Fig. 3, Sensor Radar por nivel.
Tomado de http://www2.emersonprocess.com/

D. *Software CX-One de OMRON*

Esta Suite de software permite elaborar, configurar y programar una serie de dispositivos como PLCs, Terminales Programables HMI, sistemas de control de movimiento y redes con un solo paquete de software. De este modo se reduce considerablemente la complejidad de la configuración y permite que los sistemas de automatización se programen o configuren con una mínima formación.

Los softwares que se utilizaran de la suite son: CX-Programmer, CX-Designer y CX-Simulator.

CX-Programmer: Este software cuenta con una interfaz dotada con cuadros de diálogo de ajuste de parámetros que reducen el tiempo de configuración además con bloques de función estándar en texto estructurado IEC 61131-3 o lenguaje de diagrama de relés convencional *[6]*.

Cuenta con las siguientes características:

- Conexión automática mediante enlaces USB o serie
- Seguridad mejorada: proteja sus conocimientos
- Pantallas de configuración sencilla para todas las unidades de PLC
- Herramientas de simulación de PLC incluidas: realice pruebas antes de la descarga

CX-Designer: Es el software para programación de terminales HMI de la serie NS permitiendo compartir etiquetas entre PLC y HMIs *[7]*, algunas de las características son:

- Proporciona una apariencia de Windows y una interfaz de usuario totalmente personalizable.
- Incluye compatibilidad con fuentes con una apariencia correcta en la pantalla incluso cuando se aumenta. También hay disponibles fuentes de siete segmentos. Para las alarmas y las cadenas de caracteres se pueden usar fuentes nítidas.
- Compatibilidad internacional gracias a los 42 idiomas disponibles, incluyendo idiomas orientales.

CX-Simulator: Drivers para la conexión entre los softwares de la suite de Cx-One de Omron, mediante este software se podrá realizar la depuración de PLC integrado con la pantalla HMI y así detectar posibles errores en comunicación, diseño y lógica realizada *[8]*.

E. *Hardware de OMRON*

Omron proporciona PLC de todo las Gamas tanto modulares como compactos, permitiendo el manejo hasta de 2560 puntos de E/S, los cuales dependerán de las aplicaciones que se vayan a implementar. Estos equipos son de fácil configuración y cuentan con protocolos de comunicación universales.

Para este proyecto se utilizó un PLC modular de la Serie CJ2M con una CPU13 que cuenta con 20K pasos de programa con un tiempo de ejecución de instrucciones de 0.04us, adicionalmente soporta hasta 40 módulos *[9]*.

Omron cuenta con módulos básicos de E/S, de comunicación e inteligentes, estos últimos son aquellos que realizan un pre --- procesamiento a la señal. Para el proyecto se utilizaron los siguientes módulos:

AD042: Este módulo inteligente es el encargado de realizar una conversión analógica Digital de voltaje (0 a 10 Vdc) y/o de corriente (4 a 20 mA), este módulo cuenta con 4 entradas analógicas configurables de forma independiente *[10]*.

OC211: Salidas digitales de Relé, este módulo posee 16 puntos de salida conmutables mediante relés mecánicos, estos puntos tienen una capacidad de 250 VAC/24 VDC a 2A *[11]*.

ID211: Entradas digitales, este módulo posee 16 puntos de entradas a 24Vdc con una capacidad máxima de 7 mA *[12]*.

III. DESARROLLO

A. *Pantalla o HMI*

Para el desarrollo del proyecto se comenzó con el diseño de la interface en la pantalla HMI, la cual fuera fácil e intuitiva para todos los participantes del proceso para el ajuste y supervisión, en la figura 5 se observa el diseño que se planteó de los flujos de las pantallas.

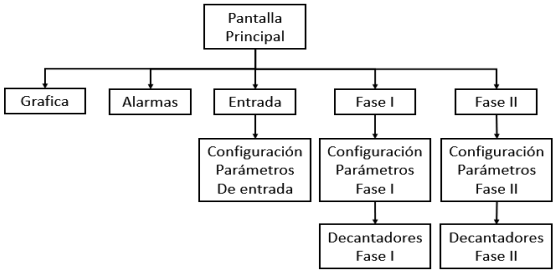


Fig. 5. Diseño Pantallas HMI

En cada pantalla de visualizan datos específicos de la zona a controlar, y de cada su pantalla se tiene la posibilidad de volver a la pantalla principal.

Para la realización de las pantallas se usaron colores de alto contraste para facilitar la lectura e identificación de elementos sin generar fatiga visual en los operadores.

- Pantalla Principal

En esta pantalla presentada en la Figura 6 se observa el sistema general de la estructura de reparto, desde el diagrama se puede acceder a cada subsistema (Entrada, Fase I y Fase II) para su control y configuración, adicionalmente en esta pantalla se observan los caudales que pasan por cada canal hacia los decantadores habilitados

Desde la pantalla principal se acceden a la gráfica de los caudales en tiempo real y a la visualización de alarmas. En esta pantalla existe la selección de modo de operación (Automático o Manual); según esta selección se habilitan o deshabilitan controles en cada una de las pantallas, en modo manual el sistema permite la manipulación de los diferentes elementos sin tener en cuenta un control, por otro lado, en modo Automático el sistema ajusta sus elementos para seguir la señal de Set Point definida en cada subsistema.

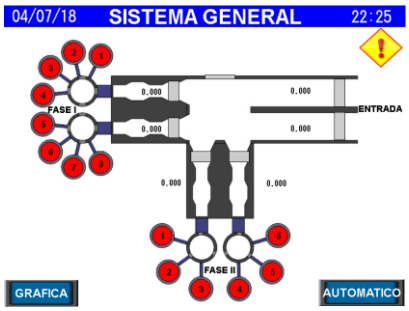


Fig.6, Pantalla Principal

- Gráfica

Esta pantalla presentada en la figura 7, permite visualizar en tiempo real la variación de los caudales en cada canal del sistema, estos están identificados por diferentes colores como se indica en la parte inferior de la pantalla. El periodo de muestreo de las señales se configuro en 1 segundo.

La pantalla tiene capacidad de almacenar la trazabilidad de las 6 señales aproximadamente por 42 horas continuas, ya que posee 15400 puntos de registro de almacenamiento, una vez pasen las 42 horas estos datos se rescribirán.

En esta misma pantalla están los controles de la gráfica, entre los más importantes están: Inicio, Pausa, Detener, Borrar, Importar y Exportar, Estas últimas 2 opciones utilizan una memoria eprom o USB extraíble.

- Alarmas

En el sistema se programaron las alarmas necesarias para identificación de problemas en la estructura de reparto, las alarmas son las visualizadas en la tabla 1.

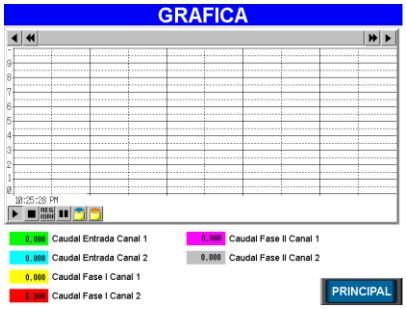


Fig. 7, Pantalla Grafica

TABLA 1
ALARMAS DEL SISTEMA

No	Alarma	Detalle
0	Caudal Alto en la Entrada	Caudal Alto en los canales de Entrada a la estructura de reparto
1	Caudal Bajo en la Entrada	Caudal Bajo en los canales de Entrada a la estructura de reparto
2	Caudal Alto en la Fase I	Caudal Alto en los canales de la Fase I de la estructura de reparto
3	Caudal Bajo en la Fase I	Caudal Bajo en los canales de la Fase I de la estructura de reparto
4	Caudal Alto en la Fase II	Caudal Alto en los canales de la Fase II de la estructura de reparto
5	Caudal Bajo en la Fase II	Caudal Bajo en los canales de la Fase II de la estructura de reparto
6	Error Motor Entrada, Compuerta del Canal 1	Error en las protecciones del Motor de la compuerta del Canal 1 en la Entrada
7	Error Motor Entrada, Compuerta del Canal 2	Error en las protecciones del Motor de la compuerta del Canal 2 en la Entrada
8	Error Motor Fase I, Compuerta del Canal 1	Error en las protecciones del Motor de la compuerta del Canal 1 en la Fase I
9	Error Motor Fase I, Compuerta del Canal 2	Error en las protecciones del Motor de la compuerta del Canal 2 en la Fase I
10	Error Motor Fase II, Compuerta del Canal 1	Error en las protecciones del Motor de la compuerta del Canal 1 en la Fase II
11	Error Motor Fase II, Compuerta del Canal 2	Error en las protecciones del Motor de la compuerta del Canal 2 en la Fase II

Esta HMI tiene la capacidad de almacenar hasta 100 registros históricos de alarmas y utiliza un buffer circular sobrescribiendo los más antiguos, sin embargo, estos registros se pueden exportar a una memoria eprom o USB extraíble

En esta pantalla de visualización de alarmas exhibida en figura 8, se observa la fecha y hora del suceso, descripción del suceso y la fecha de cancelación o corrección de la alarma. Con el botón de Reset se reestablecen las alarmas una vez corregidas.

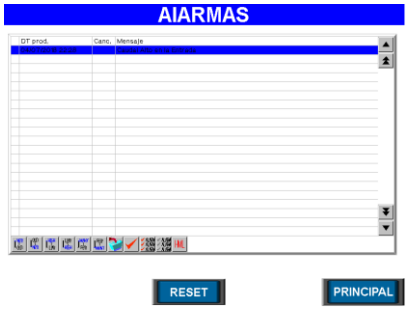


Fig. 8, Pantalla Alarmas

- Pantallas de entrada, fase I y fase II

Desde estas pantallas de Entrada mostrada en la figura 9, Fase I en la figura 10 y Fase II en la figura 11 se visualiza el funcionamiento de cada subsistema de forma gráfica e intuitiva, aquí también se encuentran los controles manuales de las compuertas cuando este modo se encuentra activado, de lo contrario estos controles se ocultan. Desde estas pantallas se accede a las configuraciones de los subsistemas respectivamente

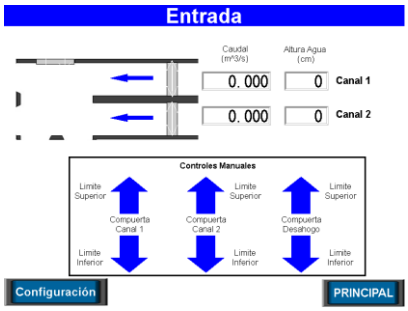


Fig. 9, Pantalla Entrada

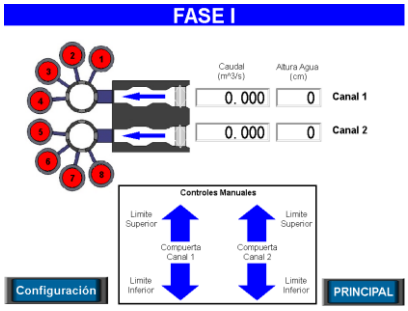


Fig. 10, Pantalla Fase I

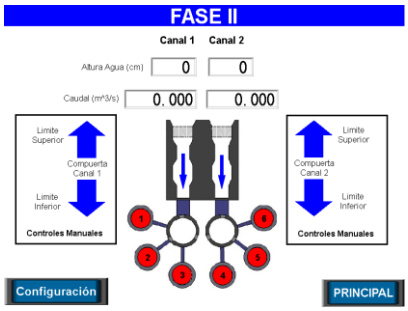


Fig. 11, Pantalla Fase II

- Configuración

En estas 3 subpantallas, una para cada subsistema se encuentra los parámetros de configuración para cada canal, estos parámetros son:

Caudal Set Point: Caudal de trabajo para el canal. En la Fase I y Fase II este parámetro es automático una vez se configuren los decantadores.

Constante C: Constante C del Canal Parshall

Constante n: Constante n del Canal Parshall

Altura Sensor: Es la Altura desde el suelo a la que se encuentra instalado el sensor para medir la altura del agua al interior del canal.

Todos los Canales del sistema poseen los mismos parámetros de configuración descritas anteriormente y mostrados en la figura 12, sin embargo, desde estas pantallas de configuración observadas en la figura 13 para la Fase I y figura 14 para la Fase II se acceden a la configuración de los decantadores.



Fig. 12, Configuración de entrada



Fig. 13, Configuración Fase I



Fig. 14, Configuración Fase II

- Decantadores

Estas pantallas están disponibles para la Fase I y Fase II donde se seleccionarán los decantadores que se desean que estén en funcionamiento, esto con el fin de programar mantenimiento a estos sistemas.

El programa realiza el cálculo del punto de trabajo del caudal (Set Point) dependiendo de la cantidad de decantadores activados por Canal y la capacidad de procesamiento de cada uno de ellos (Caudal). Estas pantallas son las mostradas en la figura 15 y figura 16 respectivamente.



Fig. 15, Configuración decantadores Fase I



Fig. 16, Configuración decantadores Fase II

B. PLC

La distribución de entradas y salidas utilizada en los módulos del PLC es la que se muestra en la tabla 2, donde la dirección es según la ubicación del módulo en la configuración del Hardware con los módulos del PLC, la cual se podrá observar en la Figura 17:

TABLA 2
DISTRIBUCIÓN SEÑALES PLC

MODULO	DIR.	SIMBOLO	DESCRIPCION
Entrada Analógica	2001	Analógica Entrada 1	Sensor Analógico Altura Entrada Canal 1
Entrada Analógica	2002	Analógica Entrada 2	Sensor Analógico Altura Entrada Canal 2
Entrada Analógica	2003	Analógica F1 Canal 1	Sensor Analógico Altura Fase I Canal 1
Entrada Analógica	2004	Analógica F1 Canal 2	Sensor Analógico Altura Fase I Canal 2
Entrada Analógica	2011	Analógica F2 Canal 1	Sensor Analógico Altura Fase II Canal 1
Entrada Analógica	2012	Analógica F2 Canal 2	Sensor Analógico Altura Fase II Canal 2
Salida Digital	0.00	válvula 1-1	Electroválvula Fase I Decantador 1
Salida Digital	0.01	válvula 1-2	Electroválvula Fase I Decantador 2
Salida Digital	0.02	válvula 1-3	Electroválvula Fase I Decantador 3
Salida Digital	0.03	válvula 1-4	Electroválvula Fase I Decantador 4
Salida Digital	0.04	válvula 1-5	Electroválvula Fase I Decantador 5
Salida Digital	0.05	válvula 1-6	Electroválvula Fase I Decantador 6
Salida Digital	0.06	válvula 1-7	Electroválvula Fase I Decantador 7
Salida Digital	0.07	válvula 1-8	Electroválvula Fase I Decantador 8
Salida Digital	0.08	válvula 2-1	Electroválvula Fase II Decantador 1
Salida Digital	0.09	válvula 2-2	Electroválvula Fase II Decantador 2
Salida Digital	0.10	válvula 2-3	Electroválvula Fase II Decantador 3
Salida Digital	0.11	válvula 2-4	Electroválvula Fase II Decantador 4
Salida Digital	0.12	válvula 2-5	Electroválvula Fase II Decantador 5
Salida Digital	0.13	Válvula 2-6	Electroválvula Fase II Decantador 6
Salida Digital	0.14	Motor Arriba E C1	Contactor Motor Compuerta Arriba Entrada Canal 1
Salida Digital	0.15	Motor Abajo E C1	Contactor Motor Compuerta Abajo Entrada Canal 1
Salida Digital	1.00	Motor Arriba E C2	Contactor Motor Compuerta Arriba Entrada Canal 2
Salida Digital	1.01	Motor Abajo E C2	Contactor Motor Compuerta Abajo Entrada Canal 2
Salida Digital	1.02	Motor Arriba F1 C1	Contactor Motor Compuerta Arriba Fase I Canal 1
Salida Digital	1.03	Motor Abajo F1 C1	Contactor Motor Compuerta Abajo Fase I Canal 1
Salida Digital	1.04	Motor Arriba F1 C2	Contactor Motor Compuerta Arriba Fase I Canal 2
Salida Digital	1.05	Motor Abajo F1 C2	Contactor Motor Compuerta Abajo Fase I Canal 2
Salida Digital	1.06	Motor Arriba F2 C1	Contactor Motor Compuerta Arriba Fase II Canal 1
Salida Digital	1.07	Motor Abajo F2 C1	Contactor Motor Compuerta Abajo Fase II Canal 1
Salida Digital	1.08	Motor Arriba F2 C2	Contactor Motor Compuerta Arriba Fase II Canal 2
Salida Digital	1.09	Motor Abajo F2 C2	Contactor Motor Compuerta Abajo Fase II Canal 2
Salida Digital	1.10	Motor Arriba Compuerta	Motor Arriba Compuerta Aliviadero
Salida Digital	1.11	Motor Abajo Compuerta	Motor Abajo Compuerta Aliviadero
Entrada Digital	3.00	Final carrera Sup E C1	Final de Carrera Superior Entrada Canal 1
Entrada Digital	3.01	Final Carrera inf E C1	Final de Carrera Inferior Entrada Canal 1
Entrada Digital	3.02	Final carrera Sup E C2	Final de Carrera Superior Entrada Canal 2
Entrada Digital	3.03	Final Carrera inf E C2	Final de Carrera Inferior Entrada Canal 2
Entrada Digital	3.04	Final de carrera Sup F1C1	Final de Carrera Superior Fase I Canal 1
Entrada Digital	3.05	Final de carrera Inf F1C1	Final de Carrera Inferior Fase I Canal 1
Entrada Digital	3.06	Final de carrera Sup F1C2	Final de Carrera Superior Fase I Canal 2
Entrada Digital	3.07	Final de carrera Inf F1C2	Final de Carrera Inferior Fase I Canal 2
Entrada Digital	3.08	Final de carrera Sup F2C1	Final de Carrera Superior Fase II Canal 1

MODULO	DIR.	SIMBOLO	DESCRIPCION
Entrada Digital	3.09	Final de carrera Inf F2C1	Final de Carrera Inferior Fase II Canal 1
Entrada Digital	3.10	Final de carrera Sup F2C2	Final de Carrera Superior Fase II Canal 2
Entrada Digital	3.11	Final de carrera Inf F2C2	Final de Carrera Inferior Fase II Canal 2
Entrada Digital	3.12	Guardamotor E C1	Guardamotor Motor Compuerta Entrada Canal 1
Entrada Digital	3.13	Guardamotor E C2	Guardamotor Motor Compuerta Entrada Canal 2
Entrada Digital	3.14	Guardamotor F1 C1	Guardamotor Motor Compuerta Fase I Canal 1
Entrada Digital	3.15	Guardamotor F1 C2	Guardamotor Motor Compuerta Fase I Canal 2
Entrada Digital	4.00	Guardamotor F2 C1	Guardamotor Motor Compuerta Fase II Canal 1
Entrada Digital	4.01	Guardamotor F2 C2	Guardamotor Motor Compuerta Fase II Canal 2
Entrada Digital	4.02	Final de carrera Sup Compuerta	Final de Carrera Superior Compuerta Aliviadero
Entrada Digital	4.03	Final de carrera Inf Compuerta	Final de Carrera Inferior Compuerta Aliviadero

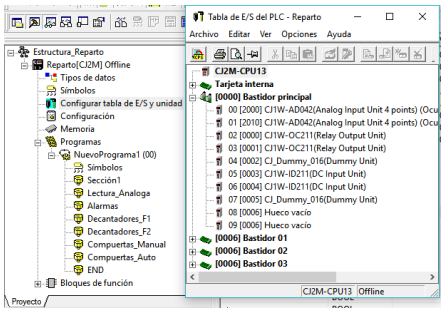


Fig. 17, Configuración Hardware PLC

En la configuración de Hardware del PLC se observan 2 módulos llamados Dummy_016, Estos dispositivos ayudan a reservar espacio en canal en el PLC, esto con la finalidad de posibles ampliaciones en el Hardware del PLC, es decir, en estos espacios es posible instalar módulos de 16 puntos de conexión sin modificar disposición de registros al interior del PLC.

La configuración de los módulos analógicos es la mostrada en la Figura 18, donde se observa que las entradas analógicas están configuradas para recibir y convertir una señal de corriente de 4 a 20mA, los dos módulos de entradas analógicas están configurados de la misma forma

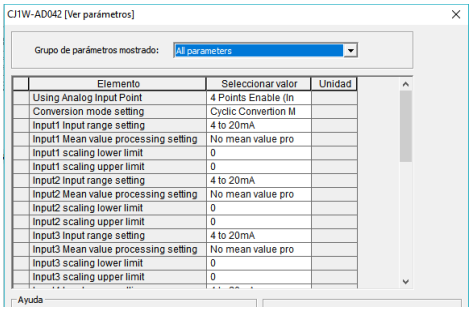


Fig. 18, Configuración Módulos Analógicos.

El programa del PLC se dividió en secciones para facilitar la programación, estas secciones son: lectura analógica, alarmas, decantadores_Fase1, decantadores_Fase2, compuertas manual y compuertas auto, adicionalmente se crearon dos bloques de función para cálculos matemáticos complejos: BCD2_REAL y cálculo caudal, esta distribución se visualiza en el árbol del proyecto en la figura 19.

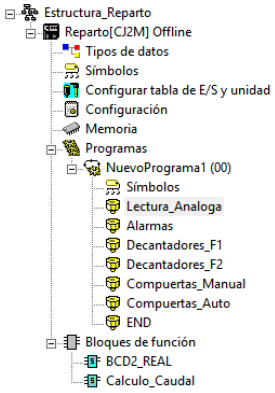


Fig.19, Árbol de proyecto PLC

- Lectura Analógica

En esta sección se realiza el procesamiento de la señal analógica, desde la lectura hasta el cálculo del caudal. La señal pasa por diferentes pasos: Escalamiento de la señal para calcular la distancia desde el sensor al agua, posteriormente se calcula la altura del agua, esta se obtiene de la resta de la altura del sensor proporcionada mediante HMI y la lectura del sensor, estos valores es necesario cambiarlos de tipos de datos para sus operaciones aritméticas, para lo cual fue necesario diseñar una función BCD2_REAL que se observa en la figura 20, visto que esta función no existe en lenguaje Ladder y se programó en texto estructurado.

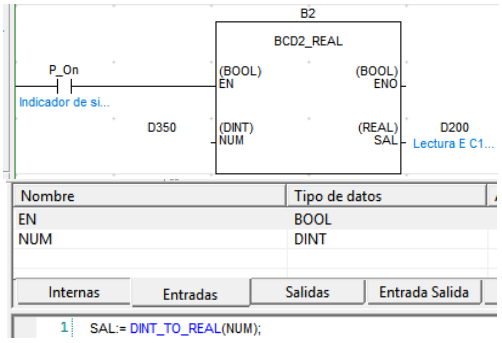


Fig. 20, Función de conversión tipo de datos

Una vez realizo la conversión de tipos de datos se procede a realizar el cálculo de caudal con la formula del canal Parshall, utilizando las constantes suministradas desde la HMI, para este cálculo se realizó mediante una función programa en texto estructurado, debido a que la función de exponente no existe en lenguaje Ladder, la función es la mostrada en la figura 21

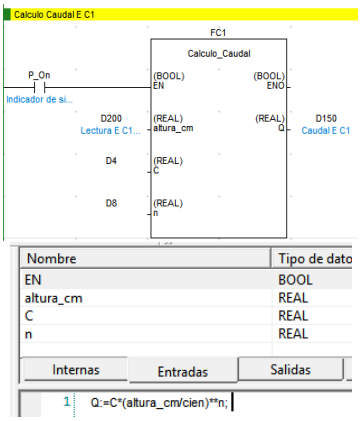


Fig. 21, Función Cálculo de Caudal

El proceso anterior se realiza para las seis entradas analógicas de los sensores de altura instalados en cada canal Parshall del sistema.

- Alarmas

En esta sección se programaron las alarmas del sistema según la tabla 3 referenciada anteriormente con los mensajes de alarmas.

Para iniciar se realiza el cálculo de los limites mínimos y máximos de cada caudal, esto se realiza con el valor de tolerancia suministrado en la HMI para cada canal. Este valor de Tolerancia es sumado y restado al valor del Set Point.

Cuando el Caudal se encuentra fuera de esta tolerancia el equipo espera el tiempo de estabilización (Parámetro desde HMI) para activar la señal que indica la Alarma correspondiente en cada canal.

En la figura 22 se observa el proceso de generación de alama de Caudal, este procedimiento se realiza para cada Caudal del Sistema.

Las señales de las protecciones de los motores de las compuertas (Guardamotores) al ser un contacto ON/OFF no es necesario que tenga un proceso especial, está activa inmediatamente la alarma una vez se produzca el suceso de la protección.

- Decantadores_fase1 y decantadores_fase 2

En estas secciones se realiza la activación y desactivación de las electroválvulas que controlan el paso del caudal a los decantadores de cada canal en cada Fase, adicionalmente se realiza el cálculo del Caudal que debe circular en el canal según la cantidad de decantadores activos desde la HMI. En la figura 23 se presenta el código para un decantador, este código se repite para todos los decantadores del sistema.

- Compuertas_Manual

El código en esta sección se activa cuando desde la pantalla principal se selecciona Manual como modo de operación dejando manipular las compuertas de los canales mediante pulsadores en el HMI, en la figura 24 se observa la lógica de control en modo manual para una compuerta.

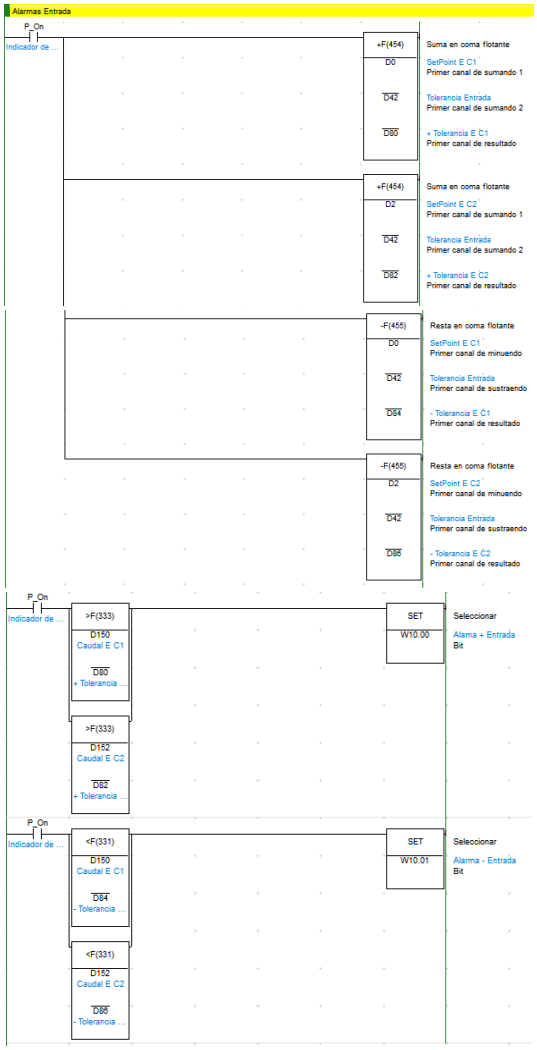


Fig. 22, Programación alarmas de Caudal

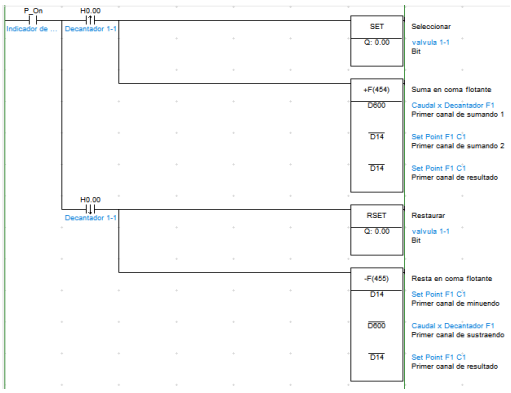


Fig.23, Programación Decantadores

Cabe aclarar que los finales de carrera instalados para cada compuerta son normalmente cerrados, es decir, mientras la compuerta no alcance ningún límite (superior o inferior) el contacto de este sensor permanece cerrado, una vez la compuerta alcance uno de los dos limites el respectivo contacto se abrirá.

El código en la figura 24 es el mismo para cada una de las compuertas del sistema.

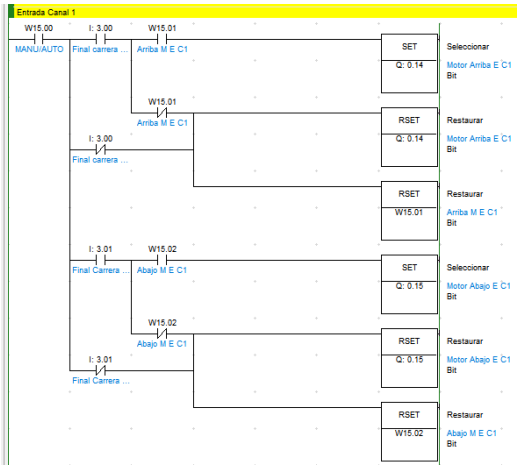


Fig. 24, Programación de las compuertas en modo manual

- Compuertas_Auto

El control automático de caudal se realiza en esta sección del programa una vez en la pantalla principal se encuentre en modo Automático. Esta sección utiliza la información del cálculo de las tolerancias para regular las alturas de las compuertas en cada canal, y así controlar el caudal en el punto de trabajo.

En la figura 25 se observa el código de una de las compuertas, debido a que las seis funcionan de la misma forma cambiando únicamente el Set Point.

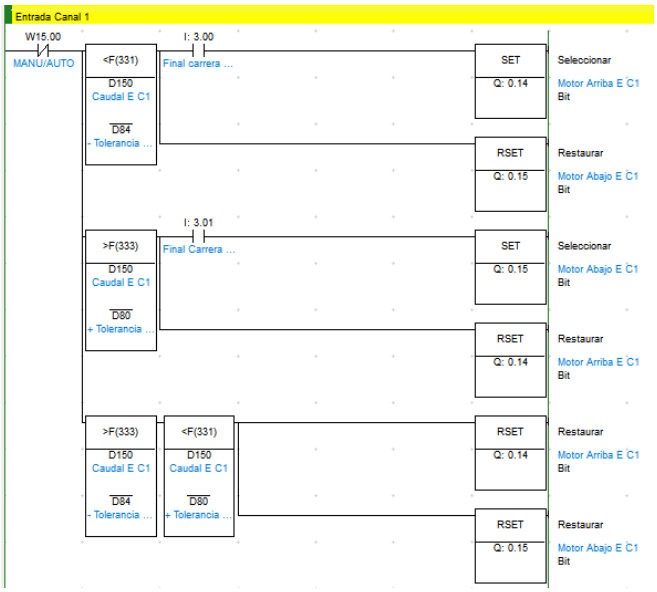


Figura 25, Programación de las compuertas en modo Automático

IV. Simulación y Resultados

La simulación del sistema se realizó mediante CX-Simulator, el cual permite integrar el programa del PLC y de la HMI como se puede observar en la figura 26.

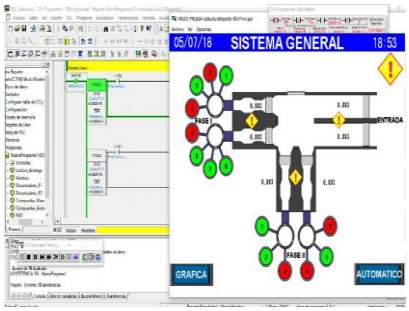


Fig. 26, Conexión HMI y PLC con CX-Simulator

Debido a que el sistema posee señales analógicas externas, fue necesario realizar una consola en la pantalla como se observa en la figura 27, la cual permite variar la señal de los canales y poder realizar una simulación más aproximada.

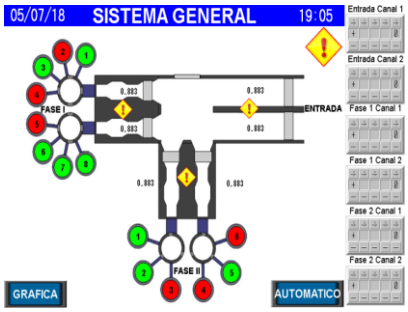


Fig. 27, Consola simulación canales Analógicos.

Los parámetros de configuración de cada uno de los canales que se usaron fueron:

C=6.112; n=1.607; Altura Sensor=200 cm

Estos valores se tomaron a partir de un ancho de garganta de 2,4384 m que de acuerdo a configuraciones ya estudiadas en laboratorio se obtiene una zona de transición de 4,172 m que constructivamente de ajusta a las condiciones geométricas de la en terreno, sin embargo, de deberán ajustar las variables con un modelo a escala en un laboratorio de hidráulica para su construcción [13], dichos valores fueron introducidos en cada pantalla de configuración como se observa en la figura 28.

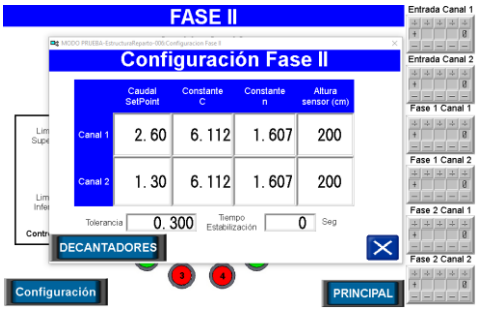


Fig. 28, Parámetros de configuración

Los Set Point de los caudales fueron calculados con la activación de algunos decantadores en cada Fase; para la Fase I, 5 Decantadores como se muestra en la figura 29 y la figura 30 para la Fase II con 3 Decantadores.

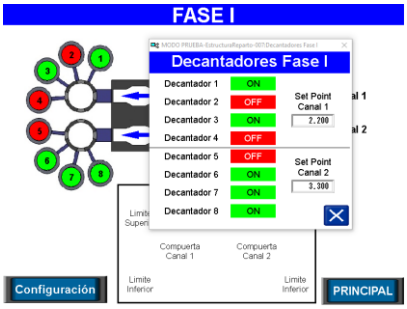


Fig. 29, Configuración decantadores Fase I

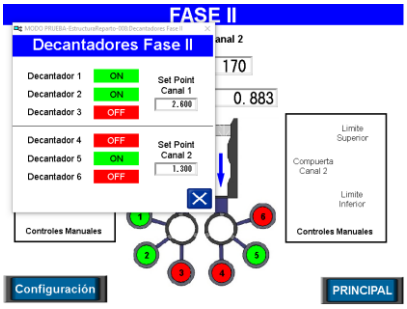


Fig. 30, Configuración decantadores Fase II

En la pantalla principal, figura 31 se observan símbolos de alarmas en cada uno de los subsistemas indicando sucesos anormales, para ver el detalle de estas alarmas es necesario entrar a la pantalla de visualización de alarmas, figura 32, con el pulsador de reset se restablecen las alarmas una vez sean corregidas.

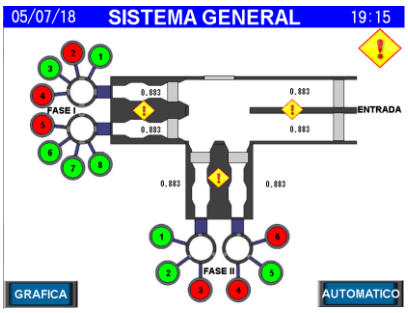


Fig. 31, Símbolos de Alarmas en pantalla Principal

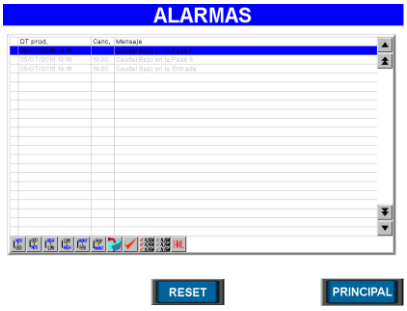


Fig. 32, Pantalla Alarmas

En modo automático cuando la señal del caudal se encuentra fuera de la tolerancia el sistema se empieza a justar, esto lo hace subiendo o bajando la compuerta del canal como se muestra en la figura 33 mostrada a continuación, se observa en las compuertas el movimiento que está teniendo para lograr alcanzar el Set Point que se encuentra ubicado en 5 m^3/s en cada canal como se observa en la figura 34.

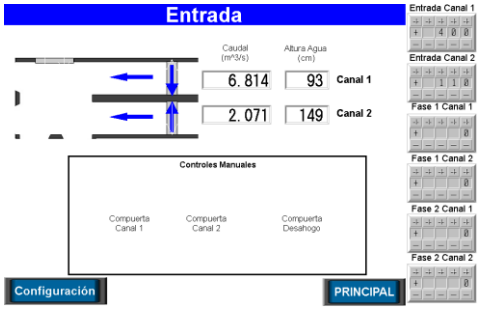


Fig. 33, Pantalla Entrada, movimiento compuertas



Fig. 34, Configuración Pantalla Entrada

Esta misma situación ocurre en la Fase I en la figura 35 y en la Fase II en la figura 36 del sistema

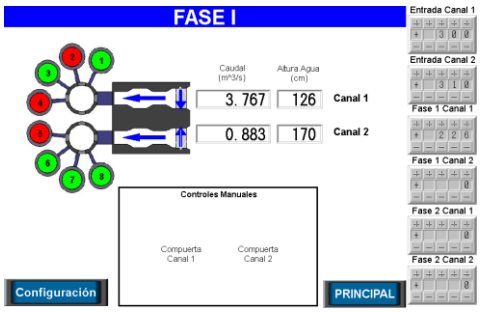


Fig. 35, Pantalla Fase I, movimiento compuertas

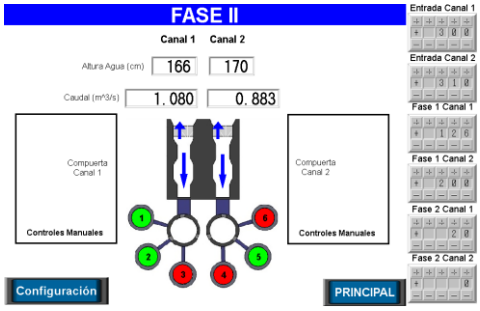


Fig. 36, Pantalla Fase II, movimiento compuertas

Una vez la medida de caudal se encuentra dentro de la tolerancia el sistema detiene el movimiento de las compuertas. En la figura 37 se visualiza dicha situación. Adicionalmente el sistema me informa cual es la altura de agua y el caudal al

interior del canal, lo anterior sucede para la Fase I como se visualiza en la figura 38 y figura 39 para la Fase II

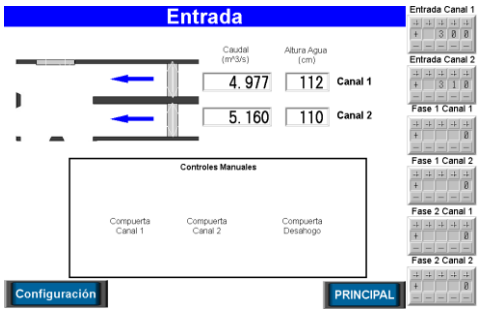


Fig. 37, Pantalla entrada, Set Point Alcanzado

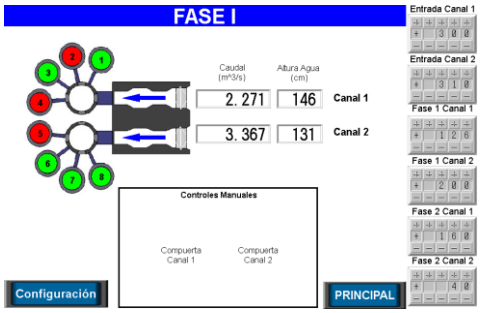


Fig. 38, Pantalla Fase I, Set Point Alcanzado

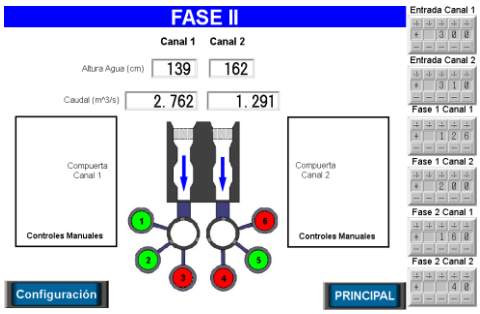


Fig. 39, Pantalla Fase II, Set Point Alcanzado

En la gráfica de datos se observan las variaciones que tienen los caudales en cada canal, asimismo se visualizan el valor actual de cada caudal en las convenciones de la gráfica tal como se ve en la figura 40.

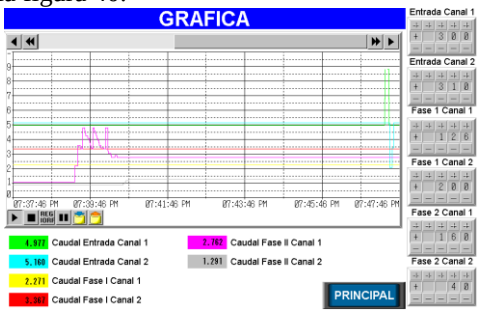
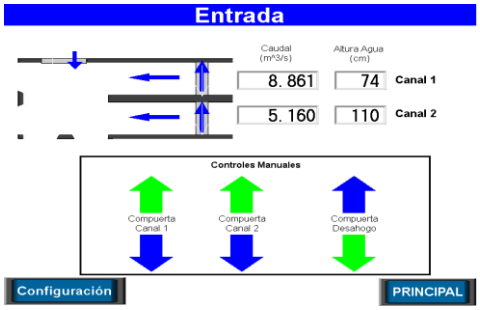
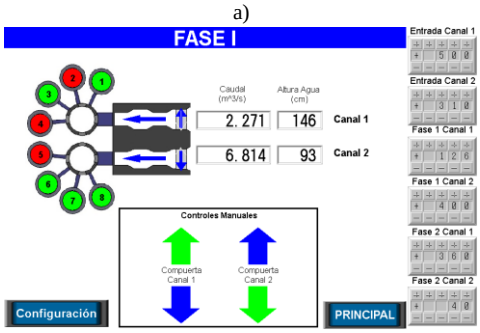


Fig. 40, Pantalla de visualización de graficas de Caudales.

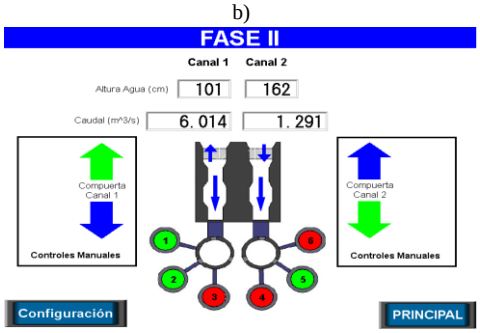
Cuando el modo Manual se encuentra seleccionado en cada uno de los subsistemas se habilitan los pulsadores para el control de las compuertas sin tener en cuenta el Set Point de cada Canal, tal como se observa en la figura 41(a, b, c).



a)



b)



c)

Fig. 41, a) Pantalla entrada - modo manual, b) Pantalla Fase I – modo manual, c) Pantalla Fase II – modo manual

V. CONCLUSIONES

- Los parámetros de configuración de los canales Parshall deberán ser hallados en laboratorio mediante prototipos a escala de los sistemas físicos una vez esté terminada la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Salitre Fase II.

- Hay que tener en cuenta que hay parámetros o variables que únicamente podrán ser medidas y ajustadas en HMI y PLC una vez se encuentre el sistema instalado, por ejemplo, la altura de los sensores, y las curvas características de cada sensor analógico.

- Se cumplieron los objetivos del proyecto realizando la simulación de la automatización de la estructura de reparto a los decantadores primarios de la planta de tratamiento de aguas residuales de la PTAR Salitre fase II.

VI. REFERENCIAS

[1] *Sentencia rio Bogotá consejo de estado [Online].Available: http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/3321e218-5b90-439e-949a86673e6b3573/SENTENCIA+RIO+BOGOTA+CONSEJO+DE+ESTADO +%281%29.doc?MOD=AJPERES&CVID=lu-Ylqv*

[2] *Proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá [Online]. Available: https://www.car.gov.co/uploads/files/5aeb703ac2083.pdf*

[3] *Corporación autónoma regional CAR, PTAR El Salitre [Online]. Available: https://www.car.gov.co/rio_bogota/vercontenido/9*

[4] *Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre [Online]. Available: http://ptarsalitre.com.co/ptar-salitre.php*

[5] *Sensores de Nivel [Online]. Available: http://www2.emersonprocess.com/*

[6] *CX-Programmer [Online]. Available: https://industrial.omron.es/es/products/cx-programmer*

[7] *CX-Designer [Online]. Available: https://industrial.omron.es/es/products/cx-designer*

[8] *CX-Simulator [Online]. Available:* https://industrial.omron.es/es/products/cx-simulator

[9] CJ-series CJ2M CPU Units, Pulse I/O Modules, OMRON, OMRON Corporation Industrial Automation Company, España, ES, 2017.

[10] *CJ-series CJ2M CPU Units, Pulse I/O Modules, OMRON, OMRON Corporation Industrial Automation Company*, España, ES, 2017.

[11] *CJ-Series Analog I/O Unit, OMRON, OMRON Corporation Industrial Automation Company*, España, ES, 2016.

[12] *CJ-series Output Units, OMRON, OMRON Corporation Industrial Automation Company*, España, ES, 2018.

[13] *Geometría Canales Parshall [Online]. Available: http://www.hidrojing.com/canal-parshall-casi-cien-anos-midiendo-caudales/*

[14] *CJ-series Input Units, OMRON, OMRON Corporation Industrial Automation Company*, España, ES, 2017.