



OPTIMIZACION Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDACTICA DE  
INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS

AMAURI ROMERO ESCOBAR  
ERICK SARMIENTO HERNANDEZ  
LUIS CARLOS MARROQUIN CASTILLA

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
ESPECIALIZACION EN AUTOMATIZACION Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.  
2016

OPTIMIZACION Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDACTICA DE  
INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS

AMAURI ROMERO ESCOBAR  
ERICK SARMIENTO HERNANDEZ  
LUIS CARLOS MARROQUIN CASTILLA

PROPUESTA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE  
ESPECIALISTA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES

DIRECTOR  
JORGE DUQUE PARDO  
MAGISTER EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
ESPECIALIZACION EN AUTOMATIZACION Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2016



## AUTORIZACIÓN

Nosotros, AMAURI ROMERO ESCOBAR, ERICK SARMIENTO HERNANDEZ y LUÍS CARLOS MARROQUÍN CASTILLA, identificados con cédulas de ciudadanía 9.103.176 de Cartagena, 73.192.015 de Cartagena y 1.128.050.740 de Cartagena respectivamente, autorizamos a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer buen uso del proyecto de grado titulado **OPTIMIZACION Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDACTICA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS**, y a publicarlo en el catálogo ONLINE de la Biblioteca.

AMAURI ROMERO ESCOBAR  
C.C. 9.103.176 de Cartagena

ERICK SARMIENTO HERNANDEZ  
C.C. 73.192.015 de Cartagena

LUÍS CARLOS MARROQUÍN CASTILLA  
C.C.1.128.050.740 de Cartagena

Cartagena de Indias, miércoles 27 de julio de 2016

Señores:

Comité Curricular

Especialización en Automatización y Control de Procesos Industriales

Universidad Tecnológica de Bolívar

Cordial Saludo:

Cordialmente me permito presentar a ustedes el trabajo titulado: **“OPTIMIZACIÓN Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDÁCTICA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS”**, desarrollado por los ingenieros, Amauri Romero Escobar, Erick Sarmiento Hernández y Luis Carlos Marroquín Castilla. Este trabajo ha sido desarrollado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Automatización y Control de Procesos Industriales.

Igualmente, certifico que he dirigido el trabajo ha sido revisado por mi parte, y que el documento presentado corresponde a los alcances aprobados por el comité curricular.

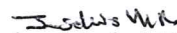
Atentamente,



Jorge Ejezer Duque Pardo

Director del Programa

Universidad Tecnológica de Bolívar



José Luis Villa, PhD

Docente del Programa

Universidad Tecnológica de Bolívar



Cartagena de Indias D.T. y C., 15 de Julio de 2016

Señores:

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
**ATN: COMITÉ EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Ciudad

Cordial Saludo.

Nos permitimos presentar formalmente ante ustedes el trabajo titulado **OPTIMIZACION Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDACTICA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS**, el cual fue dirigido por el Msc. JORGE DUQUE PARDO y desarrollado por nosotros, como requisito para optar al título de Ingenieros Electrónicos.

Atentamente,

\_\_\_\_\_  
AMAURI ROMERO ESCOBAR

C.C. 9.103.176 de Cartagena

\_\_\_\_\_  
ERICK SARMIENTO HERNANDEZ

C.C. 73.192.015 de Cartagena

\_\_\_\_\_  
LUIS CARLOS MARROQUIN CASTILLA

C.C. 1.128.050.740 de Cartagena

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Jurado

---

---

Jurado

---

---

Cartagena de Indias D.T. y C., \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016

*Gracias a Dios, a nuestras familias y amigos,  
por su acompañamiento e incondicional apoyo a lo largo de esta  
importante etapa de nuestras vidas.  
A nuestros amigos y profesores, por todos los momentos  
y experiencias compartidas.*

## AGRADECIMIENTOS

*En primera lugar agradezco a Dios, por ser el pilar de mi vida y quien ha permitido que esto sea posible. Ha permitido desarrollar en mí las características de un verdadero ciudadano, un gran profesional con sentido de pertenencia y amor por la labor que se realiza.*

*A mi familia, la cual ha sido un pilar fundamental para seguir creciendo como persona. Ha sido mi impulso para ser cada día mejor, para dar lo mejor y para estar entre los mejores.*

*Al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA por permitirme aplicar el conocimiento adquirido para contribuir en la mejora del recurso didáctico dentro de sus instalaciones.*

*Amauri Romero Escobar*

*En primer lugar agradezco a Dios por ser el cimiento de mi vidas; a mi esposa por su paciencia y sacrificio; a mis hijos por ser la motivación para ser cada día mejor en cada aspecto de mi vida; a mis padres y hermanos por su acompañamiento y motivación. A todos ellos agradezco por su apoyo incondicional y por ayudarme a crecer día a día.*

*A la Universidad Tecnológica de Bolívar, por todo el empeño colocado para brindarme desarrollo profesional acorde a las necesidades del mercado laboral. Así mismo, a su cuerpo docente por transmitir su experiencia y conocimiento.*

*Erick Sarmiento Hernandez*



*Como primera medida doy gracias a Dios por ser mi guía durante todo este proceso de formación como especialista. A mi esposa, por su amor, entrega y apoyo incondicional en cada momento de mi vida. A mis padres y hermanos, por depositar su confianza en mi para alcanzar esta meta. A mis compañero de proyecto, por colocar su esfuerzo y capacidades para lograr el objetivo propuesto.*

*Agradezco la oportunidad y la confianza brindada por el Servicio Nacional de Aprendizaje de la Regional Bolívar, específicamente el Centro para la Industria Petroquímica, por permitirme demostrar mis competencias en las ramas de Instrumentación Industrial, Automatización y Control de Procesos para contribuir al mejoramiento de los procesos de formación por medio de la optimización y mejora de la PLANTA Didáctica de Instrumentación y Control de Procesos.*

*Luis Carlos Marroquin Castilla*

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
1 INTRODUCCION	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
3 CONSIDERACIONES GENERALES	21
3.1 GENERALIDADES	21
3.2 SISTEMA ELECTRICO	24
3.2.1 Interruptor Termomagnético	25
3.2.2 Barraje Electrico	26
3.2.3 Transformadores de corriente.	27
3.2.4 Fuente de Alimentación.	27
3.2.5 Interruptor manual o de emergencia	28
3.2.6 Protector Electronico.	29
3.2.7 Controlador de Potencia.	29
3.2.8 Medidor de energía eléctrica.	30
3.3 SISTEMA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL	30
3.3.1 Elemento Primario	31
3.3.2 Indicador	31
3.3.3 Interruptor	32
3.3.4 Transmisor	32
3.3.5 Elemento final de control	33
3.3.6 Unidad de Control	34
3.4 SISTEMA SUPERVISORIO	36

	pág.
3.5 DESCRIPCION DEL PROCESO	37
3.5.1 Servicios Auxiliares	37
3.5.2 Etapas del Proceso	39
4. DIAGNOSTICO.	40
4.1 SISTEMA ELECTRICO	40
4.1.1 Estructura Fisica	40
4.1.2 Operatividad	40
4.2 SISTEMA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL	40
4.2.1 Estructura Fisica	40
4.2.2 Estructura Interna	41
4.3 SISTEMA SUPERVISORIO	41
4.3.1 Estructura Fisica	41
4.3.2 Configuracion	42
5. SOLUCION	48
5.1 SISTEMA SUPERVISORIO Y CONTROL	48
5.1.1 Interfaz del terminal.	48
5.1.2 Graficas de tendencias	49
5.1.3 Uso adecuado del color	50
5.1.4 Menu de Navegacion	50
5.1.5 Jerarquia y orden de registros	52
5.1.6 Organización de referencias entre PLC y HMI	53
6. CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFIA	58
ANEXOS	59

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. PLANTA Didactica de Instrumentacion y Control de Procesos	22
Figura 2. Ubicación de los tanques en las áreas de servicio y procesos	23
Figura 3. Tablero Eléctrico de la PLANTA	25
Figura 4. Totalizador de la PLANTA	26
Figura 5. Barraje eléctrico de la PLANTA	26
Figura 6. Transformadores de corriente presentes en la PLANTA	27
Figura 7. Fuente de Alimentacion	28
Figura 8. Interruptor manual o de emergencia	28
Figura 9. Protector Electronico	29
Figura 10. Dispositivo controlador de potencia	29
Figura 11. Medidor de Energia de la PLANTA	30
Figura 12. Elementos primarios. a) Pt-100 b) Termopar tipo K	31
Figura 13. Indicadores. a) y b) manómetros. c) Termómetro bimetálico	32
Figura 14. Interruptor a) de presión y b) de temperatura	32
Figura 15. a), b) y c) Transmisor de flujo. d) y e) transmisor de presión. f) transmisor de temperatura. g) Transmisor de nivel	33

Figura 16. Elementos finales de control. a) y b) Valvulas de control y c) bomba centrifuga	34
Figura 17. OPTO 22 SNAP PAC R2 con sus módulos. Area de Servicios	35
Figura 18. Esquema de la red Ethernet presente en la PLANTA	36
Figura 19. Ejemplo de una red de comunicación con Modbus TCP/IP	42
Figura 20. Interfaz de la PLANTA realizada en Crimson 3.0. Uso exagerado de P&ID	43
Figura 21. Uso inadecuado del color en la interfaz HMI. a) Tanque T-103. b) Lazos de control	44
Figura 22. Botones de desplazamiento de la interfaz. Falta de menú de navegación	45
Figura 23. Uso de etiquetas dentro del HMI	46
Figura 24. Interfaz grafico básico en figuras 2D	49
Figura 25. Uso de graficas de tendencias	49
Figura 26. Uso del color. Manejo predominante de escalas de grises	50
Figura 27. Categorías del menú de navegación	51
Figura 28. Orden y jerarquía de etiquetas. Configuración en Crimson 3.0	53
Figura 29. Interfaz de programación PAC Control Basic. Aplicación en Flow Chart	54
Figura 30. Programación del OptoScript desarrollado en lenguaje C.	55
Figura 31. Declaración de variables en PAC Control Basic	55
Figura 32. Programación de un bloque de Flow Chart	56

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características del terminal de operador tipo HMI	37
Tabla 2. Datos iniciales medidos en los instrumentos del área de servicios	52

## RESUMEN

El presente trabajo contribuye a la solución de una problemática social de la ciudad de Cartagena y alrededores referente a la necesidad de tener talento humano capacitado y certificado en el área de instrumentación industrial, comunicaciones industriales y control de procesos industriales, formaciones que se hacen necesarias principalmente por el aumento de la capacidad de refinación y ampliación de la infraestructura de la Refinería de Cartagena REFCAR, sumado a la demanda de otras empresas del sector industrial de Cartagena y Bolívar que requieren personal con competencias en esta rama.

Es por esto que el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, específicamente el Centro Para la Industria Petroquímica de la Regional Bolívar, y en cumplimiento de su misión institucional busca crear espacios de formación acordes con las necesidades del sector productivo e industrial del departamento. Por tal razón se instaló en dicha sede a mediados de Octubre de 2015 una PLANTA DIDACTICA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS (en adelante se denominará PLANTA) que reproduce un entorno de trabajo industrial para que los aprendices de formaciones relacionadas con instrumentación industrial, electrónica y control de procesos, puedan realizar prácticas y afianzar habilidades y conocimientos en las áreas antes mencionadas.

Al inspeccionar el funcionamiento de la PLANTA se encontraron algunas funciones que se cumplen parcialmente, tanto en el sistema de control como en el de supervisión, como por ejemplo la falta de configuración de algunos instrumentos que al momento de su instalación no se le realizó el lazo de control con el PLC de manera adecuada y tampoco en el HMI; e incluso la parametrización de

instrumentos y del sistema supervisorio tiene limitaciones en cuanto a su interacción con el operador de la PLANTA.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente nace este proyecto con el fin de optimizar y mejorar el funcionamiento de la PLANTA para garantizar calidad en la formación y contribuir de manera indirecta con la generación de talento humano competente en las ramas antes mencionadas para la ciudad de Cartagena y alrededores.

Para llevar a cabo esto, inicialmente se hizo un diagnóstico del estado presente de la PLANTA. Con base al diagnóstico se detectaron acciones de mejora y posteriormente se realizaron las configuraciones necesarias en el sistema de control y de supervisión. En este proceso se vincularon aprendices en formaciones relacionadas con la instrumentación industrial y el control de procesos con el fin de contribuir al desarrollo de sus competencias y generar valor agregado a sus conocimientos y habilidades.

Se realizaron pruebas de funcionamiento con las configuraciones realizadas, obteniéndose resultados satisfactorios. Adicional a lo anterior, se realizó un manual de usuario para que los aprendices y personal de empresas que requiera capacitación en el uso de sistemas instrumentados y comunicaciones industriales puedan utilizar de manera adecuada las diferentes partes de la PLANTA, fortaleciendo así sus competencias en estas ramas del saber.



## 1. INTRODUCCION

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA es una organización del Estado cuya función es invertir en el desarrollo social y técnico de los trabajadores colombianos, y plantea en su misión impulsar el desarrollo social a través de la ejecución de la Formación Profesional Integral gratuita para la incorporación y el desarrollo de las personas en actividades productivas que contribuyan al desarrollo económico y tecnológico del país.

Con base a lo anterior se creó un programa de adecuación y mejoramiento de los ambientes de aprendizaje promovidos por la Dirección General del SENA, incluyendo en el proceso anterior la realización de un proyecto de avance tecnológico dentro del área de Instrumentación Industrial que consiste en la creación y distribución de varias PLANTAS para apoyar la formación de los aprendices en las diferentes regionales que tiene el SENA en Colombia. Dichas PLANTAS se distribuyeron en el segundo semestre del año 2015 en diferentes centros de formación, incluyendo el Centro Para la Industria Petroquímica, el cual se encuentra ubicado en Cartagena, sector Tesca.

En esta sede se encontró que los equipos e instrumentos correspondientes a la PLANTA instalada se encuentran en perfecto estado. Sin embargo, al verificar el funcionamiento y operatividad de la misma se evidenciaron algunos detalles técnicos y normativos que quedaron pendientes por implementar por parte de los proveedores, y que afectan el desarrollo de las prácticas y de las capacidades técnicas o profesionales de estudiantes, aprendices, investigadores y trabajadores, teniendo en cuenta que el propósito de estas PLANTAS es crear un

ambiente propicio para el aprendizaje mediante la realización de actividades que simulen el funcionamiento real de una PLANTA.

La PLANTA esta compuesta por dos bloques (Area de servicio y Area de control) las cuales interactúan entre si por medio del sistema de control y el sistema supervisorio. En ambos se observa que cumplen parcialmente algunas funciones, y se omitieron algunas recomendaciones de diseño de acuerdo a lo planteado en las normas ISA; la configuración de alarmas está incompleta, algunos instrumentos que hacen parte del sistema de monitoreo y control no están configurados dentro de la interfaz del operador e incluso su identificación no corresponde a la función que desempeñan; sumado a lo anterior, la PLANTA no posee un manual detallado de su funcionamiento, ni prácticas para el área de instrumentación industrial.

Es por ello que nace este proyecto con el fin de optimizar la PLANTA y mejorar su uso didactico, para garantizar calidad en la formación y contribuir de manera indirecta con la generación de talento humano competente en las ramas antes mencionadas para la ciudad de Cartagena y alrededores.

Con base a lo mencionado anteriormente, este documento pretende dar a conocer la metodología para optimizar y mejorar la operatividad de la PLANTA, lo cual contribuya y garantice un mejor ambiente de formación para aprendices, investigadores e instructores.

Este documento describe en cinco capítulos el estado actual de la PLANTA, diagnostico, mejoramiento y resultados, dividido de la siguiente manera:

El capítulo 1 hace referencia a la introducción del proyecto.

En el capítulo 2 se encuentra la fundamentación del proyecto: su objetivo principal y objetivos específicos.

El capítulo 3 hace referencia a la descripción y consideraciones generales de la PLANTA.

El capítulo 4 trata del diagnóstico y análisis de resultados del estado actual de la PLANTA.

El capítulo 5 se encarga de mostrar todo el proceso de optimización y mejora de la PLANTA.

En el capítulo 6 hace referencia a los resultados obtenidos y a las conclusiones del proyecto.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar y mejorar la operatividad de la PLANTA DIDÁCTICA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS con base en los requerimientos y especificaciones de los responsables de dicha PLANTA en las instalaciones del SENA Centro Para la Industria Petroquímica.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

2.2.1 Determinar las condiciones subestandar de la PLANTA para analizar su condición operacional actual y corregir de acuerdo a normas, y buenas practicas establecidas por fabricantes, expertos y organismos de regulación de instrumentación y automatización.

2.2.2 Mejorar el funcionamiento de la interfaz HMI basando su configuración en la norma ISA 101 y realizando correcciones de configuración y parametrización pertinentes en instrumentos y sistema HMI para garantizar fiabilidad en los datos.

2.2.3 Contribuir a un mejor ambiente de formación mediante a la documentación del proceso de optimización y mejora realizada en la PLANTA para facilitar a los aprendices, instructores y personal de empresas el uso de sus sistemas como parte del proceso de aprendizaje.

### 3. CONSIDERACIONES GENERALES

#### 3.1 GENERALIDADES.

La creación de doce PLANTAS por parte del SENA surge de la necesidad de satisfacer la demanda de talento humano capacitado del sector productivo a nivel nacional, específicamente en las ramas de instrumentación industrial, comunicaciones industriales y control de procesos.

Cada uno de los prototipos está fabricado de una estructura metálica, resistente y de fácil construcción que cumple con especificaciones técnicas. Las conexiones de proceso y de los instrumentos está realizada en acero inoxidable, similar a los procesos reales que se encuentran en las diferentes industrias del país. Los diferentes elementos de la PLANTA, tales como transmisores, válvulas, interruptores, indicadores, variadores de velocidad, bombas, reguladores de presión, controladores, pulsadores, protecciones eléctricas y HMI cumplen con la normativa vigente para trabajar en entornos reales, obteniendo así un prototipo que reproduce procesos industriales con un enfoque formativo, didáctico, práctico, ideal para el desarrollo de actividades de formación.

La PLANTA está constituida por dos módulos principales, denominados área de servicios y área de procesos. El primer módulo mencionado, que aparece al lado izquierdo de la figura 1, es el encargado de suministrar insumos para el área de procesos. El segundo módulo, ubicado al lado derecho de la figura 1, utiliza los insumos del anterior para desarrollar estrategias de control de procesos

Figura 1. PLANTA Didactica de Instrumentacion y Control de Procesos



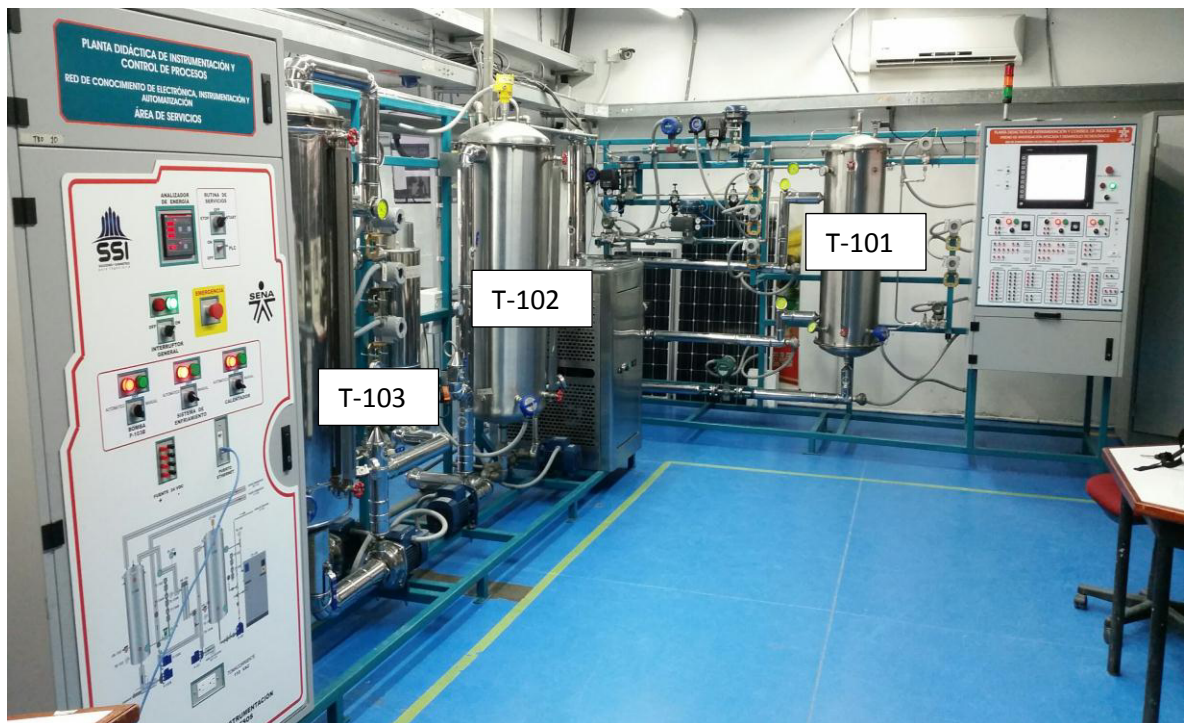
En el área de servicios el insumo principal es agua a temperatura ambiente, debido a que su uso no representa un factor de riesgo en un ambiente de formación. Además, se puede utilizar otras sustancias que no sean corrosivas o abrasivas. El agua se almacena en diferentes tanques de manera independiente. El tanque denominado T-102 permite almacenar y recircular agua por medio de una bomba pasándola por un Chiller, hasta obtener la temperatura de enfriamiento seleccionada. Cuando se habilitan las respectivas condiciones del proceso, a través de una bomba se envía el agua fría hacia el tanque T-101.

De manera homóloga, el tanque T-103 recircula y almacena agua que se calienta por inducción cuando pasa su caudal por un bloque de resistencias, hasta obtener la temperatura requerida. Cuando se permiten las condiciones de proceso, por medio de una bomba se envía el fluido caliente hacia el serpentín que se

encuentran en el interior del tanque T-101 para realizar intercambio de calor con el agua fría.

En el área de procesos se encuentra el tanque principal de la PLANTA, en el que se desarrolla la mayor parte de las actividades de control. Este tanque tiene la opción de presurizarse, almacenar y recircular liquido proveniente del área de servicios, permitir la transferencia de calor entre dos sustancias a diferentes temperaturas, garantizando así la generación de lazos de control con las variables de procesos fundamentales: presión, nivel, flujo y temperatura. La figura 2 muestra la ubicación de los tanques dentro de la PLANTA

Figura 2. Ubicación de los tanques en las áreas de servicio y procesos.



La PLANTA se conforma básicamente por tres sistemas.

- Sistema Eléctrico.
- Sistema de instrumentación y control
- Sistema supervisorio

En las secciones siguientes se explica en detalle cada uno de estos sistemas

### 3.1 SISTEMA ELECTRICO

El sistema eléctrico de la PLANTA está conformado por un tablero o gabinete que a su vez sirve para las conexiones del sistema de control del área de servicios. El tipo de cerramiento de este gabinete es NEMA 3R tipo exterior, con lámina galvanizada calibre 14 y pintura electrostática en polvo de color gris. En este gabinete se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, donde se garantiza que la instalación eléctrica funcione adecuadamente. Este gabinete se encuentra alimentado por una acometida trifásica, proveniente de la red eléctrica con voltaje a 220V AC.

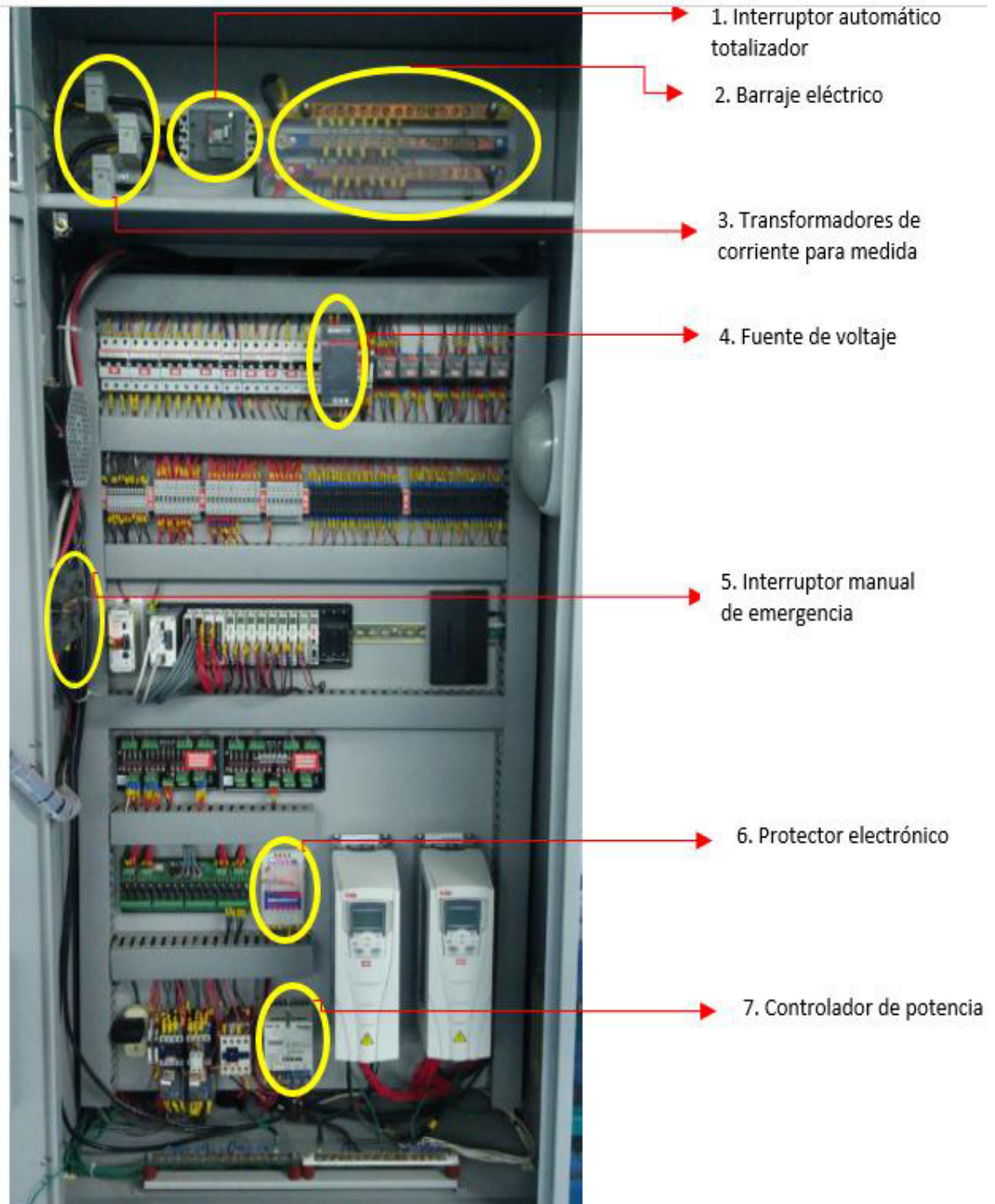
Se utiliza cable #4 AWG THHN – THWN 600V, 90°C. Dicha acometida se conecta a un interruptor manual tipo exterior de emergencia, y de ahí a un interruptor automático totalizador de 125 Amp. Éste alimenta un barraje con capacidad de 200A, donde se conectan todos los equipos o elementos que se requieren en la PLANTA.

La acometida principal que alimenta al tablero esta conectada a la red eléctrica a través de un regulador de voltaje existente en el SENA para garantizar que las magnitudes eléctricas no superen los rangos de trabajo de los equipos e instrumentos instalados en la PLANTA. En los anexos se listan características y elementos instalados en el gabinete eléctrico.



A continuación se presenta la figura 3, donde se muestran los principales elementos del sistema eléctrico. Seguido a esto se describen sus funciones.

Figura 3 Tablero Eléctrico de la PLANTA.



3.2.1. Interruptor Termomagnético. Es de marca ABB, con capacidad:de 125A. Es un dispositivo capaz de interrumpir la alimentación eléctrica de la PLANTA cuando la corriente eléctrica sobrepasa ciertos valores máximos. En este gabinete dicho interruptor funciona como totalizador.

Figura 4 Totalizador de la PLANTA.



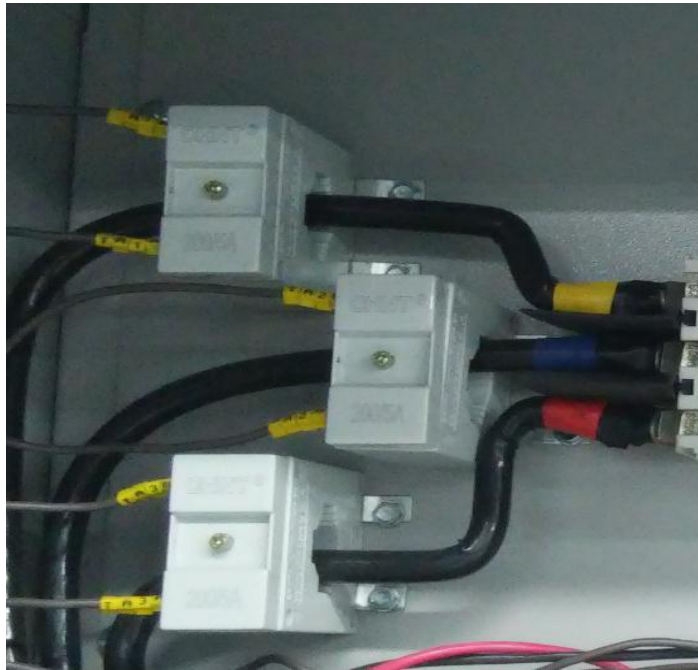
3.2.2 Barraje eléctrico. Capacidad de 200A, hecho con cobre macizo. Es el punto de conexión para todos los equipos y servicios requeridos.

Figura 5. Barraje eléctrico de la PLANTA.



3.2.3 Transformadores de corriente . Posee una relación de 150/5. Su principal función es tomar muestras de corriente de la línea y reducirla a un nivel seguro y medible para las gamas normalizadas de instrumentos, aparatos de medida, u otros dispositivos de medida y control.

Figura 6. Transformadores de corriente presentes en la PLANTA.



3.2.4 Fuente de Alimentación. En este caso se utiliza una fuente de voltaje de 120V a 24 V, MARCA ABB, REF: CP-E 24/5.0. Es el dispositivo que convierte la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC) y en los valores requeridos para alimentar los distintos circuitos a los que se conectan los equipos del sistema de control. La figura 7 ilustra lo anterior.

Figura 7. Fuente de Alimentación.



3.2.5 Interruptor manual o de emergencia. Su función consiste en interrumpir de manera manual y segura la alimentación eléctrica del sistema. A este interruptor van asociados los transformadores de corriente, que alimentan los dispositivos de protección y medición.

Figura 8. Interruptor manual o de emergencia



3.2.6 Protector electrónico. De referencia: Breakermatic Ultra 220. Es un dispositivo de alta capacidad diseñado especialmente para evitar los daños a aparatos, provocados por las variaciones de voltaje y otras perturbaciones del suministro eléctrico; asegura la operación del equipo o al ocurrir un apagón,

Figura 9. Protector Electronico



3.2.7 Controlador de Potencia. Marca AUTRONICS REF: SPC1-50. Entre sus principales funciones se encuentran control de fase, control de ciclo, (cruce por cero), control ON/OFF (cruce por cero), ajuste de nivel de salida (ADJ), Función de arranque suave (excepto para control ON/OFF), función de muestreo del nivel de salida, función de conversión automática 50/60Hz.

Figura 10. Dispositivo controlador de potencia.



3.2.8 Medidor de energía eléctrica. Marca ABB, referencia DMTE-96. Es el dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica de la PLANTA o sistema, en funciones de las principales magnitudes eléctricas: voltaje, corriente, potencia, watio-hora, entre otros.

Figura 11. Medidor de Energía de la PLANTA.



### 3.3 SISTEMA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL

Esta dividido en dos partes principales: los instrumentos de campo y el autómata programable. En conjunto, estas partes constituyen los diferentes lazos de control presentes en la PLANTA.

La primera parte es la encargada de detectar los valores de las variables de proceso, transmitir la información obtenida de dichas variables hacia el controlador, ejecutar acciones de control en el proceso. Los instrumentos que forman parte de esta sección se pueden subdividir en las siguientes categorías: elementos primarios, transmisores, indicadores, interruptores, elementos finales

de control. A continuación se explica cada una de estas categorías y sus elementos asociados.

3.3.1 Elemento Primario: Es el encargado de detectar las variaciones en la variable de proceso de manera continua y expresarlas en una forma de medida adecuada. Se encuentran clasificados en esta categoría dentro de la PLANTA las RTD tipo Pt-100 y los termopares tipo K, cuyas señales de salidas son en ohmios y milivoltios, respectivamente. La figura 12 muestra los elementos primarios instalados en la PLANTA.

Figura 12. Elementos primarios. a) Pt-100 b) Termopar tipo K



a



b

3.3.2 Indicador. Elemento que detecta los valores de la variable de proceso de manera continua y a través de un sistema análogo o digital es capaz de mostrar la lectura de dicha variable, en tiempo real. Los elementos que clasifican en esta categoría son los manómetros y termómetros, como lo muestra la figura 13.

Figura 13. Indicadores. a) y b) manómetros. c) Termómetro bimetálico.



a

b

c

3.3.3. Interruptor: Dispositivo que se ajusta manualmente a un valor deseado de la variable de proceso para que envíe una señal discreta cuando su sistema se iguale o supere dicho valor. En el proceso se encuentra instalado un interruptor de presión manométrica y un interruptor de temperatura. La figura 14 muestra los diferentes interruptores instalados.

Figura 14. Interruptor a) de presión y b) de temperatura.



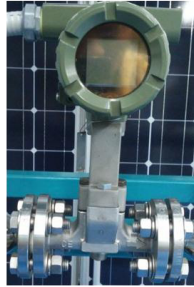
a

b

3.3.4 Transmisor: Dispositivo que recibe los valores de la salida del elemento primario y los transforma a una señal de tipo estándar y continua (como voltaje o corriente) para que luego sea utilizada por el controlador. La figura 15 muestra los diferentes tipos de transmisores que se encuentran instalados en la PLANTA.



Figura15. a), b) y c) Transmisor de flujo. d) y e) transmisor de presión. f) transmisor de temperatura. g) Transmisor de nivel.



a



b



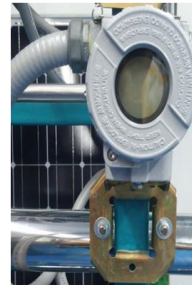
c



d



e



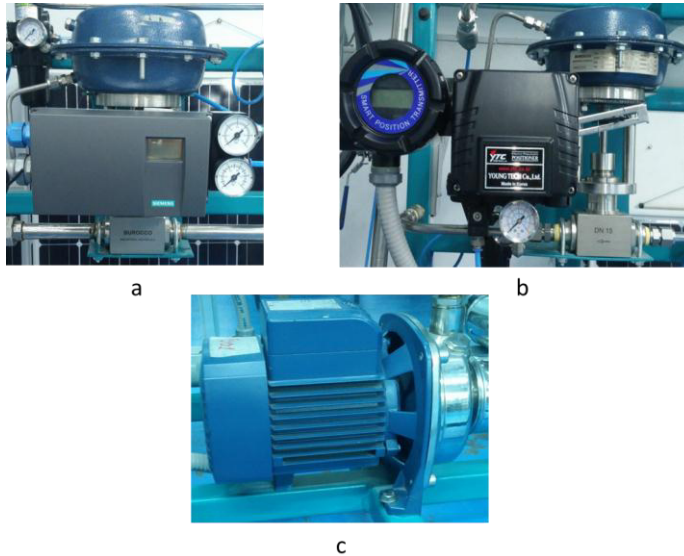
f



g

3.3.5 Elemento final de control. Con base a la señal enviada por el controlador este dispositivo realiza una acción que puede ser continua ( para el caso de las válvulas) o discreta ( para el caso del encendido o apagado de las bombas), afectando el valor de la variable de proceso dentro del lazo de control. Esta situación se realiza cíclicamente. Los instrumentos que clasifican en esta categoría se muestran en la figura 16

Figura 16. Elementos finales de control. a) y b) Valvulas de control y c) bomba centrifuga.

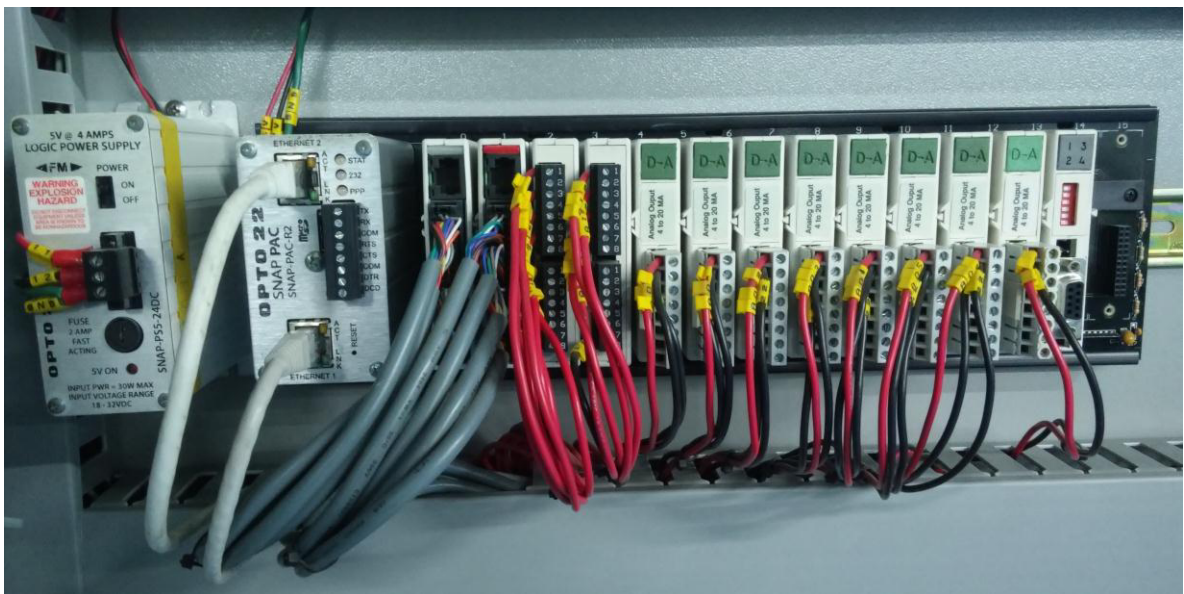


3.3.6 Unidad de Control. La segunda parte del sistema de instrumentación y control es la encargada de tomar las decisiones con base en la información recibida de cada uno de los instrumentos que se encuentra en contacto con las diferentes variables de proceso para luego ejecutar acciones a travez de los elementos finales de control. En este caso, el elemento que realiza esta toma de desiciones es el PLC OPTO 22 tipo SNAC PAC R2. Tanto el área de servicios como el área de procesos posee un autómatas programable cuyo modelo es el antes mencionado.

Cada PLC está constituido por su fuente de alimentación, la cual entrega una tensión de 5 voltios con una capacidad de corriente de 4 amperios. Tiene una CPU que almacena la programación del proceso; también permite comunicación con los diferentes módulos del rack e incluye dos puertos de comunicación con conexión RJ-45 para Ethernet que permiten la conexión por medio de una red local con el otro PLC y la pantalla HMI, además de borneras para realizar diferentes configuraciones. Seguido a la CPU se encuentran los módulos de entradas

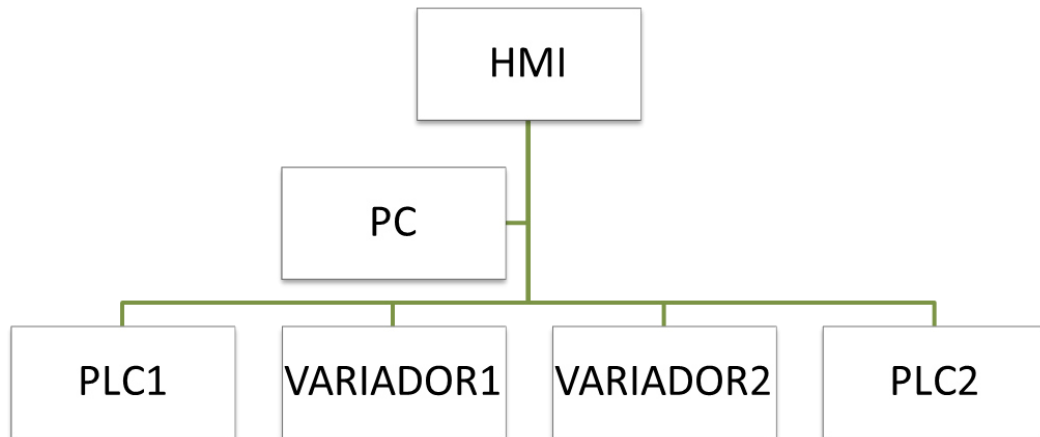
digitales que reciben las señales de las tarjetas del mismo nombre, las cuales toman las señales de los diferentes botones, interruptores y selectores presentes en la PLANTA. Luego se encuentran los módulos de entradas análogas, los cuales están conectados con las señales provenientes de los transmisores. Los módulos de salidas digitales envían señales hacia las balizas, las luces pilotos presentes en los dos tableros, las resistencias calefactoras, el Chiller y dos de las bombas. Los módulos de salidas análogas envían señales hacia las válvulas de control y los dos variadores de velocidad. Por último, se encuentra el modulo profibus que permite la comunicación con algunos instrumentos conectados por medio de este bus de campo. En la figura 17 se muestra la distribución del autómata programable tipo modular presente en la PLANTA junto con sus módulos.

Figura 17 . OPTO 22 SNAP PAC R2 con sus módulos. Area de Servicios.



Los dos PLC se comunican entre si por medio de una red Ethernet, como lo representa la figura 18.

Figura 18. Esquema de la red Ethernet presente en la PLANTA.



#### 3.4 SISTEMA SUPERVISORIO.

Es el encargado de monitorear el estado de las variables de proceso que se encuentran en la PLANTA en tiempo real. Permite que el operador tome decisiones sobre el proceso que se ejecuta y realice configuraciones a través de una interfaz realizada en una HMI. Las características de este terminal se encuentran en la tabla 1

Tabla 1 Características del terminal de operador tipo HMI

<b>Características Técnicas</b>	
Nombre	Terminal del operador
Modelo	G315
Marca	red lion
Tamaño	15 pulgadas XVGA
Tipo	Touch Screen
Color	Capacidad de 32K
Memoria	Tipo flash de 32 Mbyte no volátil
Alimentación	24 VDC
Conectividad	4 Puertos seriales aislados Puerto Ethernet 100-Base-TX Puerto de programación USB Ranura para CompactFlash Ranura para tarjeta Convertidor de protocolo Data logger Servidor Web y FTP

### 3.5 DESCRIPCION DEL PROCESO

Este prototipo fue diseñado principalmente para el control de temperatura de sustancia limpias, que no sean tóxicas, corrosiva y/o abrasivas. Adicional, existe la posibilidad de controlar presión, nivel y flujo de dicha sustancia. Para hacer esto se requiere de una serie de servicios denominados auxiliares, que contribuyen al normal funcionamiento de la PLANTA.

3.5.1 Servicios Auxiliares. La planta para su normal operación necesita servicios que son suministrados para garantizar la interacción entre sus componentes. Los servicios que utiliza la planta son los siguientes:

- Electricidad. El sistema eléctrico se diseñó y se organizó con base en criterios de seguridad, confiabilidad y automatización. La energía eléctrica de la PLANTA viene de las instalaciones eléctricas, suministrada desde la subestación eléctrica, con un nivel de tensión de 220 V AC.
- Aire de Instrumento. El aire de instrumento de la PLANTA es suministrado por un compresor de 6 bar que provee de aire a los instrumentos. En una etapa intermedia se regula su valor por medio de válvulas reguladoras de presión ajustadas a 2 bar, para el caso de las válvulas de control.
- Agua fría. El agua fría es producida por una unidad de enfriamiento tipo Chiller, el cual es el encargado de llevar la temperatura del líquido entre 5 y 10 grados Celsius, requerida por proceso.
- Agua Caliente. El agua caliente se genera por el paso del líquido a través de una resistencia eléctrica, alcanzando temperaturas entre los 60 y 85 grados Celsius, requerido por proceso.
- Agua Potable. El agua potable es la sustancia principal de uso en la planta, la cual es suministrada desde las instalaciones de Aguas de Cartagena para su uso y consumo dentro del Centro para la Industria Petroquímica. En la PLANTA se utiliza agua potable, la cual es sometida a diferentes grados de temperatura con base a los requerimientos de proceso, permitiendo crear un ambiente propicio para el aprendizaje de actividades que simulen el funcionamiento real de una PLANTA. El valor operacional del agua reside en la cantidad de calor que esta reciba para ser transferido, debido a sus propiedades físico-químicas.

3.5.2 Etapas del Proceso. La PLANTA, desde el punto de vista de proceso, se divide en tres etapas: etapa de calentamiento del agua, etapa de enfriamiento de agua y etapa de transferencia de calor.

- En la etapa de enfriamiento. En esta etapa se acondiciona el agua para alcanzar la temperatura según parámetros de operación. Para esto se dispone de un tanque de preparación de agua fría y una bomba. El agua se hace fluir a través de una unidad de enfriamiento.
- En la etapa de calentamiento. Se dispone de un tanque, una resistencia y una bomba para satisfacer los requerimientos térmicos del proceso. La energía térmica es transferida al agua por conducción, con este sistema se controla que el líquido llegue a los parámetros de operación con respecto al calor ganado.
- Etapa de transferencia de calor. Se tiene un tanque dentro de un lazo de control donde se encuentran los flujos de agua a diferentes temperatura. El agua fría se hace fluir al cuerpo del tanque, esta hace el intercambio calorífico con el agua caliente la cual fluye a través de un serpentín montado al interior del tanque. A la salida del tanque se dispone de un medidor de temperatura el cual determinará la medición de la temperatura del agua de salida, controlando la temperatura de ésta por flujo utilizando válvulas de control. Para controlar estos flujos se dispone de medidores de flujo a la salida de las bombas de trasiego de los tanques de almacenamiento de agua fría y agua caliente. Ambos controles estarán relacionados de modo que se garantice la correcta dosificación según parámetros.

## 4. DIAGNOSTICO

### 4.1 SISTEMA ELECTRICO.

4.1.1 Estructura Fisica. Al realizar la inspección del tablero y componentes eléctricos se observó que se encuentran en buen estado, sin señales de deterioro en su exterior, el tablero se encuentra anclado de acuerdo a recomendación de fabricante al punto de apoyo de la base, los equipos se encuentran bien sujetos a sus respectivos soportes y las diferentes piezas, bornes y conexiones están ajustadas correctamente.

4.1.2 Operatividad. Todos los componentes eléctricos ubicados dentro del tablero se encuentran operando en perfecto estado de acuerdo a sus especificaciones, realizando las funciones requeridas dentro del sistema eléctrico de la PLANTA, la acometida, las conexiones y los bornes se encuentran correctamente identificados y señalizados de acuerdo a normatividad RETIE.

### 4.2 SISTEMA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL

4.2.1 Estructura Fisica. Los instrumentos que hacen parte de las diferentes áreas de la PLANTA se encuentran en perfecto estado. No hay evidencias de corrosión, oxidación, ruptura de partes. Todos se encuentran anclados o sujetos a puntos de apoyo específicos en diferentes partes de la PLANTA con base a lo planteado en las recomendaciones dadas por cada fabricante.

Los dos sistemas de control, conformados por los autómatas programables tipo SNAC-PAC-R2 se encuentran dentro de tableros aislados garantizando un ambiente libre de polucion y material particulado, sustancias u otro material que



afecte el normal funcionamiento del mismo. Su módulos, borneras y conexiones no presentan deterioro, corrosión, abolladuras.

4.2.2 Estructura Interna. Todos los instrumentos de campo se encuentran encapsulados un tipo de *housing* que tiene una forma y estructura particular determinada por las recomendaciones de cada fabricante. Por ejemplo, las termopar tipo K presentes en las dos áreas se encuentran colocadas dentro de termoposos para garantizar fiabilidad en la lectura de la variable de proceso, brindar robustez al elemento primario ante condiciones del ambiente, entre otros aspectos. Los transmisores poseen una carcasa donde internamente se encuentran los módulos electrónicos que permiten adquirir, acondicionar y enviar posteriormente las señales provenientes del elemento primario al que están interconectados, así como displays de pantalla líquida (LCD) para evidenciar los valores en tiempo real. Las válvulas poseen un sistema con actuador por resorte, hermético, ubicado en su parte superior; asimismo cuentan con un posicionador neumático cuya estructura se encuentra dentro de una carcasa rígida para evitar el contacto con sustancias del ambiente o material particulado que pueda deteriorar o desajustar sus partes móviles.

Para el caso del sistema de control, al estar contenido dentro de un tablero se garantiza protección de sus módulos, conexiones, empalmes y demás elementos que lo conforman.

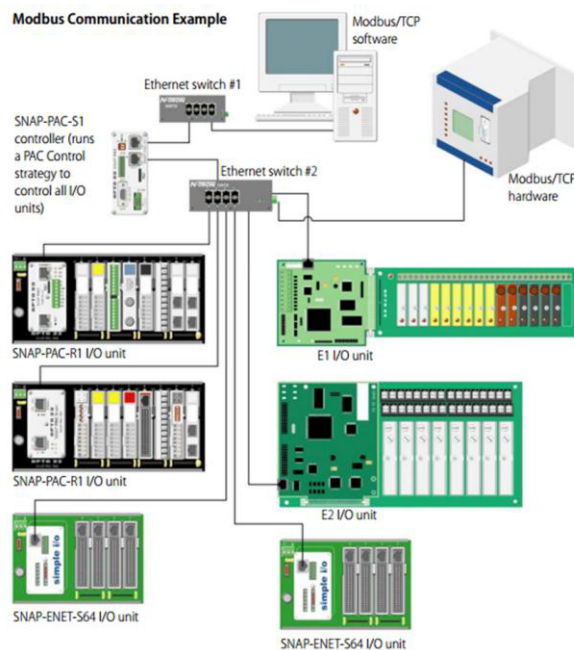
### 4.3 SISTEMA SUPERVISORIO

4.3.1 Estructura Física. El terminal utilizado como sistema supervisorio se encuentra dentro de una carcasa metálica, rígida, pintada de material dieléctrico de color negro, con grado de protección IP66.

4.3.2 Configuración. La PLANTA tiene constituido su supervisorio mediante un terminal de operador de tipo HMI que se comunica con el autómata programable mediante Modbus TCP/IP. Este protocolo permite direccionar las diferentes señales conectadas al PLC (ya sea entrada o salida, digital o análoga) y hacia el terminal del usuario a través de unas tablas de registros. Dichas tablas son elaboradas por el diseñador de la interfaz. Los datos almacenados en dichas tablas representan para el terminal del operador los denominados *holding registers*, los cuales almacenan de manera temporal o permanente (según se configure) la información proveniente del PLC. Para el caso de la PLANTA, estos datos son enviados hacia la terminal G315.

La figura 19 representa un ejemplo de la conexión entre dispositivos OPTP 22, PC y terminal de operador.

Figura 19 Ejemplo de una red de comunicación con Modbus TCP/IP

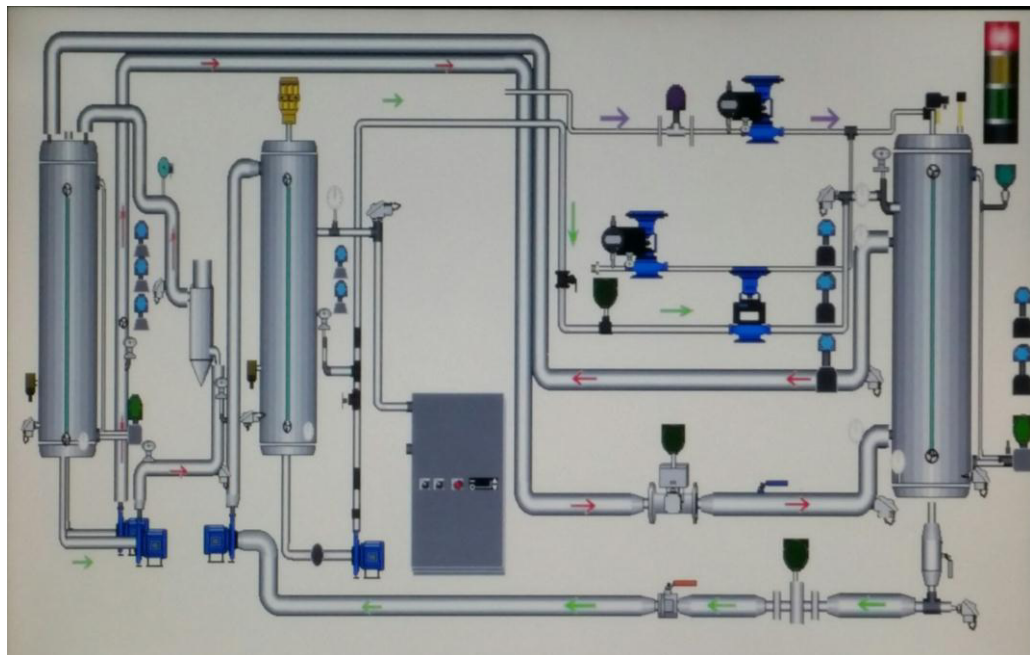


Fuente: [http://www.opto22.com/documents/1678\\_Modbus\\_TCP\\_Protocol\\_Guide.pdf](http://www.opto22.com/documents/1678_Modbus_TCP_Protocol_Guide.pdf), pag. 5

El sistema supervisorio encontrado presenta una serie de inconsistencias que lo hacen ineficiente para el desarrollo de las labores del operador y la seguridad de la PLANTA. A continuación se explica en detalle las condiciones de mejora encontradas en el HMI.

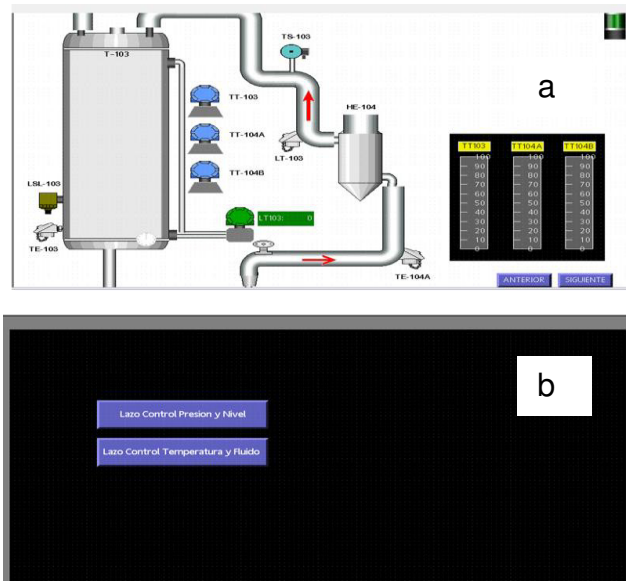
- Interfaz basada solo en P&ID. Una interfaz para operador basada en el diagrama de instrumentos y tuberías da una vista de la ubicación de los instrumentos en la PLANTA, pero limita la capacidad de visualizar las condiciones y el estado de los mismos. La interfaz encontrada posee las características anteriores, incluyendo figuras con relieves y sombras. La cantidad de figuras limita la información del operador en referencia al proceso. El 90% de las formas y figuras en la pantalla es estático y carece de información del proceso al usuario. La figura 20 evidencia lo anterior.

Figura 20 Interfaz de la PLANTA realizada en Crimson 3.0. Uso exagerado de P&ID.



- Falta de graficas de tendencias. Una interfaz de operador debe contener graficas que evidencien el estado actual e histórico de las variables de proceso que se encuentran dentro de los lazos de control. La interfaz encontrada carece de graficas de tendencias y no se evidencia el comportamiento de los instrumentos y sus variables de proceso asociadas.
- Uso inadecuado de colores. Los colores dentro de un HMI deben ser sobrios, no deben generar deslumbramiento al operador ni confusión de interpretación al usuario. En la interfaz los colores se utilizan según el criterio del diseñador, omitiendo en algunos casos las recomendaciones y buenas practicas para el diseño de HMI<sup>1</sup>. Este tipo de situaciones encontradas en la configuracion de la interfaz puede generar confusión en personas con discapacidad visual, como por ejemplo personas con daltonismo. La figura 21 muestra el uso inadecuado del color .

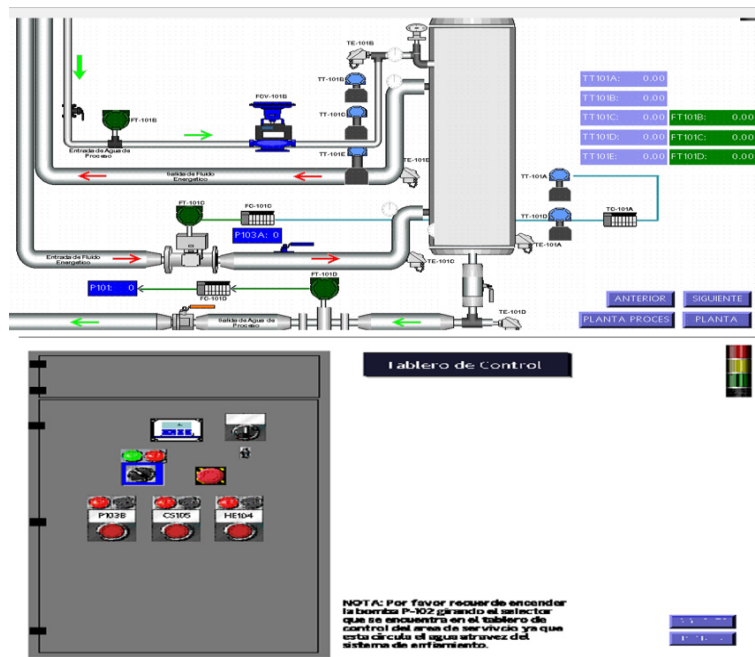
Figura 21. Uso inadecuado del color en la interfaz HMI. a) Tanque T-103. b) Lazos de control



<sup>1</sup> BILL HOLLIFIELD, DANA OLIVER; IAN NIMMO; EDDIE HABIBI. The high performance HMI handbook: a comprehensive guide to designing, implementing and maintaining effective HMIs for industrial plant operations. Texas PAS. 2008, pag. 67-96

- Falta de menú de navegación. El desplazamiento de paginas dentro de la aplicación realizada debe ser sencillo, con pocas iteraciones para el usuario, con mensajes y lenguaje claro y consiso. En el caso de la interfaz encontrada, los desplazamiento no tienen una secuencia lógica, y en algunos casos se salta de una pantalla a otra sin tener una relación directa con la información anterior. No existe un menú con las diferentes opciones de desplazamiento para el usuario. La figura 22 evidencia la carencia de un menú de navegación.

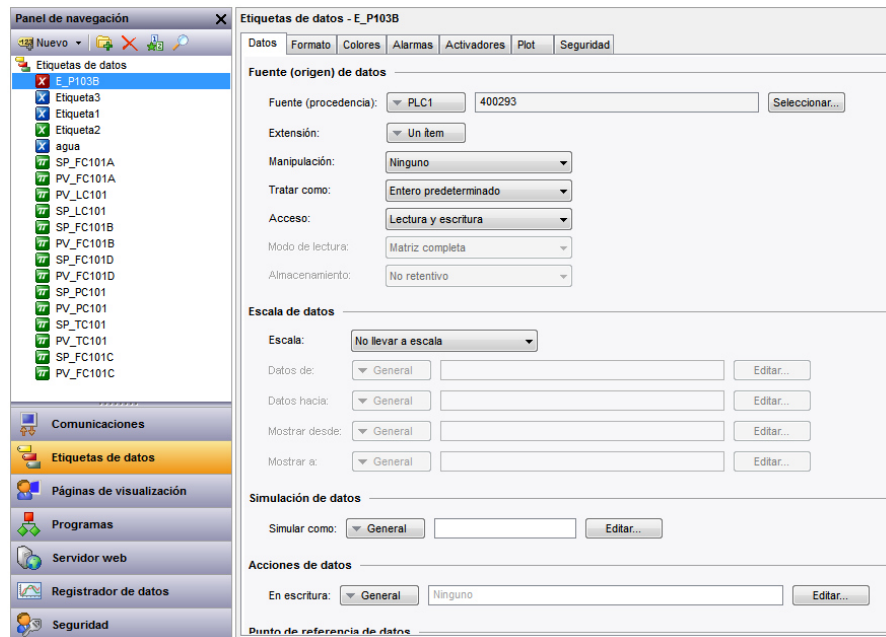
Figura 22. Botones de desplazamiento de la interfaz. Falta de menú de navegación.



coloque dentro del mímico de la aplicación del supervisorio. Para lograr un orden y facilitar el proceso de generacion de la paginas del HMI se requiere el uso de etiquetas. Las etiquetas permiten direccionar la ubicación que proviene del PLC y almacenarla. Cuando se requiere una ubicación del autómata programable sólo se llama a la etiqueta correspondiente. Este proceso se puede repetir las veces que se requiera, y en caso de alguna modificacion dentro del autómata solo se modifica la etiqueta y esta a su vez actualiza su valor en cada figura o elemento del mímico realizado en la interfaz.

En referencia al mímico encontrado en el terminal del operador solo algunos elementos estan configurados con etiquetas. Alrededor del 50% de las señales provenientes del PLC está configurado directamente. La figura 23 muestra la cantidad de etiquetas presentes en la aplicación.

Figura 23. Uso de etiquetas dentro del HMI



- Presencia de referencias cruzadas entre PLC y HMI. Para poder visualizar los datos provenientes del autómata programable, enviar valores desde el HMI hacia el PLC, realizar acciones de control, entre otros, es necesario que la dirección del *holding register* de la interfaz del operador corresponda con la ubicación dada en el PLC. Cuando esta situación no se cumple, el sistema supervisorio no es capaz de interactuar con el sistema de control conformado por el autómata generando ineficiencia y condiciones inseguras de control de proceso.

La interfaz actual tiene una cantidad considerable de referencias cruzadas, específicamente en las señales de instrumentos como el LT-102, LT-101, FCV-101A, TT-104A, TT-105, por citar algunos instrumentos que no están mostrando o enviando los valores correspondientes hacia el HMI. Esta situación afecta también el sistema de control, la comunicación entre el terminal del operador y el autómata programable.

## 5. SOLUCION

Luego de revisar detenidamente los diferentes sistemas de la PLANTA y contrastarlos con la normatividad vigente se obtuvo como resultado del análisis del diagnóstico la necesidad de verificar la configuración y calibración de cada instrumento de campo presente. Dicho procedimiento se llevo a cabo mediante el calibrador de campo 375 de Emerson utilizando el protocolo de comunicación HART; del mismo modo, se calibraron y comisionaron las tres válvulas presentes en la PLANTA utilizando el Fluke 707. Se ajustaron los rangos de trabajo con base a las condiciones de proceso planteadas en los capítulos anteriores, garantizando linealidad y confiabilidad en el comportamiento de los instrumentos.

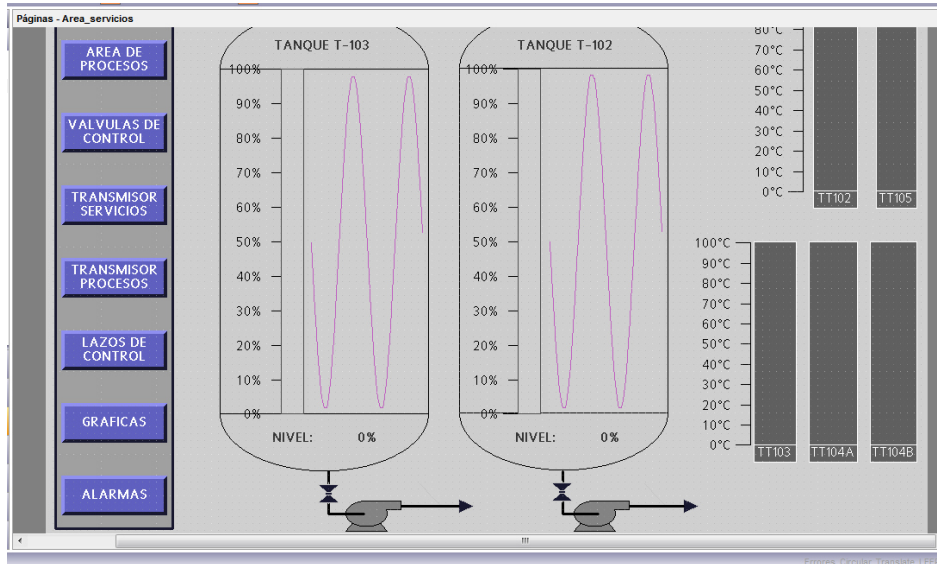
También se verificó que la mayor cantidad de opciones de mejora se encuentra en el sistema supervisorio, en conjunto con el autómata programable. A continuación se describe la estrategia realizada para mejorar el funcionamiento de la PLANTA.

### 5.1 SISTEMA SUPERVISORIO Y CONTROL

5.1.1 Interfaz del terminal. La interfaz de operador inicialmente se basaba solo en el P&ID de la PLANTA. Haciendo uso de las buenas practicas planteadas principalmente por la ISA para mejorar el HMI de un proceso se consiguió reducir la cantidad de figuras con relieves y detalles y reemplazarlo por uno en 2D, con figuras sencillas que facilitan la observación del comportamiento de las variables y el estado de los equipos por parte del operador. La figura 24 evidencia lo anterior.

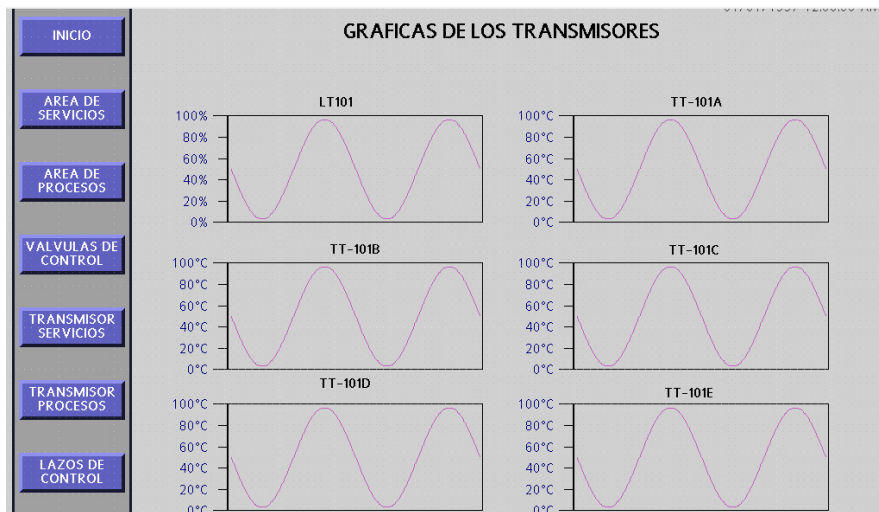


Figura 24 Interfaz grafico básico en figuras 2D.



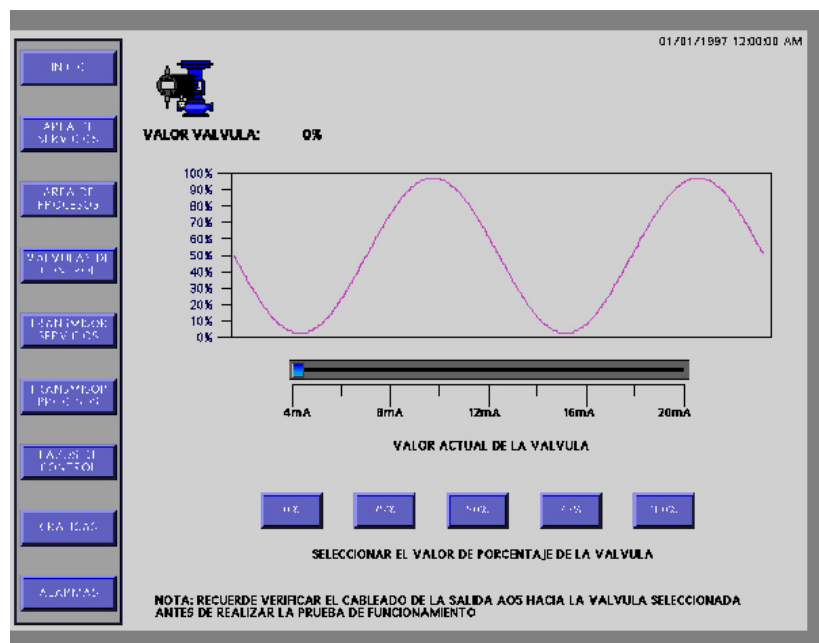
5.1.2 Graficas de tendencias. Con base en la información de los instrumentos de campo se realizaron diferentes graficas de tendencias para visualizar sus comportamientos a través del tiempo, permitiendo al operador mejorar la toma de desiciones adecuadas con base a las variaciones que ocurran en el proceso. Esto se evidencia en la figura 25

Figura 25 Uso de graficas de tendencias.



5.1.3 Uso adecuado del color. Para evitar confusiones de color por discapacidad visual del operador, o generar situaciones de alto brillo y deslumbramiento al usuario se seleccionó una combinación de colores basada en escala de grises, combinado con algunos colores de énfasis, como el azul. Los colores como el amarillo o el rojo se utilizan en las alarmas y mensajes. Esto se muestra en la figura 26.

Figura 26. Uso del color. Manejo predominante de escalas de grises.



5.1.4 Menu de Navegación. Las buenas prácticas para el desarrollo de HMI sugieren el uso de un menú de desplazamiento entre páginas que sea sencillo, con pocas iteraciones para el operador del terminal, con mensajes y un lenguaje claro y conciso. Es por esto que se desarrolló un menú conformado por nueve botones ubicados y organizados al lado izquierdo de la pantalla, cuyos vínculos permiten al usuario desplazarse con facilidad por cada una de las ventanas del aplicativo, permitiéndole interactuar rápidamente y tener acceso a información del proceso con solo realizar un click. En el lado izquierdo de la figura 26 se aprecia lo comentado anteriormente.

El menú de navegación está dividido en diferentes categorías. En la figura 27 se aprecia cada una de ellas. Cada categoría conlleva a una o varias paginas con información del proceso, graficas de tendencias, datos de las variables en tiempo real, e incluso control manual de equipos e instrumentos, como por ejemplo las válvulas de control, que se les puede realizar prueba desde la interfaz gráfica, como se aprecia en la figura 26.

Figura 27. Categorías del menú de navegación.



5.1.5 Jerarquía y orden de los registros del HMI. Se verificó el listado de los *holding registers* de la interfaz de operador con las autómatas programables. Se verificó que muchas señales provenientes de los instrumentos de campo, como es el caso del LT-102, el cual se encontraba fuera de funcionamiento; los transmisores del área de servicios y algunos del área de procesos, al no estar configurada de manera adecuada la interfaz se generaban errores considerables en la lectura de la variable de proceso a medir. La tabla 2 muestra los datos tomados a los instrumentos del área de servicios, comparados con lo mostrado en el HMI.

Tabla 2. Datos iniciales medidos en los instrumentos del área de servicios.

TAG	Rango Configurado por el proveedor	Datos tomados del HMI			Datos reales medidos con Comunicador de campo		
		Corriente (mA)	PV	%	Corriente (mA)	PV	%
LT 102	0 - 1100 mmH <sub>2</sub> O	5,2	N/A	9%	5,2	N/A	31%
LT 103	0 - 1100 mmH <sub>2</sub> O	15,8	N/A	74%	15,8	601,8 mmH <sub>2</sub> O	55%
TT 102	-200 - 850 °C	8	27°C	27%	7,43	25,37 °C	16%
TT 103	-200 - 850 °C	14,8	68 °C	68%	6,85	26,50 °C	17,3%
TT 104A	-200 - 850 °C	5	6°C	6%	6,3	23,09 °C	14,4%
TT 104B	-200 - 850 °C	5	6°C	6%	6,32	24,6 °C	14,8%
TT 105	-150 - 750 °C	5,5	8°C	8%	8,14	23,94 °C	14,6%

Se procedió a realizar las respectivas calibraciones y comisionamiento de los instrumentos en campo, junto con la organización de las etiquetas dentro del HMI, ordenándolas según el tipo de instrumento, variable y función a realizar. La figura 28 muestra las etiquetas realizadas y su ventana de configuración dentro del Software de desarrollo Crimson 3.0 de la empresa redlion.

Posteriormente, se realizaron nuevamente mediciones de los valores en campo y en el terminal del operador, obteniendo resultados coherentes que evidencian los valores del proceso en tiempo real. La tabla 3 muestra los resultados obtenidos.

Figura 28 Orden y jerarquía de etiquetas. Configuración en Crimson 3.0

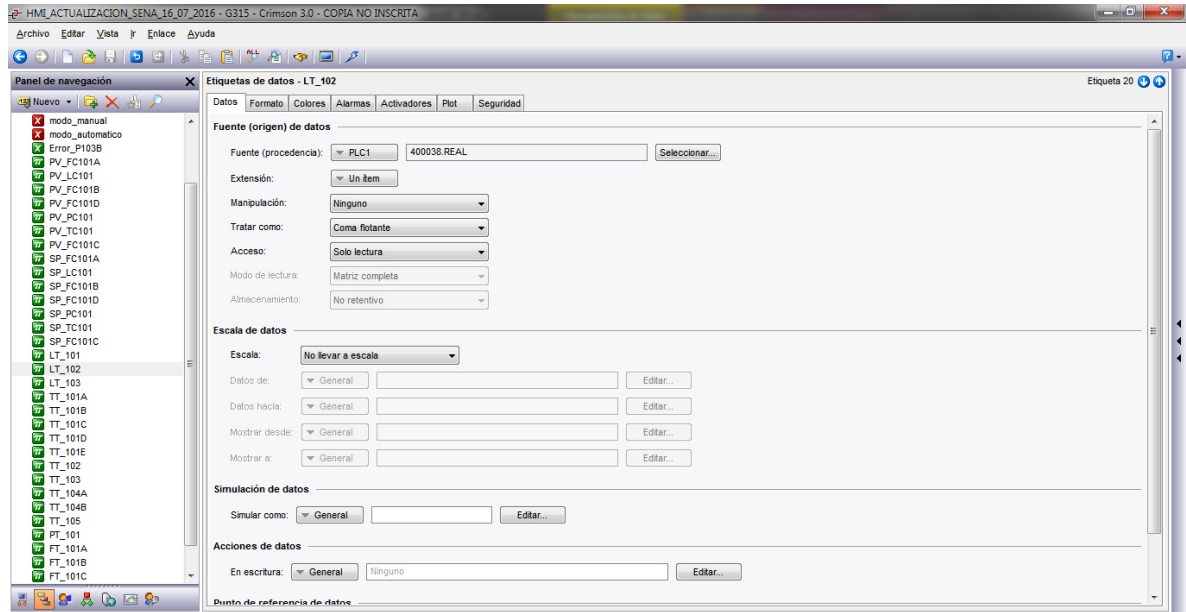


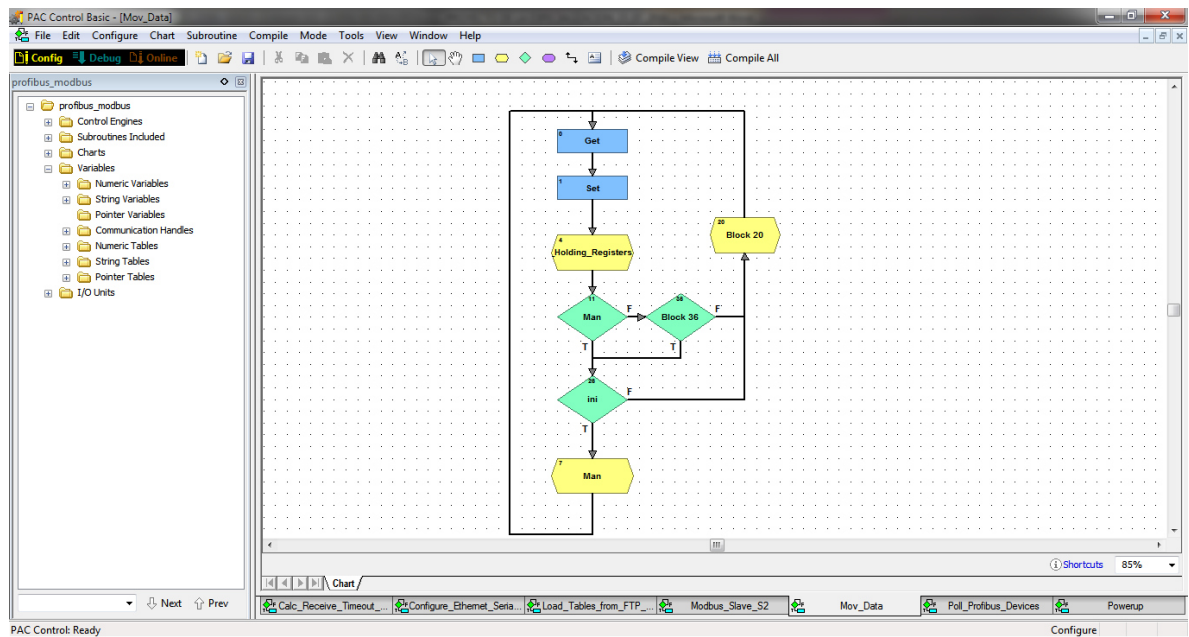
Tabla 3. Datos medidos en los instrumentos del área de servicios después de las mejoras realizadas.

TAG	Rango Configurado por los especialistas	Datos tomados del HMI			Datos reales medidos con Comunicador de campo		
		Corriente (mA)	PV	%	Corriente (mA)	PV	%
LT 102	0 - 1100 mmH2O	8,96	N/A	31%	8,80	N/A	30%
LT 103	0 - 1100 mmH2O	15,8	N/A	74%	15,8	601,8 mmH2O	74%
TT 102	0 - 100 °C	8,30	27 °C	27%	8,27	26,7 °C	27%
TT 103	0 - 100 °C	8,20	26 °C	26%	8,14	25,9 °C	26%
TT 104A	0 - 100 °C	8,00	25 °C	25%	7,99	24,95 °C	25%
TT 104B	0 - 100 °C	8,00	25 °C	25%	7,98	24,89 °C	25%
TT 105	0 - 100 °C	8,30	27 °C	27%	8,31	27,05 °C	27%

5.1.6 Organización de referencias entre PLC y HMI. Similar a la sección anterior, en la medida en que se iba revisando cada una de las etiquetas del HMI y contrastarlas con las presentadas por el PLC se evidenció que los instrumentos que no estaban operando de manera adecuada tenían la misma causa de error: las direcciones de los registros entre el OPTO 22 SNAC-PAC-R2 y el sistema supervisorio G315 no correspondían. Sumado a lo anterior, algunas rutinas de

programación en la comunicación de los registros del PLC con el HMI presentaban incoherencias de ejecución, motivo por el cual los instrumentos no eran reconocidos adecuadamente en el terminal de usuario, y tampoco era posible realizar ningún tipo de acción sobre los instrumentos desde éste. La figura 29 muestra el entorno de programación del PLC OPTO 22 SNAC-PAC-R2.

Figura 29 Interfaz de programación PAC Control Basic. Aplicación en Flow Chart.



La programación dentro de este sistema se realiza mediante FlowCharts, en conjunto con OptoScripts que se escriben en lenguaje C. Se verificó en detalle la declaración de variables, el cuerpo de la programación, las diferentes subrutinas, la secuencia de ejecución. Después de su análisis se encontraron las referencias cruzadas con el HMI y se procedió a realizar los cambios correspondientes. Para ilustrar mejor, la figura 30 muestra parte de la programación escrita en lenguaje C y la sintaxis del OptoScript. La figura 31 muestra la declaración de las variables en el PAC Control Basic. La figura 32 muestra la programación propia de Flow Chart.

Figura 30. Programacion del OptoScript desarrollado en lenguaje C.

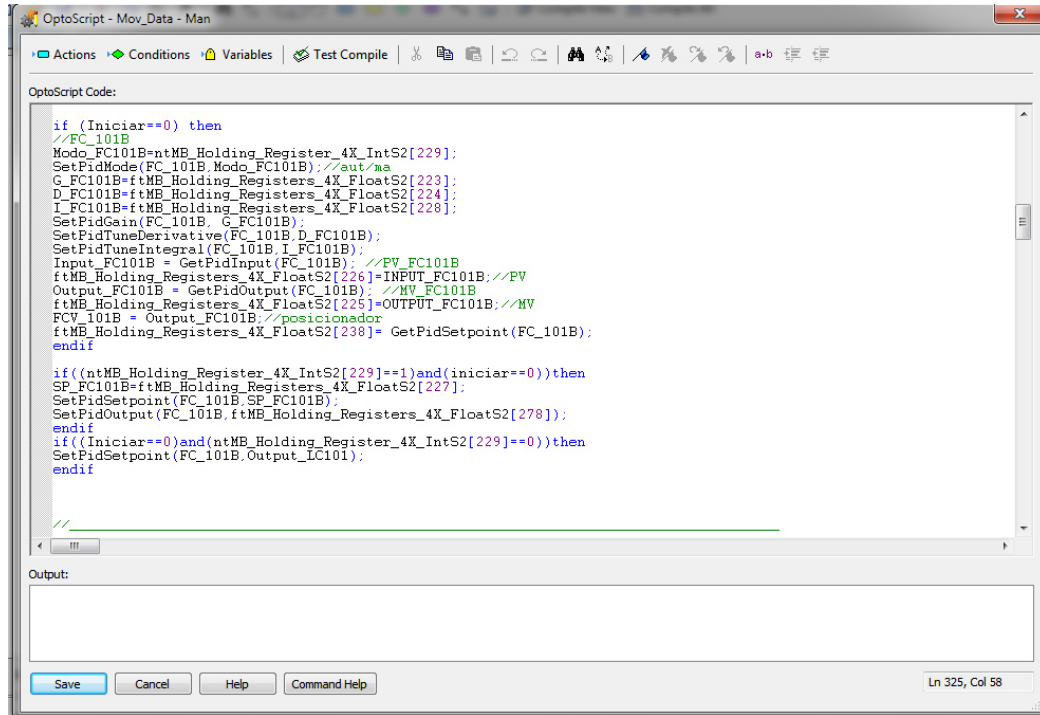


Figura 31. Declaracion de variables en PAC Control Basic.

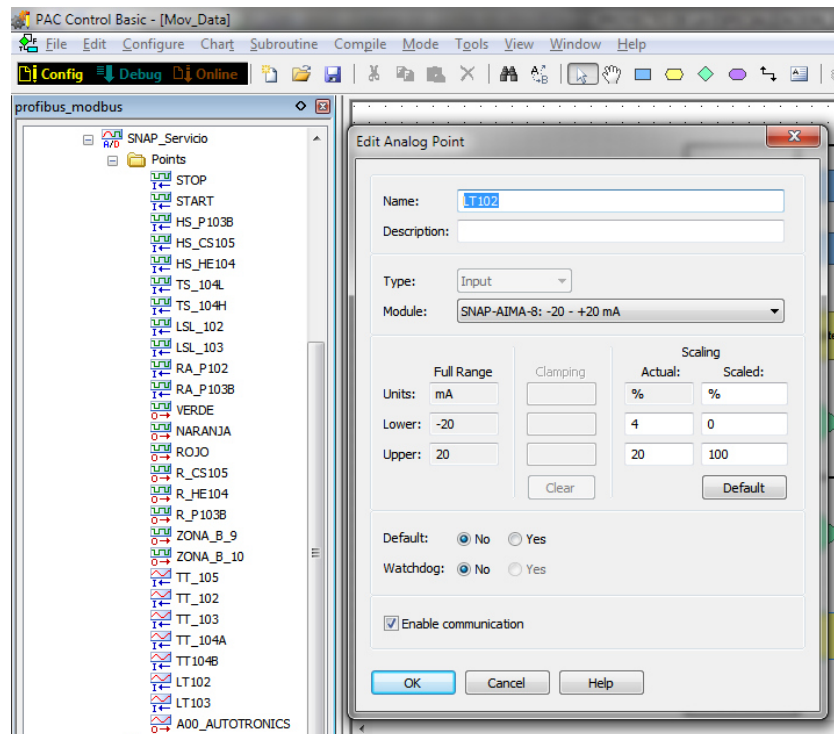
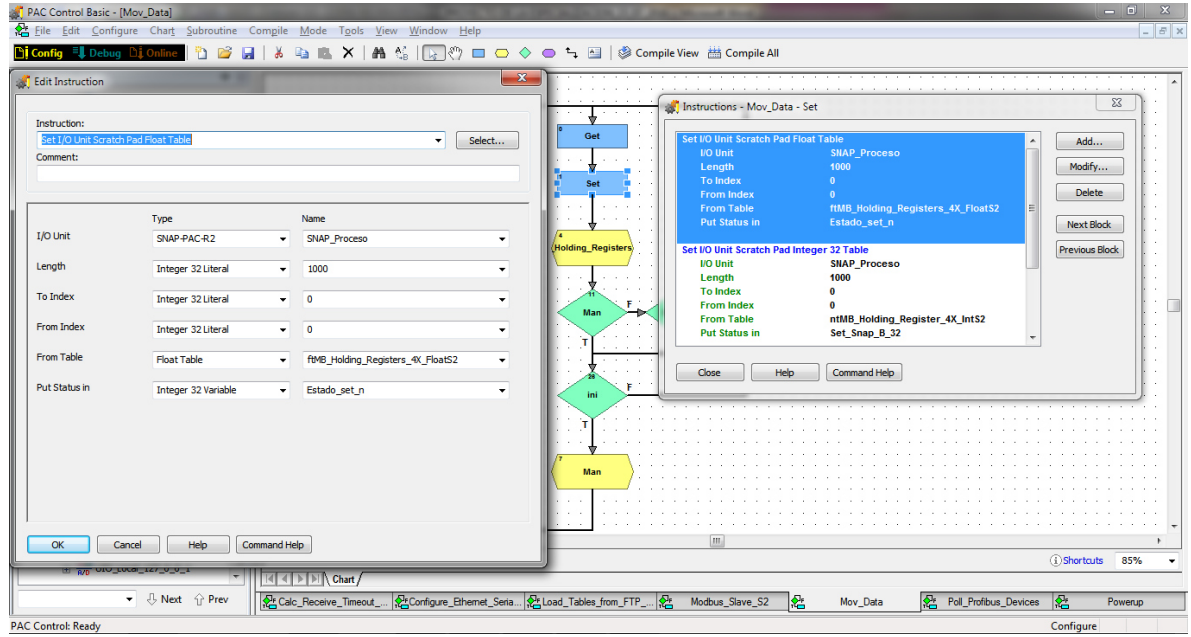


Figura 32. Programacion de un bloque de Flow Chart.





## 6. CONCLUSIONES

A través de este proyecto se logró mejorar, corregir y optimizar el funcionamiento de la PLANTA DIDACTICA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS del Centro Para la Industria Petroquímica SENA regional Bolívar, utilizando como punto de partida la normatividad en Instrumentación, Automatización y Control de Procesos vigente a nivel mundial.

Se realizaron actividades que permitieron obtener el estado actual de la PLANTA con el fin de realizar un análisis y obtener un diagnóstico de las posibles acciones de mejora a realizar. Con base en estos resultados, y en la matriz de riesgo realizada, se seleccionaron las situaciones que podían afectar a las personas que están en contacto con la PLANTA, junto con los procedimientos y acciones subestandar que podrían afectar la integridad de los activos que la conforman.

En referencia al sistema supervisorio, se realizó un cambio completo de la interfaz gráfica pensando en el usuario final y las necesidades de proceso presentes, junto a las recomendaciones de los interesados, teniendo como referencia las recomendaciones y buenas prácticas de expertos y lo contemplado en los avances de la norma ISA 101.

En aras de contribuir a mejorar la formación brindada por el SENA en el área de Instrumentación, Automatización y Control, se entrega este documento como referencia para el aprendizaje de los procesos y el uso adecuado de la PLANTA, sumado a la posibilidad de posteriores mejoras a realizarse en ella.

Se alcanzaron las expectativas a través de este proyecto al colocar las competencias adquiridas en la especialización como fuentes generadoras de valor agregado en las áreas de Instrumentación Industrial, Automatización y Control de Procesos Industriales.

## BIBLIOGRAFIA

BILL HOLLIFIELD, DANA OLIVER; IAN NIMMO; EDDIE HABIBI. The high performance HMI handbook: a comprehensive guide to designing, implementing and maintaining effective HMIs for industrial plant operations. Texas PAS. 2008

GALLIMORE, J. & SHINKLE, J.A., Color Usage in Graphic Displays for Process Control, Report written for the Center for Operator Performance, Nov. 2008.

Bullemer, P., Reising, D. V., Burns, C., Hajdukiewicz, J., & Andrzejewski, J. ASM Consortium Guidelines. Effective Operator Display Design. ASM.2008

Paul Gruhn, P.E., Human Machine Interface (HMI) Design: The Good, The Bad, and The Ugly (and what makes them so), Houston, TX, 2011.

MIKE GRANBY, JESSE BENEFIEL, Manual del Usuario para Crimson 3.0, Redlion Controls inc.,2009.

MICHAEL E. HAWRYLO, ISA101, Human Machine Interfaces: Applying ISA101 Concepts to Existing HMI Applications, 2015

ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems, 2015.



## AUTORIZACIÓN

Nosotros, AMAURI ROMERO ESCOBAR, ERICK SARMIENTO HERNANDEZ y LUÍS CARLOS MARROQUÍN CASTILLA, identificados con cédulas de ciudadanía 9.103.176 de Cartagena, 73.192.015 de Cartagena y 1.128.050.740 de Cartagena respectivamente, autorizamos a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer buen uso del proyecto de grado titulado **OPTIMIZACION Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDACTICA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS**, y a publicarlo en el catálogo ONLINE de la Biblioteca.

AMAURI ROMERO ESCOBAR  
C.C. 9.103.176 de Cartagena

ERICK SARMIENTO HERNANDEZ  
C.C. 73.192.015 de Cartagena

LUÍS CARLOS MARROQUÍN CASTILLA  
C.C.1.128.050.740 de Cartagena

Cartagena de Indias, miércoles 27 de julio de 2016

Señores:

Comité Curricular

Especialización en Automatización y Control de Procesos Industriales

Universidad Tecnológica de Bolívar

Cordial Saludo:

Cordialmente me permito presentar a ustedes el trabajo titulado: **“OPTIMIZACIÓN Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDÁCTICA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS”**, desarrollado por los ingenieros, Amauri Romero Escobar, Erick Sarmiento Hernández y Luis Carlos Marroquín Castilla. Este trabajo ha sido desarrollado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Automatización y Control de Procesos Industriales.

Igualmente, certifico que he dirigido el trabajo ha sido revisado por mi parte, y que el documento presentado corresponde a los alcances aprobados por el comité curricular.

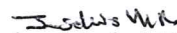
Atentamente,



Jorge Ejezer Duque Pardo

Director del Programa

Universidad Tecnológica de Bolívar



José Luis Villa, PhD

Docente del Programa

Universidad Tecnológica de Bolívar



Cartagena de Indias D.T. y C., 15 de Julio de 2016

Señores:

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
**ATN: COMITÉ EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Ciudad

Cordial Saludo.

Nos permitimos presentar formalmente ante ustedes el trabajo titulado **OPTIMIZACION Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDACTICA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS**, el cual fue dirigido por el Msc. JORGE DUQUE PARDO y desarrollado por nosotros, como requisito para optar al título de Ingenieros Electrónicos.

Atentamente,

\_\_\_\_\_  
AMAURI ROMERO ESCOBAR

C.C. 9.103.176 de Cartagena

\_\_\_\_\_  
ERICK SARMIENTO HERNANDEZ

C.C. 73.192.015 de Cartagena

\_\_\_\_\_  
LUIS CARLOS MARROQUIN CASTILLA

C.C. 1.128.050.740 de Cartagena



## AUTORIZACIÓN

Nosotros, AMAURI ROMERO ESCOBAR, ERICK SARMIENTO HERNANDEZ y LUÍS CARLOS MARROQUÍN CASTILLA, identificados con cédulas de ciudadanía 9.103.176 de Cartagena, 73.192.015 de Cartagena y 1.128.050.740 de Cartagena respectivamente, autorizamos a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer buen uso del proyecto de grado titulado **OPTIMIZACION Y MEJORA DE UNA PLANTA DIDACTICA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS**, y a publicarlo en el catálogo ONLINE de la Biblioteca.

AMAURI ROMERO ESCOBAR  
C.C. 9.103.176 de Cartagena

ERICK SARMIENTO HERNANDEZ  
C.C. 73.192.015 de Cartagena

LUÍS CARLOS MARROQUÍN CASTILLA  
C.C.1.128.050.740 de Cartagena