

# **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURA DE LOS HORNOS DE CRUDO CH001 Y C2H001 DE LA REFINERÍA AMAZONAS”**

**Autor: Javier Santiago Toscano Alulema**

**Director: Ing. Hugo Ortiz**

**Codirector: Ing. Rodolfo Gordillo**

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército

Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador

**Resumen.** En el sector petrolero los sistemas automatizados son utilizados como un conjunto de equipos, elementos o sistemas computarizados y electromecánicos para controlar, supervisar y monitorear maquinas y/o procesos sustituyendo a operadores humanos.

El presente proyecto corresponde al sistema automatizado de monitoreo de temperaturas de los hornos de crudo de la Refinería Amazonas. Este sistema es una solución de bajo costo pero con características de sistemas de alto nivel, realiza operaciones de monitoreo y supervisión de manera local desde la sala de control de la refinería.

El sistema permite visualizar el estado actual de temperaturas, muestras tendencias reales e históricas de las temperaturas, gestión de eventos y alarmas y queda a disposición de la empresa el sistema para futuras ampliaciones de los procesos.

La adquisición de datos y la lógica de control lo realiza dos PLC's Twido, la comunicación PLC – HMI esta implementada en interfase RS 485 – RS 232 con protocolo modbus.

El sistema está implementado con tecnologías de software orientadas a objetos como son TwidoSuite V. 2.1 una herramienta robusta para programación de PLC's de la familia Twido de Telemecanique e Intouch V. 10.1 una herramienta potente y flexible para el desarrollo de interfaces de operador, con lo que se obtiene un sistema totalmente amigable, rápido, confiable y escalable.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El elevado crecimiento de la economía en los últimos años se ha traducido en un extraordinario desarrollo tecnológico, esto implica una alta proliferación de controles, dispositivos electrónicos y sistemas automatizados, que conllevan a un

incremento del uso de la tecnología en procesos de producción en diferentes áreas.

Dentro de la refinación de petróleo existen dos caminos para incrementar los ingresos: a) aumentando la capacidad de refinación y b) optimizando los procesos de refinación, una inversión extra hecha por el país, para aumentar la capacidad de refinación está limitada, por tanto la optimización de los procesos de refinación es la alternativa más viable para mejorar la economía del petróleo en el Ecuador.

Las necesidades actuales contemplan estabilidad, seguridad y diagnóstico en tiempo real del proceso de refinación para la identificación preventiva y correctiva de errores, para llevar registros estadísticos que mejoren la eficiencia del sistema y disminuyan costos operacionales en la industria, de igual manera para llevar un sistema de gestión para mantenimiento; es por esto que cada vez se vuelve prioritaria la automatización de las refinerías del país.

La Refinería Amazonas como parte del Complejo Industrial Shushufindi, inició su operación con la Refinería 1 en 1987 mientras que la Refinería 2 entró en funcionamiento en 1995, se encuentra ubicada en la ciudad de Shushufindi (Prov. Sucumbíos), siendo el principal centro industrializado de esta región del país.

Como parte de la mejora tecnológica que se está implementando en la Refinería Amazonas, se continúa automatizando el proceso de refinación de crudo con el fin de mejorar la eficiencia de la planta, dentro de este esquema la planta ha establecido varios proyectos de automatización en las diferentes etapas del proceso de refinación, siendo el monitoreo de temperaturas de crudo en los hornos uno de estos proyectos a implementarse.

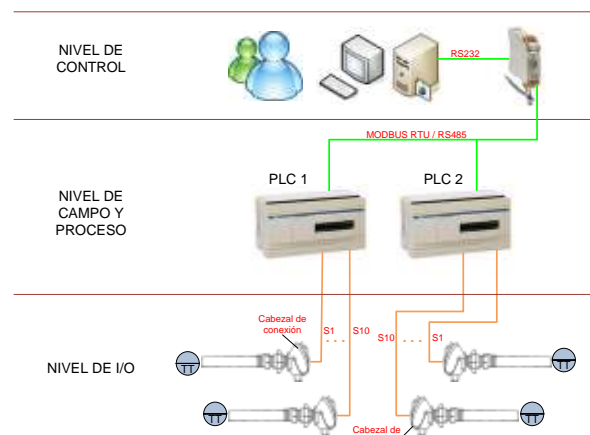
Actualmente la sala de control de la refinería cuenta con varios sistemas de monitoreo y supervisión, los cuales permanentemente están arrojando y registrando datos reales de los diferente procesos de refinación, dichos sistemas han permitido al Complejo Industrial reducir los

costos de refinación e incrementar la eficiencia de operaciones de los procesos.

Con el afán de continuar con la mejora tecnológica de los procesos de refinación, la empresa AEC S.A. realizó el desarrollo e implementación del sistema de monitoreo y supervisión para los hornos de crudo CH001 y C2H001.

## II. DISEÑO DEL SISTEMA

Este sistema busca proporcionar la temperatura de cada una de las localidades estratégicamente seleccionadas. Para esto se debe implementar un sistema que permita la medición precisa de las variables de temperatura, de tal modo que la arquitectura que se va a desarrollar para la adquisición de datos se muestra en la figura 1.



**Figura. 1. Arquitectura del sistema de monitoreo de temperaturas**

El sistema debe cumplir con las funcionalidades y características que se describen a continuación:

- ❖ Monitoreo y supervisión
- ❖ Comunicación
- ❖ Automatización
- ❖ Archivado y proceso de información
- ❖ Los equipos a utilizarse serán modernos, de arquitectura flexible, basado en sistemas micro procesados.
- ❖ El sistema de comunicación será abierto permitiendo la integración de más dispositivos a un futuro y se utilizará protocolos estándar como lo es ModBus.

## 2.1 Nivel de I/O del Sistema(Adquisición de datos)

La adquisición de datos se lo realizará a través de termoskin (termocuplas a tubos), las cuales miden con precisión la temperatura de la piel tubo en hornos de proceso y calderas. Están diseñados para minimizar los problemas de medición de la temperatura causada por el choque de llama y calor radiante. El seguimiento preciso de la piel aumentará la eficiencia del tubo de temperatura de los hornos, proporcionan datos precisos de vida de los tubos, y ayuda en las operaciones de decoking.

La ubicación de cada uno de los sensores en los dos hornos se muestra a continuación.

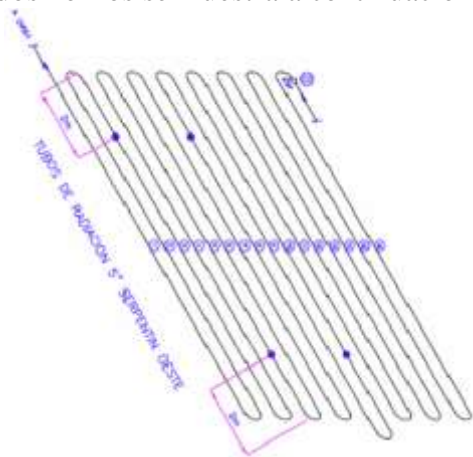


Fig.2. Termoskin en pared oeste de los hornos

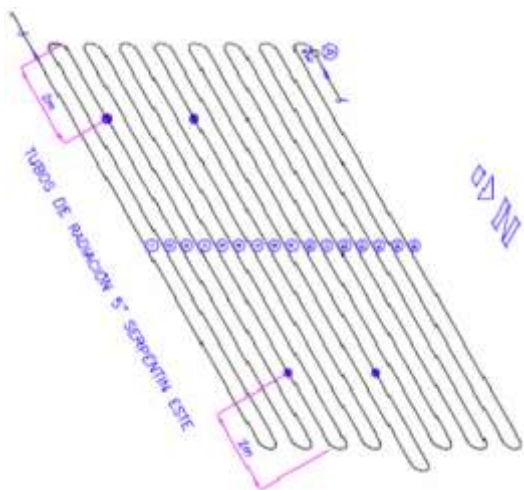


Fig.3. Termoskin en pared este de los hornos

## 2.2 Nivel de Proceso del Sistema (Concentración de datos)

La concentración de datos se lo realiza a través de controladores lógicos programables (PLC's), los cuales reciben las

señales emitidas por las termocuplas instaladas en la piel de los tubos; para dicha operación se utiliza módulos analógicos capaces de interpretar las señales emitidas por los sensores (unidades crudas) en unidades de ingeniería.

Los controladores básicamente se utilizan para las siguientes funciones:

- ❖ Concentración y monitoreo de información.
- ❖ Adquirir datos de temperatura de cada una de las zonas en donde están instalados los sensores, mediante la medición, procesamiento y visualización de las variables con la mayor precisión posible.
- ❖ Llevar los datos de las variables que recogen hacia el HMI en la sala de control.

Las conexiones de la instrumentación hacia los PLC's se presenta en la figura 4.

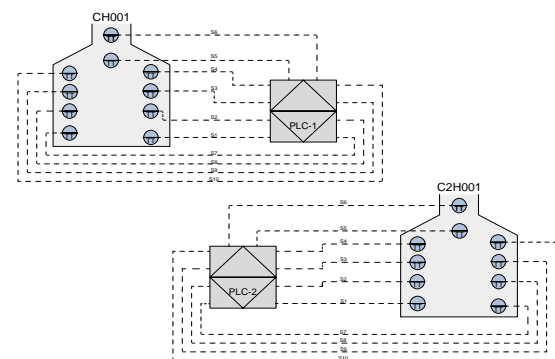


Figura. 4. P&ID de Conexiones a los PLC's

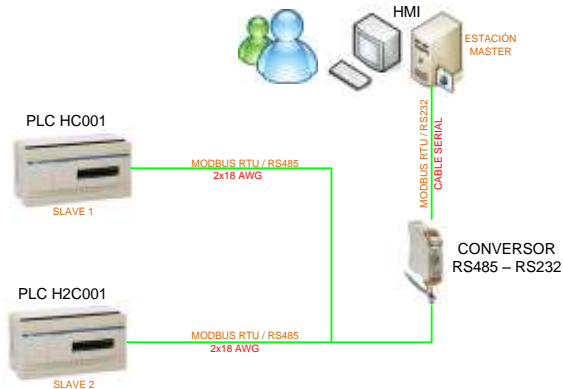
La red de comunicación ModBus implementada usó la interfaz RS485 debido a que los procesos se encuentran aproximadamente a 200 metros de la sala de control, por tal motivo los controladores estarán provistos de un puerto apropiado para dicho propósito.

## 2.3 Nivel de Control del Sistema

En el nivel de control del sistema de monitoreo se ubicó un computador en el cual se desarrolló un HMI en el software Intouch, comunicándose con el nivel de control mediante una red Modbus con una interfaz RS232, este HMI muestra la información de cada una de las zonas donde

fueron colocados los sensores en los procesos.

Para acoplar las dos señales de datos enviadas por los PLC's, así como el acoplamiento entre interfaces para la interpretación de datos por parte del HMI, como solución, se acopló las señales entre el nivel de proceso y de control en base al siguiente diseño.



**Fig.5. Diseño de la red ModBus entre nivel de proceso y control**

## 2.4 Diseño de la Interfaz Humano Máquina (HMI)

### Requerimientos

#### ❖ Computador

Procesador Centrino o superior.  
 Memoria RAM de 512 MB o superior.  
 Acelerador Gráfico que soporte una resolución de 1024x768 píxeles.  
 Sistema Operativo MICROSOFT WINDOWS XP con SP2.  
 Tarjeta de red, puerto serie (fundamental), puertos usb, teclado, mouse.

#### ❖ Software

El software que se utilizó para la implementación del HMI fue INTOUCH de Wonderware.

#### ❖ I/O Server

El I/O Server Modicon Modbus Serial de Wonderware, se implementó como servidor de protocolo de comunicación Modbus vía RS-232 que permitió el acceso de las aplicaciones de los PLC's a Windows.

### Condiciones de diseño del HMI

❖ Debe tener cuentas de acceso por contraseña, a nivel de supervisor y operador.

- ❖ Contar con una pantalla principal de temperaturas.
- ❖ Contar con una pantalla histórica de temperaturas.
- ❖ Se debe contar con una ventana de tendencias de temperaturas en tiempo real.
- ❖ Se debe tener una pantalla de alarmas.
- ❖ Debe contar con una pantalla para el seteo de los rangos de funcionamiento de cada uno de los termoskin del sistema.

#### ❖ Pantalla de Bienvenida e Ingreso

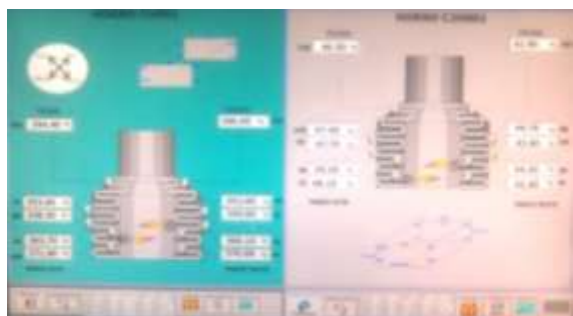
Esta pantalla permite a los usuarios ingresar a los entornos, ya sea como supervisor u operador.



**Fig.6. Ingreso de usuario y password**

#### ❖ Pantalla de Temperaturas

En esta pantalla el usuario puede visualizar el estado actual de los procesos, es decir la temperatura actual a la que se encuentra cada una de las zonas donde se ubico las termocuplas, tanto en la pared Este, Oeste, techo en la parte Norte y Sur de los dos hornos.



**Fig.7. Pantalla de temperaturas en hornos**

#### ❖ Pantalla de Alarmas

En esta pantalla se muestran, de una forma visual, las alarmas que pueden producirse en cada uno de los sensores de campo, junto con ellos se muestra también la ubicación y



el rango actual (nivel alto-nivel bajo) de temperatura



Fig.8. Pantalla de alarmas en hornos

En modo Supervisor, está en capacidad de establecer los rangos de funcionamiento de cada una de la termocuplas del sistema.



Fig.9. Pantalla de configuración de rangos de alarmas

### ❖ Pantalla de Históricos

En este ambiente el usuario es capaz de visualizar el muestreo de los datos con el fin de analizar el comportamiento de los procesos correspondientes a un período de tiempo determinado.

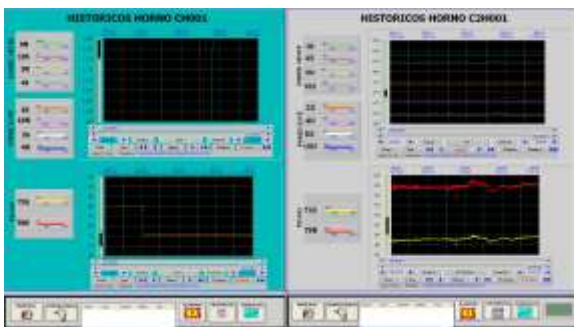


Fig.10. Pantalla de históricos de temperaturas

### ❖ Pantalla de Tendencias

En este entorno el usuario puede monitorear el comportamiento de la temperatura en las zonas donde se instalaron los sensores, con el objetivo de tener un conocimiento más preciso del proceso a nivel general.

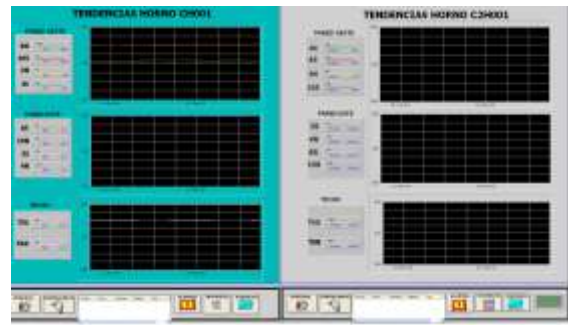


Fig.11. Pantalla de tendencias de temperaturas

## III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

### 3.1 Selección de Componentes

#### ❖ Nivel I/O del Sistema

##### Termoskin

Se adquirió los termoskin fabricados por la empresa Gayesco, ya que utiliza un sistema flexible que permite utilizar referencias para especificar la calidad de los termopares. A continuación se presentan estos indicadores que nos ayudaron a seleccionar los sensores adecuados:

1. *Calibración*
2. *Datos de la vaina: Medida y Material*
3. *Medición de la junta*
4. *Longitud de la vaina*
5. *Tipo de extensión del cable*
6. *Tipo de cabeza*
7. *Conexión a proceso*

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS REQUERIDAS	CARACTERISTICAS ADQUIRIDAS
ID Parte	XTPD-K-25-S0-G-LE-7-HA35-8NUN	K-25-S0-G-L-E7-HA35-8NUN (GAYESCO)
Tipo	K	K (cromel - alumel)
Diámetro vaina	0.250 OD	1/4" OD
Material vaina	310 SS	310 Acero Inoxidable
Junta	Grounded	Aterrado
Longitud vaina	L	L
Extensión del cable	E7	Teflón FEP (E7)
Cabezal de conexión	HA35	Cabezal de conexión HA35
Montaje	8NUN	Conexión al proceso de 1/2" NPT (8NUN)

Tabla 1. Termoskin solicitados y adquiridos

## Cable de Extensión para Termocupla

Con el fin de llevar la información muestreada por los sensores hacia los controladores, y debido a la distancias de estos, fue necesaria la utilización de cables de extensión especiales para termocuplas tipo K.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
CARCATERISTICAS	SOLICITADAS	ADQUIRIDAS
Tipo	Cable Belden o similar 300 V Tipo K	Marca :TEW-C Para 300 V, con aislamiento de PVC, tipo K
Rango de temperatura	293 - 980 °C	Hasta 1200 °C
Número de pares	1 para conexión desde caja de empalme a PLC	16 AWG sólido de 1 par
Localización	CLASE 1 DIVISION 2	CLASE 1 DIVISION 2 HAZARDOUS LOCATION
Aislamiento	TPE / TPE (105 °C)	TPE 105 °C

**Tabla 2. Cable de extensión de termocuplas solicitados y adquiridos**

## ❖ Nivel de Proceso del Sistema Concentración de Datos

Este ítem hace referencia a los dispositivos electrónicos que se utilizaron para la adquisición de datos.

PLC's		
DESCRIPCION	SOLICITADA	ADQUIRIDA
Marca		Twido (Schneider Electric)
Modelo		TWDLCAA40DRF
Tipo	Compacto	Compacto
Voltaje de Entrada	110 Vac	100...240 V
Interfaz de Comunicación	Puerto serie RS485	1 puerto serie RS485 (conector mini-DIN) y 1 puerto serie RS485 (conector bornas con tornillos)
Temperatura de Trabajo	0+ 55 °C	Funcionamiento: 0...+ 55. Almacenamiento: - 25...+ 70
Humedad de Trabajo	30 al 95%, sin condensación	30 al 95%, sin condensación
Protocolos de comunicación		Modbus RTU Maestro/Esclavo. Modo caracteres ASCII
Protección		Clase 1 División 2

**Tabla 3. Controladores lógicos programables**

MODULOS ANALOGICOS		
DESCRIPCION	SOLICITADA	ADQUIRIDA
Modelo		TM2ALM3LT (Schneider Electric)
Número de canales I/O	2 Inputs	2 Entradas / 1 Salida
Señal / sensor de tipo	Termocupla	Entradas de termopar/ termosonda Salida tensión/corriente
Tipo de entrada	Tipo K	Termopar de tipo K, J y T Termosonda de 3 hilos Pt 100
Alimentación	24 VDC	24 VDC
Tipo de conexión	Bornera	Bornero con tornillos desenchufable

**Tabla 4. Módulos analógicos para señales de Temperatura**

## Protección contra Fenómenos Eléctricos

Se utilizó supresores de transientes con el fin de brindar disponibilidad y seguridad a los equipos que se utilizaron para la ejecución del proyecto.

SUPRESOR DE TRANSIENTES		
DESCRIPCION	SOLICITADA	ADQUIRIDA
Marca		Sine Timer
Modelo		ST-SPT-120-15
Tipo	Panel	Panel
Enclosure	Resisten al polvo	Resisten al polvo, Plástico, UL 94V
Clase	A	A
Modos de Protección	L-N, L-GND, N-GND	L-N, L-GND, N-GND
Tiempo de Respuesta	<= 1nS	<= 1nS
Indicador de Operación	Led de funcionalidad	LED Súper brillante, normalmente encendido
Normas	IEEE C62.41 & C62.45	IEEE C62.41 & C62.45
Diseño		Hibrido
Sistema		Seguimiento de Onda

**Tabla 5. Supresor de transientes**

## Comunicación de Datos

Se utilizó un cable trenzado y apantallado para la implementación de la red ModBus desde los controladores hacia el HMI.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	
	SOLICITADA	ADQUIRIDA
Marca		OKONITE (264-10-3301)
Tipo	Trenzado y Apantallado / 300V	Trenzado y Apantallado / 300 V
Calibre	2 X 18 AWG	2 x 18 AWG
Temperatura de Trabajo	Hsta 100 °C	Hasta 105 °C
Numero de Pares	1 Para conexión desde PLC's hasta panel de control	1 Par

Tabla 6. Cable de Instrumentación (Datos)

### ❖ Nivel de Control del Sistema

Este nivel permite recopilar toda la información obtenida en campo en un computador.

Se instaló también un pequeño tablero en el cuarto de control de refinería, donde se colocaron los dispositivos que permitieron acoplar las señales de instrumentación entre los procesos y el HMI.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Marca	Weidmuller
Modelo	RS232/RS485/422
Alimentación	24 Vdc +/- 25 %
Comunicación	Bidireccional
Temperatura de funcionamiento	0 °C...+55 °C
Standards	EN 50178
<b>RS232</b>	
Conexión	DB9
Asignación	DTE/DCE conmutable via DIP-Switch
<b>RS485</b>	
Conexión	BLZ Conexión por tornillo
Indicador de estado	LED verde: tensión de alimentación, TxD, RxD
Control de dirección de datos	Auto control o mediante RS232 RTS / CTS
Canales de transmisión	half-duplex (RS-485 a 2 hilos) full-duplex (RS485-RS422 a 4 hilos)
Distancia de transmisión	Max. 1200 mts en par trenzado

Tabla 7. Conversor RS485/RS232 adquirido

## 3.2 Puesta en Marcha del Sistema

### ❖ Configuración de PLC's

La programación y configuración de los PLC's se lo realizó en el software de programación Twido Suite.



Fig.12. Configuración de módulos analógicos



Fig.13. Configuración PLC C2H001 como esclavo



Fig.14. Configuración PC-HMI como maestra



Fig.15. Configuración de la red entre esclavo y maestro

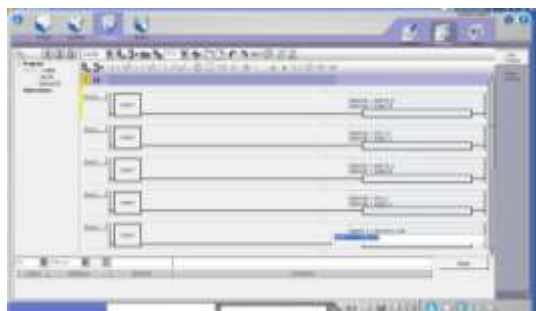


Fig.16. Programación de PLC C2H001 para adquisición de datos

## ❖ Comunicación PLC's – HMI de Operación

Este tópico está relacionado con la comunicación de los controladores lógicos programables (PLC's) con la interface hombre - máquina (HMI) de la Workstation ubicada en la sala de control.

### Configuración I/O Server ( Modicom ModBus)

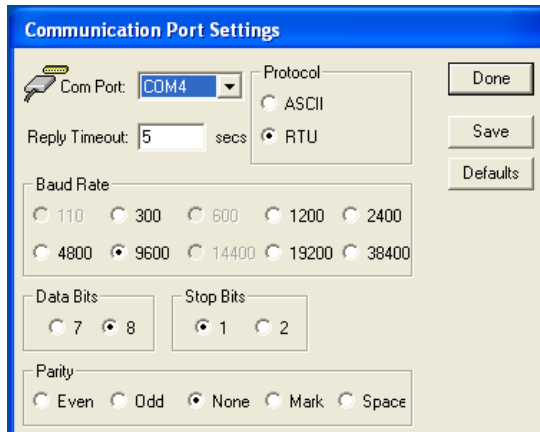


Fig.17. Configuración del puerto de comunicación.

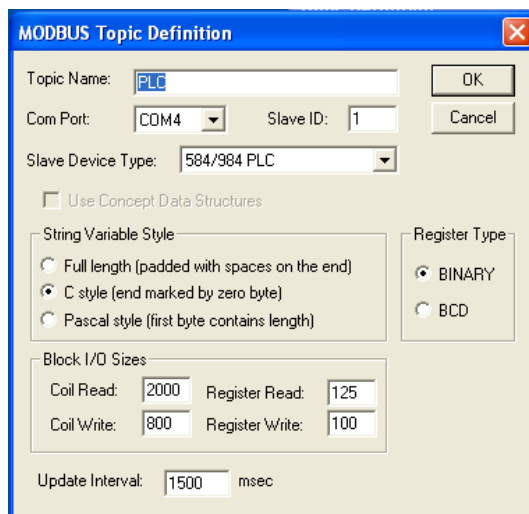


Fig.18. Configuración del Nombre de acceso al dispositivo (PLC CH001)

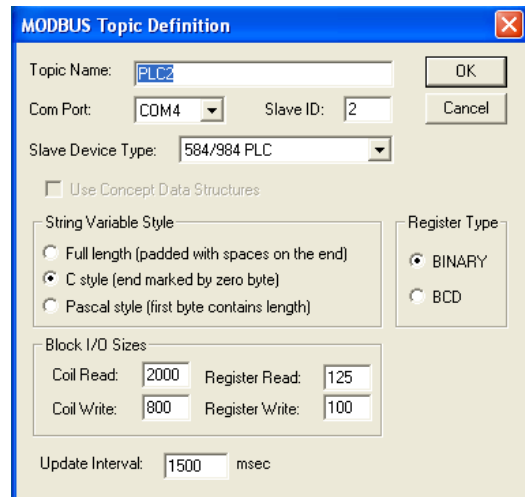


Fig.19. Configuración del Nombre de acceso al dispositivo (PLC C2H001)

### Configuración Intouch 10.1

En Intouch se crearon dos Access Names con el fin de relacionar cada uno de los tags creados con los registros de cada uno de los PLC's de los hornos.

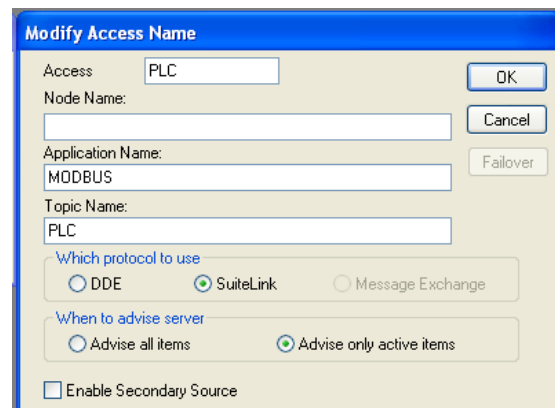


Fig.20. Configuración del nombre de acceso para PLC CH001

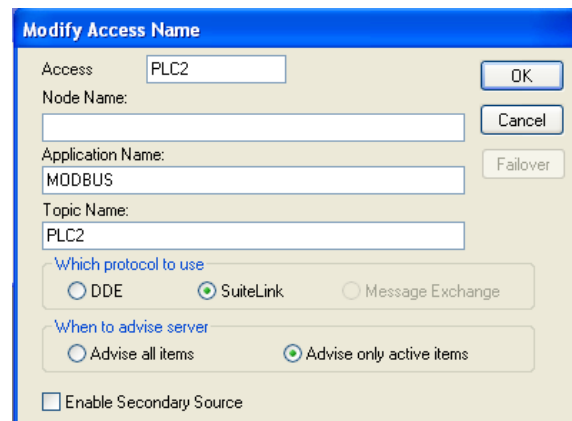


Fig.21. Configuración del nombre de acceso para PLC C2H001



## IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

### 4.1 Pruebas

#### Chequeo de conexiones en tableros de control y en tablero de conversión de interfaces

En este punto se procedió con la verificación de continuidad de los tableros entre dispositivos de maniobra, PLC, módulos, fuentes y borneras de conexión.

#### Monitoreo en TwidoSuite del programa para el PLC Twido

Con el fin de verificar la lógica de programación, se supervisó directamente en los controladores vía PC.

#### Prueba de Comunicación entre la HMI y Dispositivos de Medida

En este tópico se verificó el correcto funcionamiento de la comunicación entre la aplicación HMI y los dispositivos de medición ubicados en campo.

#### Prueba de pantallas desarrolladas para el HMI

Como parte final de las pruebas se verificó el correcto desempeño de cada uno de los entornos desarrollados para el HMI de monitoreo y supervisión.

### 5.2 Resultados

❖ La principal ventaja que brinda el sistema implementado es que permite realizar funciones como: adquisición de datos, monitoreo, supervisión, de tal manera que ya no es necesario que personal de operaciones se dirija hacia los procesos a recoger información en hojas de datos o para realizar acciones u operaciones, sino que la información podrá ser vista y manipulada desde un computador.

❖ Los tableros que disponen de dispositivos electrónicos que son parte del sistema automatizado, no registraron ningún inconveniente al realizar las pruebas de continuidad; una vez energizados los tableros se empezó a poner en marcha de a poco el sistema.

❖ Se constató mediante los I/O Server Modicom ModBus, que las pruebas de la red de comunicación de datos realizadas entre procesos y HMI, resultaron satisfactorias.

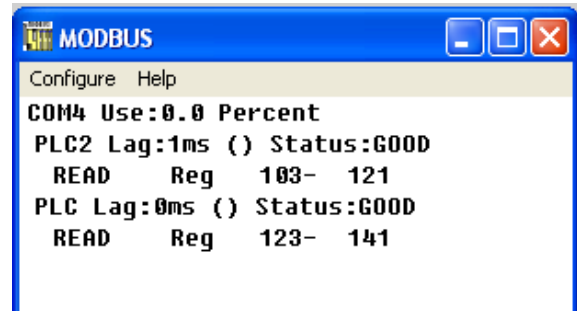


Fig.22. Estado OK de comunicaciones entre procesos y HMI

❖ El sistema implementado permite al operador ya no debe llenar hojas de datos manualmente, lo único que debe realizar es guardar la información monitoreada como una extensión de Excel en la PC, esto implicará tener información en un formato más claro y legible, con mayor precisión y de fácil procesamiento.

Fig.23. Hoja de datos como archivo de extensión csv.

❖ Se verificó que la funcionalidad de cada uno de los entornos creados para el HMI no presentaron ningún problema, en este punto se realizó pequeñas modificaciones en cuanto a la presentación de las pantallas; se pudo observar también que animación, coloreo dinámico, medidas y estados de dispositivos se presentan de una forma amigable al usuario.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

❖ La implementación del sistema de monitoreo de temperaturas en los hornos CH001 y C2H001, mejoró la ejecución del proceso de pre-cocinado del crudo,

implementando funciones de supervisión, monitoreo y adquisición de datos, optimizando así los recursos físicos, humanos y de tiempo.

❖ El HMI que se desarrolló pone a disposición de operadores un sistema de información de datos en tiempo real e histórico y gráficas de tendencias, lo que les permite analizar la eficiencia operativa de los procesos, y a su vez les permite realizar una identificación preventiva y correctiva de errores.

❖ Se necesitó familiarizarse completamente con el proceso de pre-cocinado de crudo, con el fin de tener clara la idea de lo que se requiere hacer y poder comenzar con los diseños preliminares de la arquitectura del sistema automatizado.

❖ En este tipo de industria es esencial tener en cuenta las denominadas “zonas peligrosas”, para esto se debe tener presente el artículo 500 de la NEC, cuando se realiza trabajos en estos sitios, por que en estas zonas pueden producirse deterioro o en el peor de los casos pérdidas en las instalaciones debido a la explosión o ignición de vapores, líquidos, gases y polvos combustibles contenidos en la atmósfera.

❖ Dado que el sistema implementado es flexible, queda a disposición del personal de refinería los tableros de control y HMI para una ampliación o mejoras de los procesos a un futuro, como ejemplo se puede mencionar, la automatización del sistema de soplado de hollín de las chimeneas de los hornos ya que se las realiza manualmente.

## REFERENCIAS

- [1] Acedo Sánchez José, Control Avanzado de Procesos (Teoría y Práctica), Ediciones Díaz de Santos, S. A. 2003.
- [2] Creus Solé Antonio, Instrumentación industrial, Sexta Edición, España 1997.
- [3] Romero AVECILLAS, Cristian Joaquín, “Diseño de un Sistema SCADA para el Proceso de Producción de los Pozos de Petróleo de PetroEcuador”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Mayo 2006.

[4] Msc. Paulo Leica, Folleto Informática Industrial, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí 2009.

[5] Facultad de Ingeniería de Petróleos, Folletos “Refinación del Petróleo”, “Refinación y sus Procesos”, Escuela Politécnica Nacional.

[6] NEC art. 500

[7] API 500

[8] API 505

[9] NEC 70

[10] Energy Control Systems (SineTamer), “Los transientes de sobre voltaje”, “Calidad de Energía”.

[11] [www.ims.es/pdf/esp/publicaciones/Publicacion\\_IMS\\_Carcasas\\_de\\_proteccion\\_IP\\_2007\\_07\\_18.pdf](http://www.ims.es/pdf/esp/publicaciones/Publicacion_IMS_Carcasas_de_proteccion_IP_2007_07_18.pdf), Carcasas de protección de cámaras e instrumentación: estándares de protección IEC y NEMA.

[12] [http://www.gayesco.com/PDFgallery\\_catalogs.htm](http://www.gayesco.com/PDFgallery_catalogs.htm), Instalación de sensores

## BIBLIOGRAFÍA



Javier Santiago Toscano Alulema, nace en la ciudad de Ambato en el año de 1985. Sus estudios primarios los realizó en la escuela Abdón Calderón. Sus estudios secundarios los realizó en el Instituto Técnico Superior Bolívar donde obtiene el título de Bachiller Físico Matemático, para posteriormente continuar con sus estudios universitarios en la ciudad de Quito en la Escuela Politécnica del Ejército en el departamento de Eléctrica y Electrónica en la carrera de Automatización y Control.  
e-mail: [javiersantiago\\_@hotmail.com](mailto:javiersantiago_@hotmail.com)  
Teléfonos: 098789816 / 032425751