DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA PARA LA VISUALIZACIÓN DE NIVELES DE TANQUES DE DIESEL PARA EL CONSUMO DE LAS TURBINAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA REFINERÍA LA LIBERTAD DE EP PETROECUADOR.

César Daniel Valencia Arias, Ingeniería Electrónica Automatización y Control - ESPE

Abstract—**El presente documento detalla el diseño e implementación de un sistema electrónico para medición de nivel de combustible (diesel) en tanques de almacenamiento de hidrocarburos.**

El sistema está compuesto por dos partes fundamentales: el hardware y software. El hardware utilizado se encuentra distribuido de la siguiente manera: sensores de nivel de tipo radar (tanques de almacenamiento); aisladores de campo para señales de corriente, Fuente de alimentación, radio-receptor de señales análogas (tablero de campo); Fuentes de alimentación, radio-receptor, aislador de lazos de corriente, PLC, conversor de RS485-RS232, relé 110 V (tablero de la caseta de control); alarmas con luces estroboscópicas (campo); computador, bahía de operación (caseta de control). El software se lo clasifica de acuerdo a los diferentes tipos de programación realizados para cada equipo: la configuración y direccionamiento de canales de las radios, el programa en Ladder que ejecuta el PLC para activación de alarmas y efectuar la comunicación con el computador y el diseño y programación del HMI desarrollada en LabVIEW.

El proyecto implementado se encuentra funcionando de la siguiente manera: consta de un HMI que permite visualizar al operador el nivel de diesel en cada uno de los tanques de alimentación de combustible de las turbinas con acceso a un historial de eventos y de niveles, adicionalmente proporciona alarmas de llenado o vaciado de tanques mediante luces estroboscópicas situadas en campo; con este sistema se previene los derrames de combustible por el exceso de llenado, falta de combustible a las turbinas y permite llevar un historial de niveles a lo largo de su funcionamiento para visualización estadístico del operador.

Index Terms—**SCADA, Sistemas de Medición, Diseño HMI, Programación PLC, Programación HMI LabVIEW, Analisis Sistema.**

I. INTRODUCCIÓN

Existen numerosos sistemas creados para la medición de nivel tanques para almacenamiento de hidrocarburos, estos dependen directamente de la actividad que cumplen los tanques a ser medidos dentro de la industria.

Existen tanques de hidrocarburos utilizados para almacenamiento de producto terminado los cuales se manejan bajo trasferencia de custodia (diesel, gas, gasolina, fuel oil, JP1, entre otros), de los cuales se debe conocer su nivel con altísima precisión, para esto, existen sistemas SCADA probados y calificados capaces de cumplir con el proceso minimizando al máximo el error; la medición del nivel de estos tanques es utilizada para procesos contables de la empresa; dichos sistemas son implementados por empresas mundialmente conocidas y tienen un alto costo de implementación.

Dentro de la industria también existen tanques para almacenamiento de hidrocarburos cuyo producto es utilizado para procesos industriales dentro de la empresa; por ejemplo el almacenamiento de diesel utilizado para el consumo de turbinas de generación eléctrica para la misma planta industrial, el almacenamiento de residuos para evitar la contaminación ambiental, el almacenamiento de petróleo para proceso de refinación, entre otros. Existen numerosos procesos para los cuales se tienen tanques de almacenamiento de hidrocarburos dentro de la empresa; es necesario conocer el nivel de estos tanques con una buena exactitud, para prevenir que estos se vacíen en su totalidad e interrumpan algún procesos, prevenir que rebosen, conocer un aproximado de la cantidad de materia prima disponible, entre otras actividades. Para sensar el nivel de estos tanques se implementan sistemas de medición manuales, automáticos muchas veces sistemas SCADA; que cumplan ciertos requisitos, por ejemplo cintas de medición y sensores correctamente calibrados para evitar un errores en la medición; esta medición es utilizada para el control de procesos dentro de la planta industrial y no para aplicaciones de almacenamiento de alta precisión para inventario de la empresa.

En el presente artículo se describe la implementación de un sistema de medición de nivel para tanques que se encuentran dentro de un proceso industrial.

II. SUSTENTO TEÓRICO

A. SISTEMAS PARA MEDICIÓN DE NIVEL

1) MEDICIÓN MANUAL: Para saber el nivel de un tanque el operador sigue un procedimiento manual utilizando

herramientas específicas. A este proceso de medición de nivel se lo llama aforo del tanque, en la cual se censan dos parámetros, el nivel y la temperatura del producto que se encuentra en el tanque.

- Cinta de Medición:

La Cinta de medición es un instrumento que sirve para medir la altura de los líquidos (Hidrocarburo y agua libre) que hay en un tanque, esta altura se compara con datos registrados en una tabla de aforo, a partir de esta altura se determina un volumen total del contenido del tanque.

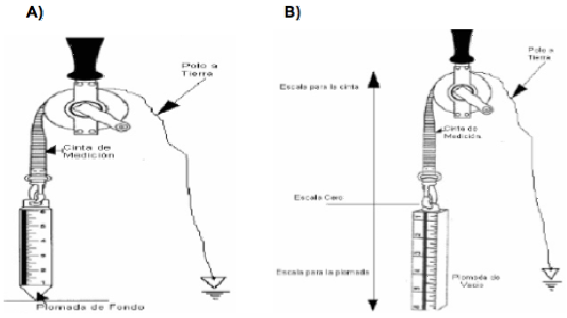

Figure 1. A) Cinta para mediciónae fondo; B) Cinta para medición a vacío.

2) MEDICIÓN AUTOMÁTICA: Son las medidas realizadas por medio de dispositivos mecánicos y/o electrónicos que miden y visualizan en forma continua los niveles de líquido, estos dispositivos son recomendados para control de inventarios para niveles de precisión de más o menos tres (3) milímetros, para control de nivel de los tanques, evitar sobrellenado y vaciado de tanques, lo cual pueda detener un proceso.

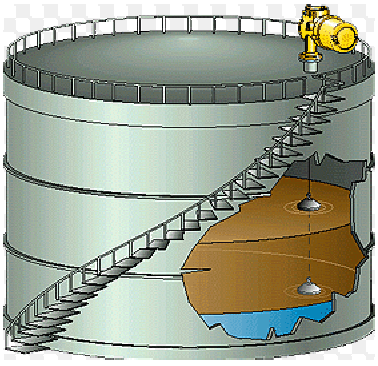

Figure 2. Medición automática de tanques.

A continuación se nombran algunos procesos de mediión automática que se utiliza para determinar el nivel en los tanques para almacenamiento de hidrocarburos:

- Medición de nivel con flotador
- Medición de nivel con desplazador (Servo)
- Medición con radar
- Medición con hibrido (con servo o radar y medición de presión)
- Medición con dispositivo ultrasónico
- Medición de nivel con elementos magnetostrictivos

B. SENSORES DE NIVEL DE TIPO RADAR

Los medidores de tipo radar ofrecen una excelente fiabilidad en la medición sin contacto, sin partes móviles; solo con la antena en la parte interior de la atmósfera del tanque.

1) Métodos de la medición por radar:

- Medición de radar por pulsos

El sensor emite pulsos de microonda cortos en dirección del sólido los cuales se reflejan en el mismo y regresan al dispositivo.

Figure 3. Medición de radar por pulsos.

- Medición de radar FMCW

Método de Modulación en Frecuencia de Onda Contínua.

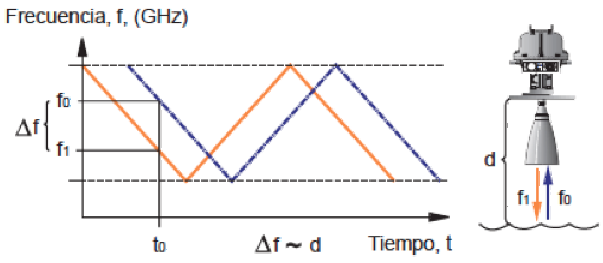

Figure 4. Medición de radar FMCW

2) Clasificación de los transmisores de nivel de tipo radar:

- Transmisores de nivel tipo radar de Onda guiada (posseen una sonda)
- Transmisores de nivel de tipo radar de Onda no guiada (poseen antena)

C. SISTEMAS SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

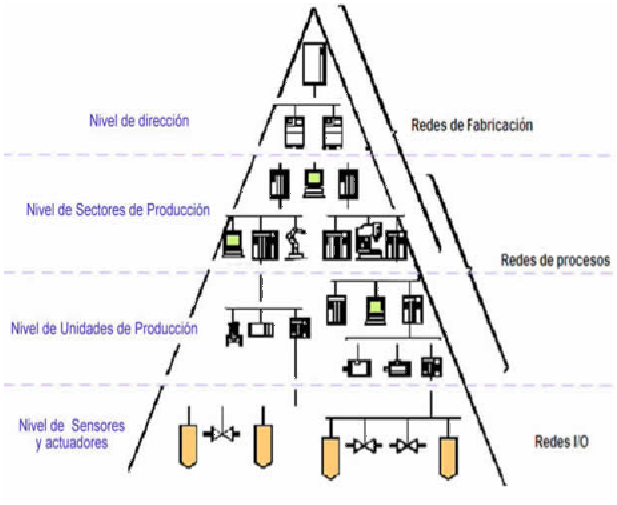

Figure 5. Pirámide de un sistema SCADA

D. HMI, NORMAS GENERALES PARA DISEÑO

El concepto de "Diseño de Interfaz Hombre – Máquina" HMI (HMI por el inglés Human Machine Interface Design).

Figure 6. Concepto HMI.

- Modelo del usuario, los usuarios esperan que el software (sea una app, un sitio web, u otra cosa) se comporte de cierta forma y que le facilite el proceso de crear un modelo mental propio de dicha UI.
- Modelo del desarrollador, es el modelo más fácil de visualizar pues se puede especificar formalmente y los objetos que manipula deben esconderse al usuario final, por ejemplo bases de datos.
- Modelo del diseñador, el diseñador combina las necesidades del usuario y los materiales que dispone el desarrollador para crear el producto.

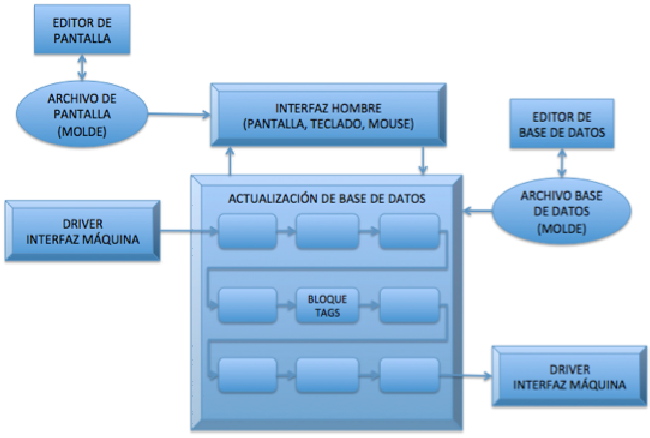

Figure 7. Esquema de funcionamiento de un HMI.

E. HMI EN LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos (DAC), puertos serie y GPIBs (Buses de Intercambio de Propósito General).

LabVIEW es un lenguaje completamente gráfico, y el resultado de ello es que es totalmente parecido a un instrumento, por ello a todos los módulos creados en LabVIEW se les llama Virtual Instrument (VI) o instrumento virtual.

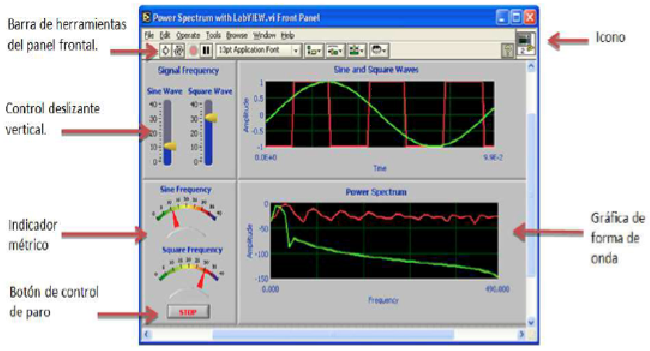

Figure 8. Panel frontal de LabVIEW

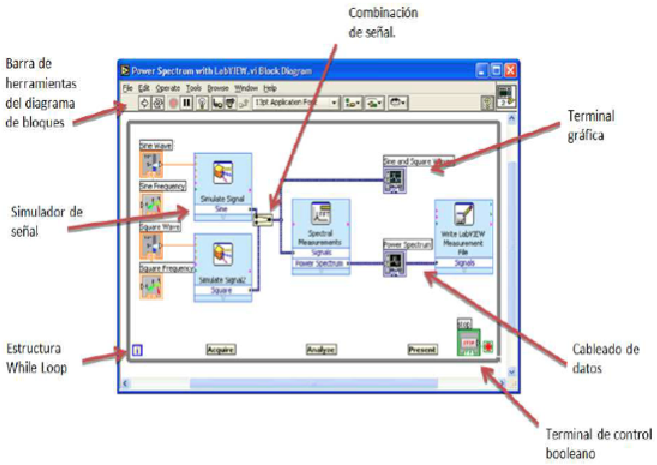

Figure 9. Diagrama de bloques de LabVIEW

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

A. CAMPO INDUSTRIAL

Planta Eléctrica (nombre con el cual se conoce al centro de generación eléctrica de Refinería La Libertad), dispone de cinco tanques de capacidades variantes entre 7 000 y 11 000 galones, los cuales almacenan combustible (Diesel) para el consumo de las Turbinas de generación eléctrica, dos tanques de consumo, dos tanques de almacenamiento de producto proveniente de la Planta de Refinación y un tanque elevado utilizado para emergencia en caso de que la máquina centrífuga se dañe para decantar el Diesel y separar el agua del mismo.

Figure 10. Campo insdutrial

B. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS

Se dispone de cinco tanques cada uno con su medidor de nivel de tipo radar.

Figure 11. Radares instalados en tanques

La caseta de control dentro del edificio en donde se sitúan las turbinas; en la misma se aloja un tablero el cual contiene a los equipos electrónicos como PLC, radio receptor, aisador de lazos de corriente, relé de potencia, fuentes de voltaje, convertidor de RS485 a RS232; una bahía donde se ubica el computador que contiene los HMI.

Figure 12. Tablero de la caseta de control

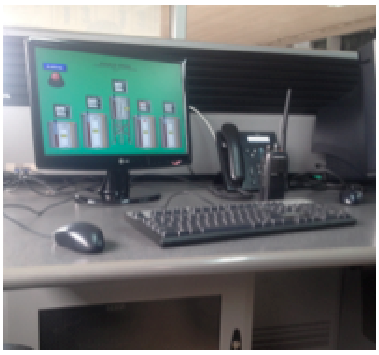

Figure 13. Bahía y computador con el HMI

Para obtener las señales de los radares en campo de dispone de un tablero de campo el cual contiene fuente de coltaje, radio-emisor y aisladores de lazos de corriente. Cada radar dispone de una propia fuente de alimentación y us display que se encentran en campo. Para las alarmas del sistema se ubican luces estroboscópicas dentro y fuera del edificio de turbinas.

Figure 14. Tablero de campo

C. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE RADARES

Los parámetros que se deben sonsiderar en la programación de cada radar varía según la medida y diseño de cada tanque.

Distance REF LINE to zero level point	11,85 ft	(11,51 MAX)
Maximum level to be measured	11,00 ft	(10,45 MAX)
Meas # 1 reading for 20,00 mA output	10,25 ft	level
Meas #1 reading for 4,00 mA output	0,00 ft	level

Table I
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL RADAR RD-17

D. DISEÑO Y ESTRUCTURA FÍSICA DEL SISTEMA.

Los medidores de tipo radar instalados sobre cada uno de los tanques envían una señal de 4-20 mA hacia un radio-emisor ubicado en campo, este se encarga de enviar la señal hacia una radio-receptor ubicado en la caseta de control el cual decodificará dicha señal y a su vez esta llegará hacia un PLC el cual se encarga de comunicar dichas con el computador en donde se tendrá un monitor con un HMI indicando el nivel de cada tanque.

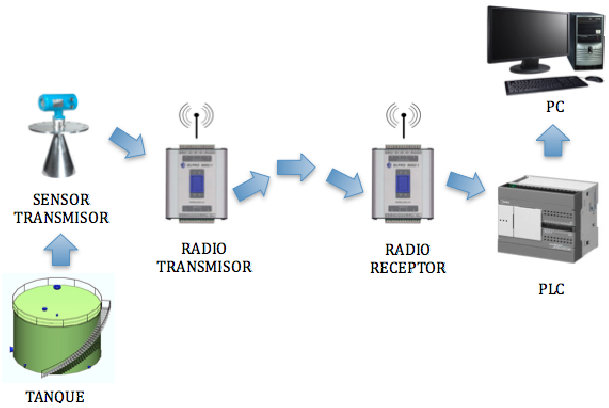

Figure 15. Diseño del sistema de medición

E. DIMENSIONAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HARDWARE.

1) Dimensionamiento:

- Selección de Radios (radio-emisor ELPRO modelo 905U-2 y radio-receptor ELPRO modelo 905U-3)
- Selección de protecciones de sobretensión para señales de campo (MTL modelo SD32)
- Selección de PLC y módulo análogo (PLC marca IDEC modelo FC5A-C24R2C; módulo análogo incorporado al PLC es de marca IDEC modelo FC4A-J8C1)
- Conversor de señal de datos (C&C Electronics modelo 485LDRC)
- Relé para activación de luces estroboscópicas (Telemecanique de 24V con contactos 220V – 10 A)
- Selección de luces de alarmado (Luces estrobocópicas Allen Bradley de color rojo)
- Selección de Fuentes de voltaje (MEAN WELL modelo DR-4524 que dispone de una salida de 24V DC y 2 A; MEAN WELL modelo DR-120-24 que dispone de una salida de 24V DC y 5 A)
- Protecciones para tableros (brakers de 25 A)
- Computador (Los requerimientos de la PC para correr la aplicación es: 100 GB en HD, 1 GB de memoria RAM, Procesador Pentium 4, conexión serial RS232, salida de audio, Windows XP SP2 en adelante, Monitor con una resolución 16:9 para una mejor visualización del HMI)

2) Distribución: La distribución de los elementos se dividen en dos secciones; los elementos de campo y los de la caseta de control. En campo se encuentran los radares con sus respectivos display y fuente de alimentación; y el tablero de campo a donde llegan las señales a un radio-emisor que se encarga de transmitir las señales hacia la caseta de control. En dicha caseta de control se encuentra un tablero el cual posee un radio-receptor encargado de captar las eeñales de campo las cuales a travéz de un PLC llegan al computador para ser mostrados en un HMI.

F. Red de comunicación

La red de comunicación es sencilla: el radar trasmite una senañ de 4-20 mA hacia un radio-emisor el cual trasmite la señal hacia un radio-receptor los cuales manejan un canal propio de comunicación, un PLC lee la señal análoga decodificada por la radio a travéz de un módulo análogo, el PLC trasmite los datos al computador vía Serial utilizando el protocolo de comunicación MODBUS.

G. DISEÑO DEL SOFTWARE

1) Software PLC:

- Adquisición y escalamiento de datos de campo

Activación y configuración del módulo de entradas análogas al PLC, escalamiento

ENTRADA	TANQUE	VALOR EN 10 [V]	VALOR EN 2 [V]	VALOR EN 0 [V]
IN0	RD-17	1025	0	-256
IN1	RD-18	1025	0	-256
IN2	RD-19	1025	0	-256
IN3	RD-20	723	0	-181
IN4	RD-21	700	0	-175

Table II
TABLA DE VALORES UTILIZADOS EN EL ESCALAMIENTO DE SEÑALES ANÁLOGAS EN PLC.

- Configuración de registros del PLC para comunicación Modbus

  La comunicación que se levantará entre el PLC y LabVIEW es una comunicación a través del protocolo Modbus RTU.

TANQUE	CANAL DE ENTRADA EN EL MODULO ANALOGO	REGISTRO DE DATOS EN EL MODULO ANALOGO	REGISTRO PARA COMUNICACIÓN MODBUS EN EL PLC	DIRECCION EN MAPA MODBUS (DECIMAL)
RD-17	IN 0	D0806	D1001	401002
RD-18	IN 1	D0807	D1002	401003
RD-19	IN 2	D0808	D1003	401004
RD-20	IN 3	D0809	D1004	401005
RD-21	IN 4	D0810	D1005	401006

Table III
DIRECCIÓN DE DATOS EN EL MÓDULO ANÁLOGO, PLC, DIRECCIÓN MODBUS.

- Programación de Alarmas

Las alarmas son programadas en el PLC utilizando los valores leidos desde el módulo análogo y valores constantes ingresados a la memoria del equipo. Todas las alarmas están hechas mediante comparaciones y cada una posee una histéresis en su activado.

TANQUE	VALOR 100% DE LLENADO	VALOR 10% DE LLENADO (ALARMA L)	VALOR 95% DE LLENADO (ALARMA H)	VALOR 98% DE LLENADO (ALARMA HH)
RD-17	1032	103	980	1011
RD-18	1035	103	983	1014
RD-19	1035	103	983	1014
RD-20	730	73	693	715
RD-21	703	70	667	689

Table IV
VALORES INGRESADOS AL PLC PARA EFECTUAR COMPARACIONES DE ALARMAS

TANQUE	VALOR 100% DE LLENADO	VALOR 10% DE LLENADO (ALARMA L) + 2% DE LLENADO (HISTÉRESIS)	VALOR 95% DE LLENADO (ALARMA H) – 2% DE LLENADO (HISTÉRESIS)	VALOR 98% DE LLENADO (ALARMA HH) – 1% DE LLENADO (HISTÉRESIS)
RD-17	1032	124	959	1001
RD-18	1035	124	962	1004
RD-19	1035	124	962	1004
RD-20	730	88	678	708
RD-21	703	84	653	682

Table V
VALOR DE COMPARACIÓN PARA CONSEGUIR LA HISTÉRESIS

- Configuración de estados de memoria interna para comunicación Modbus en el PLC

En este paso de la proramación únicamente se hacen cálculos para determinar el registro Modbus del PLC que va a ser leido desde LabVIEW, aqui se realiza el movimiento de los datos a un registro para lectura.

2) Sofware HMI: Toda la programación del HMI es realizado en LabVIEW, el cual permite realizar interfaces gráficas de las mediciones.

- Pantallas del sistema

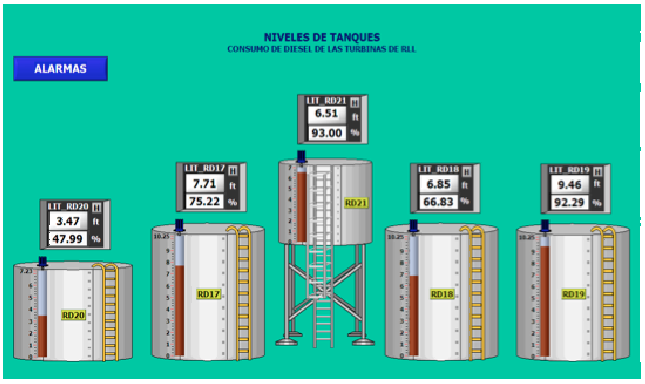

Figure 16. HMI principal marcando medidas reales del sistema

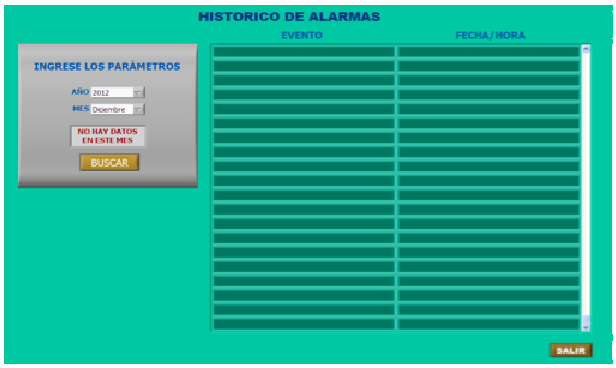

Figure 17. Pantalla de eventos del sistema de medición

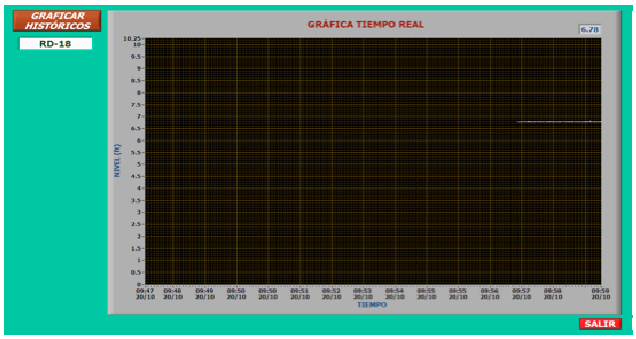

Figure 18. Pantalla de gráfica en tiempo real

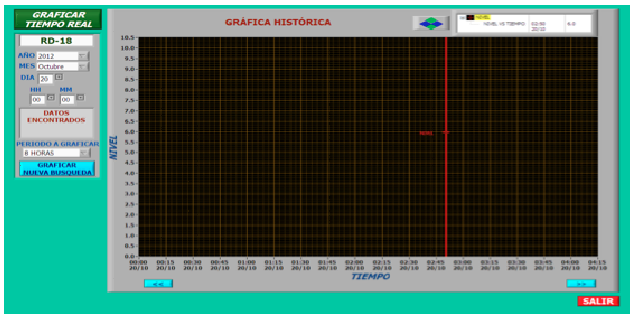

Figure 19. Pantalla de gráfica de históricos

- Diagrama de bloques, programación de VI.

Para obtener las pantallas anteriores configuradas se programa mediante diagrama de bloques varios VI y SubVI, las cuales ayudan a procesar señales lógica y matemáticamente para que el operador visualice las señales lo más real posible. Los diagramas de bloques representan toda la ingeniería que se utilizó en la elaboración del HMI.

A continuación se detallan gráficos de los principales diagramas.

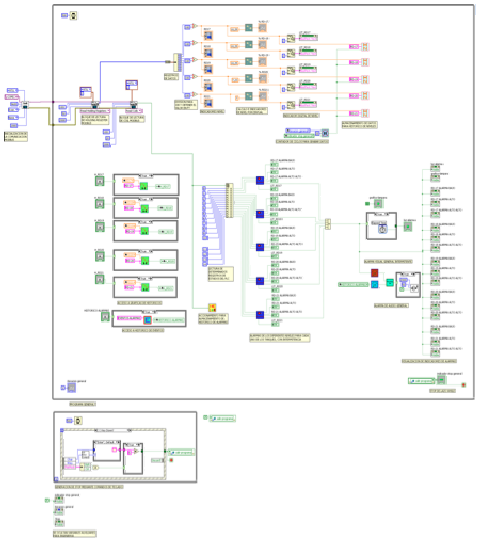

Figure 20. Diagrama de bloques principal

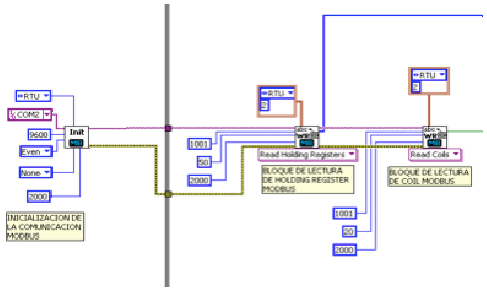

Figure 21. Diagrama de bloques de la comunicación Modbus

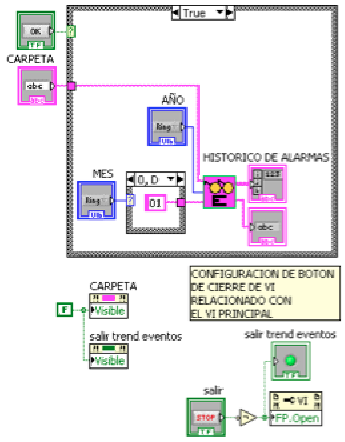

Figure 22. Diagrama de bloques de la pantalla eventos.

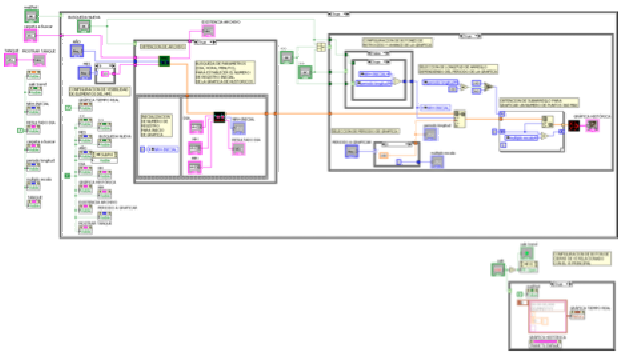

Figure 23. Diagrama de bloques de la pantalla de gráfica de históricos

GENERADOR [mA]	HMI (VALOR PRÁCTICO) [ft]	HMI (VALOR TEÓRICO) [ft]	ERROR [ft]	ERROR %
4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,10	0,00	0,06	0,06	0,59
5,00	0,57	0,64	0,07	0,68
6,00	1,21	1,28	0,07	0,68
7,00	1,85	1,92	0,07	0,68
8,00	2,50	2,56	0,06	0,59
9,00	3,14	3,20	0,06	0,59
10,00	3,79	3,84	0,05	0,49
11,00	4,42	4,48	0,06	0,59
12,00	5,07	5,13	0,06	0,59
13,00	5,72	5,77	0,05	0,49
14,00	6,37	6,41	0,04	0,39
15,00	7,01	7,05	0,04	0,39
16,00	7,67	7,69	0,02	0,20
17,00	8,32	8,33	0,01	0,10
18,00	8,96	8,97	0,01	0,10
19,00	9,61	9,61	0,00	0,00
20,00	10,25	10,25	0,00	0,00

Table VI
PRUEBAS SOBRE LA MEDICIÓN DE NIVELES, PARA CADA UNO DE LOS TANQUES.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema de medición de tanques cumple con todas las expectativas previstas por el usuario, los tanques en donde fue implementado el sistema abastecen de combustible a las turbinas de generación eléctrica para cumplimiento de los procesos de refinación de la planta, no están sujetos a ningún tipo de fiscalización en el almacenamiento de su contenido.

A continuación una muestra de las pruebas realizadas al sistema.

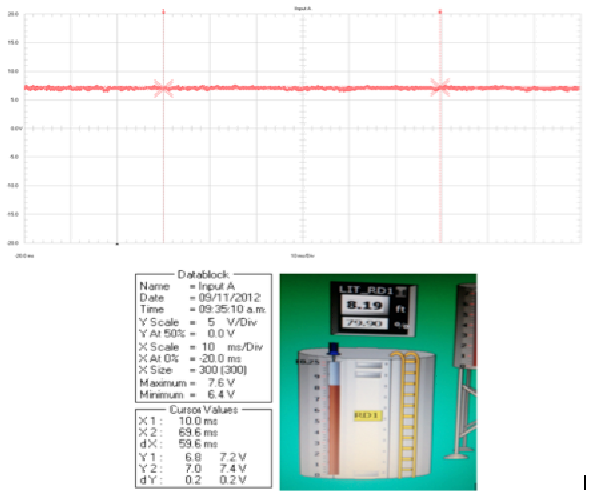

Figure 24. Medición de voltajes, corriente y visualización en el HMI para comprobación de valores, gráfica verificar variaciones grandes de voltaje en el sistema.

V. CONCLUSIONES

Los sistemas de medición que se encontraban funcionando en el área de turbinas, los cuales ayudaban al operador a suministrar el combustible a las mismas eran netamente mecánicos, la necesidad de instalar un sistema electrónico aprovechando los recursos encontrados en campo era evidente, razón por la cual se instaló un sistema que permite realizar un monitoreo remoto, acceso a históricos y activación de alarmas.

Se verificó el funcionamiento de los radares que se encontraban instalados en la parte superior de cada uno de los tanques objeto de la medición, comprobando su correcta instalación y configuración, se realizaron ajustes para obtener una medición más efectiva.

Se implementó una red de comunicación desde campo hasta el computador donde se muestra el HMI la cual funciona sin problemas a tiempo real, es decir se manejó una red industrial donde se caracteriza el Protocolo de comunicación MODBUS con el cual se comunicó a LabView y el PLC ubicado en el tablero de control interno. En el diseño de los HMI se tomo en cuenta un concepto amplio del entorno físico y de operación de refinería. Por tanto para mejorar la legibilidad del HMI se utilizaron colores y gráficas estándar que usan los diferentes campos automatizados que se operan desde un HMI.

Se realizó numerosas pruebas para determinar el correcto funcionamiento del sistema de medición implementado, entre estas la toma de medidas en diferentes tiempos y niveles de los tanques, con esto se logró determinar desfases en la medición electrónica y apoyándose al sistema mecánico de medición se realizó algunos ajustes en el sistema de aislamiento de señal (potenciómetros de precisión) el cual era el causante de desfases pequeñísimos en la medición. Así mismo se realizaron múltiples mediciones con cada uno de los tanques, lo que permitió dejar un sistema estable y con

medidas garantizadas para el trabajo del operador.

Una vez concluido y probado el sistema de medición se realizó un pequeño entrenamiento al operador de turno, realmente el manejo del sistema era muy sencillo, las pantallas con su ambiente amigable y con sus indicadores claros ayudaron al rápido desempeño del operador con el sistema implementado.

REFERENCES

[1] Thermo Measure Tech, ACCU-WAVE RADAR GAUGE, Versión 1.1, Round Rock-Texas, enero 2002.
[2] Rosemount Tank Gauging, RADAR LEVEL GAUGE, Emerson Process Management, Suecia, diciembre 2010.
[3] Rosemount Tank Gauging, SUPERIOR PERFORMANCE GUIDE WAVE RADAR, Emerson Process Management, Suecia, julio 2009.
[4] Aforo de tanques de hidrocarburos, http://www.scribd.com/doc/78862947/2-Aforo-de-Tanques, septiembre 2012.
[5] Sistemas de Medición para tanques de almacenamiento, http://www.scribd.com/doc/37971684/Norma-API-Medicion-estatica-de-tanques-capitulo-3, septiembre 2012.
[6] Medidores de nivel tipo Radar, http://www.nikron.com.ar/automacion/nivel/liquidos/medicion/radar/, octubre 2012.
[7] Software para supervisión y control de procesos automáticos, http://www.scribd.com/doc/47529302/148/Tareas-de-un-software-de-supervision-y-control, septiembre 2012.
[8] Diseño de las HMI, http://uxinperu.com/2012/08/19/diseno-de-hmi-y-usabilidad/, septiembre 2012.

César Daniel Valencia Arias Nació en la ciudad de Ambato-Ecuador, el 4 de Julio de 1987. Realizó sus estudios primarios en la “Escuela 9 de Julio” y “Domingo Savio”. En el año 2005 obtiene su bachillerato en la especialidad de Ciencias Exactas del Colegio “Domingo Savio”; en el mismo año ingresa a la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE); en el año 2011 egresa de la Carrera de Ingeniería Electrónica especialización Automatización y Control. Gracias a las oportunidades de empleo y proyectos implementados relacionados con la carrera, sus espectativas en un futuro proefsional están muy relacionadas con el mundo de la Instrumentación Electrónica.