

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, ADQUISICIÓN Y CONTROL PARA LAS ESTACIONES DE RADARES METEOROLÓGICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMEH).

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Malavé R., Luis D.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, ADQUISICIÓN Y
CONTROL PARA LAS ESTACIONES DE RADARES
METEOROLÓGICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMEH).**

Prof. Guía: Ing. Tamara Pérez
Tutor Industrial: Ing. Iñaki Iza

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Malavé R., Luis D.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 09 de noviembre de 2012

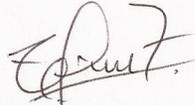
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Luis D. Malavé R., titulado:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, ADQUISICIÓN Y CONTROL PARA LAS ESTACIONES DE RADARES METEOROLÓGICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMEH)”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Mercedes Arocha
Jurado


Prof. José Romero
Jurado


Prof. Tamara Pérez
Prof. Guía

DEDICATORIA

A dios.

A mi mamá.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A mi mamá por su incondicional soporte y apoyo a lo largo de mi vida, siendo un pilar fundamental en toda mi formación académica y personal.

A la Profesora Tamara Pérez por su asesoría y ayuda.

Al Ingeniero Iñaki Iza por su asesoría y contribución a lo largo del trabajo de grado.

A Janeth Barcelo y Marilin Gallinelli por su ayuda incondicional en la elaboración del tomo.

A mis compañeros Jesús Acuña y Carolina Madrid, por el apoyo incondicional a lo largo de la elaboración del tomo.

A María Auxiliadora Rojas, por su contribución y asesoría incondicional en todo momento a nivel administrativo, que hizo posible la inscripción y presentación de este trabajo especial de grado, gracias María.

Al Ingeniero Carlos Suberbiola por su ayuda fundamental durante mi infancia siendo unos de los pilares fundamentales en mi formación académica.

A todo el personal de laboratorio de radares del INAMEH, por la ayuda en todo momento, durante el desarrollo del trabajo especial de grado.

A los profesores de la Facultad y de la escuela que formaron parte en mi formación como ingeniero.

Malavé R., Luis D.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, ADQUISICIÓN Y CONTROL
PARA LAS ESTACIONES DE RADARES METEOROLÓGICOS DEL
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMEH).

Profesor Guía: Ing. Tamara Pérez. **Tutor Industrial:** Iñaki Iza. **Tesis.** Caracas. U.C.V. **Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción:** Electrónica. **Institución:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. **Trabajo de Grado. 2012. 102 páginas.**

Palabras Claves: INAMEH; Supervisión; Adquisición; Control; Automatización; SCADA; HMI; PLC.

Resumen. Se diseñó un SCADA y una HMI, para realizar un monitoreo constante de los periféricos externos que forman parte de las estaciones de radares meteorológicos del INAMEH, basados en la tecnología de Siemens WinCC Advanced V11. La arquitectura diseñada cuenta con un controlador que se encuentra en el nivel célula, y en donde se configuró la lógica de control de la automatización. En dicho controlador están conectados una serie de dispositivos tales como; analizadores de energía por comunicación MODBUS RTU (maestro – esclavo), sensores de nivel ultrasónicos por comunicación analógica (0-10V), y una electroválvula de media pulgada conectada a una salida digital del PLC. Así mismo el controlador (PLC) se encuentra conectado por protocolo TCP/IP con la HMI. La mencionada interfaz está compuesta por una visualización gráfica de todas las variables que participan en el proceso, contando con un historial de eventos donde se observan, el estado de las variables en un determinado momento, gráficas del nivel y altura de combustible dentro de los tanques y alarmas analógicas; como indicador al operador sobre los diferentes eventos que están ocurriendo en el proceso. El diseño del sistema SCADA se realizó satisfactoriamente cumpliendo con todos los requisitos y sirviendo como base para futuras expansiones en las estaciones de radares meteorológicos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS, ILUSTRACIONES O GRÁFICAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
1. GENERALIDADES	4
1.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 PROPUESTA DE DISEÑO DE ACUERDO A LOS PROBLEMAS OBSERVADOS	11
1.4.1 Propuesta para el trasvase de combustible de la cisterna al tanque del motor generador.	12
1.4.2. Propuesta para la medición de los niveles de tensión	14
1.4.3 Propuesta para el sistema de control	15
1.4.4 Propuesta para la HMI	16
1.5 FACTIBILIDAD DE DESARROLLO DE LA PROPUESTA	16
1.5.1 Factibilidad técnica	17
1.5.2 Factibilidad económica	17
CAPÍTULO II	18
2. MARCO TEÓRICO	18

2.1 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE RADAR METEOROLÓGICO.	18
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INSTRUMENTACIÓN	19
2.2.1 Medidores de nivel	19
2.2.2 Detectores de nivel ultrasónicos	23
2.2.3 Medidores de peso	26
2.2.4 Electroválvulas	29
2.2.5 Sistemas SCADA (Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos)	36
2.2.6 Protección	37
2.2.7 Seguridad intrínseca	41
2.2.8 Interruptor de transferencia automática	47
CAPÍTULO III	48
3. DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS Y SOFTWARE	48
3.1 SENSORES PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LOS TANQUES	49
3.1.1 Selección de los sensores y protocolos de comunicación para la medición de nivel.	49
3.2 CONTROLADORES PARA EL NIVEL CÉLULA	58
3.2.1 Selección del controlador y protocolo de comunicación para el nivel célula	58
3.3 ELECTROVÁLVULA PARA EL TRASVASE DE COMBUSTIBLE	61
3.3.1 Características de la electroválvula Danfoss 2/2 ½ pulgada directamente accionada FKM modelo EV210 con bobina de 24 VDC / 18 W modelo BB024	64
3.4 SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN DEL SCADA	65
3.4.1 Selección del software de programación y protocolo de comunicación para el SCADA.	65
3.5 ANALIZADORES DE ENERGÍA PARA LA MEDICIÓN DE TENSION DE LÍNEAS TRIFÁSICAS	67
3.5.1 Características del Phoenix Contact EEM-MA250 modelo 2901363	68

CAPÍTULO IV	69
4. DESARROLLO DEL DISEÑO	69
4.1.1 Programación del PLC Siemens SIMATIC S7 1200 CPU 1214C	69
4.1.2 Diseño de la Interfaz Humano – Máquina (HMI) en el WinCC Advanced V11	86
4.2.1 Ventana de Login	89
4.3.1 Prueba realizadas al SCADA	95
4.3.2 Resultados obtenidos	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los instrumentos según su clase	29
Tabla 2. Tabla comparativa para la selección del sensor para la medición de nivel	49
Tabla 3. Tabla comparativa para la selección del controlador en el nivel célula.	58
Tabla 4. Tabla comparativa para la selección del software de programación.	65
Tabla 5. Configuración de las propiedades de comunicación del PLC Siemens S7 1200	71
Tabla 6 Tags definidos en el OB principal	72
Tabla7. Variables declaradas en el FB1	75
Tabla 8. Tags que conforman la HMI	88

LISTA DE FIGURAS, ILUSTRACIONES O GRÁFICAS

Figura 1. Transformador seco 440/220 de 30 kVA de potencia ubicado en la parte superior de los tableros eléctricos.	7
Figura 2. Transfer switch, ubicado en la parte central.	7
Figura 3. Transformador seco 220/110 de 5 kVA de potencia ubicado en la parte inferior, debajo de los tableros eléctricos.	8
Figura 4. Cisterna de diesel de 2795 litros.	9
Figura 5. Tanque de combustible de 185 litros ubicado en la parte inferior del motor generador.	10
Figura 6. Trampa de agua para eliminar impurezas del diesel antes de llenar el tanque del motor generador.	11
Figura 7. Distribución de las líneas de alimentación eléctrica en la estación.	14
Figura 8. Diafragma extendido para la detección de nivel de líquidos .	21
Figura 9. Celda d/p inteligente con su respectiva curva de linealización para tanques cilíndricos y esféricos .	22
Figura 10. Detector de nivel ultra sónico.	24
Figura 11. Detección de nivel ultrasónico colocado en la parte superior de un tanque.	24
Figura 12. Visualización del ángulo cónico y de la refracción de la onda ultrasónica en una superficie.	25
Figura 13. Galgas Extensométricas.	28
Figura 14. Campo magnético producido por una bobina .	30
Figura 15. Movimiento del émbolo dentro de una bobina.	31
Figura 16. Válvula de solenoide directamente accionada de dos vías .	31
Figura 17. Válvula de solenoide operada por piloto, normalmente cerrada de dos vías con pistón flotante.	33

Figura 18. Válvula de solenoide operada por piloto normalmente cerrada, de dos vías y diafragma flotante.	34
Figura 19. Válvula de solenoide operada por piloto externo, normalmente cerrada de dos vías y con pistón flotante.	35
Figura 20. Transmisión de una alarma por un sistema SCADA.	37
Figura 21. Bases de concreto que soportan el cisterna de 2795 litros.	52
Figura 22. Funcionamiento del sensor ultrasónico marca Migatron Corp.	56
Figura 23. Máximo ángulo permitido por sensor ultrasónico marca Migatron Corp.	57
Figura 24. Distancia del sensor vs diámetro del rayo ultrasónico.	57
Figura 25. Declaración de los Tags en el OB1.	73
Figura 26. Vinculación de las variables de entrada y salida del FB1 con los Tags del OB1.	74
Figura 27. Visualización de las variables de entrada, salida, estáticas y temporales 1/2.	76
Figura 28. Visualización de las variables de entrada, salida, estáticas y temporales 2/2.	77
Figura 29. Diagrama de flujo sobre el escalamiento de los niveles de tensión provenientes de los sensores ultrasónicos	78
Figura 30. Diagrama de flujo sobre el escalamiento en centímetros de altura de combustible.	79
Figura 31. Diagrama de flujo de la lógica de control para apertura y cierre de la electroválvula.	81
Figura 32. Comparación de los diferentes umbrales de nivel.	83
Figura 33. Bloque MB_COMM_LOAD	84
Figura 34. Bloque MB_MASTER_DB	85
Figura 35. Ventana Login para acceder a la HMI.	89
Figura 36. Barra deshabilitada al momento de iniciar sesión	90
Figura 37. Botones que se encuentran habilitados al momento de iniciar sesión	90
Figura 38. Visualización del proceso en la HMI	91
Figura 39. Ventana del volumen en los tanques	92

Figura 40. Altura del combustible en los tanques	93
Figura 40. Tabla de nivel de los tanques	94
Figura 41. Visualización de la HMI al momento de desconectar el cable Ethernet del PLC.	96

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

INAMEH: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

UPS: Uninterruptible Power Supply (Sistema de Alimentación Ininterrumpida).

HMI: Human-Machine Interface (Interfaz Humano-Máquina).

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition (Control Supervisor y de Adquisición de Datos).

rpm: Revoluciones Por Minuto.

TOF: Time Of Flight (Tiempo de vuelo).

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

OIML: Organización Internacional de Metrología Legal.

PLC: Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).

PC: Personal Computer (Computadora Personal).

CEN: Código Eléctrico Nacional.

IEC: International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional).

COVENIN: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

psig: Pounds per Square Inch Gauge (Libras por Pulgada Cuadrada manométrica).

ATEX: Atmósferas Explosivas.

TCP: Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión)

ASCII: American Standard Code for Information Interchange (Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información).

OPC: OLE for Process Control (Procesos de Control por OLE)

OLE: Object Linking and Embedding (Incrustación y Enlazado de Objetos)

OB: Organization Block (Bloque organizacional).

FB: Function Block (Bloque de función).

FBD: (Function Block Diagram) Diagrama de bloques funcionales

DB: (Data Block) Bloque de datos.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) es un organismo que se encarga de la recolección de datos, integrando y generando información a nivel regional y nacional, cumpliendo con las normas internacionales en materia de hidrometeorología y en especial con la normativa de la Organización Meteorológica Mundial, realizando pronósticos diarios de los diferentes eventos climatológicos próximos a ocurrir a lo largo del territorio nacional. Dicha institución cuenta con una serie de Estaciones de Radares Meteorológicos a nivel nacional, esenciales para la determinación de un pronóstico. Estas estaciones suministran información fundamental, que es procesada y luego enviada a la oficina central para su posterior estudio y publicación de los diferentes eventos meteorológicos e hidrológicos próximos a ocurrir. Dichas estaciones pueden ser monitoreadas de manera remota verificando su correcta operación evitando de esta manera falsos pronósticos o pérdida de información.

De igual forma las Estaciones de Radares Meteorológicos están conformadas por dispositivos periféricos y estructuras de vital importancia para su funcionamiento, tales como; aires acondicionados, planta de generación eléctrica, Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS, Uninterruptible Power Supply), tanques de combustible, entre otros. Dichos dispositivos y estructuras que forman parte de las estaciones de radares del INAMEH, no están supervisados a distancia como los radares, generando un gran inconveniente al realizar el monitoreo en tiempo real sobre el desempeño de éstos.

El INAMEH en búsqueda de mejorar sus servicios, plantea dentro de sus proyectos el diseño de un sistema de supervisión, adquisición de datos y control para las estaciones de radares meteorológicos, específicamente del trasvase de combustible

y la medición de los niveles de tensión de las diferentes líneas trifásicas de alimentación. Las estaciones de radar están compuestas por dos tanques de combustible, una cisterna externa de 2795 litros aproximadamente y el tanque del motor generador de 185 litros. Ambos tanques se encuentran conectados por una tubería de media pulgada con una válvula manual que permite el flujo de combustible de un tanque a otro. El motor generador es de vital importancia debido a los diferentes cortes eléctricos que están ocurriendo en el país. Al producirse un corte eléctrico inmediatamente se realiza una transferencia de carga utilizando un interruptor de transferencia de carga (ATS, *Automatic Transfer Switch*), encendiendo el motor generador, como fuente de alimentación secundaria y de esta manera continúen ejecutándose todos los procesos pertinentes al radar.

Para una mejora del proceso, se propone el diseño de un sistema haciendo uso de un Controlador Lógico Programable (PLC, *Programmable Logic Controller*) y de un Control Supervisor y de Adquisición de Datos (SCADA, *Supervisory Control and Data Acquisition*), para que se realice un trasvase de combustible en los tanques de manera automática usando sensores de medición de nivel con comunicación analógica (0-10V). Según el nivel de combustible del tanque del motor generador, el PLC activará una electroválvula (cuando esté por debajo del umbral de nivel bajo) que permitirá el llenado del tanque del motor generador hasta un umbral de nivel alto previamente configurado para que se produzca el cierre inmediato de la electroválvula al alcanzar este valor y se detenga el trasvase de combustible al tanque del motor generador.

La automatización también incluye la supervisión de los niveles de tensión de las líneas trifásicas de la acometida pública, y la salida de tensión de la planta eléctrica, para asegurar que ésta se encuentra en funcionamiento cuando ocurra un corte eléctrico. La adquisición de los niveles de tensión de las diferentes líneas de alimentación se va a realizar mediante el uso de analizadores de energía que estarán conectados en una red de campo MODBUS RTU al PLC.

Todas las variables que se encuentran en el diseño, podrán ser visualizadas en una interfaz HMI dónde se observará un historiador de eventos para verificar las diferentes alarmas que se han producido a lo largo del tiempo y de esta manera actuar de manera oportuna ante cualquier eventualidad.

El presente trabajo especial de grado se estructura en cuatro capítulos. En el Capítulo I, se expondrán los diferentes problemas que existen actualmente en las estaciones de radares meteorológicos, con sus respectivas propuestas de solución para cada uno ellos. En el Capítulo II se expondrán los fundamentos teóricos de todos los dispositivos que se seleccionarán, normas de protección, sistema de puesta a tierra y clasificación de lugares de riesgo. En el Capítulo III se realizará la selección de cada uno de los sensores, dispositivos, software de programación y protocolos de comunicación que conformarán el sistema SCADA, los cuales serán los más aptos para el desarrollo del diseño brindando confiabilidad, seguridad y robustez al sistema. En el Capítulo IV se explicará la programación del PLC y el SCADA, verificando que la comunicación entre ambos y que los datos que se están recibiendo del PLC sean correctamente procesados por el SCADA para que éste indique si existen alertas en el historiador.

Finalmente se presentarán las recomendaciones, conclusiones donde se mostrarán los resultados obtenidos al realizar las pruebas al sistema; y se mostrará el diseño con un mayor detalle.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de supervisión, adquisición y control para las Estaciones de Radares Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH)

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Seleccionar los diferentes sensores, electroválvulas que formarán parte del nivel de campo y los controladores que conformarán el nivel célula.
2. Seleccionar el protocolo de comunicaciones que se utilizará para la comunicación de cada uno de los dispositivos que conformará el sistema SCADA.
3. Seleccionar el software de gestión de operaciones en tiempo real para el sistema SCADA y el software para la realización de una Interfaz Humano-Máquina (HMI, Human Machine Interface).
4. Diseñar la lógica de control del controlador a utilizar en el nivel célula.
5. Diseñar un sistema SCADA tradicional conformado por la red de dispositivos que se encuentren en los niveles de campo, célula y planta.
6. Diseñar una Interfaz Humano-Máquina que permita un control y monitoreo de forma remota de los diferentes dispositivos que formen parte del sistema SCADA.

7. Emular el sistema SCADA con todos los sensores, electroválvulas y controladores que tenga asociado el sistema.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El INAMEH en la actualidad realiza de manera manual una serie de procesos que se llevan a cabo en las estaciones de radares meteorológicos, por lo tanto se ve en la necesidad de automatizar los procesos mediante el diseño de un sistema de supervisión, adquisición y control, permitiendo realizar un monitoreo remoto preciso por medio de una interfaz HMI, de las variables esenciales para el funcionamiento de las estaciones que no se encuentran instrumentadas, evitando errores humanos al momento de realizar mediciones y visitas periódicas a las estaciones. El INAMEH cuenta con una serie de estaciones de radares meteorológicos, para proveer un servicio nacional sobre las diferentes condiciones climáticas que pueden ocurrir a lo largo del territorio nacional. Dichas estaciones además cuentan con una serie de dispositivos y estructuras de vital importancia para su correcto funcionamiento y operación.

Los dispositivos que se encuentran en las estaciones de radares meteorológicos son los siguientes:

- Transfer switch, para la transferencia de carga al motor generador, en el momento que ocurra un corte eléctrico en la línea de alimentación trifásica principal.
- UPS, para proveer una tensión de 400 VAC mientras ocurre el encendido del motor generador que tarda en encender aproximadamente 5 minutos. El UPS puede alimentar el sistema por un tiempo no mayor a 15 minutos.
- Motor generador, fuente de alimentación trifásica de 440 VAC, que se enciende en el momento que se realiza la transferencia de carga por el transfer switch cuando ocurre un corte en el suministro eléctrico.

- Transformador seco de tensión de 440 a 220 VAC, para la conexión de los aires acondicionados que se encuentran en el shelter de la estación de radar.
- Transformador seco de tensión de 220V a 110 VAC, para la alimentación de las diferentes tomas del proceso y de las áreas de la estación.
- Válvula de accionamiento manual, para la realización del trasvase de combustible de la cisterna al tanque del motor generador.

Las estructuras que se encuentran en las estaciones de radares meteorológicos son las siguientes:

- Cisterna de combustible de 2795 litros de capacidad.
- Tanque de combustible del motor generador de 185 litros de capacidad.

Las Estaciones de Radares Meteorológicas, tienen una alimentación principal proveniente de la acometida pública, la tensión de ésta es de 440 VAC, a una frecuencia constante de 60 Hz, esta línea de alimentación trifásica principal está conectada a dos puntos principales.

El primer punto principal es un transformador seco de tensión con relación de transformación de 440/ 220 voltios con una potencia de 30 kVA, como el mostrado en la parte superior, encima de los tableros eléctricos de la Figura 1, el lado de baja de este transformador alimenta a los aires acondicionados, que son los encargados de mantener una temperatura constante dentro del shelter de la estación del radar.



Figura 1. Transformador seco 440/220 de 30 kVA de potencia ubicado en la parte superior de los tableros eléctricos.

El segundo punto principal está conectado a un transfer switch como se muestra en la parte central de la Figura 2. El transfer switch tiene dos entradas, una normal y otra de emergencia y es el encargado de realizar la transferencia de carga al momento que se produzca una caída de tensión en la línea de alimentación de la acometida pública (entrada normal).



Figura 2. Transfer switch, ubicado en la parte central.

Al momento que los niveles de tensión en la línea de alimentación principal descieran de manera abrupta, este dispositivo se accionará, encendiendo el motor generador, que genera niveles de tensión aceptables (entrada de emergencia), evitando que el UPS se accione. Cuando la línea de tensión trifásica de la acometida pública se encuentre de nuevo dentro de los niveles normales de tensión (440 VAC) el transfer switch se accionará alimentando ahora el UPS con la línea de alimentación principal y produciendo un apagado del motor generador.

En la salida del transfer switch está conectada una carga, que es el UPS del radar, éste no es más que un dispositivo que tiene a su entrada una tensión de 440 VAC, y a su salida una tensión de 400 VAC (tiene un circuito eléctrico regulador de tensión). El UPS tiene otra salida de 220 VAC, dicha salida se conecta con el lado de alta de un transformador seco de relación de transformación 220/110 VAC de 5 kVA de potencia como se puede observar en la parte inferior debajo de los tableros eléctricos en la Figura 3, el lado de baja tensión de este transformador alimenta a todas las tomas de proceso y a las luminarias de la estación que necesitan estar energizadas.



Figura 3. Transformador seco 220/110 de 5 kVA de potencia ubicado en la parte inferior, debajo de los tableros eléctricos.

Mientras exista un corte eléctrico, se debe de garantizar que el motor

generador se encuentre operativo; si este se detuviera por falta de combustible el UPS se accionaría, pero este último suministra alimentación al sistema por sólo 15 minutos (por el arreglo de baterías que tiene), después de este tiempo dejaría de funcionar quedando sin energía la estación.

El motor generador tiene las siguientes características de placa: tensión de salida 440 VAC, corriente de operación 73.9 A, potencia activa de 45 kW, potencia aparente 56.3 kVA, factor de potencia 0.8, trifásico, frecuencia de operación 60 Hz, 1800 rpm.

Las Estaciones de Radares Meteorológicos cuentan con dos tanques de combustible, una cisterna de 2795 litros aproximadamente, y un tanque conectado al motor generador de 185 litros aproximadamente.

La cisterna de 2795 litros, es un tanque cilíndrico horizontal, metálico como se muestra en la Figura 4, y el tanque de 185 litros que está conectado al motor generador, tiene forma de caja alargada, metálico como se observa en la parte inferior del motor generador en la Figura 5.



Figura 4. Cisterna de diesel de 2795 litros.



Figura 5. Tanque de combustible de 185 litros ubicado en la parte inferior del motor generador.

En la Figura 4 se observó que la cisterna tiene una trampa de diesel, que en caso de desborde, dicho combustible queda depositado y luego es vertido lejos de la estación por el desagüe que tiene en la parte inferior, evitando así que el mencionado combustible se disperse, colocando en peligro el capital humano, la infraestructura y el medio ambiente.

Ambos tanques se encuentran conectados entre sí por una tubería de media pulgada galvanizada y una válvula manual. Ésta se utiliza para realizar un trasvase manual de combustible de la cisterna al tanque del motor generador. La cisterna de 2795 litros tiene en la parte superior una tapa que permite el llenado del tanque, y de igual forma unas escaleras que permiten que cualquier persona autorizada pueda subir y revisar el nivel de éste, realizando así un monitoreo manual.

Después de la válvula manual, hay una trampa de agua como se muestra en la Figura 6, para eliminar restos de agua remanentes en el diesel, y de esta manera asegurar que el combustible esté totalmente libre de impurezas, alargando la vida y mejorando el rendimiento del motor generador. Según las especificaciones técnicas, el motor generador, consume durante 24 horas de operación un tanque completo de combustible, es decir tiene un consumo de 7.7 litros de diesel por hora.



Figura 6. Trampa de agua para eliminar impurezas del diesel antes de llenar el tanque del motor generador.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se identificaron los siguientes problemas:

- El trasvase de combustible se realiza de manera manual dependiendo de un técnico residente para realizar un llenado del tanque de combustible del motor generador.
- Un corte eléctrico puede ocurrir en horas que no exista un técnico residente, quedando sin ningún tipo de monitoreo, el nivel de los tanques de combustible, para la apertura de la válvula manual.
- No se tienen mediciones de los niveles de tensión en la estación, para la verificación de las líneas trifásicas que energizan los dispositivos que forman parte de la estación de radar.

1.4 PROPUESTA DE DISEÑO DE ACUERDO A LOS PROBLEMAS OBSERVADOS

En las estaciones de radares, se llevan a cabo una serie de procesos esenciales para la operación de éstos, como fue descrito en los puntos anteriores, ante

esta necesidad, para la realización de un sistema automatizado de dicho proceso, se tiene que hacer uso de los siguientes dispositivos y programas:

- Medidores de Nivel.
- Controladores.
- Medidores de niveles de tensión.
- Software para la programación de los controladores.
- Software para la programación del SCADA y la HMI.

Cada uno de los dispositivos y programas mencionados anteriormente, deben estar armónicamente integrados con el sistema SCADA, para que el operador pueda visualizar tanto físicamente (mediante luces piloto en un tablero) o a nivel de interfaz (mediante la HMI), todas las variables que forman parte del proceso y en qué estado se encuentran.

1.4.1 Propuesta para el trasvase de combustible de la cisterna al tanque del motor generador.

El tanque cisterna de combustible es un tanque cilíndrico horizontal, como se mostró en la Figura 4, en éste se puede instalar un sensor de nivel continuo para realizar la medición. El sensor a utilizar debe cumplir con las normas de seguridad intrínseca [1], ya que el diesel es un combustible inflamable, creando la existencia de una condición de riesgo del capital humano y de la estación.

Dicho sensor puede tener comunicación con el controlador por medio de un lazo de tensión o un lazo de corriente, tomando en cuenta que a grandes distancias en lazo de tensión se tienen pérdidas asociadas por las características del cable, pudiendo provocar errores en la medición, no ocurriendo lo mismo para lazos de corriente. La cisterna presenta ciertas características que permiten la utilización de diferentes sensores de nivel, éstos van a ser explicados en el próximo capítulo.

El tanque del motor generador tiene forma de paralelepípedo y se ubica en la parte inferior del motor generador. En la parte superior del tanque se encuentra una boquilla con un diámetro adecuado, en donde se puede colocar un sensor de nivel para la medición continua de la altura del combustible.

Se debe tomar en cuenta que el sensor a utilizar debe ajustarse o sacar una medición promedio al momento que el motor generador se enciende, porque se produce una fuerte vibración, provocando perturbaciones en la superficie del combustible (olas), pudiendo realizar mediciones erróneas. De igual forma que en la cisterna, dicho sensor puede tener una comunicación bien sea por lazo de corriente o lazo de tensión, tomando en cuenta que utilizando una comunicación por lazo de tensión se pueden presentar pérdidas asociadas por la longitud y las características del cable, no ocurriendo lo mismo para lazos de corriente.

Ambos tanques se encuentran conectados por una tubería de media pulgada galvanizada, en esta tubería se debe colocar la electroválvula, ésta se ubicaría en la parte interna de la caseta de la estación, para su protección de agentes externos. La válvula manual que se encuentra a la salida de la cisterna de manera preventiva se deja intacta, por si la electroválvula queda encendida indefinidamente, se pueda proceder al cierre de esta válvula manual, evitando un desborde de combustible en la caseta que pudiera producir una condición de riesgo según el Código Eléctrico Nacional (CEN) [1].

En el tanque del motor generador se debe colocar una canaleta de desagüe a los lados, por si ante un incidente atípico se produce un rebose del tanque y el técnico residente no se encuentra en la estación. El combustible desbordado será expulsado hacia las afueras de la caseta y de la estación en un lugar donde no se vea afectado el medio ambiente, evitando de esta manera condiciones de peligro que podría estar latentes durante esa eventualidad.

1.4.2. Propuesta para la medición de los niveles de tensión

La medición de los niveles de tensión se debe realizar con analizadores de energía, en diferentes puntos estratégicos, tomando en cuenta que éstos se deben visualizar físicamente en el tablero de control y en la interfaz HMI que se va a desarrollar. En la Figura 7, se presenta un esquema de cómo se encuentran distribuidas las líneas de alimentación eléctrica en la estación.

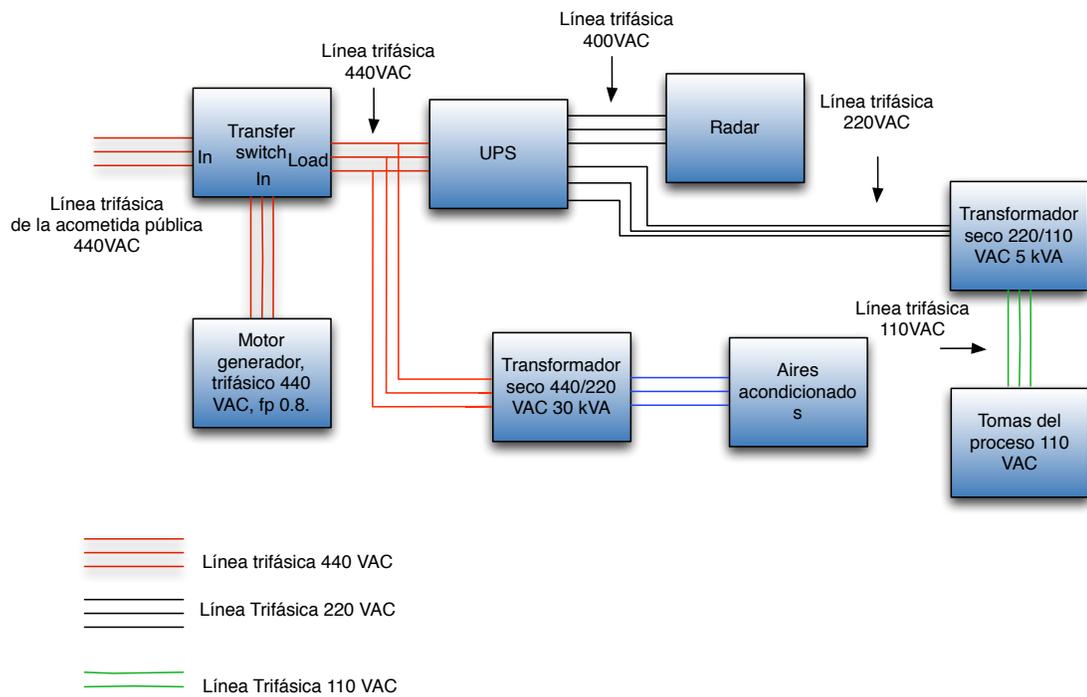


Figura 7. Distribución de las líneas de alimentación eléctrica en la estación.

Se propone utilizar tres analizadores de energía para la supervisión de las tensiones de las diferentes líneas trifásicas. Cada analizador de energía se propone colocar en: la línea trifásica de la acometida pública, la salida del motor generador y la entrada del UPS del radar. Cada uno se encuentra ubicado en esos puntos para la verificación de los niveles de tensión de la estación cuando esté operando por la línea de alimentación principal o por el motor generador. El tercer analizador se encuentra

a la salida del transfer switch para confirmar que la transferencia de carga se ha realizado con éxito.

Cada analizador de energía debe estar conectado al controlador principal del sistema. Los analizadores de energía utilizan protocolos de comunicación digitales, por lo tanto los controladores deben tener módulos de comunicaciones de expansión, para lograr una comunicación efectiva entre el controlador (maestro) y los analizadores (esclavos).

1.4.3 Propuesta para el sistema de control

El sistema debe estar dirigido por un cerebro, en este caso un controlador, que va a ser el dispositivo encargado de realizar todas las acciones de control en el sistema, como la apertura de la electroválvula, la adquisición de los datos suministrados por los sensores de nivel, adquisición de los datos de los módulos de comunicación que estarán conectados con los analizadores de energía, y los diferentes indicadores luminosos (tipo leds) que se encontrarán acoplados en la salida del controlador, para la indicación de alarmas o de diferentes eventos que se estén desarrollando en el sistema.

Toda la información adquirida procesada y realizada por el controlador debe presentarse en una HMI, para que las personas autorizadas que se encuentren en diferentes localidades puedan visualizar todas las variables del proceso que están siendo monitoreadas y en qué estado se encuentran.

El controlador debe estar conectado a un UPS pequeño para cuando se realice la transferencia de carga en el transfer switch, el mencionado dispositivo no se apague y se produzcan pérdidas de datos durante el tiempo que no esté operando. Tanto el controlador como los módulos de expansión de comunicación se alojarán dentro de un tablero que cumplirá todos los requisitos de seguridad establecidas por

las normas COVENIN [2-3]. De igual forma los dispositivos que se instalen dentro del tablero deben tener sus borneras y fusibles para evitar que éstos se averíen ante cualquier sobretensión o pico de corriente que se pueda generar.

1.4.4 Propuesta para la HMI

Las variables del proceso se deben ver en luces pilotos (tipo leds), ubicadas en el tablero y en una HMI virtual usando el RunTime del software SCADA seleccionado, que se propone instalar en una computadora, donde se va a visualizar:

- Llenado y vaciado de ambos tanques de combustible.
- Nivel de combustible en centímetros en ambos tanques.
- Litros de combustible en ambos tanques.
- Apertura o cerrado de la electroválvula interconectada entre los tanques.
- Visualización de niveles alto, medio y bajo de la cisterna y del tanque del motor generador.
- Tensión de las líneas trifásicas donde fueron colocados los analizadores de energía.

Para visualizar la tendencia de las variables fundamentales se propone la creación de un histórico asociado donde se observe cómo ha actuado el sistema ante las diferentes condiciones que se han presentado. Para observar la HMI se necesita utilizar una computadora o laptop con un puerto Ethernet como mínimo, para la instalación del RunTime (ejecutable), que es el programa que se encarga de cargar todas las utilidades del programa para su análisis.

1.5 FACTIBILIDAD DE DESARROLLO DE LA PROPUESTA

1.5.1 Factibilidad técnica

El proyecto a nivel técnico es totalmente factible, debido a la existencia de sensores y controladores en el mercado. Siendo éstos de diferentes casas, se tiene que realizar una integración de cada uno de ellos, para que puedan realizar un monitoreo continuo de las variables del proceso. Para este sistema se necesita realizar un estudio preliminar de todas las necesidades del cliente, para adaptarse a éstas y realizar un diseño adecuado según todas las características demandadas.

1.5.2 Factibilidad económica

A nivel económico la ejecución del proyecto es factible, teniendo que realizarse una inversión base (mayores gastos) en la compra de software que sólo se adquirirá una vez. El software adquirido se utilizará en cada una de las expansiones, quedando solamente la compra de los equipos que se quieren instalar. A estos equipos se deben realizar planes de mantenimiento preventivo de manera organizada, para mantenerlos operativos a lo largo del tiempo. El factor humano queda eliminado, permitiéndole al operador residente realizar otras actividades de importancia en la estación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE RADAR METEOROLÓGICO.

Para el desarrollo del diseño, se tienen que tomar en cuenta todos los parámetros que influyen de manera directa o indirecta en los procesos que se realizan en las estaciones de radares meteorológicos, que son:

- Las variables a supervisar en el proceso de automatización.
- Seguridad intrínseca.
- Seguridad eléctrica.
- Comunicación entre los dispositivos de cada uno de los niveles del sistema a diseñar.
- Condiciones ambientales de funcionamiento.
- Dimensiones de los dispositivos a seleccionar.
- Disposición de los equipos.
- Calidad de los dispositivos.
- Costos de los dispositivos.

Como parte fundamental de la automatización se encuentran los sistemas SCADA, que es una tecnología que permite obtener y procesar la información de lugares remotos e inaccesibles, transmitiéndola a un lugar para su supervisión, control y análisis. Un sistema SCADA permite supervisar, controlar simultáneamente procesos y arquitecturas distribuidas en grandes áreas y generar un conjunto de información procesada, como la presentación de gráficos, información histórica, y programación mantenimientos preventivos etc.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INSTRUMENTACIÓN

2.2.1 Medidores de nivel

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o productos finales. La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como presión y temperatura, permitiendo añadir inteligencia en la medición obteniendo lecturas con una alta precisión.

El transmisor de nivel inteligente hace posible la interpretación del nivel real, la eliminación de falsas alarmas y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión. Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y sólidos.

2.2.1.1 Detectores de nivel por presión diferencial

La presión diferencial es el método más común en la medición de nivel para tanques abiertos o cerrados. Los instrumentos de nivel por presión diferencial, realizan la medición por el peso que ejerce la columna de líquido sobre el sensor, tomando en cuenta que el líquido presenta una densidad constante y que variaciones en la temperatura pudieran provocar cambios en la densidad de líquido. La presión dependerá de la altura de la columna, tomando en cuenta una referencia. Las tomas de presión diferencial, se hacen, una en la parte inferior, otra en la parte superior, siempre y cuando las mediciones se realicen en tanques cerrados. Si el tanque es abierto la toma de baja presión se realiza a presión atmosférica. Este método de medición de nivel es a menudo referido como medición de tanques hidrostáticos[4-5].

En tanques abiertos se utiliza directamente la presión hidrostática manométrica medida en el fondo del tanque, que es directamente proporcional a los cambios de presión. La medición de nivel con un transmisor de presión se utiliza preferentemente en tanques abiertos que están expuestos a la atmósfera, la presión medida es igual a la presión de la columna de líquido con densidad constante mas la presión atmosférica (presión en la superficie). La presión en la superficie suele ser despreciable porque la mayoría de los sensores de presión disponen de dispositivos que compensan de manera automática la presión atmosférica. Este tipo de sensores su puede instalar en la parte mas baja del tanque o en el lateral de éste mediante el uso de una barra o brida para la instalación del sensor [4][6-7].

Cuando la presión de la superficie del líquido es mayor que la presión atmosférica, se puede hacer uso de sensores de presión diferencial, que no es mas que un dispositivo que mide la presión en el fondo del tanque y en la superficie de éste. La presión de la superficie se resta con la presión en el fondo del tanque, quedando como resultado la presión de la columna de líquido. La medición de presión diferencial requiere de sensores con celdas d/p [4-7].

En los tanques hidrostáticos en donde se necesite una mayor precisión se suele usar dos o más transmisores para la medición en tanques a presión atmosférica. Por ejemplo el uso de un tercer transmisor localizado a una distancia fija por encima del transmisor que está en el fondo del tanque, puede ser usado para la detección en tiempo real de la diferencia en presión causada por la densidad del fluido. Esta línea de detección para el tanque, siempre debe estar completamente sumergida para asegurar lecturas precisas. Sin embargo cuando el tanque está siendo inicialmente llenado o completamente vaciado, una medición de temperatura en el fluido puede ser utilizada para estimar la densidad [8].

2.2.1.2 Diafragmas extendidos

El medidor de presión diferencial consiste en un diafragma extendido que mide dicha presión en el fondo del tanque. El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial (celda d/p) parecido a los medidores de caudal por diafragma. Este tipo de medidor es el más usado. El diafragma está fijado a una brida como se muestra en la Figura 8, que se monta adosado al tanque, para que éste pueda realizar sin problemas la medición de nivel de líquidos en el mismo, tomando en cuenta que el nivel cero se toma en un eje a la altura del diafragma. Si el tanque está cerrado y bajo presión, la determinación de la presión en un punto del líquido, comprende tanto el peso o presión del líquido, como la presión del gas o vapor que queda sobre el líquido del tanque cerrado [6].

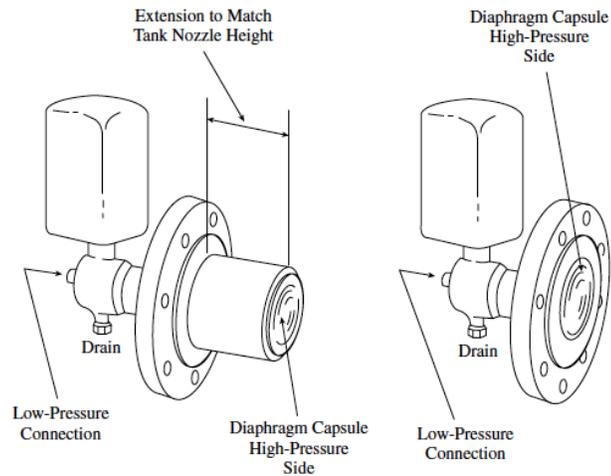


Figura 8. Diafragma extendido para la detección de nivel de líquidos [8].

Algunos fluidos presentan el peligro de formar depósitos de cristales o de sólidos en la superficie del diafragma, pudiendo solucionarse con el uso de teflón para reducir el depósito gradual del producto. Pero tomando en cuenta que el diafragma se mueve muy poco y si el sólido depositado en éste es flexible se puede continuar con la medición de presión diferencial, ya que la presión del líquido se está aplicando en todo el diafragma [6].

El rango máximo de temperatura de funcionamiento para el diafragma extendido es de 200 °C. Cambios en la temperatura del proceso o en la temperatura ambiente pueden causar cambios de cero, como es el caso con muchos instrumentos diseñados de manera similar, debido al cambio de densidad que ocurre al variar la temperatura. Para minimizar este efecto, las celdas d/p deben de colocarse en cero a la temperatura normal de funcionamiento, y el transmisor que se coloco en la parte superior de la superficie del líquido debe estar aislado. Alternativamente, la temperatura en la conexión o en el transmisor pueden ser medidas continuamente [8].

2.2.1.3 Celdas d/p inteligente y sistemas de tanques expertos

El microprocesador ha extendido las aplicaciones de los transmisores de presión diferencial electrónicos. La detección es realizada por el uso de un elemento elástico (diafragma o fuelle) que se encuentra dentro del dispositivo, tomando en cuenta que dicho elemento puede ser muy pequeño. El elemento elástico puede tener algún circuito electrónico o microprocesador adjunto, embebido o incorporado directamente permitiendo que se pueda convertir la deflexión de las lecturas analógicas en lecturas linealizadas y así obtener una señal digital con resolución compensada por efectos de temperatura, como se muestra en la Figura 9 [8].

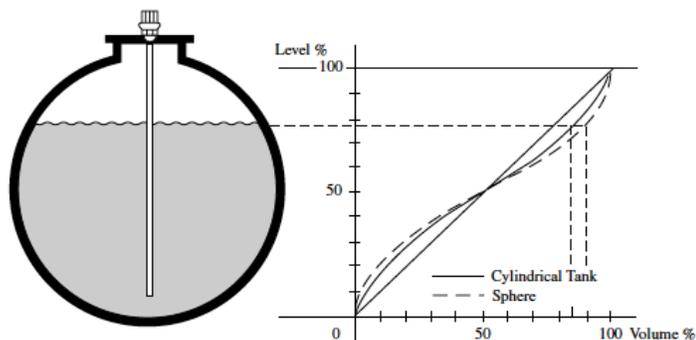


Figura 9. Celda d/p inteligente con su respectiva curva de linealización para tanques cilíndricos y esféricos [8].

Los transmisores de nivel “inteligentes” pueden convertir las lecturas de nivel de un tanque esférico o cilíndrico en lecturas de volumen o porcentaje de llenado. Los transmisores inteligentes de igual forma han estado combinados en paquetes expertos de tanques que además de nivel, pueden calcular masa, densidad y volumen basado en las mediciones de tres o más celdas d/p en un transmisor de temperatura [8].

Las salidas están disponibles a través de conexiones digitales RS485 para grandes distancias y RS232 para distancias cortas y pueden estar conectadas digitalmente para múltiples accesos a la base de datos. Redes inalámbricas Ethernet de área local por IEEE-802B [9] y otras tecnologías inalámbricas también están disponibles. La calibración, el rango, el ajuste del cero, la elevación, la supresión, y la linealización pueden realizarse a distancia, aunque se recomienda una calibración periódica del instrumento para obtener resultados más precisos.

Una lectura de la temperatura puede ser útil como una medida diversa para verificar la densidad esperada o para ayudar a estimar o extrapolar la densidad cuando el tanque se llena inicialmente o como se vacía por debajo de la media transmisor.

2.2.2 Detectores de nivel ultrasónicos

Los interruptores de nivel ultrasónicos operan ya sea por la absorción (atenuación) de energía acústica que viaja desde la fuente al receptor o por el cambio de frecuencia de una cara del diafragma que oscila de 35.000 a 40.000 Hz. Los transmisores de nivel ultrasónicos como el la Figura 10, operan empleando un transductor que emite una serie de ondas ultrasónicas de manera intermitente. La onda ultrasónica es de forma cónica, esta rebota o se refleja en la determinada superficie a medir siendo recibida de nuevo en el transductor. El tiempo requerido por la onda ultrasónica en ir y volver se mide y se convierte en unidades de distancia. Si

el transmisor está montado en la parte superior del tanque, el pulso viaja en el aire (a una velocidad de 1087 ft/s a 32 °F, o 331 m/s a 0 °C), por lo tanto, el tiempo de viaje es una indicación de la profundidad de la superficie del líquido o sólido en el tanque, como se muestra en la Figura 11. Si el transmisor está montado en el fondo del tanque, el tiempo de viaje refleja la profundidad del líquido en el tanque, y la velocidad de desplazamiento es una función dependiente de la densidad del líquido [10].



Figura 10. Detector de nivel ultra sónico [11].

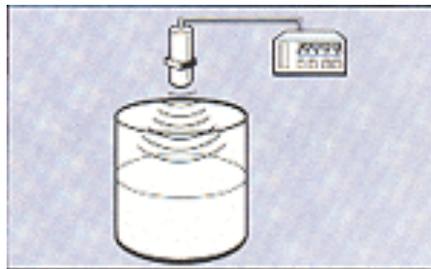


Figura 11. Detección de nivel ultrasónico colocado en la parte superior de un tanque [12].

Varios factores afectan la medición con ultrasonido, como la naturaleza de la superficie, el ángulo del haz cónico (véase Figura 12) y la distancia del sensor objetivo. Para entender las capacidades y limitaciones de los instrumentos

ultrasónicos, uno debe entender las condiciones que determinan las características del sonido: temperatura, reflexión, propagación y absorción. La compensación de temperatura es esencial en la medición de nivel ultrasónico, debido a que la velocidad del sonido es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura y en el caso del aire, ésta cambia en aproximadamente 2 ft/s (0,6 m/s) por cada grado Celsius [13].

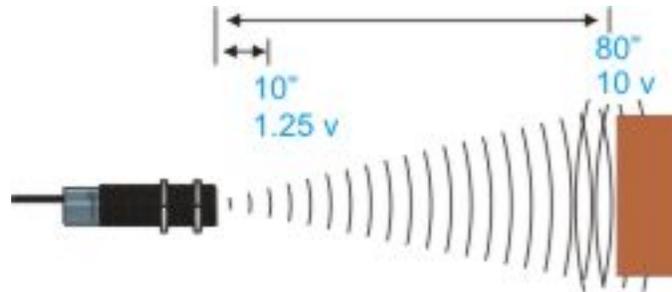


Figura 12. Visualización del ángulo cónico y de la refracción de la onda ultrasónica en una superficie [14].

Para medir el tiempo de recorrido del eco de un pulso ultrasónico, es esencial que parte de la energía sónica sea reflejada regrese de nuevo al transmisor para determinar el tiempo de vuelo (TOF) y así obtener la distancia desde el transmisor a la superficie del líquido o sólido. Los líquidos y los sólidos son buenos reflectores. La pelusa y la suciedad suelta tienen malas características reflectivas, debido a que tienden a absorber el pulso sónico. También es importante que la superficie del material sea plana, ya que el ángulo de reflejado es igual al ángulo de incidido. Por lo tanto, si el pulso sónico es reflejado desde una superficie que está inclinada, su eco no será dirigido de nuevo al transmisor (fuente del haz ultrasónico), y el tiempo de viaje de ida y vuelta (tiempo de vuelo o TOF) no reflejará con exactitud la distancia vertical. Las superficies irregulares resultan en una reflexión difusa, en el que sólo una pequeña porción total del eco se desplaza verticalmente de vuelta a la fuente, resultando en una pérdida de intensidad del sonido [10][13].

La intensidad del sonido disminuye con el cuadrado de la distancia, por lo tanto, el eco se vuelve exponencialmente más débil, a medida que el rango del instrumento aumenta. La disminución de la energía de sonido es causada no sólo por la dispersión (la distancia de viaje), sino también por la absorción de la sustancia a través de la cual se desplaza. Un transmisor ultrasónico está sujeto a muchas interferencias que afectarán la intensidad del eco. Muchos de estos fenómenos físicos están más allá del control de los fabricantes de instrumentos, aunque los microprocesadores ayudan a compensar la presencia de estos fenómenos. Se espera que todo transmisor ultrasónico haga un cálculo exacto del tiempo de viaje de ida y vuelta basado en el primer segmento del eco, proporcionando compensación de temperatura o de calor si la condensación en el transductor es una posibilidad, con un impulso ultrasónico fuerte y bien enfocado [10].

Los detectores de nivel continuo pueden ser categorizados como sensores bajo líquido o por encima de líquidos. La mayoría de los diseños utilizan un circuito oscilador de 20 kHz o superior (hasta 70 kHz) como el generador de la señal ultrasónica. Algunos diseños incorporan filtros, circuitos discriminatorios en electrónica o software en microprocesadores para evitar lecturas falsas que podrían ser causados por el ruido aleatorio [10].

2.2.3 Medidores de peso

El peso de un cuerpo no es más que la fuerza por la que somos atraídos por la tierra. La masa del cuerpo es constante y la aceleración de la gravedad terrestre varía según en que parte del globo terráqueo nos ubiquemos, obteniendo un menor peso en el ecuador y un mayor peso en los polos (gravedad en el ecuador 9.78, en los polos 9.83). Esto nos ilustra que el peso variará según en que parte del planeta nos ubiquemos o a que altura estemos.

Esto es evidente efectuando la medida con una balanza o resorte. Sin embargo, en una balanza clásica de cruz, la medida se efectúa por comparación con pesos conocidos y como éstos están sometidos también a la misma fuerza de gravitación, la lectura será independiente del lugar donde se realiza la medición. Otro factor que influye en la medición es la diferencia de empuje del aire (por el principio de Arquímedes) sobre el cuerpo y sobre el peso patrón; su influencia es tan pequeña que el error cometido queda comprendido dentro del error normal aceptado en las operaciones de pesaje.

2.2.3.1 Sensores de peso tipo celdas o células de carga

Las celdas de carga o fuerzas de carga tienen muchas formas para adaptarse a la variedad de usos a lo largo de aplicaciones de investigación e industriales. La mayoría de los diseños actuales utilizan medidores de tensión como elemento de detección, ya sea de aluminio o de semiconductores, la variación del peso se reflejará en variaciones de tensión en una escala de 0 – 10V. Los medidores de aluminio ofrecen la mayor selección, en consecuencia tienden a ser los más utilizados en los diseños de celdas de carga ya que son más livianos y resistentes. Los patrones de galgas extensométricas ofrecen una medición de fuerza, tracción, compresión y cizalladura.

Los medidores semiconductores de deformación vienen con una alta sensibilidad, pero ofrecen la ventaja de ser extremadamente pequeños y tener un gran factor de carga.

Un gran número de tipos de celdas de carga han sido desarrolladas a lo largo de los años, los primeros diseños simplemente han utilizado un medidor de tensión para medir directamente el estrés que se introduce en un elemento de metal cuando se somete a una fuerza de tracción o de compresión. El diseño tipo viga de flexión

utiliza galgas extensométricas para controlar la tensión en el elemento de detección cuando se somete a una fuerza de flexión.

2.2.3.2 Celdas de carga a base de galgas extensométricas

Una celda de carga está formada por una pieza de elasticidad conocida (tal como el acero de módulo de elasticidad $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$) capaz de soportar cargas sin exceder su límite elástico. A esta pieza está cementada una galga extensométrica, que está formada por varias espiras de hilo pegado a un soporte de papel o de resina sintética. La tensión o la compresión a que el peso somete a la celda de carga, hace variar la longitud del hilo metálico y modifica por lo tanto su resistencia eléctrica, como se visualiza en la Figura 13 [15].

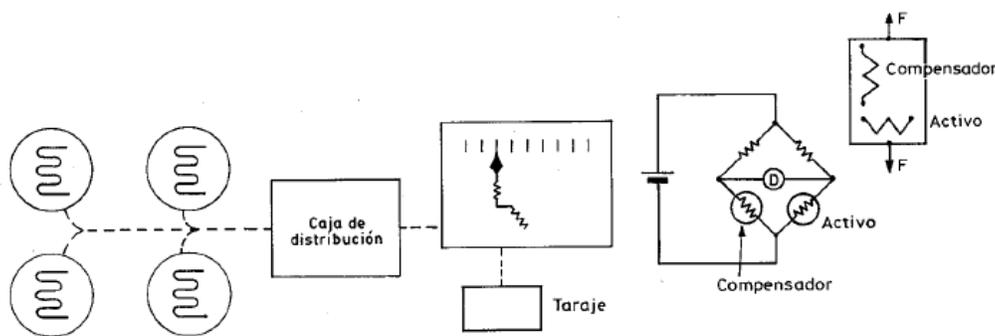


Figura 13. Galgas Extensométricas [15].

En las celdas de carga se usan acondicionadores de señal como el puente de Wheatstone, que no es mas que un circuito que capta pequeños cambios en la resistencia y compensan los efectos de la temperatura para evitar variaciones en la medición, como se observó en la Figura 13. La adición de un microprocesador eleva la precisión de la medida mediante la utilización de algoritmos de corrección de errores y facilitando el ajuste y la calibración.

2.2.3.3 Celdas de carga a base de galgas extensométricas de semiconductor

La resistencia cambia con la tensión gracias a cambios en la estructura cristalina que varían la movilidad de los electrones. El factor de galga es mayor que en las galgas metálicas, del orden de -50 a -200. El acondicionador de señal es también un puente de Wheatstone con la posibilidad de añadir un circuito a microprocesador [15].

En los instrumentos de pesaje se aplican las normas metrológicas de la OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) que clasifican los aparatos en cuatro categorías como se identifica en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de los instrumentos según su clase [15]

Precisión	Clase
Precisión especial	Clase I
Precisión fina	Clase II
Precisión media	Clase III
Precisión ordinaria	Clase IV

El microprocesador aporta compensación de temperatura al realizar medidas promedio, ignorando los cambios de señal de las celdas, debido a variaciones de la temperatura.

2.2.4 Electroválvulas

En gran cantidad de aplicaciones es importante tener un control de los diferentes flujos, desde corrientes eléctricas, líquidos y gases que ocurren en el proceso. Para estos trabajos se emplean válvulas solenoides, que permiten su

ejecución en zonas de difícil acceso facilitando la sistematización del proceso por tener un funcionamiento eléctrico.

Este tipo de válvulas son controladas variando la corriente que circula a través de un solenoide, que no es más que un conductor que se encuentra alrededor de un émbolo, en forma de bobina. Al circular esta corriente por el solenoide, se genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil como se muestra en la Figura 14. Estas válvulas pueden operar en dos estados, normalmente abierta o normalmente cerrada. Al finalizar el efecto magnético sobre el émbolo, éste se devuelve a su posición inicial, por el efecto de la gravedad, un resorte o por la presión del fluido a controlar, como se observa en la Figura 15 [16].

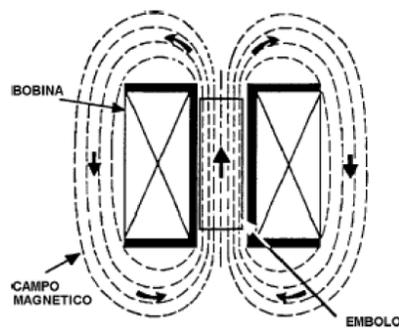


Figura 14. Campo magnético producido por una bobina [16].

El solenoide está bajo el efecto de la corriente que circula por éste, se comportándose como un electroimán, que atrae materiales ferromagnéticos, producto de la alineación de momentos magnéticos atómicos. El campo magnético, creado al circular corriente por el solenoide, actúa sobre el émbolo móvil del material magnético, produciendo una fuerza que ocasiona el desplazamiento del émbolo permitiendo la apertura o cierre de la válvula. La bobina o solenoide genera un campo magnético, de acuerdo a la Ley de Ampere como se muestra en la expresión (1):

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i \quad (1)$$

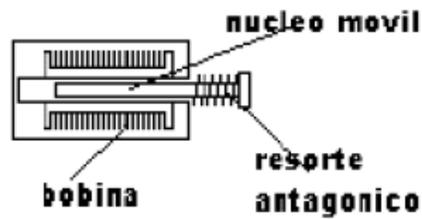


Figura 15. Movimiento del émbolo dentro de una bobina [16].

Según la aplicación donde la electroválvula vaya a ser utilizada se puede clasificar en:

- Electroválvulas directamente accionadas.
- Electroválvulas operadas mediante un piloto.

2.2.4.1 Electroválvulas directamente accionadas

Las electroválvulas directamente accionadas poseen un émbolo móvil que controla el flujo debido a la fuerza de origen magnético que es proporcional a la corriente que esté circulando por la bobina, un ejemplo de éstas se observa en la Figura 16 [16-17].

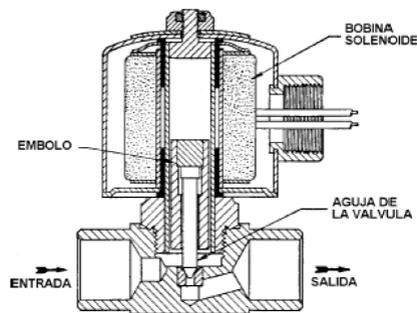


Figura 16. Válvula de solenoide directamente accionada de dos vías [16].

Al no circular corriente por la bobina, la parte inferior del émbolo cierra el orificio deteniendo el flujo del proceso (una electroválvula normalmente cerrada). Al energizar el solenoide, se genera un campo magnético, que ejerce una fuerza sobre el

émbolo atrayéndolo hacia arriba, permitiendo de esta manera el paso del fluido. Una vez cese el flujo de corriente eléctrica por la bobina, la fuerza ascendente sobre el émbolo finaliza, cayendo por efecto de la gravedad o por un resorte, evitando de esta manera la circulación de flujo del proceso por la tubería. En otras aplicaciones, en donde las electroválvulas no se encuentren en posiciones verticales, se hacen uso de resortes o por la presión diferencial del fluido, como el caso de las válvulas operadas por piloto [16-17].

“Mientras mayor sea la diferencia entre la entrada y la salida del fluido, la fuerza ejercida sobre el émbolo móvil tendrá que ser mayor, aumentando la circulación de corriente por la bobina para cerrar el orificio de la válvula. Por lo tanto existe un límite máximo de diferencia de presiones en la que puede operar una electroválvula éste se conoce como “Diferencial Máximo de Presión de Apertura” [16].

2.2.4.1.1 Diferencial Máximo de Presión de Apertura

“A mayor diferencia de presiones entre la entrada y la salida del fluido se necesitará una mayor fuerza (mayor circulación de corriente por la bobina solenoide) para abrir o cerrar el émbolo móvil de la electroválvula. El orificio de la electroválvula desempeña un papel fundamental ya que el área de ésta se verá afectada por la diferencia de presiones, haciendo de esta manera más difícil la apertura o cierre del émbolo. Por esta razón hay una fuerza máxima con que el electroimán puede atraer el émbolo, existiendo una diferencia de presiones entre la entrada y la salida, si la presión excede éste límite el solenoide será incapaz de mover el émbolo, dejando a la electroválvula sin capacidad de actuación.” [16]

Esto nos da como resultado si la diferencia de presiones entre la entrada y salida es grande, se necesitará de una gran bobina para que ejerza una mayor fuerza de atracción al émbolo, aumentando de esta manera los costos de construcción de la

válvula y el consumo de ésta. Por esta razón para grandes flujos y presiones, se utilizan válvulas de solenoide operadas por piloto.

2.2.4.2 Electroválvulas operadas por piloto

Las electroválvulas operadas pilotos se basan en una combinación de una bobina solenoide y la presión de la tubería. Para este tipo de válvulas el émbolo está unido a un vástago de aguja, que cubre el orificio piloto en vez del puerto principal, como se observa en la Figura 17 [16].

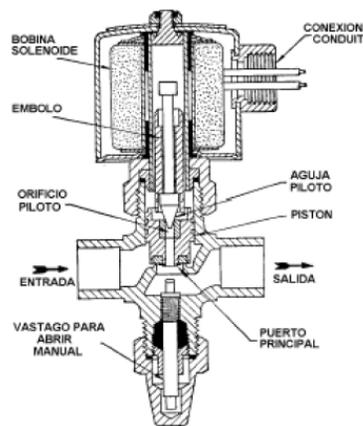


Figura 17. Válvula de solenoide operada por piloto, normalmente cerrada de dos vías con pistón flotante [16].

Existen tres tipos básicos de válvulas operadas por piloto:

- Pistón flotante.
- Diafragma flotante.
- Diafragma capturado.

Los tres tipos de electroválvula mencionadas anteriormente funcionan bajo el mismo principio. Al energizar la bobina, el émbolo es atraído hacia el centro de la bobina, abriendo el orificio del piloto, la presión aprisionada arriba del pistón se libera a través del orificio del piloto, creando así una diferencia de presión, de esta

manera se genera una presión diferencial en donde la presión inferior es mayor que superior, forzando al émbolo a subir y produciendo la apertura del puerto principal, como se observa en la Figura 18 [16].

Al producirse un corte de la circulación de corriente en la bobina solenoide, el émbolo cae y el vástago de la aguja cierra el orificio piloto, provocando una igualación de presiones de la parte superior e inferior del pistón, los cuales caen para cerrar el puerto principal evitando el paso del fluido [16].

En válvulas de tamaño mediano, el orificio piloto se encuentra encima del pistón o diafragma, mientras que en las válvulas de mayor tamaño el movimiento del pistón es mayor, por esta razón se coloca el pistón alejado el vástago o dispositivo móvil. La válvula solenoide además de estar en contacto con el pistón, maneja la presión que afecta a éste a través de sus conexiones a la línea y a la cámara piloto, de esta manera cuando el solenoide piloto se encuentra desenergizado se produce un acumulamiento de alta presión en la cámara piloto, provista a través de una conexión de alta presión, que produce el cierre del pistón como se muestra en la Figura 19. Al energizarse de nuevo el solenoide, se produce una liberación de presión de la cámara del piloto, ocasionando una igualación de las presiones superior e inferior, haciendo que el resorte levante el pistón y abra la válvula permitiendo la circulación de fluido.

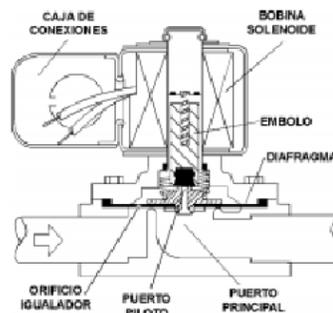


Figura 18. Válvula de solenoide operada por piloto normalmente cerrada, de dos vías y diafragma flotante [16].

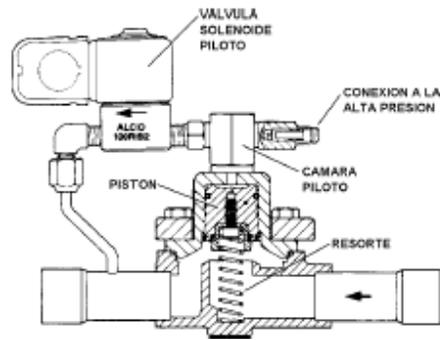


Figura 19. Válvula de solenoide operada por piloto externo, normalmente cerrada de dos vías y con pistón flotante [16].

Así como las electroválvulas directamente accionadas o de acción directa, se deben de tener ciertas consideraciones con las presiones que afectan al pistón, ya que si son muy bajas, nunca se va a producir la apertura puerto, esta diferencia de presiones se conoce como “Diferencial Mínimo de Presión de Apertura”.

2.2.4.2.1 Diferencial Mínimo de Presión de Apertura

“Las electroválvulas de acción directa no pueden ser utilizadas en aplicaciones donde exista presencia de altas presiones, ya que esto exigiría una mayor consumo de corriente circulante en el solenoide para producir una mayor fuerza magnética, conllevando a un fatiga excesiva en la bobina, es por esto que en aplicaciones de actuación, donde existan altas presiones se hace uso de válvulas de solenoide operadas por piloto. El objetivo de éstas es que la apertura del orificio se realice con el menor esfuerzo posible, necesitando una presión diferencial mínima, en el momento que el orificio piloto ha permitido la igualación de las presiones de entrada y salida. Se requiere un diferencial mínimo de presión de apertura para levantar al pistón o diafragma del puerto principal. Los niveles de presión deben de ser respetados en las válvulas de acción directa y las válvulas operadas por piloto, para que circule un flujo adecuado dentro de la tubería” [16].

2.2.5 Sistemas SCADA (Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos)

SCADA consiste en una serie de computadoras, sensores y otros equipos interconectados por telemetría para monitorear y controlar los procesos. Los usos de los sistemas SCADA son diversos, ya que sólo están limitados por la imaginación del diseñador. Algunas aplicaciones típicas incluyen distribuciones eléctricas de alta y baja tensión, estaciones de radiodifusión, y mediciones ambientales. Los sistemas SCADA también archivan información generando informes y gráficos que son críticos para los procesos [18].

Una ventaja importante de los sistemas SCADA es que los sensores existentes en una aplicación pueden ser incorporados en el sistema general de SCADA. De este modo, el sistema SCADA simplemente añade un nuevo nivel de inteligencia y proporciona capacidades adicionales a los controles existentes en la planta. Además de reducir el costo de la implementación de nuevas soluciones tecnológicas, también ayuda a centralizar los controles a un puesto de mando central. Los sistemas SCADA pueden ser equipados con alarmas de modo que si uno de los subsistemas falla, las acciones correctivas se pueden tomar sin demora [18].

En un sistema SCADA, un grupo de tareas se ejecuta en el computador (PC), cada uno de ellas desempeña funciones específicas. La base de datos almacena los números de las etiquetas (Tags) de los dispositivos y bucles, que se intercambian para las diversas tareas. Debido a que muchas de estas etiquetas o Tags se asignan a las correspondientes variables del PLC mediante una o más de las tareas, el manejo de las plantas o máquinas pueden ser implementados por medio de lectura / escritura de las acciones en las etiquetas correspondientes [18].

La Figura 20 muestra cómo un sistema SCADA notifica a un operador humano a través de un PC la condición de la alarma que fue detectada por un controlador el cual puede ser un PLC.

instrumentos de campo deben ser cableados, y a través de estos se emplean señales por lazo de corriente o de tensión, operando a niveles de energía en la que el riesgo de incendio es remoto. Las precauciones necesarias para la protección del personal y la fiabilidad, resulta automáticamente en la seguridad contra incendios. Las fuentes de alimentación son el punto de entrada en un instrumento que está sujeto a las disposiciones y reglamentos [19]. En la mayor parte de Venezuela, el Código Eléctrico Nacional (CEN) [1] ha sido adoptado y tiene el efecto de ley.

La seguridad depende principalmente de tres factores fundamentales [19]:

1. Cerramiento de las partes activas, tanto para evitar el contacto personal y cortocircuitos accidentales.
2. Los fusibles o disyuntores para que se abran en caso de sobrecarga.
3. Conexión a tierra de todo el metal expuesto.

2.2.6.1 Tableros eléctricos

Para los lugares comunes, un tablero sólo tiene que ser lo suficientemente hermético para evitar la entrada de un dedo humano entre en contacto con las partes activas del sistema. A menos que se requiera una ventilación para la refrigeración, el tablero debería de ser lo suficientemente aislado para evitar la entrada de materiales extraños el escape de chispas o materiales calientes en caso de un cortocircuito interno o fuego. Es particularmente importante prevenir el escape de la llamas de cualquier aislamiento o plástico que se encuentre incendiado. El tablero no debe soportar la combustión [2-3][19].

Para equipos eléctricos ordinarios se supone que sólo un electricista tiene acceso al interior, y por lo tanto, sólo algunos peligros inusuales del interior necesitan ser protegidos. Sin embargo, los instrumentos frecuentemente tienen puertas de acceso, para otros técnicos cualificados para fines tales como cambio de la tarjeta de registro, y ajustes del controlador. Las partes vivas que operan a niveles peligrosos

de tensión no deberían de ser accesibles para el personal no autorizado durante el mantenimiento operacional [19].

2.2.6.2 Terminología IP

De acuerdo con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) IEC-CEI 60529 (2001-02) [20], un tablero puede ser definido como una combinación de dos números. El primer número describe la protección que ofrece contra objetos extraños sólidos, mientras que el segundo se refiere al tipo de protección que ofrece contra la penetración de agua.

2.2.6.3 Fusibles e interruptores automáticos

El fusible convencional de 15 o 20 A o el interruptor en el cableado de la fuente a un instrumento está diseñado para proteger el cableado, no al instrumento. Fallas de componentes o fallas circuitales dentro del instrumento pueden ocasionar la destrucción total de éste. Para minimizar los daños y posibles incendios, un fusible más pequeño, por lo general 1/4 a 3 A, es utilizado [19].

2.2.6.4 Puesta Tierra

Una resistencia baja, y una conexión metálica que no transporte corriente a tierra debe ser establecida y mantenida en cada superficie metálica expuesta, que posiblemente pueda ser conectada a un circuito eléctrico. La conexión eléctrica podría producirse debido a un fallo, tal como un cable suelto haciendo contacto eléctrico, o como resultado de una corriente de fuga a través del aislamiento [19].

La puesta a tierra se logra generalmente mediante la unión de todos los elementos que conforman la conexión a tierra en el sistema, y en donde la alimentación entra al tablero. A menudo es un conducto el que encierra todos los cables. Los cables tienen que estar firmemente unidos tanto, eléctricamente como mecánicamente, a cada pieza del equipo [1][19].

La puesta tierra no es más que la conexión entre la entrada de servicio de la tierra del circuito conductor (cable blanco) y la tierra. El equipo es montado directamente sobre el acero estructural de un edificio se considera efectivamente a tierra. Las tuberías de agua no son tierras eficaces, por el aumento del uso de tuberías de plástico para las conexiones de agua [1][19].

La puesta a tierra tiene dos finalidades distintas, ambas relacionadas con la seguridad. En primer lugar, puesto que el circuito de alimentación tiene un lado conectado a tierra, una falla que resulte en un contacto eléctrico con la tierra del tablero pasará la corriente suficiente para fundir un fusible. En segundo lugar, la posibilidad de un riesgo de descarga eléctrica es minimizado ya que el camino de baja resistencia de un sistema correctamente unido y conectado a tierra, mantendrán todas las superficies expuestas a un substancial potencial de tierra [19].

La puesta a tierra es eficaz contra el peligro de corrientes de fuga. Todo aislamiento eléctrico está sujeto a alguna fuga eléctrica. Esto puede elevarse a un nivel significativo como el aislamiento se deteriora con la edad, o como las capas de polvo conductor se acumulan en la presencia de alta humedad. Un sistema de puesta a tierra con una resistencia eléctrica baja conducirá las corrientes de fuga a tierra sin desarrollar un gran potencial en las superficies expuestas [19].

La puesta a tierra de las superficies metálicas expuestas, es distinta del conductor conectado a tierra. Este último es un suelo de carga de corriente que es capaz de desarrollar un potencial significativo. Los sistemas de puesta a tierra no son sustancialmente transportadores de corrientes, excepto para posibles corrientes de

fuga. El potencial puede acumularse sólo durante el tiempo necesario para que un fusible se funda, como resultado de una falla específica, como resultado del contacto directo entre la potencia y los sistemas de puesta a tierra. La puesta a tierra habitualmente no se requiere para circuitos de señales donde el voltaje máximo sea de 30 V, o bajo corrientes máximas que bajo cualquier circunstancia no exceda de 5 mA [1][19].

2.2.7 Seguridad intrínseca

“Los instrumentos eléctricos instalados en atmósferas que contienen gases o vapores inflamables presentan un riesgo de explosión que obliga a utilizar técnicas especiales de protección. Estas técnicas incluyen el aislamiento de la atmósfera explosiva mediante encapsulación, la utilización de material antideflagrante, la presurización, la inmersión en aceite, la seguridad aumentada y la seguridad intrínseca.

La seguridad Intrínseca es usada con frecuencia en el área de la ingeniería ya que presenta las siguientes ventajas con relación al material antideflagrante:

- Es preferible evitar una explosión que contenerla.
- El material antideflagrante sólo lo es si está bien mantenido
- El material antideflagrante es pesado, macizo y caro de instalar.
- El material antideflagrante no puede sacarse de su caja a menos que se ponga fuera de servicio, mientras que el material con seguridad intrínseca, permite la sustitución de elementos estándar y la calibración de los aparatos sin tomar precauciones especiales.

La utilización de material antideflagrante y el uso de las restantes técnicas, constituye usualmente una solución de compromiso que no es completamente satisfactoria.” [1]

2.2.7.1 Nivel de energía de seguridad

“Para producir una explosión de una mezcla gaseosa es necesario aportar un nivel crítico de energía, es decir, la explosión sólo se produce si se inyecta suficiente energía a la mezcla como para producir la ignición de un mínimo volumen crítico del material.

El diámetro de una esfera con este volumen, recibe el nombre de distancia de extinción y si la llama incipiente que pueda formarse se mantiene dentro de esta esfera, esta llama naciente no se propaga. La energía requerida para la ignición depende de la concentración de la mezcla de combustible y existe una concentración para la cual es mínima la energía de ignición.” [1]

2.2.7.2 Mecanismos de ignición en circuitos de baja tensión

“A los niveles tensión con que trabajan la mayor parte de los instrumentos, la separación entre los electrodos que producen la chispa eléctrica está comprendida dentro de la distancia de extinción. El proceso de la ignición de la mezcla depende de la forma en que se libera la chispa y del tipo de material del electrodo. En cualquier caso, el proceso es complejo y es difícil reproducir exactamente las condiciones de ignición. Existen varias clases de ignición:

- a) Cierre de un contacto en un circuito capacitivo: cuando el contacto cierra el circuito, descarga el condensador, siendo probable que la corriente vaporice una partícula del material cuando los contactos se tocan por primera vez. Este vapor proporciona un paso para la formación de un arco que se mantiene entre los contactos al estar éstos muy próximos entre sí. La ignición se produce con el valor máximo de la distancia de extinción.

- b) Apertura de un contacto en un circuito inductivo: al abrirse el contacto se interrumpe la corriente del circuito inductivo y la energía almacenada en la bobina intenta mantener la circulación de corriente, este fenómeno da lugar a un aumento de tensión entre los contactos separados hasta valores muy altos, del orden de varias veces la tensión de alimentación.

Cabe destacar que en los circuitos de alta inductancia, la tensión entre contactos es muy alta, favoreciendo el mantenimiento del arco incluso a distancias mayores que la de extinción, en este sentido es más perjudicial un contacto de apertura rápida que otro de movimiento lento. En circuitos de baja inductancia la tensión entre contactos es sensiblemente igual a la tensión de alimentación, con lo cual un contacto de movimiento lento permite, por más tiempo, la persistencia del arco y produce la ignición a niveles de corrientes más bajos que el contacto de apertura rápida.

- c) Apertura o cierre de un contacto en un circuito resistivo: El arco se inicia por vaporización del material, sea al tocarse los contactos, sea cuando se separan. La distancia de extinción es grande. El efecto es poco importante comparado con la apertura de un contacto en un circuito inductivo. En estos tres procesos de ignición que se han descrito, juegan un papel importante la distribución, la forma y el material de los electrodos y además las características del sistema de encendido del arco. La energía mínima de ignición es esencialmente independiente de la naturaleza de los electrodos. Por otro lado no puede afirmarse que un circuito es intrínsecamente seguro con la única base de unos ensayos de ignición satisfactorios, se hace preciso asegurar que la construcción y la disposición de los instrumentos sea tal que durante su vida útil, no se presenten problemas de envejecimiento que puedan dar lugar a la pérdida de seguridad.
- d) Ignición con superficie o hilos calientes: los instrumentos que trabajan en áreas peligrosas no deben tener sus superficies excesivamente calientes. La Comisión Electrotécnica Internacional (I.E.C.) normalizó seis temperaturas máximas, la más común es de 45 °C. Existe la posibilidad de ignición en un

pequeño hilo calentado, por una corriente elevada. Sin embargo, exceptuando los hilos muy finos, la corriente requerida para provocar la ignición es mayor que la necesaria en la apertura de circuitos resistivos, además la ignición con hilos de cobre sólo es posible si el hilo se funde, o bien si está bobinado, no es posible la ignición en un hilo de cobre recto que no se funde. Incluso, cuando el hilo se funde, la corriente para la ignición es más alta que la corriente de ignición necesaria en la apertura de un contacto en un circuito resistivo.” [1]

2.2.7.3 Clasificación de los lugares según el CEN

Los lugares se clasificarán de acuerdo con las propiedades de los vapores, líquidos o gases inflamables que puedan estar presentes y la probabilidad que una concentración o cantidad inflamable o combustible pueda estar presente. Para determinar la clasificación se considerará en forma separada cada recinto, sección o área. Espacios y áreas que contengan un sistema de refrigeración con amonio y que estén equipados con ventilación mecánica adecuada, pueden ser considerados como lugares no clasificados.

2.2.7.3.1 Lugares Clase I

“Los lugares Clase I son aquellos en los que hay o puede haber en el aire gases o vapores inflamables en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o combustibles” [1].

2.2.7.3.1.1 Lugares Clase I División I

“Es un lugar en el que las condiciones normales de funcionamiento, puede haber concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables, o en el que frecuentemente, debido a operaciones de reparación o mantenimiento o a fugas, puede haber concentraciones de combustibles de dichos gases o vapores, o en el que

la rotura o el mal funcionamiento de equipos o procesos podría liberar concentraciones de gases o vapores inflamables capaces de encenderse, y que podría ocasionar también una falla simultánea del equipo eléctrico, de manera que dicho equipo eléctrico pudiera convertirse en la fuente de ignición” [1].

“En algunos lugares de la División 1 pueden estar presentes concentraciones inflamables de gases o vapores inflamables de modo continuo o durante largos períodos. La experiencia ha demostrado que es prudente evitar la instalación de equipos de instrumentación u otro equipo eléctrico en estas áreas específicas o cuando no se pueda evitar porque resulten esenciales para los procesos y no sea factible hacerlo en otros lugares se utilizarán equipos o instrumentos eléctricos aprobados para esa aplicación específica o que sean sistemas de seguridad intrínseca” [1].

2.2.7.3.2 Lugares Clase I Zona 0

“Están presentes continuamente concentraciones inflamables de gases o vapores inflamables, o están presentes por largos períodos de tiempo concentraciones inflamables de gases o vapores” [1].

“Esta clasificación incluye lugares en el interior de tanques o recipientes ventilados que contengan líquidos inflamables volátiles; el interior de cerramientos mal ventilados donde se apliquen pintura por aspersión y se usen solventes inflamables volátiles; la parte entre las secciones interna y externa del techo de un tanque de techo flotante que contenga líquidos inflamables volátiles; el interior de depósitos, fosos y recipientes abiertos que contengan líquidos inflamables volátiles; el interior de un conducto de extracción usado para ventilar las concentraciones inflamables de gases o vapores; y el interior de envolventes mal ventilados, que normalmente contengan instrumentos de ventilación para uso o análisis de fluidos inflamables y que ventilen hacia el interior de la envolvente” [1].

“No se recomienda instalar equipo eléctrico en lugares Zona 0, salvo cuando el equipo sea esencial para el proceso o cuando no sea posible la instalación en otro lugar. En caso que sea necesaria la instalación de sistemas eléctricos en un lugar Zona 0, se recomienda instalar sistemas intrínsecamente seguros” [1].

2.2.7.3.3 Mezclas pertenecientes al grupo D

“Un gas inflamable, vapor producido por un líquido inflamable o vapor producido por un líquido combustible, mezclado con aire, que puede arder o explotar, y que tenga un valor de separación de seguridad experimental máxima (MESG) mayor que 0.75 mm, o una tasa mínima de corriente de ignición (tasa MIC) mayor que 0.80” .

2.2.7.4 Certificado y directiva ATEX

El certificado ATEX es constantemente revisado y actualizado por una comisión de la Unión Europea encargada de especificar los lineamientos a cumplir por cada uno de los instrumentos involucrados en los procesos de alto riesgo [21].

Existen dos certificados

- El certificado 94/9/EC enfocado a delinear las especificaciones y requerimientos técnicos que deben cumplir las herramientas implicadas [21].
- El certificado 99/92/EC, variación enfocado en proporcionar los requerimientos mínimos para mejorar la seguridad de los trabajadores en atmósferas con potencial peligro de explosión [21].

La directiva ATEX se aplica en Europa a través de cada una de las autoridades nacionales que traspasan sus disposiciones en su legislación, y tiene diferentes efectos para cada nación, por lo tanto, los estados miembros y otros que

soliciten estos requisitos son directamente responsables de su aplicación y ejecución [21].

2.2.8 Interruptor de transferencia automática (ATS, Automatic Transfer Switch)

Los interruptores de transferencia automática están disponibles en varias configuraciones, con un objetivo: conectar un sistema de distribución eléctrica a fuentes de alimentación secundarias. La selección, instalación y el uso adecuados de estos equipos son vitales para la confiabilidad del sistema [22].

El método más conveniente y confiable para la transferencia energía está compuesto por un interruptor automático. El ATS se usa para detectar cuando ocurre una falla, y se acciona lógicamente para encender el motor cuando la fuente de energía de emergencia es un generador. Al momento que el generador alcance su tensión nominal y su frecuencia nominal de operación, el ATS transfiere automáticamente la carga de la fuente normal a la fuente de emergencia. Al momento que la fuente de alimentación primaria tenga niveles de tensión normales, el ATS vuelve a transferir la carga a la fuente normal [22].

2.2.8.1 Características del ATS

- El ATS se usa para detectar cuando ocurre una falla, y acciona lógicamente para encender el motor cuando la fuente de energía de emergencia es un generador [23].
- Cuando el generador alcanza la tensión y la frecuencia apropiada, el interruptor transfiere automáticamente los circuitos de la carga de la fuente

normal a la fuente de emergencia [23].

- Cuando se restaura la fuente normal, el interruptor vuelve a transferir los circuitos de la carga de nuevo a la fuente normal [23].

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS Y SOFTWARE

3.1 SENSORES PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LOS TANQUES

3.1.1 Selección de los sensores y protocolos de comunicación para la medición de nivel.

A continuación en la Tabla 2 se presenta la comparación de los diferentes sensores que pudieran ser utilizados en el nivel campo, para la medición de nivel en los tanques de combustible.

Tabla 2. Tabla comparativa para la selección del sensor para la medición de nivel

	Transmisor de presión diferencial JUMO dTRANS p20.	Celdas de carga a base de galgas extensométricas tipo barra de apoyo simple Shear Beam Modelo FTK 1000 Kg Transmisor indicador de peso JOLYY TLB. Celdas de carga falsas ML/FTK 1000.	Transmisor Ultrasonico Migatron Corp RPS-409A-IS
Principio de medición	Diafragma	Galgas extensométricas	Haz ultrasónico
Rango de medición	0 a 0.6 Bar 0 a 7.3 metros utilizando la expresión (5)	0 a 1000 kg, conectado al transmisor JOLLY de 0 a 1.7 metros	0 a 2 metros
Temperatura de operación	0 a 120 °C	-20 a 70 °C	-40 a 60 °C

Tabla 2. Tabla comparativa para la selección del sensor para la medición de nivel

Salidas	4 – 20 mA con dos cables, 4 – 20 mA con dos cables HART,	ASCII Laumas, MODBUS RTU, Profibus DP, Ethernet/MODBUS TCP, USB, 0 – 20 mA, 4 – 20 mA, 0 – 10 VDC, 0 – 5 VDC	0 – 10 VDC
Medición	Presión absoluta, presión relativa y temperatura	Peso (kg)	Longitud (metros)
Alimentación	11.5 - 28 VDC	12 – 24 VDC	16 – 30 VDC
Certificado ATEX	Sí SEV 09 ATEX 0138 X	No	Sí. Clase I División I Grupos A, B, C y D. Clase II División I Grupo E, F y G. Clase III, División I.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Certificación ATEX, permitiendo la instalación del transmisor en lugares con riesgos de explosión. • Alta precisión en la medición, dado que detecta cualquier cambio de presión que se produzca. • Salida analógica en 4-20 mA, con dos cables. • Temperatura media de operación hasta 120°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediana precisión en la medición ya que con el uso de los transmisores se logra compensar el efecto de la temperatura, corrección de errores, permitiendo que se realice el ajuste del cero de manera sencilla. • Con el transmisor se logra tener una salida en varios protocolos permitiendo el uso de las entradas digitales que posea el controlador a nivel célula. • No es un dispositivo intrusivo dado a que no está en contacto con el combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intrínsecamente seguro para ambientes explosivos. • Alta precisión en la medición. • Compensación de temperatura para proporcionar mediciones precisas en un amplio rango de temperaturas. • No se encuentra en contacto con el material del proceso a medir. <ul style="list-style-type: none"> • Puede proporcionar indicaciones al PLC, sobre diversos niveles críticos que pueden ser configurados.

Tabla 2. Tabla comparativa para la selección del sensor para la medición de nivel

Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar la conversión de la presión diferencial a metros de altura. • El costo es muy elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para realizar el respectivo mantenimiento o cambio de una celda de carga que resulte averiada se tiene que levantar cada pata del tanque con un gato hidráulico para realizar el respectivo cambio. • Realizar la conversión del peso que se obtenga a una unidad de capacidad (Litros) haciendo uso de la densidad del combustible. • El tanque tiene que ser vaciado y levantado con un gato hidráulico para realizar la instalación de las celdas de carga con sus respectivos accesorios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita realizar una adaptación al tanque del motor generador para realizar la medición ya que tiene una zona muerta de 4 pulgadas.
Costo	Bs. 38.000	Bs. 19.000	Bs. 16.000

Las celdas de carga son instrumentos muy utilizados en la industria para la medición de peso. Éstas de igual manera ofrecen una solución en las mediciones de nivel, para esto se tendría que fijar como cero el peso de la estructura vacía para tener un peso del combustible del tanque. La transformación en litros se realiza usando la densidad del combustible, tomando en cuenta que la densidad se define como se muestra en la expresión (2):

$$d = \frac{m}{v} \quad (2)$$

donde:

d: densidad

m: masa

v: volumen

Las celdas de carga proporcionan el peso del combustible que se encuentre dentro del tanque, teniendo la densidad del diesel se puede tener un volumen aproximado del combustible que está dentro de éste. Las bases se encuentran sujetadas por unos pernos en una base de concreto, como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Bases de concreto que soportan el cisterna de 2795 litros.

Las celdas de carga se dispondrían en una sola base de la estructura para una medición del peso con una baja precisión; para una mayor precisión se debería colocar dos celdas de carga que estén opuestas entre sí para tener una compensación en el peso del tanque. En las dos bases restantes se colocarían dos o tres celdas falsas dependiendo de las celdas de carga que se utilicen. Dichas celdas de carga irían a un controlador que procesaría los datos obtenidos por las celdas de carga y enviaría la información ya procesada al PLC por comunicación analógica de 0 – 10V, 4 – 20 mA, MODBUS RTU, MODBUS TCP, Ethernet TCP, Profibus DP, ASCII Laumas entre otros como se mostró en la Tabla 2..

En el tanque pequeño de combustible que está conectado al motor generador, se instalaría una celda de carga para la medición del peso, tomando en cuenta que el cero será el peso del tanque combustible sumado con el peso del motor generador debido a que el tanque se encuentra empotrado debajo de éste.

Las celdas de carga y las celdas falsas son de acero inoxidable siendo ideales para ser colocadas en ambientes externos evitando los problemas de corrosión que se puedan producir.

La medición de nivel por celdas de cargas no fue seleccionada debido a las siguientes razones:

- Para el montaje de éstas se tendrían que efectuar adaptaciones a las bases que soportan el tanque de combustible, para esto se tendría que vaciar para desmontarlo y realizar los trabajos pertinentes para la colocación de las celdas, produciendo un incremento en los gastos de implementación.
- Se requiere la compra de un transmisor para cada celda de carga, aumentando sustancialmente los costos en la compra de los periféricos, en el caso de utilizar dos celdas de cargas se necesitaría la compra de un módulo de expansión de entradas analógicas en el PLC a utilizar, para la celda de carga activa que mide el peso del combustible en el tanque del motor generador también tiene un controlador asociado.
- El tanque de combustible del motor generador debe utilizar una celda de carga inmune a ruido y vibraciones, durante el encendido del motor generador, éste vibra fuertemente por unos minutos pudiendo causar falsas mediciones en la celda de carga.
- El mantenimiento de las celdas de carga es más difícil porque se debe utilizar un gato hidráulico para levantar las bases del tanque ya bien sea para la sustitución de una celda averiada o mantenimiento preventivo de éstas. De igual manera se puede realizar un levantamiento del tanque, éste debe estar

vacío para que la elevación sea más fácil. Las acciones anteriormente expuestas aumentarían los costos de mantenimiento, por la dificultad de éstas.

- Las celdas de carga a utilizar no se encuentran certificadas por la normativa ATEX (intrínsecamente seguro) para la zona donde se instalarán que es una Zona 0 Clase 1 según en CEN [1], porque se encuentran cerca de un combustible inflamable que en este caso es el diesel.
- La instalación completa de las celdas de carga arrojó un monto elevado en contraste con el resto de las soluciones siendo inmediatamente descartada como un recurso en la medición de nivel.

El sensor de presión diferencial marca JUMO, es un dispositivo de muy alta calidad que mide la presión diferencial que existe dentro de los tanques o estructuras donde se instale. Cuenta con un display digital donde se visualiza la presión que hay en la estructura o tanque en diferentes unidades. Para la instalación de este dispositivo se tiene que disponer de una brida de media pulgada. Ésta se instalaría en una de las salidas que dispone el tanque cisterna en la parte inferior que se mostró en la Figura 21, para que el sensor pueda medir la presión diferencial total del tanque y no una parcial. En la mencionada salida se conectaría una tubería hasta adentro de la caseta donde se colocaría el sensor con una brida para la realización de la medición, situando al sensor en una superficie segura.

El sensor de presión diferencial puede comunicarse con el controlador por lazo de corriente. Siendo un sensor de alta precisión. La medición de nivel se realiza mediante el cálculo del volumen de combustible en el tanque como que se presenta a continuación en las expresiones (3),(4) y (5):

$$Fuerza = \rho \cdot g \cdot v \quad (3)$$

$$Volumen = a \cdot h \quad (4)$$

$$Presión = \rho \cdot g \cdot h \quad (5)$$

Donde:

ρ = densidad del combustible.

g = gravedad.

v = volumen.

a = área de sección transversal.

Al momento de tener la presión diferencial en el instrumento se puede deducir cuál es el nivel de tanque de combustible.

El sensor de presión diferencial marca JUMO cumple con las normativas de seguridad ATEX, siendo intrínsecamente seguro. Dicho sensor no es intrusivo y no es necesaria la realización de modificaciones o adaptaciones al tanque para su respectiva instalación. Siendo económicos los costos de implementación y mantenimiento, para mayor información del sensor de presión diferencial de la casa JUMO.

El sensor de presión diferencial no fue seleccionado debido a las siguientes razones:

- El costo de cada sensor es muy elevado haciendo que el proyecto no sea factible a nivel económico.
- A nivel de proyecto se desea que el sensor de nivel a utilizar sea implementado en ambos tanques y no sólo en uno, para que ambos dispongan de la misma tecnología de medición.

El dispositivo seleccionado para la medición de nivel, fue el sensor ultrasónico de la casa Migatron Corp, por la robustez que ofrece con precios accesibles y con una alta resolución en la medición. Dicho sensor inmediatamente realiza una medición de la altura a la que está el combustible dentro del tanque, dicha medida se refleja en niveles de tensión de 0 – 10 V como se observa en la Figura 22, estará conectado por comunicación analógica con el PLC seleccionado. Se logrará

determinar el volumen de combustible que existe en el tanque como se observa en la expresión (6):

$$Volumen = superficie \cdot altura \quad (6)$$

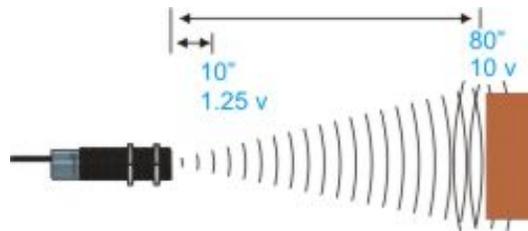


Figura 22. Funcionamiento del sensor ultrasónico marca Migatron Corp [14]

La superficie es conocida y la altura está siendo proporcionada por el dispositivo ultrasónico. Las mediciones realizadas por el dispositivo tienen una alta resolución permitiendo estimar de manera precisa el nivel del tanque. El mencionado sensor se colocará en la parte superior del tanque que se mostró en la Figura 21, en forma vertical, a una determinada altura tomando en cuenta la zona muerta del dispositivo, para su instalación se debe realizar una pequeña adaptación a las afueras del tanque para que el sensor se encuentre adecuado para la realización de la medición y protegido contras las condiciones ambientales externas, asegurando un largo período de vida.

La pequeña estructura donde se sitúe, debe poseer un diámetro lo suficientemente grande, para que el haz ultrasónico que describe un ángulo de 10° como se muestra en la Figura 23, no se vea interrumpido y se produzcan falsas mediciones durante el funcionamiento. La instalación se realizará en ambos tanques, con la diferencia que el sensor en el cisterna tendrá un rango mayor de medición que el sensor ubicado en el tanque del motor generador. En el tanque del motor generador se instalará el sensor siguiendo los mismos lineamientos antes explicados para la

cisterna. Los sensores ultrasónicos de Migatron Corp cumplen con las normativas de seguridad ATEX pudiendo ser instalados en lugares Zona 0 Clase 1 División I.

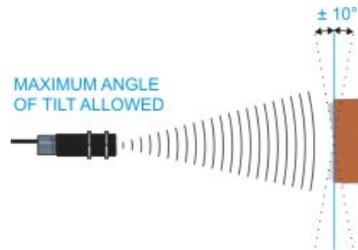


Figura 23. Máximo ángulo permitido por sensor ultrasónico marca Migatron Corp [24].

La relación distancia del sensor vs diámetro del rayo ultrasónico se puede observar en la Figura 24.

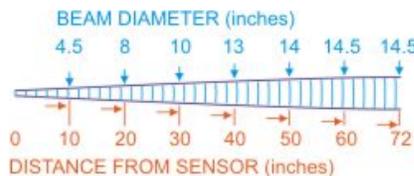


Figura 24. Distancia del sensor vs diámetro del rayo ultrasónico [24].

El costo por cada sensor está dentro de los rangos aceptables siendo robusto y confiable. Los costos de mantenimiento son económicos por el fácil acceso que se tiene al sensor pudiendo ser sustraído de manera rápida y sin comprometer en ningún momento el combustible del tanque. Dicho sensor no es intrusivo, porque no está nunca en contacto con el combustible.

Ambos sensores estarán conectados a los dos puertos analógicos (0-10V) que posee el PLC seleccionado tomando en cuenta que la distancia de los tanques al tablero donde se ubique el controlador es menor a 40 metros asegurando que no existan pérdidas asociadas por la longitud. Al utilizar sensores de la misma tecnología se asegura tener mediciones consistentes cuyos resultados se obtienen aplicando los

mismos procedimientos. Para mayor información del sensor ultrasónico Migatron Corp.

3.2 CONTROLADORES PARA EL NIVEL CÉLULA

3.2.1 Selección del controlador y protocolo de comunicación para el nivel célula

A continuación en la Tabla 3 se presenta la comparación del controlador que se va a colocar en el nivel célula, este dispositivo será el encargado de realizar las diferentes acciones de control que se requieran en el proceso.

Tabla 3. Tabla comparativa para la selección del controlador en el nivel célula.

	PLC Siemens SIMATIC S7 1200 CPU 1214C	PLC Schneider Twido Compacto TWDLCAE40DRF
Tensión de alimentación	85 – 120 VAC y 230 – 264 VAC	85 – 264 VAC
Frecuencia	47 – 63 Hz	47 – 63 Hz
Tensión salidas digitales	20.4 – 28.8 VDC	20.4 – 26.4 VDC
Módulos de comunicación	3	7 (Entre módulos de comunicación y de señales)
Entradas analógicas	2	0
Entradas digitales	14	24
Salidas Digitales	10	16
Módulos de señales	8	7 (Entre módulos de comunicación y de señales)
Tipo de las salidas digitales	10 tipo Relé	14 tipo Relé, 2 Tipo transistor

Tabla 3. Tabla comparativa para la selección del controlador en el nivel célula.

Protocolos de comunicación con la computadora	PROFINET	Ethernet TCP/IP
Contadores	6 de alta velocidad	2 contadores de alta velocidad y dos contadores normales
Regulador PID	Sí	Sí
Número de entradas de alarmas	4	----
Grado de protección (IP)	IP 20	IP 20
Temperatura de operación	-40 °C a 70 °C	0 a 55 °C
Costo	Bs. 5.700	Bs. 12.000

El PLC Schneider Twido Compacto TWDLCAE40DRF, es un PLC con grandes prestaciones que se puede adaptar a cualquier aplicación a nivel industrial por la gran cantidad de entradas y salidas digitales. Este controlador viene con el software de programación incluido y un puerto de comunicación digital MODBUS RTU para comunicarse con los analizadores de energía que se encuentran en el nivel de campo (para mayor información de este PLC referirse al Anexo C), pero no fue seleccionado por las siguientes razones:

- No posee entradas analógicas, que son necesarias para conectarse con los dos sensores de nivel analógicos (0-10 V) que se encuentra en el nivel de campo, necesitando por esto puertos de expansión analógicos incrementando sustancialmente los costos en el proyecto.
- Cuenta con una gran cantidad de entradas y salidas digitales que no son necesarias para la aplicación a desarrollar sobredimensionando al controlador en las tareas que va a desempeñar.

- El tiempo de entrega del controlador es muy elevado de 12 a 16 semanas, produciendo un estancamiento a la hora del desarrollo del proyecto.
- El PLC posee un precio muy elevado en contraste con el Siemens SIMATIC S7 1200 duplicando el costo del controlador antes mencionado.

El controlador seleccionado fue el Siemens SIMATIC S7 1200, que cuenta con grandiosas prestaciones y no se encuentra sobredimensionado para las tareas que va a realizar. Cuenta con entradas y salidas digitales y con dos puertos de entrada analógica, donde se conectarán los dos sensores de nivel de los tanques de combustible, se necesitarán puertos de expansión de comunicación MODBUS RTU para la comunicación con los analizadores de energía que están en el nivel de campo. Este PLC no trae el software de programación incluido (SIMATIC Step 7 cuyo precio no está incluido en la tabla), el cuál es aparte, se necesita adquirir sólo una vez para programar todos los PLC de la familia S7 1200 que se adquieran en un futuro (Para mayor información acerca de este PLC referirse al Anexo C). Con todos los accesorios que necesita el Siemens para ejecutar los procesos diseñados no alcanza el costo del PLC Schneider Twido Compacto TWDLCAE40DRF, siendo ambos PLC robustos. Las razones fundamentales para la selección del PLC Siemens fueron:

- El controlador es lo suficientemente robusto para realizar todos los procesos que se necesiten ejecutar.
- En contraste con el PLC Twido los costos para su adquisición son menores manteniendo el esquema de rendimiento, calidad y robustez.
- El controlador Siemens es del tipo modular pudiendo conectarse a éste 8 módulos de expansión para ejecución de diferentes procesos o tareas.
- El PLC Siemens tiene un extenso departamento de soporte técnico contando con tutoriales para el entendimiento y programación de los diferentes controladores que son exclusivos de esta casa, de igual forma disponen de una línea HOT – LINE, donde se puede dialogar con personas calificadas para la resolución de problemas, conflictos y la puesta en marcha de los dispositivos de esta casa de equipos.

- EL tiempo de entrega del controlador es rápida siendo inmediata una vez concretado el pago.

3.3 ELECTROVÁLVULA PARA EL TRASVASE DE COMBUSTIBLE

Las electroválvulas permiten el paso de un flujo de un lugar a otro, bien sea utilizando bombas o que los fluidos descieran por acción de la gravedad. La electroválvula a utilizar es directamente accionada, como fue explicado en el capítulo anterior. Ahora bien al haber seleccionado un electroválvula tipo directamente accionada de la marca Danfoss, se debe de seleccionar cuál de todas las electroválvulas de este tipo se adapta mejor al proyecto tomando en cuenta que tenga una alta calidad, robustez y se adapte a las necesidades económicas del proyecto.

Para la selección de éstas se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Presión máxima a soportar cuando el tanque se encuentre totalmente lleno.
- Presión mínima, cuando el tanque se encuentre vacío.
- Caudal máximo, para asegurar que se encuentre dentro de los rangos de la electroválvula seleccionada.

Cuando se necesita ubicar el nivel en un tanque cilíndrico de manera horizontal se necesita marcar una de las caras del tanque con una escala que indique la cantidad de litros de fluido que posee la estructura.

Volumen de un cilindro horizontal viene dado por la expresión (7):

$$V = L \cdot \left[R^2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{R-H}{R} \right) - (R-H) \cdot (2 \cdot R \cdot H - H^2)^{1/2} \right] \quad (7)$$

donde:

L = longitud del tanque (243 cm)

R= radio del tanque (60.5 cm)

H=altura del fluido dentro del tanque

Para la resolución de la expresión anterior es importante que la modalidad de la calculadora o paquete matemático a utilizar esté en rad (radianes).

Para tener una presión máxima se necesita que el tanque se encuentre totalmente lleno, partiendo de esta premisa tenemos que el tanque está lleno cuando el fluido se encuentre a una altura (H) de 121 cm, calculando el volumen tenemos, las expresiones (8) y (9):

$$V_{Tanquelleno} = 2794260,52 \text{ cm}^3 \quad (8)$$

$$V_{Tanquelleno} = 2,79 \text{ m}^3 \quad (9)$$

Sabiendo que fuerza se define como se observa en la expresión (10):

$$Fuerza = densidad \cdot volumen \cdot gravedad \quad (10)$$

donde:

Densidad del diesel: 832 kg/m^3

Volumen del tanque lleno: $2,79 \text{ m}^3$

Gravedad: $9,8 \text{ m/s}^2$

La fuerza máxima es de :

$$Fuerza_{m\acute{a}x} = 22783,28 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \quad (11)$$

La presión se define como se observa en la expresión (12):

$$Presi\acute{o}n = \frac{Fuerza}{\acute{A}rea} \quad (12)$$

El área del tanque sería como se muestra en la expresión (13) y (14):

$$A = \left[R^2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{R-H}{R} \right) - (R-H) \cdot (2 \cdot R \cdot H - H^2)^{1/2} \right] \quad (13)$$

$$\text{Área}_{\text{tanque}} = 1,15 \text{ m}^2 \quad (14)$$

La presión máxima en diferentes unidades sería como se muestra en las expresiones (15), (16) y (17):

$$P_{\text{máx}} = 19813,27 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2 \quad (15)$$

$$P_{\text{máx}} = 19,81 \text{ kPa} \quad (16)$$

$$P_{\text{máx}} = 2,87 \text{ psi} \quad (17)$$

Ahora, calculando la presión mínima tenemos que, el volumen mínimo del tanque será cuando se encuentre a una altura aproximada de 20 cm por lo tanto calculando el volumen en diferentes unidades como se muestra en las expresiones (18) y (19):

$$V_{\text{tanquemínimo}} = 302467,52 \text{ cm}^3 \quad (18)$$

$$V_{\text{tanquemínimo}} = 0,32 \text{ m}^3 \quad (19)$$

Calculando la fuerza mínima como se muestra en la expresión (20):

$$Fuerza_{\text{mín}} = 2466,19 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \quad (20)$$

La presión mínima como se muestra en las expresiones (21), (22) y (23) en diferentes unidades:

$$P_{\text{mín}} = 2144,71 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2 \quad (21)$$

$$P_{\text{mín}} = 2,14 \text{ kPa} \quad (22)$$

$$P_{\text{mín}} = 0,31 \text{ psi} \quad (23)$$

Por el rango de presiones obtenidas se seleccionó la electroválvula Danfoss 2/2 ½ pulgada directamente accionada FKM modelo EV210 con bobina de 24 VDC / 18 W modelo BB024, que trabaja con presiones desde 0 a 23,206038 psi que es la única electroválvula DANFOSS que se adapta a las necesidades requeridas. Como las presiones a las que va a operar son bajas, no se puede hacer uso de una válvula check, debido a que ésta necesita niveles mayores de presión diferencial para su apertura. Además de lo anterior, el trasvase de combustible se realiza por la acción de la gravedad, quedando así sin posibilidad de un posible retorno del combustible.

3.3.1 Características de la electroválvula Danfoss 2/2 ½ pulgada directamente accionada FKM modelo EV210 con bobina de 24 VDC / 18 W modelo BB024

La armadura y el imán están hechos de 17% de acero cromado inoxidable, el tubo de armadura y resorte están hechos de 18% de acero inoxidable y el cuerpo de la válvula está hecho de latón MS 58. La junta tórica y la placa de la válvula están hechas de FKM (Caucho Fluorado). Temperatura ambiente de trabajo hasta 80 °C. Rodadura de conexión G ½”, tolera viscosidades hasta 50cSt, se encuentra normalmente cerrada, rango de presión diferencial de 0 - 1.6 Bar con máximas presiones de trabajo de 25 Bar, directamente operada. Puede ser utilizada en medios tales como agua, combustible, aire comprimido. La EV210 es una válvula robusta de alto rendimiento que puede ser utilizada en ciertos tipos de condiciones de trabajo difícil. La bobina necesita una tensión de alimentación de 24VDC con un consumo de 18 W con un encapsulado IP 00, soporta temperaturas hasta 50 °C.

La electroválvula Danfoss presenta las siguientes especificaciones técnicas

- Útiles para aplicaciones industriales robustas tales como el control y la dosificación.
- Puede ser utilizada en aceites combustibles, aire comprimido, medios neutros similares.

- Soporta sobrepresiones de hasta 25 Bar.
- Soporta Temperaturas hasta 80°C.
- Permite un caudal de hasta 1500 l/h.
- En caso de desconexión, la válvula estará totalmente cerrada.
- No necesita una presión diferencial mínima para accionarse.
- Tensión de alimentación 24 VDC.

3.4 SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN DEL SCADA

3.4.1 Selección del software de programación y protocolo de comunicación para el SCADA.

A continuación en la Tabla 4 se va a presentar una comparativa del software que puede ser utilizado para el desarrollo del sistema SCADA y de la HMI que se va a colocar en el nivel planta.

Tabla 4. Tabla comparativa para la selección del software de programación para el SCADA.

	Wonderware System Platform 2012, 250 IO/250 History. Application Server Platforms, Historian Server 250 Tag con InTouch for SysPlatform 2012 w/ HistClient.	Siemens WinCC Advanced V11 RT 128 Tags y SIMATIC Step 7 Basic
Históricos	Almacenamiento en base de datos y visualización en tiempo real.	Visualización de los valores en una tabla con almacenamiento en la base de datos en tiempo real o a diferentes frecuencias.
Visualización vía web	Sí	Sí
Tags	256	128
Requerimientos mínimos	Procesador Dual Core 2.4 GHz, 3Gb Memoria Ram, Disco Duro mayor de 250 Gb para base de datos	Procesador Core 2 Duo 2.0 GHz, 4 Gb Memoria Ram, Disco Duro mayor de 250 Gb para base de datos

Tabla 4. Tabla comparativa para la selección del software de programación para el SCADA.

Sistema Operativo	Windows Xp profesional 32 bits, Windows server 64 bits.	Windows Xp profesional 32 bits, Windows Vista 32 bits, Windows 7 Professional 32 bits
Adquisición de datos	Servidor OPC, datos obtenidos por la tarjeta Ethernet de la computadora	Interfaz PG/PC, datos obtenidos por la tarjeta Ethernet de la computadora
Ventajas	<p>System Platform</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso de un modelo de planta común reduce la complejidad del Mantenimiento. • Extensible y fácil de mantener usando estructuras orientadas a objetos y a base de plantillas. • Recolección de datos históricos y capacidades de graficación avanzadas. <p>InTouch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alarmas distribuidas en tiempo real con visualización histórica. • Graficación de tendencias históricas integradas y en tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máxima eficiencia en ingeniería, durante todas las fases del ciclo de vida de la máquina o instalación. • Máxima transparencia de los datos a todos los niveles de automatización. <ul style="list-style-type: none"> • Minimización de los tiempos de parada con métodos de diagnóstico eficientes. • Más posibilidades, menor complejidad gracias a la funcionalidad tecnológica integrada.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Costo muy elevado para su adquisición 	<ul style="list-style-type: none"> • La computadora donde se instale el WinCC Advanced V11 debe tener prestaciones de alto rendimiento.
Costo	Bs. 115.000	Bs. 60.000

El software de Wonderware presenta excelentes prestaciones para el desarrollo de proyectos. La interfaz ArchestrA, es una interfaz muy sencilla de manejar, la cual es orientada a objetos. InTouch, que es la plataforma para el desarrollo de HMI es de fácil aprendizaje para su manejo. Este software no fue seleccionado por el elevado precio que tiene haciendo que el proyecto no fuera factible para su desarrollo.

El Software seleccionado fue el de la casa Siemens, con costos asequibles para su adquisición. Se necesitan dos software el primero para el desarrollo del proyecto de ingeniería (WinCC Advanced V11 Engineering System) y el segundo un RunTime (WinCC RT Advanced V11) para la ejecución del proyecto diseñado en el primer programa. El primer programa se debe comprar sólo una vez, ya que en éste se podrán diseñar todos los proyectos de interés que se desee, y el segundo programa se debe de adquirir por cada dispositivo en donde se ejecute el software diseñado en el Engineering System.

La comunicación con el PLC Siemens SIMATIC S7 1200, se realiza a través del protocolo PROFINET. El PLC necesita tener una dirección IP asociada y la IP del SCADA será la asignada al puerto Ethernet de la computadora donde se instaló, para que la comunicación entre ambos dispositivos pueda ser efectiva. La comunicación es directa, no se necesita un servidor OPC para el manejo de las variables y éste sea el Gateway entre el PLC y el SCADA. La comunicación se logra simplemente configurando la Interfaz PG/PC, indicando qué tarjeta controladora de red de la computadora se quiere usar. Al igual que el PLC, el software WinCC cuenta con un vasto soporte técnico y tutoriales para la solución de conflictos y problemas que se puedan presentar al momento de realizar las distintas configuraciones para la creación de un proyecto.

3.5 ANALIZADORES DE ENERGÍA PARA LA MEDICIÓN DE TENSIÓN DE LÍNEAS TRIFÁSICAS

El analizador de energía Phoenix Contact fue seleccionado por cumplir con las necesidades tanto técnicas como económicas. Realiza la medición en líneas trifásicas en un rango de 0-500 VAC, cuenta con aislamiento galvánico. Dispone de una salida digital MODBUS RTU para la comunicación con el controlador Siemens

que está en el nivel célula. La comunicación establecida es tipo maestro – esclavo, siendo maestro el PLC Siemens y esclavo el analizador de energía. Por medio de esta conexión se logra la visualización de los parámetros eléctricos de tensión en la interfaz HMI desarrollada. Logrando de esta manera una visualización local y remota de los mencionados parámetros. Con la instalación de transformadores de corriente, se puede obtener parámetros como la corriente, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia entre otros. Como solamente se desea medir tensión trifásica no es necesaria la desconexión del sistema para la conexión de los analizadores, ya que por medio del uso de guantes aislantes se puede realizar una conexión rápida de estos equipos. Si se requiere la instalación de transformadores de corriente para la medición de potencia, armónicos, factor de potencia y corriente, sí es necesaria una desconexión del sistema para la instalación de los transformadores antes mencionados.

3.5.1 Características del Phoenix Contact EEM-MA250 modelo 2901363

- Pulsador con doble funcionalidad: visualización de valores de medición en el modo normal, modificación de la configuración en el modo de programación.
- Visualización LCD con iluminación de fondo.
- Visualización de los valores de medición en el conductor correspondiente.
- Valor de la medición.
- Unidades de medición.
- Indicación de estado: registro de potencia activa, potencia reactiva, tensión, corriente, factor de potencia, armónicos y estado de la comunicación MODBUS RTU.
- Interfaz de comunicación RS-485.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DEL DISEÑO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SCADA

4.1.1 Programación del PLC Siemens SIMATIC S7 1200 CPU 1214C

La programación del PLC se desarrolló en diagrama de bloques funcionales (FBD, *Function Block Diagram*) de forma estructurada, usando un bloque organizacional (OB, *Organization Block*), que es el bloque principal del controlador. Dentro del OB se realizó la programación del PLC, haciendo uso de bloques funcionales (FB, *Function Block*) y bloques de datos (DB, *Data Block*).

Una vez creado el OB principal, se declararon las etiquetas o Tags, que no son más que la información que se obtiene desde las entradas (IW) del PLC, datos que son enviados a las salidas (Q) o datos que son almacenados en la memoria del PLC (MD). Al momento de definir los Tags, a cada uno de ellos se le asignó una dirección asociada según el Tag definido.

Al definir todos los Tags en el OB1 se creó un FB, para el procesamiento de los datos obtenidos, queden almacenados en memoria temporalmente, hasta que se actualicen después que suceda un determinado evento. Dentro del FB se programó toda la lógica de control requerida para el desarrollo del diseño, declarando variables de entrada, salida, estáticas y temporales. Cada una de las variables de entrada y salida se encuentran vinculadas directamente a los Tags del OB principal.

Los bloques utilizados para la programación se encuentran ubicados en las librerías que vienen incluidas en el software Step 7 por defecto. Los bloques se interconectan entre sí por buses que se visualizan en la interfaz del programa. Al tener variables temporales, se necesitó la creación de un DB para que dichas variables se almacenaran y no se perdieran.

De igual forma se creó un OB de diagnóstico, el OB82, que es el encargado de realizar todas las operaciones de verificación al encender el PLC. Este OB se ejecuta en el momento en que el PLC pasa del modo STOP al START, siendo el encargado de comprobar que todas las funciones del PLC se encuentren intactas. Si llegase a existir un problema del PLC se enciende el led de error indicando que existe un problema con los componentes de éste, pasando luego al modo RUN para ejecutar el bloque OB principal, pero manteniendo indicado que el PLC tiene un problema. Si el OB82 no llegase a detectar algún problema el led de error no se encenderá y se pasará al modo RUN para la ejecución del OB principal.

Los Tags del PLC se encuentran directamente vinculados con los Tags de la HMI, para que los datos obtenidos y procesados en el controlador, se visualicen en la interfaz para observar como se encuentran las variables del proceso que están siendo supervisadas. Al ser el WinCC y el STEP 7 de la misma casa (Siemens), no es necesario que se utilice un servidor OPC para la vinculación de las etiquetas. La comunicación entre ellos es por PROFINET estableciéndose a través de la Interfaz PG/PC que es la encargada de comunicar directamente al PLC con el Software del SCADA, sin la necesidad de la instalación de un servidor OPC.

El PLC fue programado de manera redundante para que todas las condiciones que se necesiten, se cumplan por diferentes vías para de esta manera asegurar que el evento que se pueda producir sea real y no sea uno falso.

4.1.1.1 Configuración de las propiedades del PLC

Las propiedades del PLC para la comunicación con la HMI se programaron como se indica en la Tabla 5:

Tabla 5. Configuración de las propiedades de comunicación del PLC Siemens S7
1200

Protocolo	Subred	Dirección IP Fija	Máscara de subred
PROFINET	PN/IE_1	192.168.0.1	255.255.255.0

4.1.1.2 Declaración de los Tags en el OB principal

Un Tag no es más que una etiqueta, que se utiliza en un OB para identificar una variable que entra al sistema o que sale de éste a través de alguna salida del PLC, o simplemente se almacena en la memoria de trabajo del mencionado controlador, pudiendo ser cualquier tipo de dato desde una variable booleana hasta un valor real.

Una vez creado el OB principal que se programó en FBD, se procedió a la declaración de los Tags (véase Figura 25) que participarán en la ejecución de las tareas que desempeñará el PLC. Para la declaración de una etiqueta, se le asignó, un nombre relacionado con la información que va a manejar, la tabla al cual pertenece, el tipo de dato que es, por ejemplo si es Booleano, Int, Real etc., la dirección asociada si es una entrada, salida o un dato almacenado en la memoria activa del PLC, se seleccionaron las opciones que sean visibles y accesibles para la interfaz HMI. Los Tags que se definieron en el OB1 fueron los siguientes que se pueden observar en la Tabla 6:

Tabla 6 Tags definidos en el OB principal

Nombre del Tag	Tipo de dato	Dirección Asociada	Visible en HMI	Función
Level_Tank_1	Int	%IW64 (Primera entrada analógica del PLC).	Sí	Maneja la información proveniente del sensor ultrasónico analógico del tanque de combustible del motor generador.
Level_Tank_2	Int	%IW66 (Segunda entrada analógica del PLC).	Sí	Maneja la información proveniente del sensor ultrasónico analógico de la cisterna de combustible.
Tank1_Max	Bool	%Q0.0 (Primer bit de salida del PLC)	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Tanque1_Max del FB1, cuya función es el encendido o apagado de un led indicando que el nivel del tanque de combustible del motor generador está dentro del umbral máximo.
Tank1_Min	Bool	%Q0.1 (Segundo bit de salida del PLC).	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Tanque1_Min del FB1, cuya función es el encendido o apagado de un led indicando que el nivel del tanque de combustible del motor generador está dentro del umbral mínimo.
Electrovalve	Bool	%Q0.2 (Tercer bit de salida del PLC).	Sí	Se encuentra vinculado a la variable de salida del FB1 Electrovalve, cuya función es el encendido y el apagado de la electroválvula que es el dispositivo que se de permitir el trasvase de combustible entre la cisterna y el tanque del motor generador.
Tank2_Max	Bool	%Q0.3 (Cuarto bit de salida del PLC).	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Tanque2_Máx del FB1, cuya función es el encendido o apagado de un led indicando que la cisterna de combustible está dentro del umbral máximo.
Tank2_Med	Bool	%Q0.5 (Sexto bit de salida del PLC).	Sí	Vinculado con la variable de salida Tanque2_Med del FB1, cuya función es el encendido o apagado de un led indicando que la cisterna está dentro de los niveles normales.
Tank2_Mín	Bool	%Q0.4 (Quinto bit de salida del PLC).	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Tanque2_Min del FB1, cuya función es el encendido o apagado de un led indicando que la cisterna de combustible está dentro del umbral mínimo.

Tabla 6 Tags definidos en el OB principal

Niveltank1_hmi	Real	%MD6 (Memoria de trabajo del PLC).	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Level1_Normxhmi del FB1, obtiene la información de la altura que tiene el combustible dentro del tanque del motor generador.
Niveltank2_hmi	Real	%MD11 (Memoria de trabajo del PLC).	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Level2_Normxhmi del FB1, obtiene la información de la altura que tiene el combustible dentro de la cisterna.
LitrosTank1_hmi	Real	%MD15 (Memoria de trabajo del PLC)	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Vol1_litroshmi del FB1, obtiene la información de los litros de combustible dentro del tanque del motor generador.
LitrosTank2_hmi	Real	%MD19 (Memoria de trabajo del PLC)	Sí	Se encuentra vinculado con la variable de salida Vol2_litroshmi del FB1, obtiene la información de los litros de combustible dentro de la cisterna.
Valor_Master	Array of Int	%MD23 (Memoria de trabajo del PLC)	Sí	Se encuentra vinculado con la variable Valorr que se encuentra en el bloque de datos global, que obtiene la información interrogada por el maestro al esclavo utilizando el protocolo de MODBUS RTU.

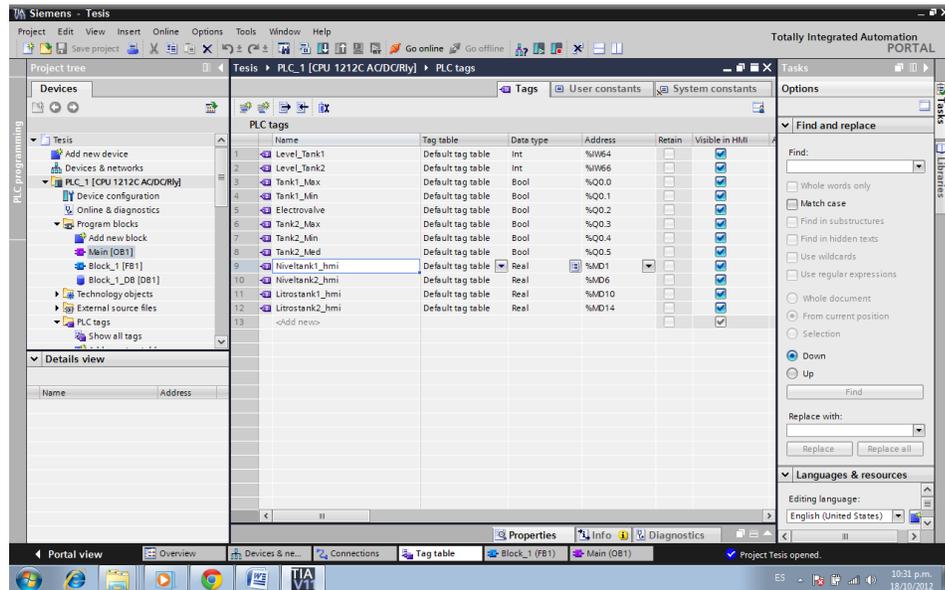


Figura 25. Declaración de los Tags en el OB1

En la figura 26 se ilustra la vinculación de las variables de entrada y salida del FB1 con los Tags del OB1

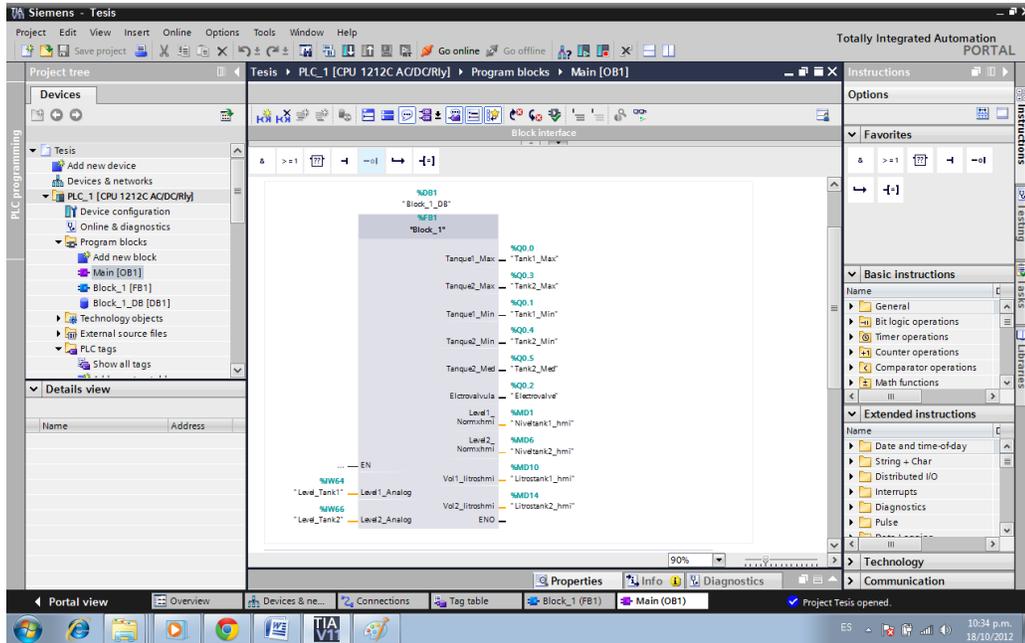


Figura 26. Vinculación de las variables de entrada y salida del FB1 con los Tags del OB1.

4.1.1.3 Declaración de las variables de entrada, salida, y temporales

Las variables de entrada, salida, estáticas y temporales que se muestran en la Tabla 7, son las variables que forman parte en la programación de la lógica de control del PLC, gracias a éstas se ejecutan las diferentes operaciones que se tienen que realizar, para la supervisión del proceso.

Tabla7. Variables declaradas en el FB1

Tipo de variable	Variable	Tipo de dato	Visible en HMI	Función
Entrada	Level1_Analog	Int	Sí	Recibe la información proveniente del sensor de nivel ultrasónico analógico colocado en el tanque del motor generador.
	Level2_Analog	Int	Sí	Recibe la información proveniente del sensor de nivel ultrasónico analógico colocado en la cisterna de combustible.
Salida	Tanque1_Max	Bool	Si	Es el resultado final de una operación de comparación que indica que el nivel del tanque de combustible del motor generador, se encuentra dentro del umbral máximo.
	Tanque2_Max	Bool	Si	Es el resultado final de una operación de comparación que indica que el nivel de la cisterna de combustible, se encuentra dentro del umbral máximo.
Temporal	Tanque1_Min	Bool	Sí	Es el resultado final de una operación de comparación que indica que el nivel del tanque de combustible del motor generador, se encuentra dentro del umbral mínimo.
	Tanque2_Min	Bool	Sí	Es el resultado final de una operación de comparación que indica que el nivel de la cisterna de combustible, se encuentra dentro del umbral mínimo.
	Tanque2_Med	Bool	Sí	Es el resultado final de una operación de comparación que indica que el nivel de la cisterna de combustible, se encuentra dentro de los niveles normales.
	Electrovalvula	Bool	Sí	Es el resultado final de una operación booleana con una compuerta AND, que indica el encendido o apagado de la electroválvula.
	Level1_Normxhmi	Real	Sí	Variable de salida que está vinculada al Tag NivelTank1_hmi, es el resultado final de una resta, que indica el nivel en centímetros del tanque de combustible del motor generador.
	Level2_Normxhmi	Real	Sí	Variable de salida que está vinculada al Tag NivelTank2_hmi, es el resultado final de una resta, que indica el nivel en centímetros de la cisterna de combustible.
	Vol1_litroshmi	Real	Sí	Variable de salida que está vinculado al Tag LitrosTank1_hmi, es el resultado la operación de cálculo del volumen de combustible del tanque del motor generador.
	Vol2_litroshmi	Real	Sí	Variable de salida que está vinculado al Tag LitrosTank1_hmi, es el resultado la operación de cálculo del volumen de combustible del tanque del motor generador.
	Level1_Real	Real	Sí	Resultado del bloque de normalización (0 a 27648) de los niveles obtenidos del sensor ultrasónico analógico (0-10V) del tanque de combustible del motor generador.
	Level2_Real	Real	Sí	Resultado del bloque de normalización (0 a 27648) de los niveles obtenidos del sensor ultrasónico analógico (0-10V) de la cisterna de combustible.
	Level1_Norm	Real	Sí	Es el resultado del bloque de escalamiento de los centímetros de combustible que no están llenos del tanque del motor generador.
	Level2_Norm	Real	Sí	Es el resultado del bloque de escalamiento de los centímetros de combustible que no están llenos de la cisterna.

Temporal	Level1_Normx	Real	Sí	Es el resultado de la altura en centímetros del tanque de combustible del motor generador.
	Level2_Normx	Real	Sí	Es el resultado de la altura en centímetros del tanque de combustible en la cisterna.
	Vol1_cm3	Real	Sí	Es el resultado del volumen de combustible en centímetros cúbicos del tanque del motor generador.
	Vol2_cm3	Real	Sí	Es el resultado del volumen de combustible en centímetros cúbicos de la cisterna.
	Vol1_litros	Real	Sí	Es el resultado del volumen de combustible en litros del tanque del motor generador.
	Vol2-litros	Real	Sí	Es el resultado del volumen de combustible en litros de la cisterna.
	Electro	Bool	Sí	Variable que sirve para realimentar un proceso, mediante un enclavamiento, para que la electroválvula sólo se abra cuando esté dentro del umbral mínimo y se cierre cuando llegue al umbral máximo.

En la Figura 27 y Figura 28, se visualiza la declaración de las variables anteriormente descritas en el software Step 7 Basic de la casa Siemens.

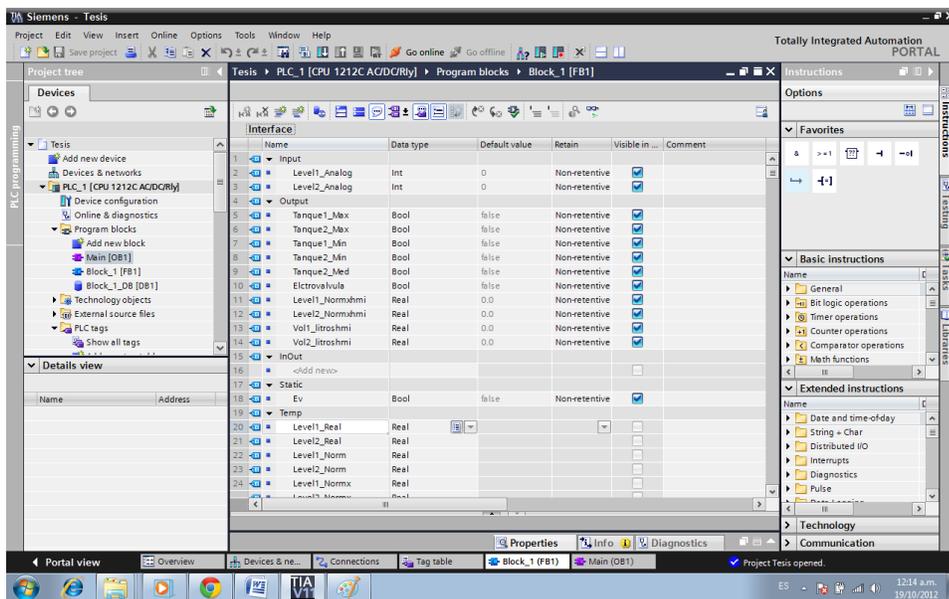


Figura 27. Visualización de las variables de entrada, salida, estáticas y temporales

1/2.

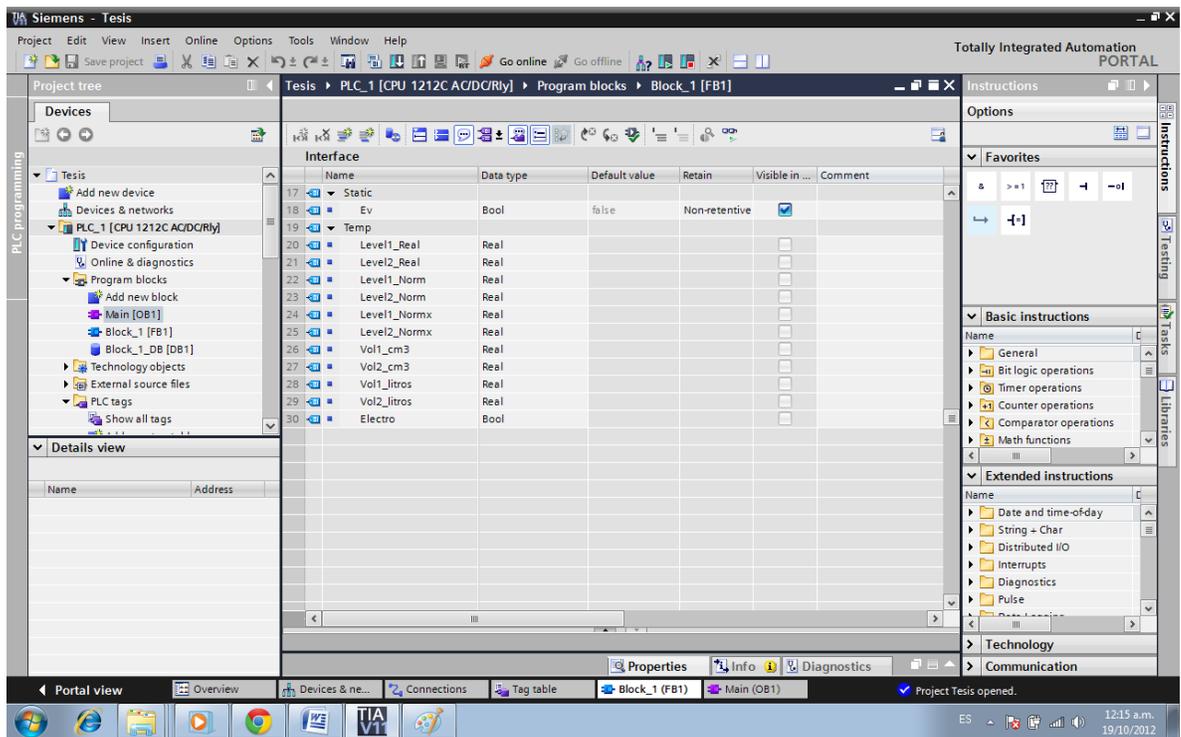


Figura 28. Visualización de las variables de entrada, salida, estáticas y temporales

2/2.

4.1.1.4 Descripción de la lógica de control

4.1.1.4.1 Normalización de los niveles de tensión provenientes de los sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos colocados en el tanque de combustible del motor generador y en la cisterna de combustible, se comunican analógicamente (0-10V), con los puertos de entrada analógica del PLC. Dichos niveles de tensión son normalizados a niveles desde 0 a 27648, que no son más que niveles digitalizados para que el PLC pueda utilizarlos de manera más precisa para las diferentes operaciones que se ejecutan. En la Figura 29 se muestra el diagrama de flujo de cómo se realiza un escalamiento de las entradas analógicas. Para información dirigirse al Anexo D.

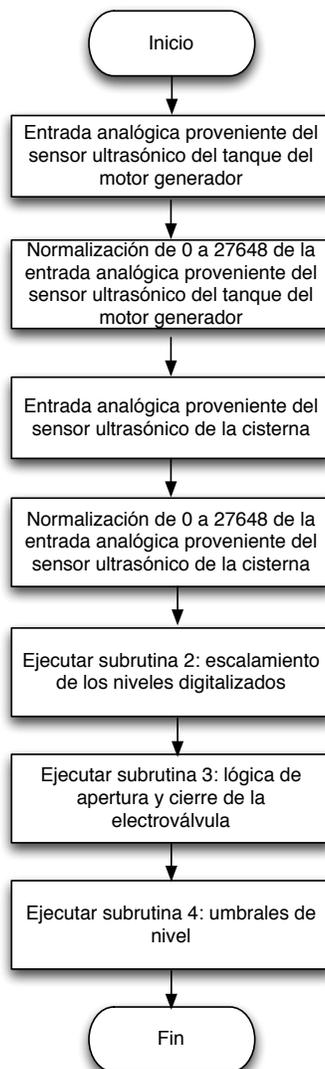


Figura 29. Diagrama de flujo sobre el escalamiento de los niveles de tensión provenientes de los sensores ultrasónicos

4.1.1.4.2 Escalamiento de los niveles digitalizados

Los niveles de tensión normalizados, tienen que ser escalados según la altura que tenga cada tanque de combustible. Para el caso de la cisterna va desde 0 hasta 121 centímetros y para el tanque del motor generador va desde 0 a 30 centímetros,

como se observa en diagrama de flujo de la Figura 30. Para más información dirigirse al Anexo D.

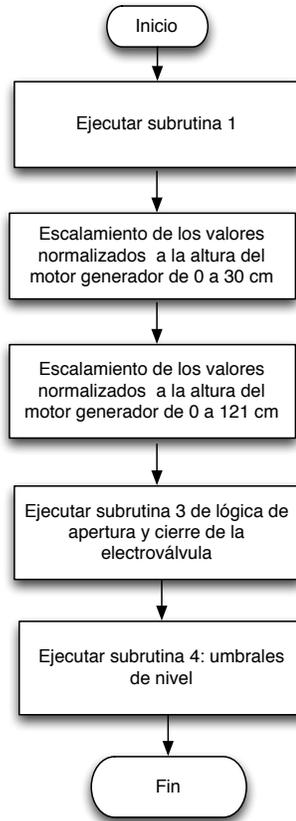


Figura 30. Diagrama de flujo sobre el escalamiento en centímetros de altura de combustible.

4.1.1.4.3 *Altura del combustible en los tanques*

Como lo deseado es determinar la altura de combustible, se tiene que realizar una última normalización para la determinación de la altura del combustible en los tanques. Dicha normalización no es más que una simple resta (para más información dirigirse al Anexo D) como se muestra a continuación en la expresión (24):

$$H_{\text{combustible}} = H_{\text{max}} - H_{\text{sincombustible}} \quad (24)$$

4.1.1.4.4 Volumen de combustible en los tanques

Al obtener la altura del combustible dentro de los tanques, se procedió a calcular el volumen de combustible dentro de éstos. El volumen de combustible obtenido está en centímetros cúbicos.

Para el tanque del motor generador, que tiene una forma paralelepípedo, se procedió al cálculo del volumen como se evidencia en la expresión (25):

$$V_{\text{tanquemotorgenerador}} = \text{Altura} \cdot \text{Ancho} \cdot \text{Profundidad} \quad (25)$$

Para la cisterna de combustible, que tiene una forma de cilindro horizontal, se procedió al cálculo del volumen por medio de la expresión (26):

$$V_{\text{cisternadecombustible}} = L \cdot \left[R^2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{R-H}{R} \right) - (R-H) \cdot (2 \cdot R \cdot H - H^2)^{1/2} \right] \quad (26)$$

Para más información acerca de la programación dirigirse al Anexo D.

4.1.1.4.5 Lógica de apertura y cierre de la electroválvula

Las variables Vol1_litros y Vol2_litros, están asociadas con la cantidad de litros que tiene cada uno de los tanques. Partiendo de esto se realizó la lógica de control de la electroválvula. La electroválvula es el dispositivo encargado de la apertura y cierre de flujo de combustible (diesel) al momento de realizar el trasvase. Este dispositivo está conectado en la tercera salida digital del PLC Siemens (%Q0.2). Necesita una tensión de alimentación de entrada de 24 VDC, dicho voltaje es suministrado por la salida digital del PLC, que puede suministrar una corriente de hasta 2 A a una tensión de 24 VDC. La electroválvula se activará, permitiendo el trasvase de combustible cada vez que el tanque del motor generador tenga un

volumen menor de 40 litros, y se desactivará cuando el volumen del tanque del motor generador sea igual o mayor de 160 litros, como se puede visualizar el diagrama de flujo en la Figura 31.

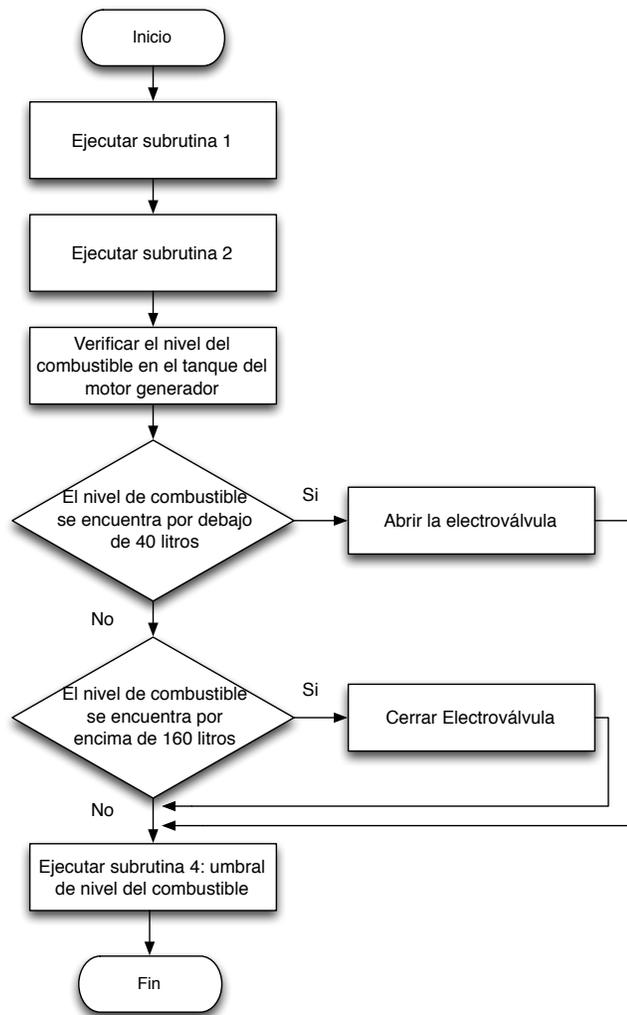


Figura 31. Diagrama de flujo de la lógica de control para apertura y cierre de la electroválvula.

Se utilizó una técnica de enclavamiento para que la electroválvula sólo se abriera cuando esté dentro del umbral mínimo, evitando de esta manera un fatigamiento en el dispositivo por un encendido y apagado continuo.

Pero la electroválvula cuenta con otra condición para su encendido y es que el volumen de la cisterna de combustible no se encuentre dentro del umbral mínimo, ya que si está dentro de ese umbral la electroválvula no se va a encender, teniéndose que realizar una apertura manual, esto se hace debido a la cantidad de impurezas que puede tener el gasoil remanente, esta medida es de precaución, ya que después de la electroválvula se cuenta con una trampa de agua, como se explicó en el capítulo anterior. Para mayor información acerca de la programación dirigirse al Anexo D

4.1.1.4.6 Definición de los umbrales de los tanques de combustible

El tanque del motor generador por ser de menor capacidad que la cisterna, cuenta con dos umbrales de nivel, uno mínimo y uno máximo. El umbral mínimo fue establecido entre 30 y 60 litros y el máximo entre 130 y 160 litros. Cada uno de los umbrales cumple con cierta redundancia para asegurar que la indicación obtenida es la correcta. Cada umbral se observará en el tablero por medio de luces piloto (tipo led) y en la HMI, cuando ninguno de los leds (en la HMI y en el tablero) se encuentre encendido indicará que el tanque se encuentra dentro de los niveles normales.

En la cisterna, por poseer mayor capacidad se programaron tres umbrales de nivel uno máximo, medio y mínimo. El umbral máximo fue definido entre 2600 y 2700 litros, el umbral medio entre 400 y 2595 litros y el umbral mínimo entre 0 y 395 litros. De la misma manera cumple con una redundancia para asegurar que la indicación obtenida es la correcta. Cada umbral se observará en el tablero por medio de luces piloto (tipo led) y en la HMI.

Se colocarán dos leds de color rojo, para la indicación del umbral mínimo y máximo y un led verde para la indicación del umbral medio, indicando que se encuentra dentro de los niveles normales, dichos leds están conectados a la salida del PLC, la corriente que consumen éstos, está en el orden de los mA.

En el diagrama de flujo de la Figura 32 se muestra como funciona la comparación de los diferentes umbrales de nivel. Para un mayor nivel de detalle en la programación ver el Anexo D.

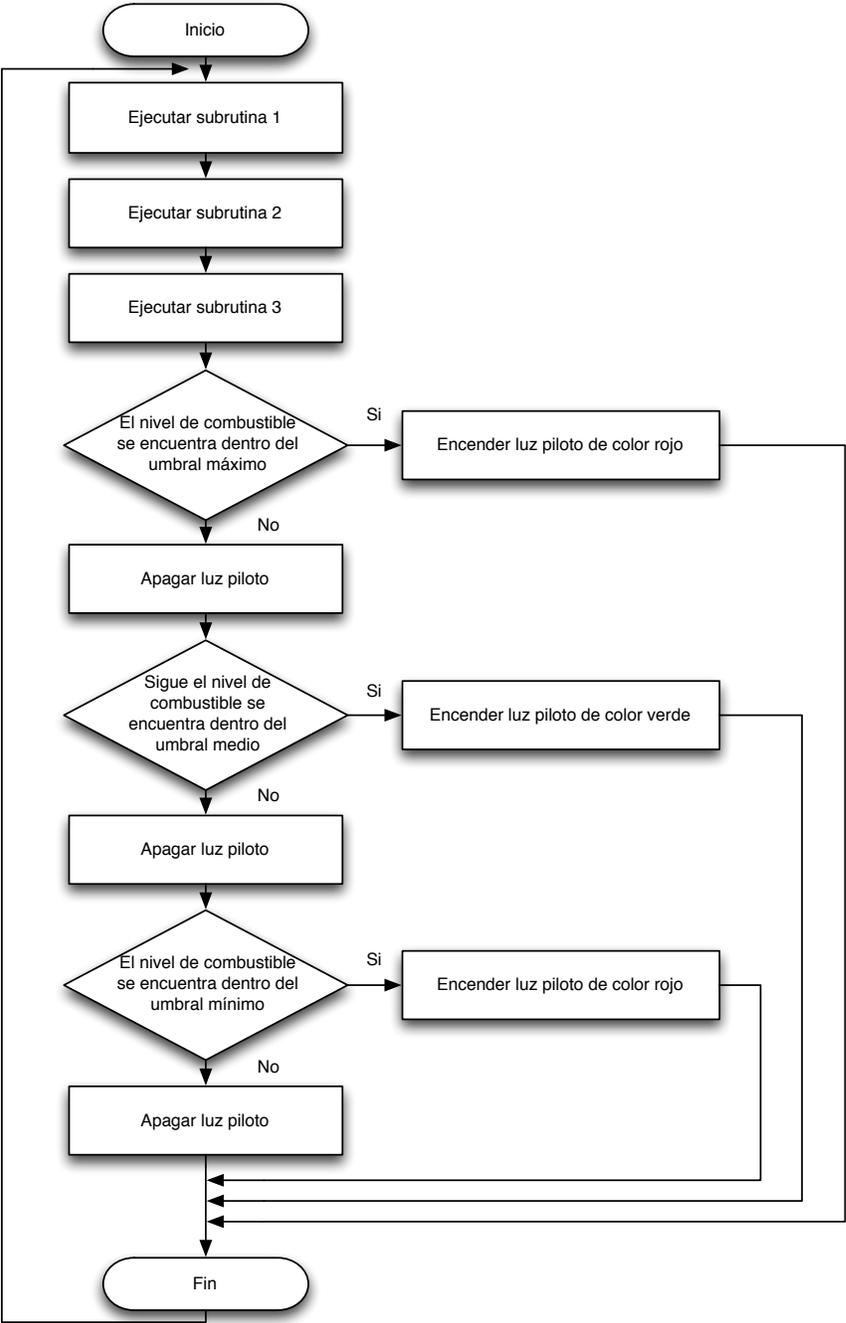


Figura 32. Comparación de los diferentes umbrales de nivel.

4.1.1.4.7 Comunicación MODBUS RTU entre el PLC y los analizadores de energía

El bloque MB_COMM_LOAD que se observa en la Figura 33, se usa para seleccionar el módulo de comunicación, ajustar los parámetros de la comunicación y parametrizar el enlace con los parámetros del maestro (PLC) o el esclavo (analizador de energía). El bloque MB_COMM_LOAD como se muestra en la Figura 33, se debe llamar en el primer ciclo de programa (mediante la activación de la marca de sistema M1.0 en los ajustes de hardware o mediante una llamada en el OB 100 de arranque). Después de insertar el módulo de comunicación en la configuración de hardware se puede seleccionar el nombre simbólico del módulo de comunicación en el parámetro PORT. Los parámetros de comunicación BAUD (velocidad de transmisión) y PARITY (paridad) deben ser idénticos para todos los nodos. El bloque de datos del maestro se transfiere en el parámetro MB_DB y, por consiguiente, define el módulo de comunicación (parámetro PORT) como maestro o esclavo MODBUS.

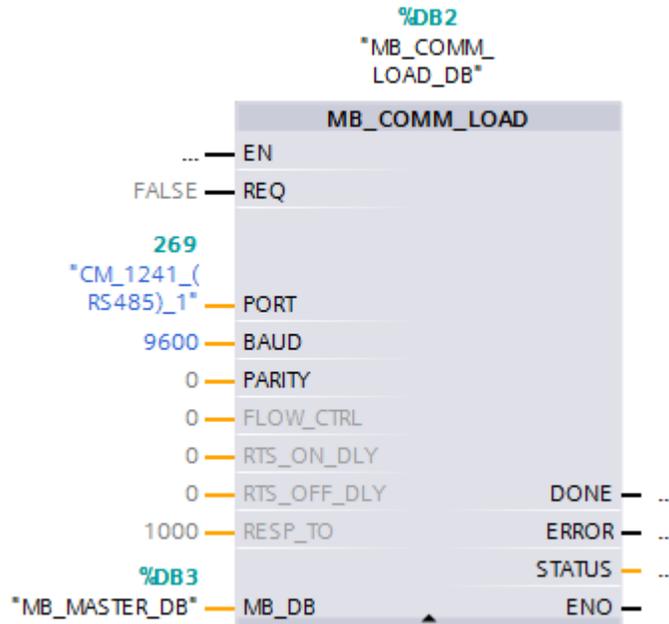


Figura 33. Bloque MB_COMM_LOAD

Se usa el bloque MB_MASTER, como se muestra en la Figura 34, para definir el módulo de comunicación seleccionado con el bloque de configuración MB_COMM_LOAD como maestro MODBUS.

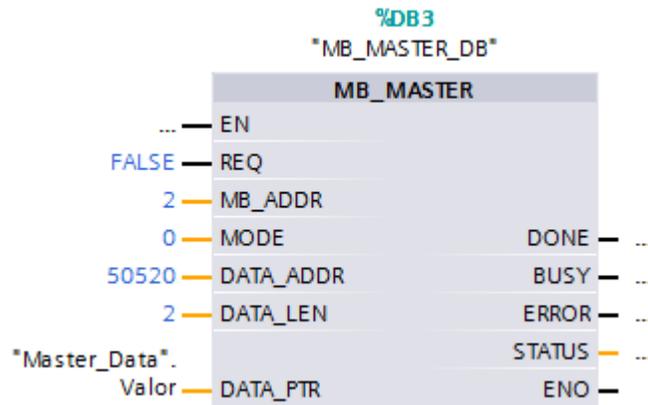


Figura 34. Bloque MB_MASTER_DB

El bloque MB_MASTER se usa para seleccionar el esclavo MODBUS a direccionar, seleccionar el código de función y definir la zona de almacenamiento de datos local, cada una de las entradas significa lo siguiente:

REQ: habilita la comunicación.

MB_ADDR: dirección estación MODBUS RTU.

MODE: 0 = lectura y 1 = escritura.

DATA_ADDR: especifica la dirección de inicio MODBUS.

DATA_LEN: especifica la longitud de datos MODBUS.

DATA_PTR: define las zonas de datos de envío y recepción locales del maestro. El parámetro DATA_PTR debe hacer referencia a un bloque de datos global creado con la opción "Sólo acceso simbólico" deshabilitada.

La tasa de baudio se fijó en 9.6 kbits, debido a que es la velocidad de transferencia estándar del módulo de expansión de comunicación del PLC (CM1421 RS485). En el analizador se deberá de configurar la tasa de baudio en 9.6 kbits, el bit

de paridad deberá ser nulo (cero), la dirección MODBUS esclavo va a ser la 2, para que pueda existir una perfecta comunicación maestro – esclavo entre el PLC y el analizador de energía.

Del analizador energía los datos que se desean adquirir, son los valores de tensión fase neutro de la línea de alimentación trifásica, que poseen las siguientes direcciones de registro:

V1: tensión línea1 – neutro dirección decimal 50518

V2: tensión línea2 – neutro dirección decimal 50520

V3: tensión línea3 – neutro dirección decimal 50522

Los datos adquiridos del analizador energía se asociarán cada uno con un Tag, para su posterior visualización en la HMI.

4.1.2 Diseño de la Interfaz Humano – Máquina (HMI) en el WinCC Advanced V11

La HMI se desarrolló mediante la utilización de WinCC Advanced V11, en una computadora portátil. La HMI se visualizará en una laptop que tuvo que cumplir ciertos requerimientos a nivel técnico para su ejecución. El WinCC Advanced 2011 está conformado por la licencia del software de ingeniería y la licencia RunTime (RT). En la primera licencia se realizó todo el desarrollo de la interfaz, donde se realizaron los esquemas gráficos, se establecieron las alarmas, históricos y gráficas en el tiempo.

4.1.2.1 Comunicación entre el PLC y la HMI

La comunicación con el PLC se realizó utilizando la tarjeta controladora que trae la computadora, dicha tarjeta se configuró con una IP fija 192.168.0.2, la

dirección IP tiene que ser obligatoriamente diferente a la del PLC para evitar problemas en la comunicación. Para la colocación de la IP fija se modificó las propiedades IPV4 de la tarjeta controladora colocando como IP fija 192.168.0.2 y máscara de subred 255.255.255.0, para que los datos de la tarjeta controladora fueran iguales a los colocados en las propiedades del IE_General de la estación PC donde fue instalado el WinCC.

Para la comunicación entre el PLC y la HMI no es necesario un servidor OPC, en vez de éste se utiliza la interfaz PG/PC. Ésta se encarga de manejar una conexión directa entre el PLC y la HMI. Para tener una configuración efectiva hay que configurar previamente la interfaz PG/PC. Para su ajuste se accede al panel de control y se abre el ícono llamado Interfaz PG/PC, una vez ahí seleccionamos la tarjeta controladora que tiene la computadora donde se instaló el WinCC.

El último paso para la ejecución satisfactoria de la comunicación es entrar en el menú de conexiones de la HMI, en este menú se debe configurar que la interfaz de comunicación sea TCP/IP, el punto de acceso sea CP-TCPIP y que se ajuste automáticamente. En la pestaña de vista topológica y vista de redes, el PLC y la estación PC deben encontrarse unida por un bus verde indicando que existe conexión entre ellos. El PLC y la estación PC estarán unidos por un cable Ethernet blindado para que sea inmune ante cualquier señal externa que no forme parte del proceso.

4.1.2.2 Tags que conforman la HMI

En la Tabla 8 se muestran los Tags que conforman la HMI.

Tabla 8. Tags que conforman la HMI

Nombre del Tag	Tipo de Dato	Vinculación con Tag del PLC	Función
Eelectrovalve	Bool	Electrovalve	Led doble color de encendido y apagado para indicar si la electroválvula se encuentra en funcionamiento. El led de visualización cuando está en verde indica que la electroválvula se accionó y cuando está en rojo indica que se encuentra apagada.
Litros_Tanque_1	Real	Litrostank1_hmi	Display digital donde se visualiza los litros de combustible en forma numérica del tanque del motor generador.
Litros_Tanque_2	Real	Litrostank2_hmi	Display digital donde se visualiza los litros de combustible en forma numérica de la cisterna.
Nivel_Tanque_1	Real	Niveltank1_hmi	Barra de nivel donde se visualiza la altura del combustible del tanque del motor generador.
Nivel_Tanque_2	Real	Niveltank2_hmi	Barra de nivel donde se visualiza la altura del combustible de la cisterna.
Nivel_Tanque1_Max	Bool	Tank1_Max	Led rojo, que se encuentra encendido cuando el volumen de combustible del tanque del motor generador se encuentre dentro del umbral máximo y estará apagado cuando se encuentre por debajo de este umbral.
Nivel_Tanque1_Min	Bool	Tank1_Min	Led rojo, que se encuentra encendido cuando el volumen de combustible del tanque del motor generador se encuentre dentro del umbral mínimo y estará apagado cuando se encuentre por encima de este umbral.
Nivel_Tanque2:Max	Bool	Tank2_Max	Led rojo, que se encuentra encendido cuando el volumen de combustible se encuentre dentro del umbral máximo y estará apagado cuando se encuentre por debajo de este umbral.

Nivel_Tanque2:Med	Bool	Tank2_Med	Led verde, que se encuentra encendido cuando el volumen de combustible de la cisterna se encuentra dentro de los niveles normales y estará apagado cuando se encuentre por fuera del rango del umbral medio.
Nivel_Tanque2:Min	Bool	Tank2_Min	Led rojo, que se encuentra encendido cuando el volumen de combustible de la cisterna se encuentra dentro del umbral mínimo y estará apagado cuando se encuentre por encima de este umbral.

4.2 VENTANAS QUE CONFORMAN LA HMI

4.2.1 Ventana de Login

Al cargar el proyecto en el software RunTime, se va a abrir una pantalla principal con un pequeño recuadro en el medio, en dicho recuadro se necesita introducir un login autorizado con un password para ingresar a la pantalla de visualización como se observa en la Figura 35.

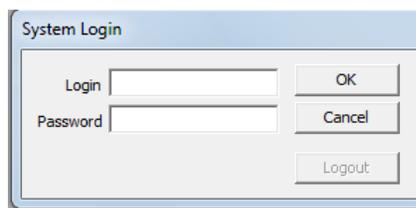


Figura 35. Ventana Login para acceder a la HMI.

En la parte superior se encuentra una barra que está totalmente inhabilitada hasta tanto no se inicie sesión en el programa como se muestra en la Figura 36. En la parte inferior izquierda hay dos botones, Login y Salir como se muestra en la Figura 37. Al momento de que un usuario no sea reconocido o la contraseña escrita sea inválida el recuadro para iniciar sesión desaparecerá, para intentar de nuevo un acceso

se debe de hacer click en el botón Login para que el cuadro vuelva aparecer. El botón de salir se utiliza para cerrar la aplicación RunTime desactivando totalmente la HMI.



Figura 36. Barra deshabilitada al momento de iniciar sesión



Figura 37. Botones que se encuentran habilitados al momento de iniciar sesión

4.2.1.1 Ventana de Visualización

Una vez que se haya ingresado satisfactoriamente a la interfaz la barra superior que se mostró en la Figura 36 se habilita inmediatamente. Al hacer click en visualización, se puede monitorear las variables que se encuentran ejecutando en el proceso, en la interfaz se puede apreciar la cantidad de litros y el nivel de combustible que existe en los tanques, leds indicando el umbral en que se encuentra el combustible dentro de los tanques, niveles de tensión de las líneas trifásicas de alimentación principal, visualización de la apertura o cierre de la electroválvula y gráficos que exponen como se estructura la lógica del proceso, como se puede visualizar en la Figura 38.

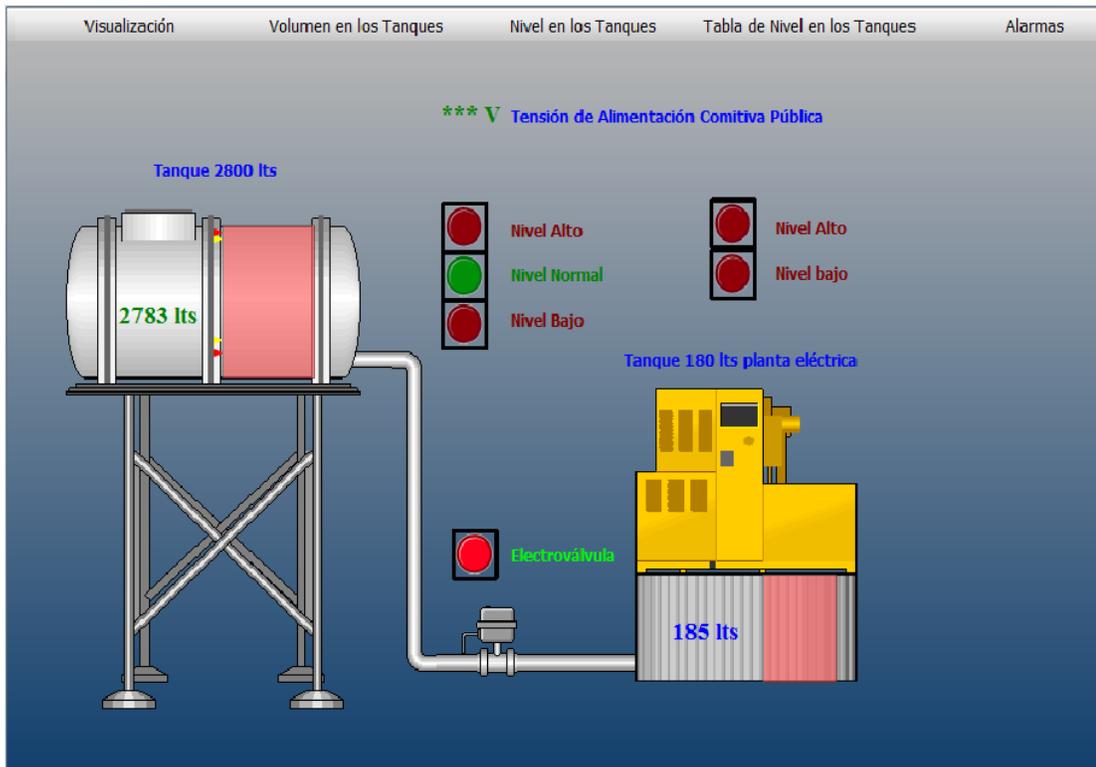


Figura 38. Visualización del proceso en la HMI

La ventana de visualización tiene un tiempo de refrescamiento de 250 ms, siendo suficiente para poder apreciar los cambios que se desarrollen en el proceso. La ventana de visualización es una ventana de simple monitoreo de las variables que están operando, en esta ventana no se puede desarrollar ninguna acción de control, ya que sólo la realiza el PLC que se encuentra en el nivel célula.

4.2.1.2 Ventana de volumen y nivel de los tanques

En esta ventana se configuró una visualización por Trendview, que es una herramienta que permite graficar las variables deseadas en función del tiempo (Fecha y Hora). En la Figura 39 y 40 se visualiza como se vacía y llena el tanque de combustible del motor generador y de la cisterna. La curva gráfica que se visualiza en el llenado y vaciado del tanque del motor generador, permitiendo monitorear en qué

momento se le debe de aplicar mantenimiento preventivo a la planta eléctrica, para de esta manera alargar su periodo de vida, evitando fallas que puedan comprometer a la máquina.

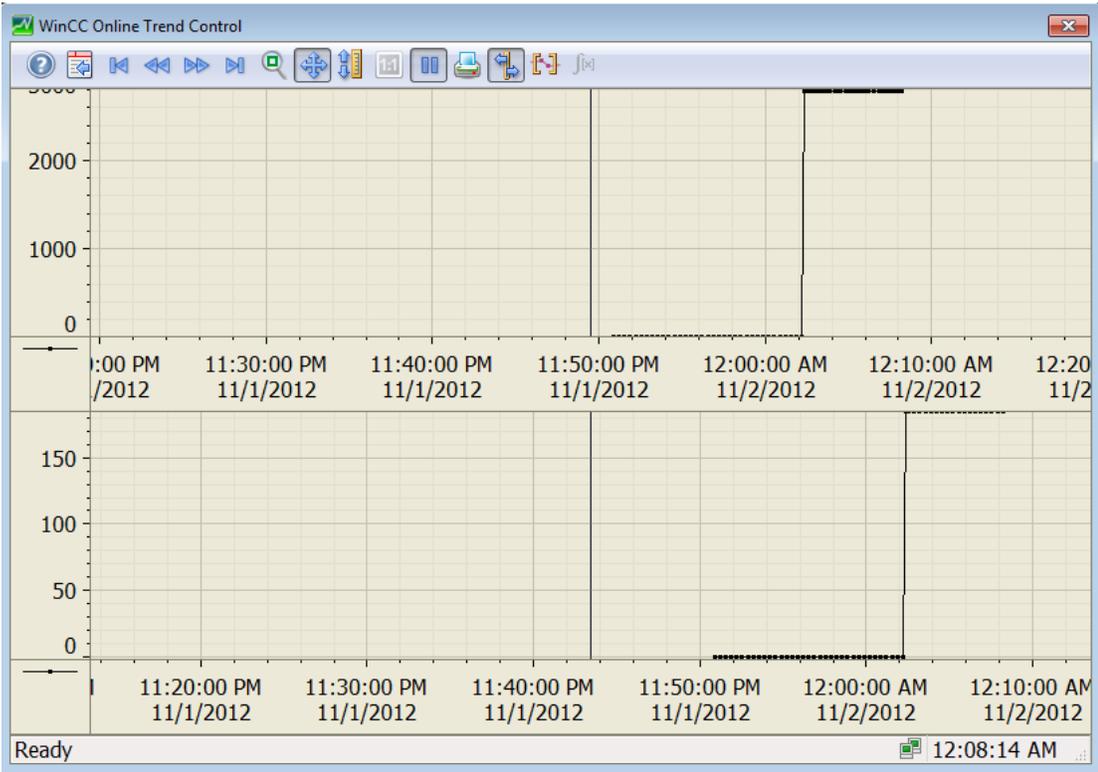


Figura 39. Ventana del volumen en los tanques

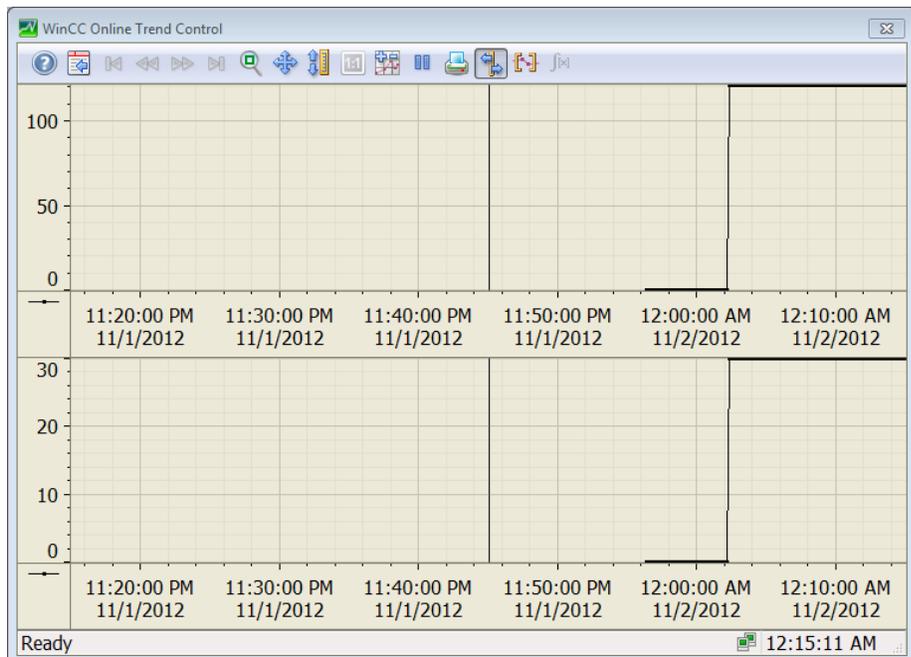


Figura 40. Altura del combustible en los tanques

En la Figura 39 se visualiza la gráfica de volumen de ambos tanques y en la Figura 40 observa la gráfica de altura de cada uno de los tanques.

4.2.1.3 Ventana de Tabla de nivel de los tanques

Además de una visualización gráfica, se dispone de una tabla donde se visualiza la altura de combustible en los tanques en diferentes instantes de tiempo, como se muestra en la Figura 41. Esta data cuenta con una base de datos que se ejecuta sólo en RunTime. El muestreo de dicha data se realizará cada 4 horas, debido a que el tanque del motor generador consume 7,7 litros por hora, siendo 4 horas un tiempo de muestreo suficiente para el almacenamiento de los valores adquiridos en la base de datos, donde almacenarán 540 muestras correspondientes a 90 días a una tasa de 6 muestras por día. Se tiene acceso a la base de datos en cualquier momento mientras la aplicación RunTime del WinCC se encuentre ejecutando.

	Fecha y Hora	Altura Tanque 1	AlturaTanque 2	Volumen Tanque 1	Volumen Tanqu
81	02.11.12 00:18:22	30	121	185	2
82	02.11.12 00:18:32	30	121	185	2
83	02.11.12 00:18:42	30	121	185	2
84	02.11.12 00:18:52	30	121	185	2
85	02.11.12 00:19:02	30	121	185	2
86	02.11.12 00:19:12	30	121	185	2
87	02.11.12 00:19:22	30	121	185	2
88	02.11.12 00:19:32	30	121	185	2
89	02.11.12 00:19:42	30	121	185	2
90	02.11.12 00:19:52	30	121	185	2
91	02.11.12 00:20:02	30	121	185	2
92	02.11.12 00:20:12	30	121	185	2
93	02.11.12 00:20:22	30	121	185	2
94	02.11.12 00:20:32	30	121	185	2
95	02.11.12 00:20:42	30	121	185	2
96	02.11.12 00:20:52	30	121	185	2
97	02.11.12 00:21:02	30	121	185	2
98	02.11.12 00:21:12	30	121	185	2
99	02.11.12 00:21:22	30	121	185	2
100	02.11.12 00:21:32	30	121	185	2
101	02.11.12 00:21:42	30	121	185	2
102	02.11.12 00:21:52	30	121	185	2

Figura 40. Tabla de nivel de los tanques

4.2.1.4 Ventana de alarmas

En la HMI se programaron alarmas analógicas, para que en el momento que se produzcan violaciones de nivel en los tanques de combustibles o en los niveles de tensión trifásicos de las distintas líneas de alimentación. En dicha ventana se visualiza la alarma, en que periodo de tiempo se produjo, que tipo de violación existió y el punto de error, Dichas alarmas se presentan en un histórico, permitiendo representar en que momentos del tiempo ocurrieron y cuáles fueron las causas.

Para el tanque del motor generador se configuraron tres alarmas, una para la violación del nivel mínimo otra para el máximo y otra para cuando la electroválvula quede abierta y no se produzca el cierre, al momento de esto ocurrir se va a activar

una alarma y una luz piloto ubicada en el tablero indicando que la electroválvula presenta un problema pudiendo provocar una situación de riesgo por el desborde de combustible.

También las líneas de alimentación donde se colocaron los analizadores de energía tienen sus respectivas alarmas analógicas configuradas, verificando en los momentos que exista una sobretensión en las líneas, o cuando se produzca una caída de tensión en una fase o un corte eléctrico.

4.3 PRUEBAS Y RESULTADOS

4.3.1 Pruebas realizadas al SCADA

Al SCADA se le realizaron una serie de pruebas para verificar un correcto comportamiento ante las eventualidades que pudieran producirse tales como, cables sueltos, averías en los sensores, problemas en la electroválvula y errores en el controlador (PLC).

4.3.1.1 Interrupción de la comunicación PROFINET entre el controlador (PLC) y la HMI (WinCC Advanced V11)

Ante una eventualidad que se produzca una desconexión del cable Ethernet que comunica al PLC con la HMI utilizando protocolo PROFINET, pasarán alrededor de 35 segundos en que la HMI utilizara diversas herramientas para verificar que en realidad existe una desconexión con el controlador. Después de pasado el tiempo aparecerán unos signos de admiración indicando que no existe ningún tipo de conexión entre la HMI y el controlador como se muestra en la Figura 41. Una vez se reconecte de nuevo el cable Ethernet se restablecerá la conexión de nuevo indicando la información que está siendo suministrada por el controlador.

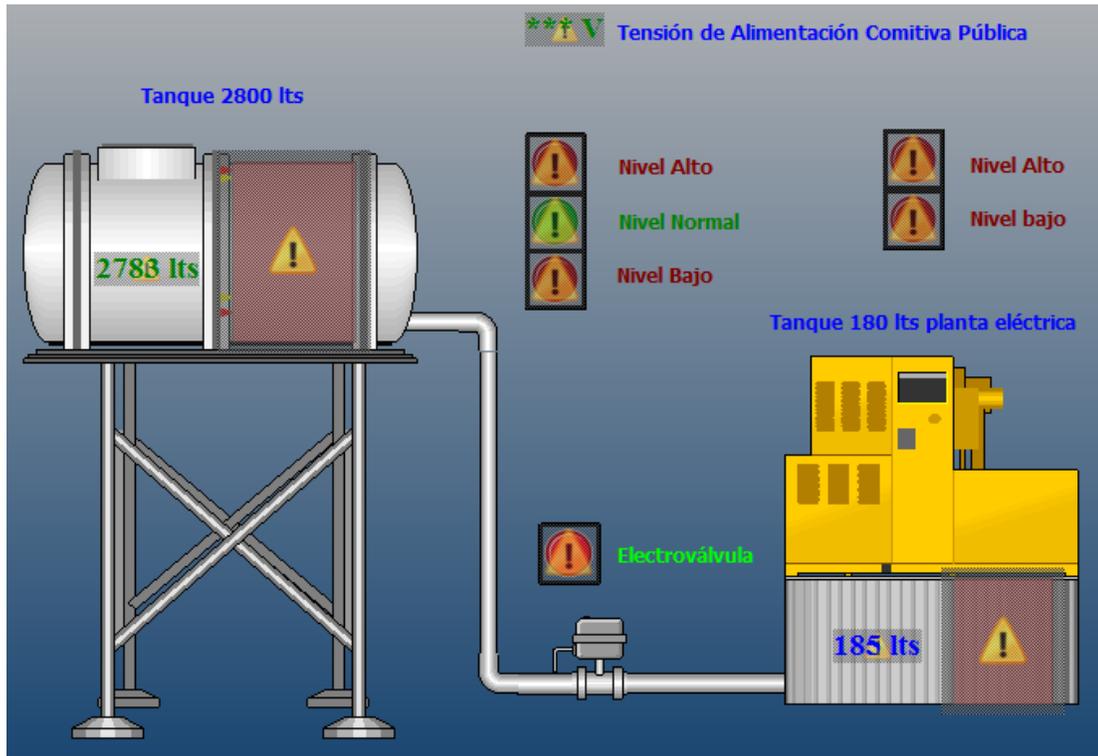


Figura 41. Visualización de la HMI al momento de desconectar el cable Ethernet del PLC

4.3.1.2 Perturbaciones en la superficie líquida del tanque de combustible

Al momento de encender el motor generador, se produce una fuerte vibración, produciendo perturbaciones en la superficie. El sensor ultrasónico utilizado realiza una medición promedio, además en el controlador se configuró un filtrado fuerte en la entrada analógica de éste, dicha configuración se realizó en las propiedades avanzadas del PLC seleccionando la opción del filtrado fuerte, evitando que grandes vibraciones provoquen una falsa medición.

4.3.1.3 Pruebas de verificación del protocolo MODBUS RTU (Maestro-Esclavo) entre el controlador y el analizador de energía.

Los analizadores de energía y el controlador (PLC) están conectados por un cable serial mediante la interfaz RS 485 utilizando el protocolo MODBUS RTU (Maestro-Esclavo). Para la verificación del correcto funcionamiento del protocolo, la salida Busy del bloque de programación del PLC MB_Master, debe estar oscilando (entre 0 y 1 en la HMI) mientras existan tramas.

4.3.1.4 Verificación del estado de la electroválvula

El PLC al tener salidas relé puede existir la posibilidad que el conector se que cerrado cuando se ejecutó la apertura de éste. Por lo tanto en el software se observará que la electroválvula se encuentra cerrada y físicamente se encuentra abierta, pudiendo provocar un rebose de combustible en la caseta de la estación. Para la verificación de esta eventualidad, la salida relé donde se encuentra conectada la electroválvula, se debe de acoplar en una entrada digital libre del PLC para tener una visualización real del estado de la salida. La entrada digital, donde se conectó la salida de la electroválvula y el estado de la salida digital en cuestión a nivel de software se conectan a las entradas de un bloque XOR, cuando haya una diferencia a nivel de programa, se activará una alarma indicando un apagado rápido del PLC para evitar un posible desbordamiento.

4.3.2 Resultados obtenidos

El sistema SCADA que se diseñó realiza todas las mediciones de nivel en los tanques y de los niveles de tensión de manera satisfactoria, pudiendo ver las variables que participan en el proceso por una HMI. El sistema diseñado cuenta con dos históricos, el primero almacena los datos obtenidos en el proceso cada 4 horas durante un período de 90 días, y el segundo registra todas las alarmas que se generen durante el

proceso. Al sistema se le practicaron una serie de pruebas, respondiendo satisfactoriamente cada una de ellas, permitiendo identificar de rápida algún problema que se pueda suscitar. De igual forma tiene un nivel de seguridad, pudiendo ingresar sólo personas autorizadas, haciendo de esta manera que el sistema sea robusto y seguro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema SCADA diseñado representó una mejora en la adquisición de datos, permitiendo visualizar en la HMI, las tensiones trifásicas en las líneas de alimentación del proceso, el estado de la electroválvula (On-Off), el nivel de combustible y la cantidad de litros de combustibles remanentes que hay en los tanques. A cada uno de los tanques se le colocaron sus respectivos umbrales, que se encuentran asociados a luces pilotos (en el tablero eléctrico) y leds en la HMI, para la visualización del operador que esté haciendo uso de la interfaz instalada en la computadora, y luces piloto instaladas en el tablero para una indicación al técnico residente al momento que no se encuentre dentro de la estación.

A través del sistema de supervisión desarrollado, se puede realizar la medición de las diferentes variables que son parte del proceso, permitiendo la determinación del correcto funcionamiento de los sistemas neurálgicos que garantizan la operación del radar.

Con el registro de los históricos de las variables medidas (tensión trifásica de las líneas de alimentación, altura del combustible en los tanques y el volumen de combustible dentro de éstos), se permite una rápida detección de las causas de ciertas fallas que pueden producirse en el sistema y realizar estudios del consumo de combustible por el motor generador, permitiendo el desarrollo de planes de mantenimiento preventivo.

Las tensiones trifásicas de las líneas de alimentación principal obtenidas por los analizadores de energía seleccionados, se registran en un histórico, que se almacenará en una base de datos por un tiempo de 3 meses, permitiendo un posterior estudio de la calidad del servicio eléctrico. Con la instalación de los transformadores

de corriente se puede analizar a profundidad la calidad de servicio, porque se obtienen valores como, potencia activa, potencia reactiva, corriente, factor de potencia, armónicos en la red entre otros parámetros. De igual forma con estos dispositivos se correlaciona de manera directa el total de horas en que el motor generador ha entrado en funcionamiento.

La HMI desarrollada permite: la visualización de todas las variables que participan en el proceso, como los umbrales de nivel en ambos tanques de combustible, determinando el llenado de la cisterna, para la realización del trasvase de combustible con el tanque del motor generador, y el monitoreo constante de los niveles de combustible.

Para la visualización de la HMI, solo puede ingresar personal autorizado que tenga un permiso asociado, de lo contrario no pueden acceder a la visualización ya que la barra de botones ubicada en la parte superior se encuentra deshabilitada, garantizando que el sistema diseñado sea seguro y sólo dispongan de acceso personas autorizadas.

Para un futuro se recomienda la conexión del PLC y de la computadora donde se instale el software RunTime de la HMI a un UPS, para cuando se produzca un corte del suministro de energía, los componentes anteriores continúen operando de manera continua monitoreando las variables el proceso pudiendo verificar de esta manera un encendido satisfactorio del motor generador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FONDONORMA 200:2009. Código Eléctrico Nacional. —Caracas CODELECTRA.
- [2] Norma COVENIN (2811:1998). Tablero Eléctricos de Media y Baja Tensión. Documentación Técnica.- Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.- 12 p.
- [3] Norma COVENIN (2941:2000). Tablero Eléctricos de Media y Baja Tensión. Métodos de ensayo.- Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.- 12 p.
- [4] Oficios Técnicos [en línea]. <[http:// www. tecnoficio.com/docs/doc61.php](http://www.tecnoficio.com/docs/doc61.php)> [Consulta 2012].
- [5] Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la Frontera [en línea]. <http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%202.3%20Nivel.pdf> [Consulta 2012].
- [6] Scribd [en línea]. <[http:// www. scribd.com/doc/54204649/8/Medidor-de-Presion-Diferencial](http://www.scribd.com/doc/54204649/8/Medidor-de-Presion-Diferencial)> [Consulta 2012].
- [7] Universidad de los Andes U.L.A [en línea]. <[http:// webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/I4_Medicion_de_nivel.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/I4_Medicion_de_nivel.pdf)> [Consulta 2012].
- [8] Lipták, Bela., Kayser, D., y Nay, J. Process Measurement and Analysis. Differential Pressure Level Detectors, New York: CRC PRESS, 2003.
- [9] IEEE-802B. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.- New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.- 2793 p.
- [10] Lipták, Bela., Kayser, D., y Jamison J. Process Measurement and Analysis. Ultrasonic Level Detectors, New York: CRC PRESS, 2003.
- [11] Migatron Corp [en línea]. <[http:// migatron.com/products/rps-400-30/index.htm](http://migatron.com/products/rps-400-30/index.htm)> [Consulta 2012].

- [12] Migatron Corp [en línea]. <<http://migatron.com/apps.htm> > [Consulta 2012].
- [13] Metro Instruments [en línea]. <<http://metroinstruments.com/descargas/descarga.php?id=28>> [Consulta 2012].
- [14] Migatron Corp [en línea]. <<http://migatron.com/products/rps-409a-is/rps-409a-is.htm> > [Consulta 2012].
- [15] Creus Solé Antonio. Instrumentación Industrial, Barcelona Marcombo, 1997.
- [16] Carvallo, Juan Pablo, Vargas, René. Válvulas solenoides. Valparaiso: Universidad Técnica Federico Santa María, 2003.
- [17] Manual de Referencia: Versión (1.0). Industrial Control Division. 2-way solenoid valves for neutral liquids and gases. / Danfoss Inc., Baltimore, 2007. _ 23 p.
- [18] Lipták, Bela, Clare, W., Kaplan, G., Sadlon, D., Wiktorowicz, A., y Gilbert, R. Programmable Logic Controllers, New York: CRC PRESS, 2006.
- [19] Lipták, Bela., Hickes, W., Oudar, C., y Rohr, A. Electrical and Intrinsic Safety, New York: CRC PRESS, 2006.
- [20] Norma IEC-CEI (60529:2001-02). Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Enclosures). Geneva: International Electrotechnical Commission.- 55P.
- [21] ATEX ExplosionProof, Normativa [en línea]. <<http://www.atmosferasexplosivas.com/normativaatex.html> > [Consulta 2012].
- [22] Bocanegra, Hermis. Desarrollo de una metodología de diseño eléctrico para un sistema de emergencia y reserva en edificios con tensiones de menos de 600 V nominales. / Hermis Bocanegra (Tesis). -- Bogotá: Universidad de la Salle, 2008.
- [23] Velásquez Ingenieros asociados S.A.S. [en línea]. <http://www.velasquez.com.co/catalogo/transferecia_automatizada_con_doble tiro.pdf > [Consulta 2012].
- [24] Migatron Corp [en línea]. < <http://migatron.com/products/rps-409a-is/rps-409a-is.htm> > [Consulta 2012].