

Automatización De Un Equipo Para Determinar La Relación De Vapor Líquido En Combustibles Para Petrocomercial

Mosquera Anturi Leonardo, Ing.

Corrales Paucar Luis Aníbal, PhD

Escuela Politécnica Nacional

Resumen

En el presente trabajo se diseña un equipo que permite obtener de forma automática la relación vapor líquido en un combustible, para determinar la calidad del mismo. Se han empleado para obtener dicho objetivo, la Ingeniería en Electrónica y Control en el diseño y configuración de las tarjetas de control, con tecnología actual y de bajo costo bajo la idea de obtener una maquina confiable y económica, sobre una arquitectura tipo SCADA de microcontroladores.

En el desarrollo se deberá controlar la temperatura de un baño térmico en un valor ajustado con un rango de operación de 20°C a 70°C, Así como mantener la presión atmosférica en el combustible de muestra, en su valor a nivel del mar, esto es 101,33kPa, de acuerdo con la norma ASTM D2533. Y medir el nivel de vapor formado por la muestra dentro del límite de capacidad de la bureta de 35mL, mediante un sensor óptico de manera que no se invada al recipiente contenedor de la muestra que rige el procedimiento para llevar a cabo esta prueba.

1. INTRODUCCION

La tendencia global de automatizar los procesos se hace cada vez más palpable, precisión, seguridad, confiabilidad y mayor facilidad, en la ejecución de un procedimiento para lograr el mismo fin, hace que esta tendencia cobre más notabilidad.

Las pruebas de control de calidad en combustibles: Destilación, Presión de vapor Reid (PVR), y Relación de vapor líquido (RVL), determinan totalmente la calidad del combustible en cuanto a volatilidad del mismo se refiere. Dicha propiedad radica su relevancia en el comportamiento al encendido del motor de gasolina de un vehículo.

De ahí entonces, la importancia de la prueba RVL en el Laboratorio de Control de Calidad de la empresa PETROCOMERCIAL terminal Beaterio, encargada de la comercialización del combustible a nivel nacional.

2. MARCO TEORICO

En la consecución de este propósito, se describen los aspectos más relevantes, tanto desde el punto de vista fisicoquímico como desde la Ingeniería de Electrónica y Control, que permitan el sustento teórico para el desarrollo del presente proyecto.

Relación de Vapor Líquido

Se define como relación de vapor líquido de una gasolina a la relación de volumen de vapor en equilibrio con el volumen líquido de gasolina, a cualquier temperatura y presión especificada, en relación al volumen de gasolina líquida introducida a 0°C.

Calorimetría

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de las moléculas que constituyen un cuerpo. Mientras que al calor se lo considera como un flujo de energía.

Para cuantificar el calor, el científico James Prescott Joule, demostró la existencia de lo que se conoce actualmente como caloría: **“La cantidad de calor necesaria que debe absorber un gramo de agua para que su temperatura aumente en un grado centígrado”** [3]

Cuerpo negro: Es aquel cuyo poder absorbente es igual a uno. Es decir, que absorbe toda radiación que incide sobre él. En la naturaleza, no existe ningún cuerpo perfectamente negro, pero de forma aproximada se lo puede obtener recubriendo con una capa de pintura negra o mejor recubriéndolo de color negro el interior hueco de un cuerpo y dejando en él, un pequeño agujero. Este se constituye en el mejor cuerpo negro que se puede obtener, el cual según Stefan-Boltzman cuenta con un poder emisor proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

Principio De Pascal

Si se aplica una fuerza F perpendicular, sobre una superficie de área A , la presión P es la fuerza F que un cuerpo ejerce por cada unidad de área

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

La unidad de presión en el Sistema internacional de unidades es el newton dividido por metro cuadrado (N/m^2).

Esta unidad se denomina Pascal en honor al científico Blaise Pascal. Bajo esta definición se deduce la ecuación fundamental en hidrostática: la presión en el punto del interior de un líquido es igual al producto de la densidad del líquido por la aceleración de la gravedad y por la profundidad a la cual se encuentra el punto.

$$P = \delta \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Los líquidos poseen una propiedad que los diferencia de los sólidos, cambian de forma, adoptando la del recipiente que los contiene. Bajo la acción de una presión externa, conservan el mismo volumen, son prácticamente incompresibles. Este es el principio de Pascal y dice: **“Los líquidos transmiten en todas las direcciones y con la misma intensidad las presiones que se ejercen en una determinada región de ellos”** [3].

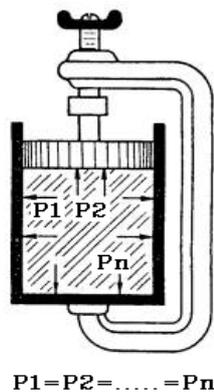


Figura 1: Principio de Pascal

Ley Lambert Beer

La ley explica que hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la misma, así como también entre la transmisión y la longitud del cuerpo que la luz atraviesa.

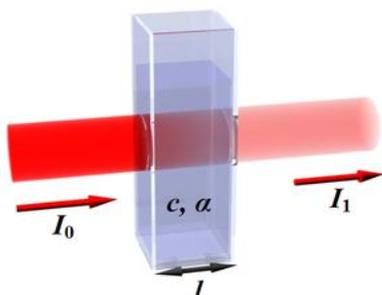


Figura 2 : Esquema Del Fenómeno De Absorbancia

leonardo030482@hotmail.com

El conjunto de relaciones a partir de la Figura 1-2, son descritas a continuación:

$$A = \alpha lc \quad (3)$$

$$A = -\log \frac{I_1}{I_0} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (5)$$

Donde:

A = absorbancia

I_0 = intensidad de la luz incidente

I_1 = intensidad de la luz una vez atravesado el medio

l = Distancia que la luz atraviesa por el cuerpo

c = es la concentración de sustancia absorbente en el medio

α = cociente de absorción o absorbancia molar de la sustancia

λ = Longitud de onda del haz de luz

K = coeficiente de extinción.

El valor del coeficiente de absorción α varía según los materiales absorbentes y con la longitud de onda para cada material en particular se determina experimentalmente.

3. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Para la descripción del proyecto se debe tener en cuenta que, inicialmente se planteó la modificación del equipo manual descrito por la norma ASTM D2533, cuyo montaje en el laboratorio se puede ver en la Figura 5.

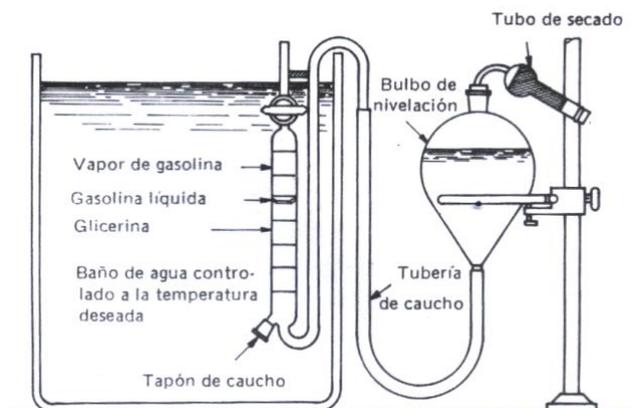


Figura 5 : Montaje Manual Para La Determinación De La Relación De Vapor Líquido[17]

Por razones de seguridad se construye un equipo totalmente independiente en el cual se controla la temperatura del agua y presión en la glicerina transmitida hacia la muestra, al mismo tiempo que se mide nivel del vapor de gasolina formado al interior de la bureta.

Cada una de las variables: temperatura, presión, nivel. Son manejadas por módulos independientes, conformadas por microcontroladores que gestionan el cierre del lazo de la variable que se encargan.

luisco@hotmail.com

Los módulos se interconectan por medio de un bus I2C hacia un módulo Maestro, siguiendo una topología Scada, tal como se indica en la Figura 6.

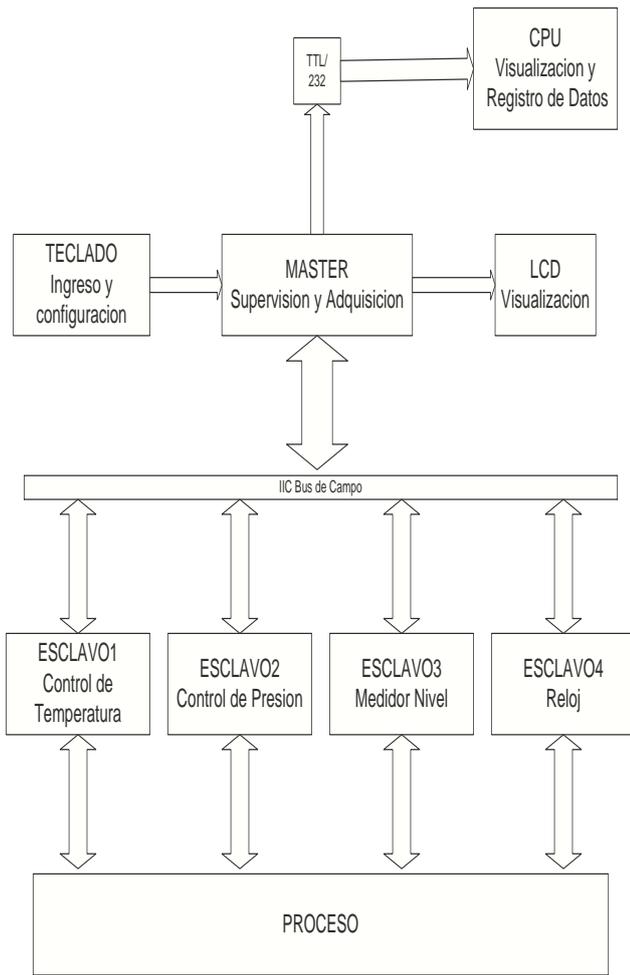


Figura 6: Interconexión módulos

Módulo De Temperatura

Este módulo consiste en una tarjeta que permite conectar la señal del sensor de temperatura ubicado en el baño térmico, acondicionarla y realizar una acción de control de control automático.

Para mantener la temperatura constante, dentro de las condiciones impuestas en la norma, se debe cumplir que:

- La altura del baño sea mayor a la de la bureta. Esto garantizará que la temperatura de la bureta, que contiene a la glicerina y el combustible, sea homogénea.
- La máxima variación de temperatura debe ser menor a 0,1°C.

Se consideró un esquema de control en lazo cerrado sobre la niquelina, como muestra el diagrama de bloques de la Figura 7

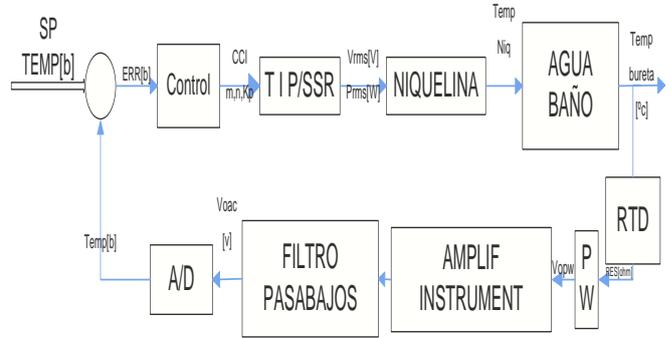


Figura 7 : Diagrama de bloques Temperatura

De acuerdo al diagrama de la Figura 7, las señales: SP_TEMP, Temp, Err, y CCI, son de tipo digital y constituyen las variables, de entrada salida a manejar, por parte del microcontrolador. Cabe aclarar que el convertor A/D mostrado en el diagrama es un recurso propio del microcontrolador.

Adicionalmente el módulo cuenta con una salida tipo transistor para la conexión opcional de un relé de estado sólido, una entrada para sensar el nivel que permita la inhibición del controlador cuando el nivel de agua es escaso, protegiendo así la integridad del baño. Un habilitador tipo shutdown permite la desconexión del actuador, en caso de un calentamiento no controlado. Salida tipo relé para la conexión de una electroválvula de drenaje del agua contenida en el baño. Y bornera para la polarización.

Acción de control proporcional

De la ecuación general de un PID:

$$u(t) = Kp.e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t)dt + Kp.Td. \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Se obtiene la ecuación discretizada 7, por medio del procedimiento mostrado en [14]

$$u(n) = u(n-1) + Kp. \left[(n) - e(n-1) \right] \quad (7)$$

Donde e(n) el error, por definición es:

$$e(n) = r(n) - y(n) \quad (8)$$

Por medio de la Ecuación obtenida 7 y 8, se tiene el algoritmo de control a ser implementado dentro del microcontrolador para controlar el encendido de la niquelina.

Módulo De Presión

Para mantener la presión constante, dentro de las condiciones impuestas en la norma, se debe cumplir que:

- La presión en la bureta durante toda la prueba sea de 1 Atmósfera (760 mmHg)
- La máxima variación de presión no está especificada dentro de la norma, debido a que en el ambiente las variaciones de ésta no son tan bruscas, pero de acuerdo a los requerimientos de los laboratoristas se considerará trabajar con un error cercano al 1%.

El esquema de control en lazo cerrado para la presión de aire contenida en el tanque se muestra en el diagrama de bloques, se busca manipular la potencia del compresor, a través de su alimentación (Figura 8).

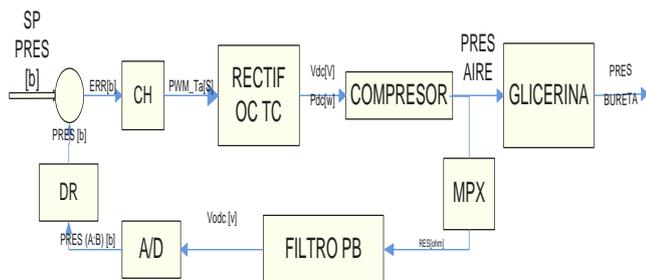


Figura 8 : Diagrama de Bloques de Presión

Aprovechando que los líquidos son incompresibles, según el principio de Pascal:

Se tiene que al controlar la presión de aire, esta misma pueda transmitirse a través de la glicerina hasta la bureta, manteniendo así los requerimientos de la norma.

Módulo Seguidor De Nivel

Para poder detectar la altura en la cual se encuentra el menisco, indicando la separación de vapor líquido de la muestra, se tiene en cuenta el principio de la ley de Lambert beer, los requerimientos a cumplir por el equipo, de acuerdo a la norma RVL, serán los siguientes:

1. El valor máximo permitido por RVL, que indicará una buena gasolina deberá ser menor a 20, caso contrario aunque la bureta permite contener hasta 35ml, el producto se debe notificar como fuera de especificaciones.
2. La máxima variación en la lectura del nivel debe ser inferior o igual a 0,5ml, con los que cuenta las divisiones secundarias de la bureta normalizada.
3. El término de la prueba se dará cuando la altura del menisco permanezca constante por más de 2 minutos. Esto indicará que el volumen de vapor formado ha alcanzado su valor final de expansión, bajo condiciones de temperatura y presión constantes.

Se considera un esquema de control en lazo cerrado sobre la niquelina, como muestra el diagrama de bloques de la Figura 9.

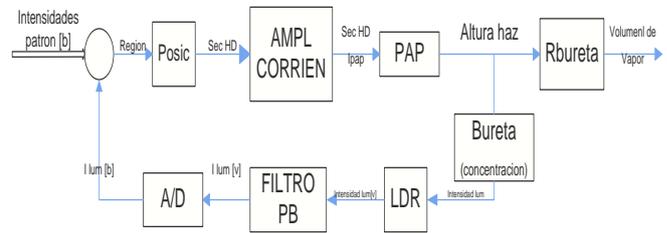


Figura 9 : Diagrama de Bloques de Nivel

MÓDULO MAESTRO

Este módulo es el encargado de interactuar con el usuario, recibe la información por medio de un teclado y muestra en una forma organizada los datos configurados a través de un LCD.

Los datos configurados son transmitidos hacia cada controlador a través del bus I2C y hacia un bus de comunicación con protocolo RS232, el cual puede ser conectado hacia una computadora. Se permite así que el módulo maestro, ejecute acciones de supervisión y adquisición de datos, acorde con las tramas de lectura y escritura del I2C.

Todo el tiempo las variables de mayor interés son visualizadas en el LCD, ubicado en la parte frontal del equipo como se puede ver en la siguiente figura.

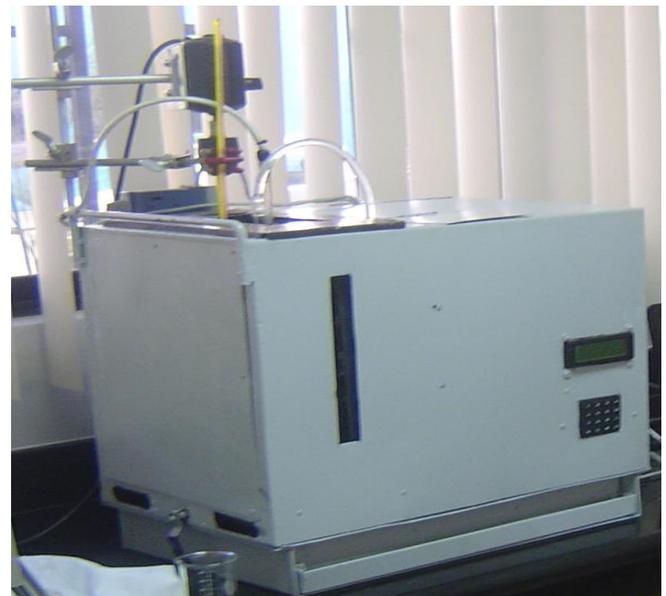


Figura 10: Apariencia física del equipo RVL automático

El microprocesador envía los valores de referencia para el control, y adquiere los valores de las variables contenidas en cada módulo esclavo, a través del módulo interno de comunicación I2C

Opcionalmente, un enlace RS232 permite la exportación de datos hacia el entorno gráfico del Labview, como se puede ver en la figura 11:

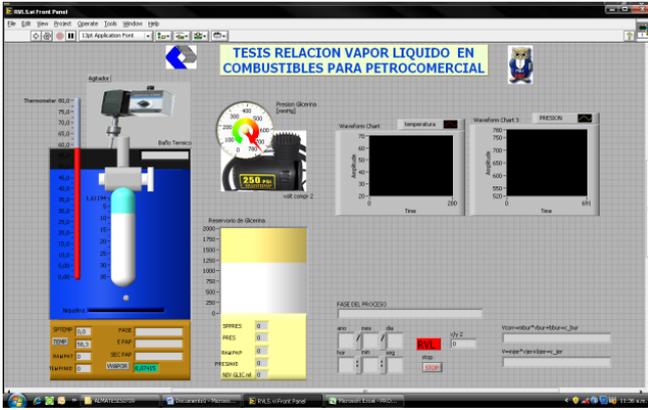


Figura 11: Pantalla Labview

4. PRUEBAS REALIZADAS

Para realizar estas pruebas se procedió a comparar las lecturas arrojadas por el equipo automático, en comparación al equipo manual.

Los resultados obtenidos durante estas pruebas, fueron realizados varias veces con la misma muestra del día correspondiente a analizar, en el desempeño normal de los laboratorista.

Los resultados del equipo dieron los datos mostrados en la siguiente Tabla 1. En ella se incluyen las lecturas de dos de las pruebas más representativas, llamadas prueba A y prueba B.

NO	FECHA	HORA	TQ	PROD	RVL MANUAL	RVL AUTOMÁTICO	
						PRUEBA A	PRUEBA B
234	12/12/2008	17:15	1014	EXTRA	2,67	2,66	2,71
235	13/12/2008	17:50	1001	EXTRA	14,26	14,30	14,25
236	13/12/2008	18:00	1003	SUPER	3,68	3,68	3,75
237	14/12/2008	15:50	1012	EXTRA	3,15	3,24	3,26
238	15/12/2008	16:45	1014	EXTRA	5,08	5,08	5,04
239	16/12/2008	16:40	1004	SUPER	5,08	5,21	5,10
240	16/12/2008	16:50	1003	EXTRA	6,53	6,40	6,59
241	21/12/2008	14:30	1012	SUPER	5,08	5,08	5,17
242	21/12/2008	14:45	1014	EXTRA	4,60	4,59	4,61
243	21/12/2008	15:10	1003	EXTRA	5,08	5,00	5,14

Tabla 1 : Pruebas RVL AUTOMÁTICO

5. RESULTADOS

A partir de los datos de la Tabla 1, se determina el error cometido en cada una de las pruebas. Los resultados pueden verse en la Tabla 2

RVL MANUAL	RVL AUTOMÁTICO		Error Relativo [%]	
	Prueba A	Prueba B	Prueba A	Prueba B
2,67	2,66	2,71	0,22	1,75
14,26	14,30	14,25	0,31	0,08
3,68	3,68	3,75	0,04	1,73
3,15	3,24	3,26	2,76	3,35
5,08	5,08	5,04	0,09	0,80
5,08	5,21	5,10	2,57	0,45
6,53	6,40	6,59	2,04	0,90
5,08	5,08	5,17	0,03	1,72
4,60	4,59	4,61	0,29	0,26
5,08	5,00	5,14	1,62	1,28

Tabla 2 : Cálculo de errores del equipo automático RVL

Se determina a partir de la Tabla 4-19 que el error máximo cometido en la prueba es del 3,35% respecto al equipo manual.

A partir de la Tabla 2, se calcula la desviación estándar máxima tomando como elemento patrón el equipo manual. Estos datos se presentan en la Tabla 3.

RVL MANUAL	RVL AUTOMÁTICO		Desviación estándar	
	Prueba A	Prueba B	Prueba A	Prueba B
2,67	2,66	2,74	0,004	0,054
14,26	14,30	14,24	0,031	0,042
3,68	3,68	3,78	0,001	0,069
3,15	3,24	3,31	0,062	0,050
5,08	5,08	5,02	0,003	0,040
5,08	5,21	5,11	0,092	0,068
6,53	6,40	6,62	0,094	0,157
5,08	5,08	5,21	0,001	0,092
4,60	4,59	4,62	0,010	0,022
5,08	5,00	5,18	0,058	0,127

Tabla 3 : Cálculo de la Desviación Estándar del Equipo RVL

La máxima desviación registrada en el equipo automático para la determinación de la relación vapor líquido es de ± 3.36 , lo cual junto con el bajo error en las lecturas, confirma su buen funcionamiento; ya que, la norma ASTM D2533 contempla una desviación máxima del 4% en la Repetibilidad de los datos obtenidos por un mismo operador.

6. CONCLUSIONES

- I. La máxima desviación calculada en el controlador de temperatura es de $\pm 0,07^\circ\text{C}$. La norma ASTM D2533 indica que la variación máxima permisible es de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. por tanto; se puede concluir que el controlador de temperatura diseñado cumple con los requerimientos de la norma.
- II. Para mantener la temperatura se diseñó regular la potencia entregada a la niquelina mediante un controlador de temperatura por ciclo integral, el cual debía controlar 10 periodos completos de la red. Las pruebas demostraron que efectivamente se pudo controlar la temperatura al valor de interés entre un

- rango de 20°C a 70°C, en pasos de 0,1°C con un error en estado estable de 0,1°C por debajo de la referencia. Se concluye entonces, que es necesario corregir la temperatura de ingreso con 0,1°C más de lo esperado.
- III. La compensación de la presión atmosférica indicada en la norma, por medio de la diferencia de alturas entre el recipiente de bulbo de nivel y la bureta fue reemplazada por un sistema de aire comprimido, el cual es independiente de la presión barométrica del lugar donde se realiza la prueba. Los resultados de las pruebas indican un error máximo de 0,65789% para la presión regulada del controlador. Los laboratoristas, solicitaron un error menor al 1%; por tanto, se puede concluir que el requerimiento de los laboratoristas en cuanto a presión resultó satisfactorio.
- IV. El equipo ha sido diseñado y construido en forma modular para que sea fácil el montaje y desmontaje de las partes con las que ésta compuesto. El equipo durante el ingreso de datos despliega mensajes que guían al usuario para que ingrese correctamente los parámetros e indique posibles fallas al realizar el proceso. Con esto se demostró que el diseño del equipo cumple con su objetivo de ser de fácil uso para el operador.
- V. El uso de alarmas que indican fallas o modos de operación indebidos, resultaron bastante útiles, ya que además de poder visualizarse por medio del LCD, hacen que el equipo sea capaz de un autodiagnóstico y en caso de ser necesario ejecutar una acción rápida para evitar fallas permanentes.
- VI. La desviación máxima en la determinación de la relación de vapor líquido, según la norma ASTM D2533, no debe diferir en más del 4%. Las pruebas realizadas demostraron una variación del 1,23% sobre la relación vapor líquido, tomando como referencia el equipo de montaje manual; por tanto, se concluye que el equipo diseñado entrega un diagnóstico confiable al usuario cumpliendo con todos los objetivos, exigencias y requerimientos de la norma ASTM D2533 e INEN932.
- VII. El laboratorista como usuario, no corre el riesgo de trabajar en altura como en el equipo manual, al modificar la altura del bulbo.
- [6] <http://www.motorola.com/semiconductors/>
- [7] **ÁNGULO JOSÉ, ÁNGULO IGNACIO.** "Microcontroladores pic: Diseño práctico de aplicaciones". Segunda Edición, Mc Graw Hill, España, 1999.
- [8] Microchip Technology Inc., "PIC16F87XA Data Sheet, 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers," 2003
- [9] **REYES, Carlos.** Aprenda rápidamente a programar microcontroladores PIC. 2ed. Ayerve. Ecuador. 2004
- [10] www.maxim-ic.com
- [11] www.microchip.com
- [12] <http://www.antofabot.cl>
- [13] http://SCADA_schematic_overview-s.png
- [14] **OGATTA KATSUHIKO.** Sistemas de control Discreto en el tiempo. Segunda Edición, Editorial Prentice Hall, México p114
- [15] CEPE, "Manual de Control de Calidad de Combustibles", Quito: Ed. CEPE,1987.
- [16] HOPSCH, H, "Thermal Methods in Petroleum Analysis", Weintham: Ed. LTH, V.)U1, 1995, 550 p
- [17] **ASTM D2533.** Standard test method for vapor-Liquid ratio of spark-ignition fuels. United States. 1999

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] **INEN 932.** Determinación de la relación de vapor líquido. 2005
- [2] **GALARZA J.** Introducción al funcionamiento de los PIC's. 1ed. agosto 2005.
- [3] **HENAO, José Tomás.** Movimiento, Fuerzas, Energía, Fluidos, y Termodinámica. 1ra Ed, Santillana, Bogotá, 1995.
- [4] Microchip Technology Inc., "PIC16F818/819 Data Sheet, 18-20-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with nanoWatt Technology" 2004.
- [5] **RASHID, Muhamed.** Electrónica de Potencia. Academic press. Canadá. 2001.

8. BIOGRAFIAS

Leonardo Mosquera Anturi



Nacido en Cali (Colombia) el 4 de Marzo de 1982. Obtuvo el título de bachiller en Electricidad Industrial, en Agosto del 2000 en el colegio técnico industrial “Antonio José Camacho”.

Ingresa en la Escuela Politécnica nacional, al mismo tiempo que complementa sus estudios con cursos de: Ingles, en Agosto del 2003, Labview en Octubre del 2005 e Intouch en Marzo del 2006.

En Agosto del 2007 presenta los planos preliminares con el diseño eléctrico para la construcción del actual laboratorio de Control de Calidad de Petrocomercial, Terminal Beaterio, a la unidad de proyectos.

En Mayo del 2009 colaboró para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones en el diseño de líneas telefónicas para Sucumbíos.

Adquirió su título de tercer nivel como Ingeniero en Electrónica y Control, en la Escuela Politécnica Nacional en Septiembre del 2009.

Actualmente se desempeña en el área de generación eléctrica representando la línea de controladores woodward, como ingeniero de proyectos de Turbomotores Ecuatorianos para Petroamazonas

Luis Aníbal Corrales Paucar



El Dr. Luis Corrales realiza sus estudios secundarios en el colegio Experimental Central Técnico en Radiotecnía, obteniendo el título de Bachiller Técnico en Radiotecnía.

Posteriormente se gradúa en 1979 en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. En la Universidad

de Strathclyde en Gran Bretaña, sigue sus estudios de postgrado donde obtiene en 1988 su PhD en Bioingeniería.

Trabajo por diez años como consultor en el área de sistemas en el Banco Interamericano de Desarrollo. Ha dirigido decenas de tesis, incluyendo varias a nivel de maestría, en temas relacionados con la informática, Redes LAN, Redes Digitales Industriales, Instrumentación Biomédica, Domotica, Automatización de procesos industriales, Automatización de invernaderos, Actualmente es Profesor principal de la EPN y es también Instructor CCNA de la academia CISCO en la EPN. Ha dictado charlas y seminarios en varias instituciones educativas del país, así como para varias empresas privadas, en temas relacionados con Redes Industriales Digitales, instrumentación Biomédica, Instrumentación Industrial.