

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PRESIÓN CONTROLADA PARA LA COMPROBACIÓN DE SENSORES EN EL INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL ECUADOR INAMHI

Michael Fernando Guevara Castillo

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí, Ecuador
guevaraec@hotmail.com

Diego Fernando Ruiz Ortiz

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí, Ecuador
diego.ruiz1408@gmail.com

Resumen— El presente artículo describe la implementación de una cámara de presión/vacío que genera en su interior, valores de presión en el rango de 500 a 1050 hPa para el laboratorio de meteorología del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador con el objetivo de mejorar el proceso de calibración de sensores barométricos necesario para la correcta medición de presión atmosférica en campo.

Palabras clave—Cámara de presión/vacío, control automático, neumática, PLC.

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador es una institución dedicada al suministro de información climatológica y sobre los recursos hídricos del país a la comunidad nacional e internacional. Fue fundada en 1961 y desde entonces ha instalado estaciones de medición de variables meteorológicas e hidrológicas a lo largo y ancho del Ecuador con el objetivo de recabar la mayor cantidad de información y monitorear el clima del país [1].

En este proceso de medición es fundamental garantizar que los sensores se encuentren en óptimo estado para evitar que existan mediciones erróneas y, por lo tanto, estos errores se transmitan al área de recolección de datos meteorológicos del INAMHI, causando que la información recopilada y procesada sea inconsistente. Para verificar el estado de cada uno de los sensores se requiere crear un ambiente controlado, en donde se mida la respuesta del sensor ante cambios programados.

La cámara de presión/vacío está diseñada para recrear diferentes ambientes de presión que existen en el territorio

nacional y, de esta manera, probar y ajustar los sensores que serán ubicados en las estaciones de medición.

El sistema está diseñado para que la presión interna sea controlada automáticamente, respondiendo a las necesidades del usuario, comunicándolo con el sistema a través de una interfaz humano-máquina.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE FUNCIONAMIENTO

El desarrollo del sistema se basa en la regulación de la presión dentro de la cámara mediante el control de la cantidad de aire que ingresa y sale de la misma, mediante elementos electrónicos y electro neumáticos.

El funcionamiento del sistema utiliza dos métodos de control para garantizar la precisión de la presión dentro de la cámara. El primero es un lazo cerrado de control en donde la medición de la presión se realimenta desde un transmisor de presión hacia un controlador lógico programable, en donde se procesan los datos y se ajustan los valores de apertura/cierre de la electroválvula proporcional ajustando así la cantidad de aire que se encuentra dentro de la cámara.

El segundo sistema utiliza un controlador de presión dedicado que mejora la precisión del ajuste de la presión, que es un factor sumamente importante ya que el sistema se utilizará para calibrar sensores barométricos, y por lo tanto, se necesita garantizar la precisión del sistema.

La interfaz humano-máquina que se diseñó, es en donde se ingresa la presión a la cual se requiere llegar dentro de la cámara y se selecciona el método de control a utilizar.

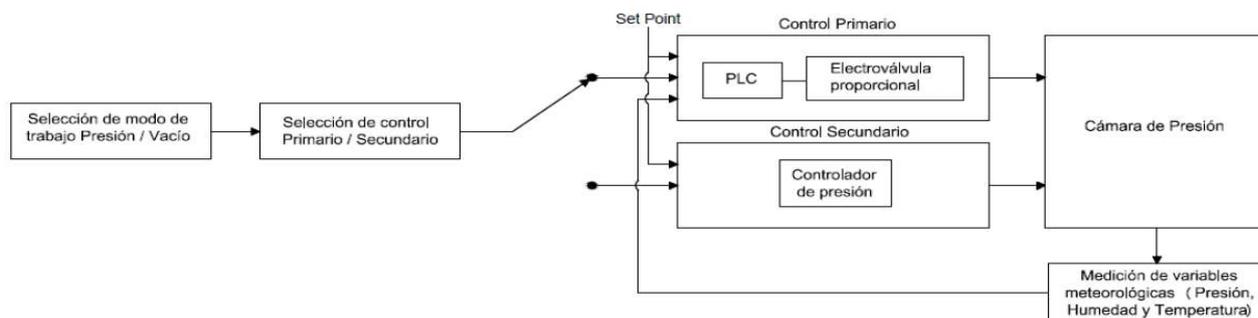


Fig. 1. Diagrama de bloque de funcionamiento del sistema

A. Control Primario

El control primario se encarga de modificar la presión dentro de la cámara hasta 10 hPa antes de lograr el punto deseado debido a que es más rápido que el control secundario.

$$G(s) = \frac{178,8 e^{-1,15 s}}{110,39 s+1} \quad (1)$$

El controlador (PLC) es el elemento principal del sistema ya que se encarga de realizar diversas tareas que aseguran la regulación de la presión de la cámara. Entre las tareas que realiza el controlador se encuentran las siguientes: recibir la señal del transmisor de presión, compararla con una señal de referencia, determina el error entre ambas señales y determinar la acción correctiva necesaria para disminuir este error al mínimo posible. Esta acción correctiva se realiza mediante una electroválvula proporcional que regula la presión de aire existente. El controlador seleccionado también se encarga de la monitorización de las variables meteorológicas de temperatura y humedad dentro de la cámara ya que están ligadas directamente al cambio de presión.

1) Identificación de planta

Para obtener los datos para la identificación de la planta o proceso mediante el toolbox Ident de Matlab, se creó una comunicación vía OPC entre el PLC y Simulink[2]. Se recopilaron los datos del cambio en la presión de la cámara al realizar una prueba de apertura de un 3.2% de la válvula proporcional.

La aproximación que más se ajusta al sistema es el modelo de primer orden con tiempo muerto (PID), resultando en la función de transferencia de la Planta-Proceso descrita en (1).

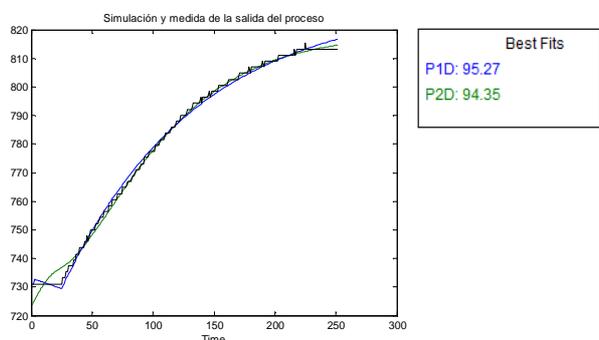


Fig. 2. Aproximación de los modelos usando Ident

2) Diseño del controlador PID

Para el diseño del controlador PID se utilizó las fórmulas propuestas por Ziegler y Nichols [3], que dependen de los términos de la función de transferencia aproximada en la identificación de la planta, obteniendo como resultado la función de transferencia del controlador descrita en (2).

$$K(s) = 115,18 + \frac{0,4347}{s} + 0,575 s \quad (2)$$

B. Control Secundario

Debido a que el propósito de la cámara es de comprobación y calibración de sensores meteorológicos de presión atmosférica, se requiere una alta precisión. Para lograr esto se implementó un ajuste fino adicional al realizado por el PLC y las electroválvulas.

El controlador de presión APEX con válvulas duales permite realizar el control de presión en un elemento cerrado con una precisión de $\pm 0.25\%$ de la escala máxima de presión de trabajo. El dispositivo trabaja a una presión máxima de 30 Psia por lo que el error estimado es de ± 0.075 Psia (5.17 hPa) cumpliendo con las especificaciones de precisión requeridas para la tarea de calibración de sensores.

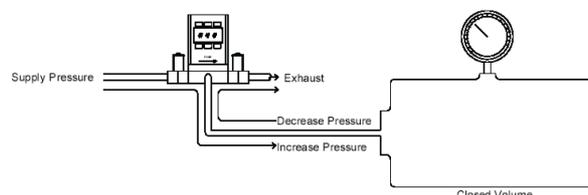


Fig. 3. Diagrama de funcionamiento del control secundario

C. Interfaz humano-máquina

La interfaz humano-máquina sirve de vínculo entre el usuario del sistema [4] y la cámara de presión/vacío. En el sistema existen dos interfaces: una principal en donde se puede realizar cambios en el sistema, y una secundaria con funciones de visualización únicamente.

1) Interfaz Principal

Cuenta con varias ventanas de navegación, siendo la pantalla de Control de Proceso la más importante, porque desde esta se realizan los cambios en la presión requerida y se inicia o detiene el sistema.

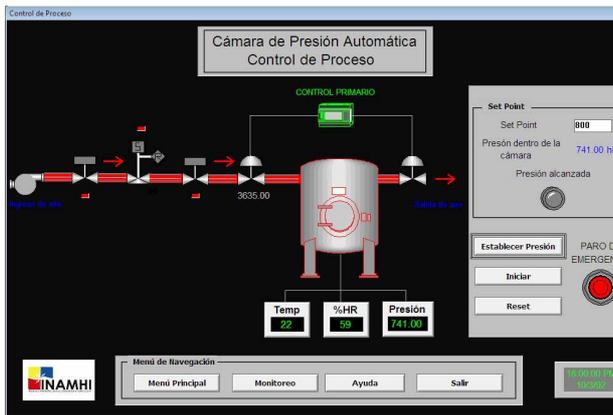


Fig. 4. Ventana de Control del Proceso

2) Interfaz Secundaria

El PLC tiene incorporado una pantalla de cristal líquido para visualización de los estados de las entradas y salidas digitales, dirección de IP, cambio de modo, de ejecución a programación y una opción de display del usuario. Esta opción que permite programar diferentes ventanas en la LCD incorporada se usó para tener una interfaz de usuario en el PLC y poder monitorear las variables sin depender del computador [5].



Fig. 5. Pantalla de Inicio interfaz secundaria

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

La cámara de control de presión por ser un instrumento de calibración y medida de los diferentes sensores que se

encuentran ubicados alrededor del país tuvo que ser sometida a distintas pruebas que permitan probar la confiabilidad y correcto funcionamiento.

A. Pruebas de Estanqueidad

1) Ensayo directo de burbuja

Se sometió a presión el sistema ensayado y se utilizó una solución burbujeante por el exterior que pueda poner de manifiesto una eventual fuga, dicha prueba dio resultados negativos confirmando la hermeticidad del sistema.

2) Ensayo de presión en un periodo temporal preestablecido

Para determinar la estanqueidad de la cámara se presurizó hasta una presión de 1050 hPa y se dejó el sistema en reposo por 18 horas continuas registrando datos cada 30 segundos con un sensor patrón de campo.

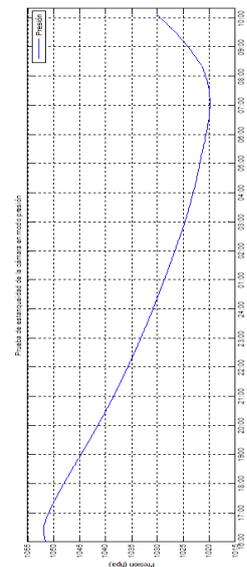


Fig. 6. Curva de presión durante un periodo de 18 horas

Con esta prueba se demuestra la hermeticidad del sistema ante cambios positivos de la presión, se observa en la gráfica una oscilación de dicha variable debido a un movimiento interno de las partículas de aire y la influencia de agentes externos como la temperatura y la humedad. Se tiene la certeza de la ausencia de fugas ya que la presión se vuelve a incrementar después de un largo periodo de tiempo sin la acción de una fuente neumática.

3) Ensayo de vacío en un periodo temporal preestablecido

Para la prueba de vacío se estableció la presión interna de la cámara en 550 hPa y se dejó el sistema en reposo por 18 horas continuas registrando datos con el sensor patrón.

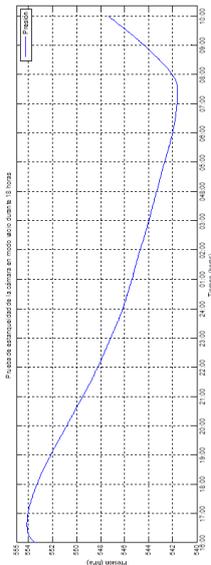


Fig. 7. Curva de vacío durante un periodo de 18 horas

Al igual que en la prueba de presión, la oscilación de la presión interior se debe a la influencia de las variables meteorológicas externas. Se tiene la certeza de la ausencia de fugas ya que la presión sigue decreciendo por debajo de la presión atmosférica (730 hPa) sin la acción de una fuente de vacío.

B. Pruebas de respuesta ante un cambio de referencia

Estas pruebas se realizaron para comprobar la respuesta del sistema ya controlado ante un cambio en la presión requerida por parte del operador del equipo.

1) Cambio de Referencia de 730 hPa a 850 hPa

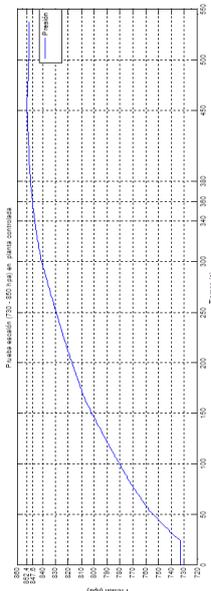


Fig. 8. Curva de respuesta del sistema, cambio de 730 hPa a 850 hPa

Tomando como base del 2% de la variación en la referencia para el tiempo de estabilización del sistema, se determina que la presión debe estar entre 847,6 – 852,4 hPa para considerarse estable.

$$T_{ss} = 360 \text{ s}$$

Para el valor de sobre impulso se toma los datos estadísticos de la gráfica el cual nos da el valor máximo de presión 851.9 hPa.

$$Mpt = 1,58 \%$$

Para el error en estado estacionario se usó el valor estacionario observado en la gráfica.

$$E_{ss} = 0,416 \%$$

2) Cambio de Referencia de 730 hPa a 600 hPa

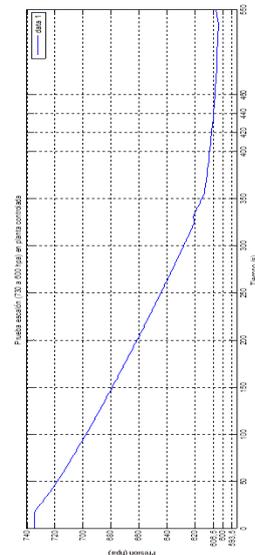


Fig. 9. Curva de respuesta del sistema, cambio de 730 hPa a 600 hPa

Tomando como base del 5% de la variación en la referencia para el tiempo de estabilización del sistema, se determina que la presión debe estar entre 606,4 – 553,6 hPa para considerarse estable.

$$T_{ss} = 440 \text{ s}$$

Para el valor de sobre impulso se toma los datos estadísticos de la gráfica el cual nos da el valor mínimo de presión 603 hPa.

$$Mpt = 0 \%$$

Para el error en estado estacionario se usó el valor estacionario observado en la gráfica.

$$E_{ss} = 2,3 \%$$

C. Exactitud del sistema de control automático de presión

1) Exactitud del sistema en presión

Como se evidencia en las pruebas realizadas se tiene un error de 0,5 y 0,78 hPa en distintas pruebas, promediando estos valores tenemos una exactitud de 0,64 hPa.

2) Exactitud del sistema en vacío

En este modo se tuvo resultados inferiores que a los del modo presión, se tiene un error de 3 y 2,1 hPa en las dos pruebas realizadas, el promedió de dichas cantidades nos da como resultado una exactitud de 2,3 hPa.

D. Análisis Económico

Para poder evaluar económicamente la cámara de presión automática se ha comparado con una cámara manual de similares características de marca Theodor Friedrichs®.

TABLA I. TABLA COMPARATIVA DE CÁMARA DE PRESIÓN DEL INAMHI CON CÁMARA THEODOR FRIEDRICHS®

Parámetros de comparación	Cámara de presión/vacío INAMHI	Cámara de presión/vacío Theodor Friedrichs®
Funciones	Calibración de aneroides, baro transmisores, barógrafos, barómetros de mercurio	Calibración de aneroides, baro transmisores, barógrafos, barómetros de mercurio
Parámetros meteorológicos medibles	Presión, Temperatura, Humedad relativa	Presión
Parámetros controlados	Presión	Presión
Rango de operación	300-1050 hPa	100-1100 hPa
Cuerpo de la cámara	Cilíndrico de acero AC36	Cilíndrico de acero AC36
Sellado	Empaques de nitrilo vulcanizado	Junta tórica
Acrílico	25 mm	40 mm
Conectores Eléctricos	18	8
Regulación de	Automática	Manual

presión		
Costo	9943,9 USD	51464,2USD

Se determina con las comparaciones realizadas que la cámara diseñada y elaborada en el INAMHI presenta mejores prestaciones y mayor número de funciones que la cámara extranjera, así mismo uno de los parámetros a destacar es el funcionamiento automático de la cámara del INAMHI comparada con el funcionamiento manual de la cámara Theodor Friedrichs®.

CONCLUSIONES

El diseño estructural de la cámara de presión / vacío junto con la acción de los empaques utilizados, garantizan la total hermeticidad requerida por un equipo de calibración de sensores barométricos para meteorología.

Gracias a su sistema de control automático permite al usuario establecer cualquier presión dentro del rango de operación del equipo, con una exactitud de 0,64 hPa para el modo presión y de 2,3 hPa para el modo vacío.

El tiempo promedio de estabilización para cambios positivos de presión es de 370 segundos y presiones negativas en un tiempo promedio de estabilización de 480 segundos. Estos tiempos se deben a la capacidad de la bomba y al amplio volumen de la cámara ($0.5 m^3$).

El costo de los materiales y la construcción de la cámara de presión automática es el 19,32% del precio de una cámara de fabricación extranjera con lo que se demuestra que los procesos de Ingeniería mecánica, electrónica y neumática desarrollados en el Ecuador permiten diseñar y construir equipos de calibración de alta calidad y bajo costo.

REFERENCIAS

- [1] Metrología en el Ecuador, http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=141:datos-generales&catid=58:ique-es-el-&Itemid=142, Consulta: 15 de Abril de 2012.
- [2] Mathworks, *System identification toolbox*, <http://www.mathworks.com/products/sysid/>, Consulta: 3 de Agosto de 2012.
- [3] Mauricio Améstegui Moreno, *Apuntes de Control PID*, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz – Bolivia, Enero de 2001.
- [4] Cobo, Raúl, *El ABC de la Automatización HMI*, <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>, Consulta: 10 de Mayo de 2012.
- [5] Rockwell Automation, *Technical Capabilities of the MicroLogix 1100 Embedded LCD*, http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/1763-wp001_-en-e.pdf, Consulta: 10 de Septiembre de 2012.