

## SISTEMA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN PARA UN QUEMADOR EXPERIMENTAL DE ALTA PRESIÓN TIPO CAÑÓN

### RESUMEN

Este documento presenta el diseño e implementación de un sistema de instrumentación y control para un quemador experimental de alta presión de ACPM tipo cañón. Se describen cada uno de los módulos diseñados, los sensores seleccionados para la medición de presión, caudal de combustible, temperatura de los gases de combustión, detección de llama y posición para el control del flujo de aire.

**PALABRAS CLAVES:** Instrumentación, control, quemador experimental de ACPM de alta presión.

### ABSTRACT

*This paper shows the design and implementation of the control and instrumentation system for an experimental diesel fuel high pressure burner cannon type. The designed modules are described, as well as chosen sensors for pressure, fuel flow, combustion gases temperature, flame detection and position sensor for air flow control.*

**KEYWORDS:** Instrumentation, control, experimental diesel fuel high pressure burner.

**JORGE HUMBERTO ALZATE**  
Ingeniero Electricista  
Asistente de Investigación  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jhaq@ohm.utp.edu.co

**JUAN E. TIBAQUIRÁ G. M.Sc.**  
Profesor Asistente, Ing. Mecánica.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Grupo de Investigación en Sistemas  
Térmicos y Potencia Mecánica.  
juantiba@utp.edu.co

**GERMÁN A. HOLGUÍN L. M.Sc.**  
Profesor Asistente, Ing. Eléctrica.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Grupo de Investigación en Control e  
Instrumentación.  
gahol@ohm.utp.edu.co

### 1. INTRODUCCIÓN

Un quemador de ACPM de alta presión tipo cañón es un dispositivo utilizado para quemar combustibles líquidos. El grupo de investigación en Sistemas Térmicos y Potencia Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira diseñó y construyó un quemador experimental para dotar al laboratorio de ciencias térmicas de un dispositivo que permita a los estudiantes y profesores interactuar de forma directa con los fenómenos de la combustión. Dicho quemador está compuesto por los siguientes subsistemas [1]:

- Sistema de combustible: consiste de un filtro, una bomba de engranajes, una válvula reguladora de presión, una válvula de cierre y una tobera atomizadora.
- Sistema de alimentación de aire: consiste de un ventilador accionado por un motor eléctrico, una válvula mariposa accionada por un motor paso por paso, que permite regular el caudal de aire de forma discreta, un tubo para el flujo de aire, que rodea la tobera, un montaje de electrodos, y un deflector de llama para generar turbulencia en el aire para mejorar las condiciones del proceso de combustión.
- Sistema de encendido: compuesto de un transformador elevador (115 / 10000 V) y un par de electrodos donde se genera un arco eléctrico que aporta la energía necesaria para iniciar la combustión [2].

- Sistema de control: el quemador tiene dos sistemas de control general: uno manual con base en lógica de contactos y uno automático desde un computador.

En la figura 1 se observan los componentes y la disposición del quemador desarrollado.

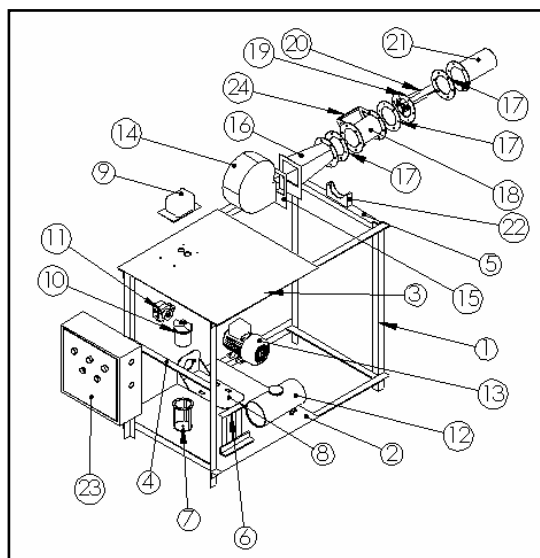


Figura 1. Partes del quemador construido

| No | Nombre                        |
|----|-------------------------------|
| 1  | Soporte                       |
| 2  | Placa Inferior                |
| 3  | Placa Superior                |
| 4  | Soporte de la Caja de Control |

|    |                                 |
|----|---------------------------------|
| 5  | Soporte del Cañón               |
| 6  | Soporte Tanque                  |
| 7  | Soporte Filtro                  |
| 8  | Soporte Bomba                   |
| 9  | Transformador                   |
| 10 | Filtro                          |
| 11 | Bomba                           |
| 12 | Tanque de combustible           |
| 13 | Motor de la Bomba               |
| 14 | Ventilador Centrífugo           |
| 15 | Empaque del Ventilador          |
| 16 | Transición                      |
| 17 | Empaques Circulares             |
| 18 | Ducto del Damper                |
| 19 | Estrella Portaelectrodos        |
| 20 | Electrodos                      |
| 21 | Cañón                           |
| 22 | Cuna del Cañón                  |
| 23 | Caja de Control                 |
| 24 | Soporte de Mecanismo del Damper |

Tabla 1. Numeración de las partes del quemador.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Un sistema de instrumentación y control para este quemador debe ser capaz de medir simultáneamente todas las variables físicas involucradas como caudal de combustible, presión en la tubería que lo transporta, temperatura de los gases de combustión, presencia de fuego en la cámara de combustión, posición actual del dispositivo que regula el suministro de aire para la combustión (válvula mariposa) y debe ser capaz también de controlar el dispositivo regulador de aire además de accionar el quemador en forma precisa y segura.

Para resolver el problema, se diseñó un sistema de control e instrumentación dividido en módulos con la capacidad en operar en conjunto o de forma independiente:

- Módulo de acondicionamiento de señal.
- Módulo de puesta en marcha.
- Módulo de control de posición.

**2.1 Módulo de acondicionamiento de señal.** Cumple con una de las funciones más importantes dentro del sistema de instrumentación, ya que es el encargado de filtrar, aislar y ajustar las señales capturadas por los sensores de todas las variables físicas que definen el funcionamiento del quemador [3], lo que permite conectarlas a una DAQ o tarjeta de adquisición de datos.

### 2.1.1 Medición de los parámetros Caudal y Presión.

Para la medición de estas dos variables se seleccionó un conjunto sensor-acondicionamiento de señal. El sensor de

presión debía ser tipo Industrial para trabajo pesado, por lo que se utilizó el SEN 3296 marca Kobold. El de caudal debía estar en el rango de operación del quemador por lo que el más ajustado de la misma marca fue el DPM-L343 tipo turbina. Los sensores en mención pueden apreciarse en las figuras 2, 3, 4 y 5.



Figura 2. Sensor de presión



Figura 3. Sensor de presión instalado.



Figura 4. Sensor de caudal



Figura 5. Sensor de caudal instalado

Ambos sensores ofrecen una salida analógica en corriente de 4-20 mA DC, según la norma internacional IEC 381-1 de 1971 y utilizada por numerosos transmisores intercambiables. Aquí se utiliza una estructura de bucle de corriente sobre conductor de cobre de par trenzado. La principal ventaja de emplear 4 mA para el valor 0 de la variable, es que permite distinguirlo de un circuito abierto o apagado (0 mA.) [4].

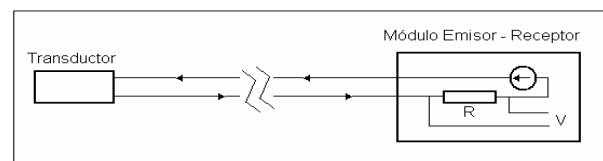


Figura 6. Estructura bucle de corriente

La magnitud medida se envía por la línea y es detectada en el extremo receptor midiendo la caída de tensión en una resistencia de precisión. Ésta resistencia se escoge de tal manera que ofrezca un nivel de voltaje manejable por el sistema de amplificación. Para este diseño el valor de la resistencia escogida fue de 46.4 ohmios y se utilizó una con tolerancia de 1%.

La señal proveniente de los sensores se filtra con una frecuencia de corte de 10 Hz usando el filtro MF10CCN

en configuración pasa-bajos tipo Butterworth de cuarto orden con ganancia unitaria. Después esta señal se hace pasar por el amplificador operacional de Instrumentación, para este caso se eligió el AD620AN de Analog Devices por su excelente rechazo al modo común CMRR y muy alta impedancia de entrada, configurado para una ganancia de 10, con lo que se obtiene un valor de salida máximo no mayor a 10 voltios que es el límite máximo permitido por la DAQ que realizará el proceso de digitalización.

**2.1.2 Medición del parámetro Temperatura.** El objetivo de este sistema es medir la temperatura de los gases que se producen dentro de la cámara de combustión. Este módulo se diseñó para termopares tipo K y su respectivo acondicionamiento de señal.

El principal inconveniente de los termopares es su necesidad de “compensación de cero”. Esto se debe a que en algún punto, habrá que empalmar los cables del termopar con un conductor normal de cobre para la lectura del voltaje. En este punto se producirán dos nuevos termopares con el cobre generando un voltaje proporcional a la temperatura ambiente en el punto del empalme, por ésta razón, no se puede medir directamente el voltaje presente entre los dos extremos libres del termopar (voltaje de Seebeck). [5]

En el sistema de acondicionamiento que se diseñó para la medición de temperatura se utilizó un método de compensación eléctrica, que implica la utilización de un dispositivo sensor para medir la temperatura de la junta de referencia. La utilización de este método permitió obviar el cálculo de la compensación ya que el voltaje de salida del sensor de junta es aplicado directamente al termopar con la polaridad adecuada corrigiendo automáticamente la salida del termopar. El sensor utilizado para la medición de la temperatura de junta fue un LM35. El voltaje de salida es preamplificado, filtrado y finalmente amplificado para ser llevado a la DAQ.

**2.1.3 Detector de llama.** En cuanto a la seguridad, el sensor detector de llama es uno de los elementos más importantes dentro del sistema quemador. El detector de llama es el dispositivo de seguridad que detecta cuando hay presencia de llama dentro de la cámara, ayudando a prevenir cualquier tipo de explosión causada por la ignición de combustible acumulado durante un fallo por ausencia de llama. El sensor utilizado en el quemador experimental fue el detector de llama Sulfuro de Cadmio C554A de Honeywell. Ver figuras 7 y 8.

Por ser un dispositivo que modifica su resistencia eléctrica al ser expuesto a la llama, es necesario convertir la variación del parámetro resistencia en una variación de voltaje que pueda ser entendida por los amplificadores de instrumentación. Para ello se utilizó el método de medida por deflexión en un puente de Wheatstone.



Figura 7. Sensor de llama

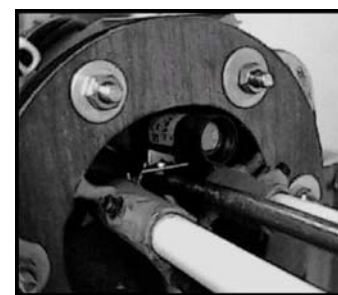


Figura 8. Sensor de llama instalado

**2.1.4 Sensor de posición de la válvula.** El dispositivo que se utilizó para medir la posición y el desplazamiento angular de la válvula tipo mariposa es un potenciómetro lineal polarizado con 10 voltios. El potenciómetro registra la ubicación de la válvula, ya que ambos tienen sus ejes alineados y acoplados. El *dampner* tiene un ángulo de giro de aproximadamente 90°.

La señal eléctrica que envía el potenciómetro lineal es registrada por un amplificador de instrumentación AD620 con ganancia unitaria y que actúa más como acoplador de impedancias entre el sensor y la DAQ [6].

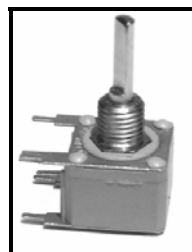


Figura 9. Potenciómetro lineal.

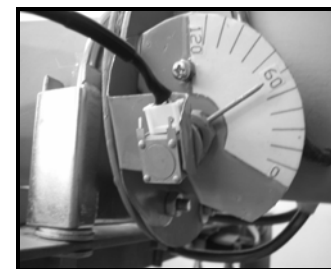


Figura 10. Potenciómetro instalado.

**2.2 Módulo de puesta en marcha.** El sistema de puesta en marcha que gobierna el arranque del quemador experimental de ACPM, está dividido en dos subsistemas, uno manual y otro automático, que de manera independiente buscan cumplir con los diferentes objetivos propuestos y con las normas existentes en cuanto al encendido del mismo.

El equipo es operado desde una caja de control que contiene los elementos necesarios para ser accionado en cualquiera de los dos modos de arranque. A través de un selector se determina el modo en el que se desea ejecutar la rutina de puesta en marcha.

El módulo de puesta en marcha manual del dispositivo quemador, se puede definir como un sistema de control escalar en lazo abierto. Puesto que aquí se utiliza el sistema de encendido (sistema de control), en cascada con el equipo (planta) para obtener la respuesta deseada, la cual no es más que lograr la combustión.

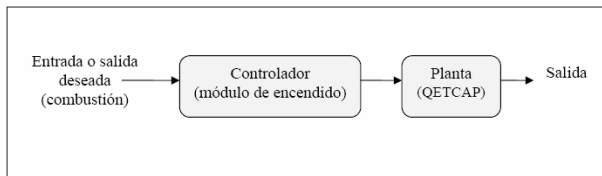


Figura 11. Sistema de control puesta en marcha manual.

La puesta en marcha del equipo desde el módulo de encendido manual, se realiza en forma automática bajo el concepto de la lógica de contactos, cuyos elementos principales son los contactores.

El módulo de puesta en marcha automático implementado en el quemador, reúne las dos herramientas básicas necesarias en los sistemas de control modernos, hardware y software. Éste módulo puede ser definido como un sistema de control en lazo cerrado, ya que aquí se utiliza una medida de la salida actual para compararla con la respuesta deseada que no es más que la presencia de fuego a la salida del cañón [7].

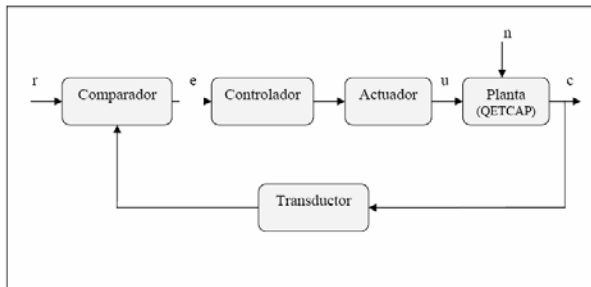


Figura 12. Sistema de control puesta en marcha automático.

La puesta en marcha del equipo desde el módulo automático, se realiza con base en el concepto de la lógica programada. Aquí se combinan el software, la DAQ y una interfaz de salida con circuitos electrónicos externos. La interfaz de salida recibe las órdenes del software a través de la DAQ, en forma de señales TTL (Lógica transistor transistor), por ésta razón la interfaz puede ser denominada como un módulo de salidas lógicas por relé.

Para pasar el selector de modo de encendido a automático, es necesario que el computador esté listo, esto es: conectado a la interfaz de encendido y con el programa QETCAP, que es el software de control desarrollado en LabVIEW ejecutándose.

El software mencionado es el que gobierna las etapas del encendido a través del módulo de salidas lógicas por relé, mientras monitorea de forma constante el sensor de llama que envía la señal que realimenta el sistema de control.

Cuando no se detecta fuego a la salida del cañón después del tiempo predeterminado, la rutina de control automático realiza tres intentos de puesta en marcha. De no lograr encender el combustible el quemador se apaga y aparece un mensaje en pantalla que indica que debe

haber algún problema con el equipo y se recomienda su revisión antes de un nuevo intento.

La interfaz diseñada cuenta con seis salidas para relé, manejadas por una etapa de interruptores con transistor. Éste diseño incluye también una etapa más de aislamiento eléctrico con la utilización de optoacopladores con el propósito de garantizar un alto grado de seguridad y aislamiento eléctrico entre las etapas de control y potencia.

**2.3 Módulo para posicionar el dispositivo regulador de aire.** La función de éste módulo es la de regular la cantidad de aire que pasa a través del cañón hacia la cámara de combustión.

La cantidad de aire que alimenta la llama, juega un papel muy importante en cuanto a la calidad de la combustión. La posibilidad de variar el paso de aire en forma discreta permite realizar diferentes estudios sobre el fenómeno de la combustión. Además, gracias a este sistema, se puede realizar el barrido de gases previo al encendido.

Para regular el paso de aire a través del cañón, el equipo utiliza una estructura a manera de mariposa que gira sobre un eje y que gradualmente bloquea el paso de aire, su posición estará gobernada por un motor paso por paso (Ver figura 13) de 1.8 grados por etapa acoplado al eje del damper por medio de un engranaje del tipo cónico con una relación de 3 a 2. Esto significa que por cada paso que realiza el motor (1.8°) el damper se desplazará 1.2°. El damper tiene como referencia cero grados que corresponde a completamente cerrado (sin paso de aire) y completamente abierto (máximo paso de aire) en 90°.

El sistema está compuesto por:

- Sensor de posición.
- Motor paso por paso.
- Interfaz de control.

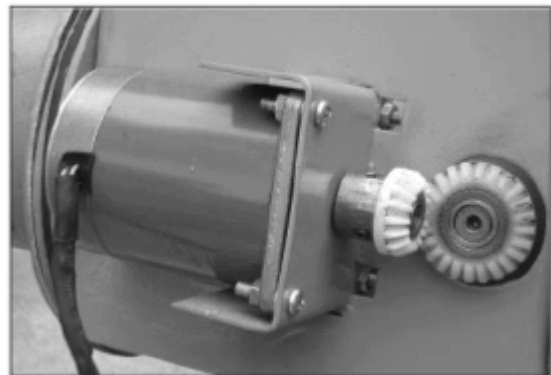


Figura 13. Motor paso por paso instalado.

### 3. SOFTWARE DESARROLLADO

El programa principal que gobierna la operación del quemador está basado en una estructura de detección de eventos y está diseñado de forma tal que simultáneamente se estén realizando la adquisición y presentación de los datos. Todas las demás funciones, como por ejemplo: la puesta en marcha, el control del motor paso por paso, la creación de una base de datos y otras las realiza el programa principal cuando ocurre el evento asociado, que en este caso sería presionar un botón sobre el panel frontal [8].

Después de ejecutarse cualquier acción asociada a cada evento, se debe retornar al programa principal ya sea instantáneamente o a través de una instrucción impuesta por el usuario. En todas las subrutinas se hace vigilancia constante del equipo a través del sensor detector de llama como una norma de seguridad. Cuando no hay presencia de fuego a la salida del cañón, el quemador se apaga automáticamente.

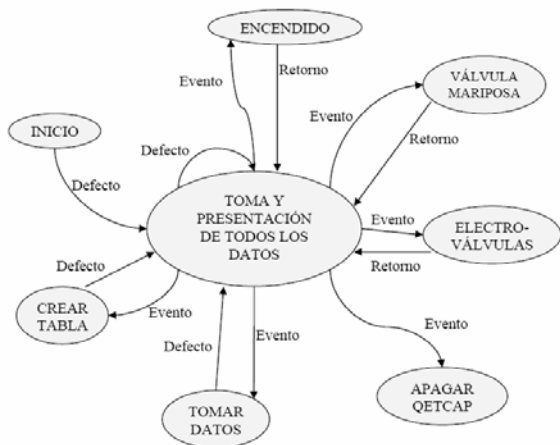


Figura 14. Máquina de estados del software desarrollado.

El panel frontal tiene la apariencia que se muestra en la figura 15, aquí se puede observar la disposición de todos los medidores y controles utilizados.



Figura 15. Panel frontal programa principal

Cuando el usuario desee, puede tomar los datos actuales haciendo clic sobre el botón “TOMAR DATOS”. Estos datos se irán guardando en memoria cada vez y estarán disponibles en el momento en que el usuario desee crear una tabla con ellos. Ésta tabla se crea automáticamente abriendo una hoja de cálculo de Excel cuando se oprima el botón “CREAR TABLA”.

### 4. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un sistema de instrumentación y control para el quemador experimental tipo cañón de alta presión de ACPM cuya finalidad principal es la de servir como herramienta didáctica para realizar estudios sobre el fenómeno de la combustión en el laboratorio de ciencias térmicas de la Universidad Tecnológica de Pereira. En la figura 16 se muestra el quemador en funcionamiento.



Figura 16. Banco de pruebas quemando.

En la figura 17 se muestra el PC de control y el quemador con el sistema de instrumentación y la cámara de combustión acoplada.



Figura 17. Quemador instrumentado.

Gracias al sistema de instrumentación implementado ahora es posible conocer constantemente el estado de las diferentes variables durante la operación del equipo de una manera segura y didáctica.

El sistema de control que gobierna la puesta en marcha del banco de pruebas quemador experimental de ACPM,

debió ser dividido en dos subsistemas, uno para operación manual y otra automática, ya que no era viable eliminar por completo la posibilidad de realizar un encendido sin la presencia del sistema de un computador.

En el desarrollo del software que gobierna el funcionamiento del equipo, se tuvo especial cuidado con las normas de seguridad que se deben tener al momento de la operación del mismo. De la misma forma, el diseño utilizado en el hardware procura una operación segura. Se respetaron las normas existentes en cuanto a instalaciones eléctricas dentro de este tipo de sistemas.

El sistema implementado permite un proceso de combustión controlado y monitoreado constantemente al interior de la cámara de combustión.

La instrumentación de este sistema QETCAP constituye un aporte al grupo de investigación en Sistemas Térmicos y a la Facultad de Ingeniería Mecánica, ya que quedan provistos de las herramientas necesarias para realizar estudios más profundos de los procesos de combustión y además ahora es posible realizar prácticas con estudiantes de pregrado en estas temáticas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] ACOSTA OSORIO, Andrés Antonio y CARMONA GARCÍA, Mauricio Yilmer. *Diseño, Construcción y Pruebas de un Quemador Experimental Tipo Cañón de Alta Presión de ACPM para uso didáctico*. Pereira, 2003. Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica.

[2] BERREEN, Hans Von. *Escuela del Técnico Electricista, Técnica de la alta tensión*, Tomo XII. Labor, 1961.

[3] *LabVIEW Data Acquisition Basics Manual*. Número de parte: 320997E-01. Austin Tx: National Instruments Corporations, 2000. Disponible en formato pdf en el CD de LabVIEW.

[4] CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. 6ª Edición. Alfaomega Marcombo Boixareu Ed., Bogotá, 1998.

[5] PÁLLAS ARENY, Ramón. *Sensores y acondicionadores de señal*. 3 ed. Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, España. 2001.

[6] *Curso Práctico de Electrónica Industrial y Automatización*: CEKIT S.A. Tomos I y II. Bogotá

[7] GIRALDO, Didier y TABARES, Iván. *Teoría de control*. Universidad Tecnológica de Pereira

[8] *LabVIEW User Manual*. Número de parte 320999D-01. Austin Tx: National Instrument Corporation, 2003. Disponible en formato Pdf en el CD de LabVIEW.