

CAPÍTULO II

El sistema explicado en el capítulo anterior controla el flujo de gas combustible de la cámara de combustión de la turbina de gas. Como ya se sabe, una mala operación de este equipo es causa de pérdidas en la producción y de tiempo indefinido, por no tener ubicado el error, o de una mala operación del equipo. Una sola válvula es capaz de realizar todo el proceso (comenzar el control de flujo de ignición, el funcionamiento en vacío y limitar el control).

El proyecto realizado está enfocado en la válvula AMOT de control de combustible de origen estadounidense y su controlador modelo 8412.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA AMOT

Una correcta selección del tamaño de la válvula y su coeficiente de flujo (C_v) se basa en las presiones y flujos de la turbina. Los coeficientes de flujo para cada tamaño de válvula se listan en la tabla 2.1.

Diámetro de la válvula (pulgada)	Coficiente de flujo (C_v)
1	2
1	5
2	12
2	25
2	30
3	60

Tabla 2. 1 Coeficientes de flujo para cada tamaño de válvula (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

La selección del tamaño de la válvula se basa en la capacidad de manejo de gas que se requiera, para éste proyecto se emplea la válvula de 3 pulgadas y su coeficiente de flujo es de 60.

Cabe mencionar que la válvula de combustible no está diseñada para cierre hermético, como se muestra en la Tabla 2.2, es por eso que nuestro coeficiente de flujo siempre iniciará en 0.1 con una apertura de 0 %.

Porcentaje de apertura	Cv = 12	Cv = 25	Cv = 30	Cv = 60
0%	0.1	0.1	0.2	0.2
5%	0.1	0.2	0.3	1.2
11%	0.3	0.4	0.6	3.4
22%	1.0	1.7	2.2	8.5
33%	2.1	3.5	4.6	14.8
44%	3.5	5.8	7.7	22.0
55%	5.4	8.9	11.9	29.9
66%	7.5	12.4	16.5	38.2
77%	10.1	16.7	22.2	45.7
88%	12.5	20.6	27.5	53.0
100%	14.8	24.4	32.6	59.0

Tabla 2. 2 Coeficientes de flujo con respecto al porcentaje de apertura (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

Las características de flujo de combustible de las válvulas son aproximadamente lineales, como se puede apreciar en la Figura 2.1

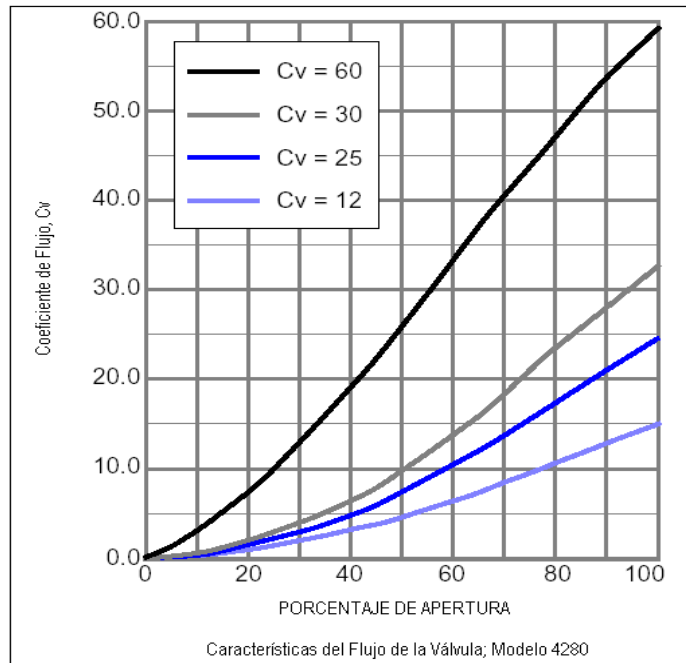


Figura 2.1 Flujo de combustible (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

Las características de la válvula AMOT se dividen de la siguiente manera: partes mecánicas y partes electrónicas. Se mencionarán las más relevantes para conocer sus componentes y cómo realiza su función el equipo.

2.1.1 MECÁNICA DE VÁLVULA DE COMBUSTIBLE MODELO 4280

El modelo de la válvula 4280 incluye la válvula rotatoria de gas combustible y un actuador rotatorio. El actuador, yugo y dispositivos de ensamble son idénticos para todos los tamaños de las válvulas (1 pulg, 2 pulg y 3 pulg.), como se muestra en la Figura 2.2.

La válvula de combustible es un diseño rotatorio balanceado con resolución precisa de control de flujo a través del amplio rango de operación de la turbina, desde su ignición hasta plena carga.

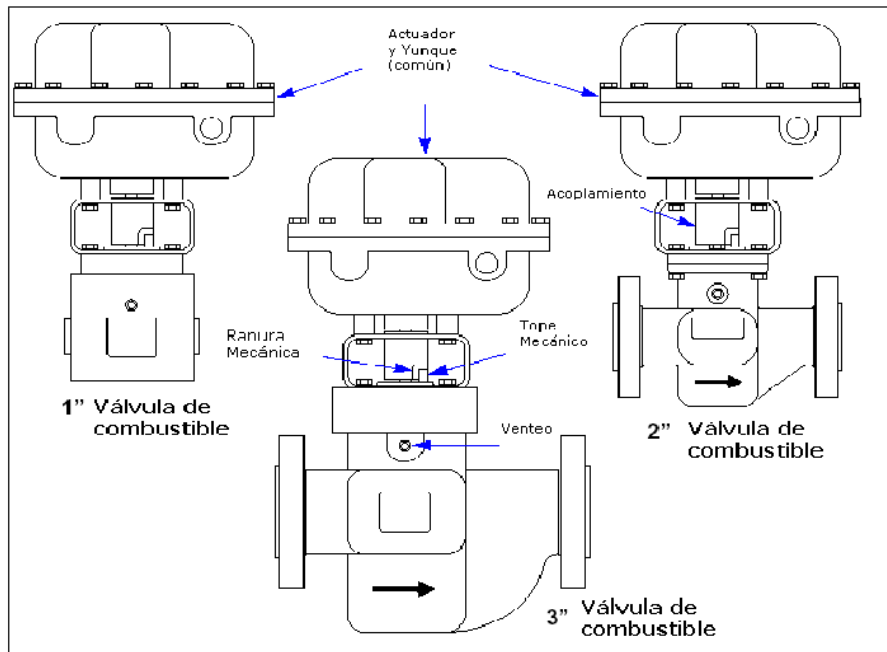


Figura 2.2 Válvula de combustible (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

La dirección del flujo de gas está indicada por la flecha en los cuerpos de las válvulas de 2 pulg. y 3 pulg.

El actuador común, tiene un motor a pasos controlado digitalmente y la posición de retroalimentación es proporcionada por un encoder digital. El actuador puede producir arriba de 50 N•m de torque, y una rotación de 60° en 250 ms.

El “tope” mecánico del actuador está localizado dentro de la cabeza del actuador, como se muestra en las Figuras 2.3 y 2.4. A su vez, la posición completamente abierta de la válvula es alcanzada cuando el actuador de la válvula está girado en la dirección de las manecillas del reloj hacia el tope mecánico y viceversa. La posición completamente cerrada es alcanzada cuando el actuador de la válvula está girado en la dirección contraria de las manecillas del reloj hacia el tope mecánico.

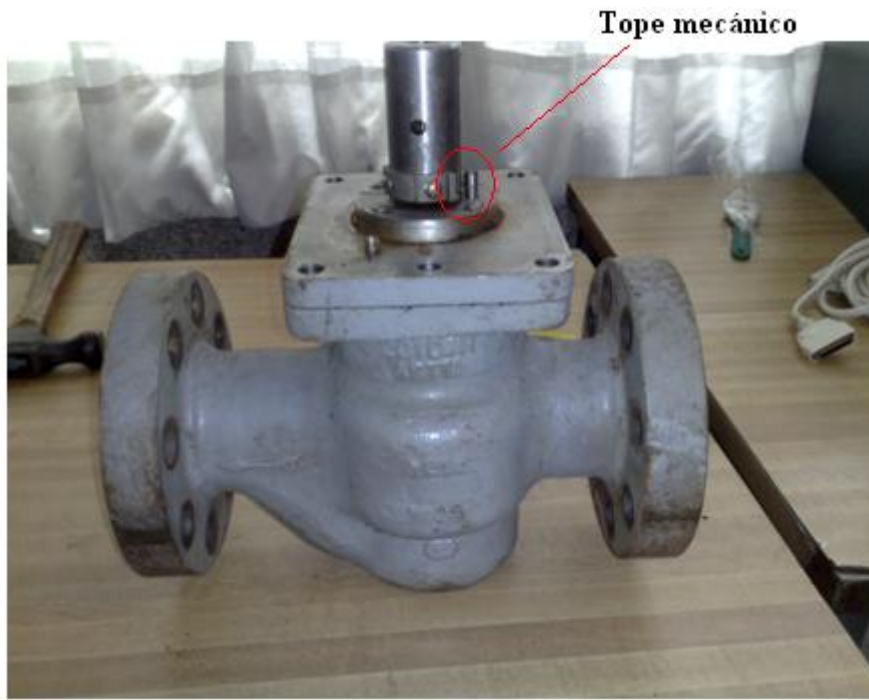


Figura 2.3 Tope mecánico



Figura 2.4 Tope mecánico

2.1.2 ELECTRÓNICA DEL SISTEMA DE CONTROL DEL ACTUADOR MODELO 8412

Cada válvula de combustible, sin importar su tamaño, usa el mismo sistema de control, el cuál es controlado por un microprocesador de alta velocidad. Se cuenta con una EEPROM para almacenar los parámetros de configuración.

La Figura 2.5 muestra el funcionamiento en un diagrama de control para la válvula de combustible del sistema de control de lazo cerrado.

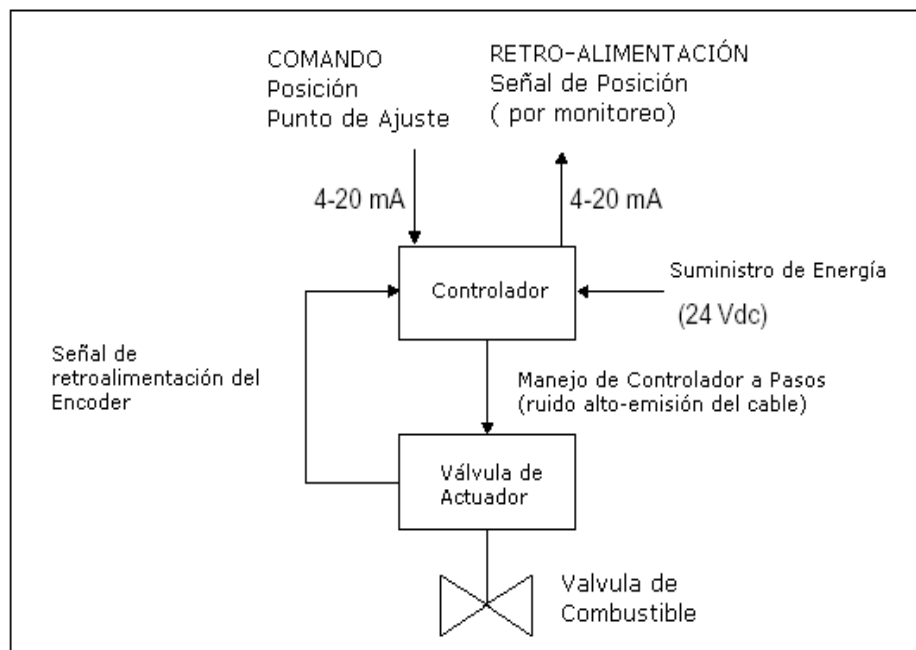


Figura 2.5 Sistema de control de lazo cerrado (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

El sistema de control recibe una señal de 4-20mA en la entrada, para regular la apertura de la válvula y puede ser usada también para monitorear la posición de la válvula de combustible. Esta señal es convertida a un valor digital de 12 bits usando un convertidor analógico digital, que es entonces comparado con la posición actual del actuador. Ésta es la función importante que realiza el controlador; siempre comparar la posición del punto de ajuste (Set Point) con la posición actual del actuador recibida desde el codificador (encoder).

Es importante mencionar que la señal que recibe de entrada siempre empieza en 4 mA, se hace de esta manera ya que es la forma segura de saber que opera el controlador, y en caso de falla que el origen no es el suministro de energía.

Utilizando un algoritmo de control PID, el controlador calcula una señal de error, y determina la dirección y ángulo que el motor a pasos requiere moverse para llegar a la posición actual que demanda el punto de ajuste (Set Point).

El sistema de control está diseñado para detener la válvula si existe alguna falla en el suministro de energía DC, o un error en la posición del codificador de la señal de retroalimentación, o si la diferencia entre la posición requerida del punto de ajuste (Set Point) y la posición del codificador de retroalimentación excede 5% por 5 segundos.

Un error de posicionamiento en el punto de ajuste (Set Point) hará que el controlador se desconfigure.

2.1.3 REQUERIMIENTOS EN LA ALIMENTACIÓN DE ENTRADA

-La energía del controlador (8412) necesita de 24 VCD (18-32VCD).

-La potencia consumida debe ser 125 W máximo.

-La alimentación de la válvula no debe exceder los 24 VCD.

-La señal de posición de la demanda debe estar dentro de un rango de 4-20mA.

-Antes de instalar la válvula, debe asegurarse que el tamaño (Cv) sea el correcto, y que sea apropiada para las condiciones ambientales, además de las condiciones específicas de voltaje y frecuencia de la línea de energía.

2.1.4 REQUERIMIENTOS DE CABLEADO

En la Figura 2.6 se puede apreciar la localización y las funciones de los cables requeridos para el controlador de la válvula de combustible rotatoria.

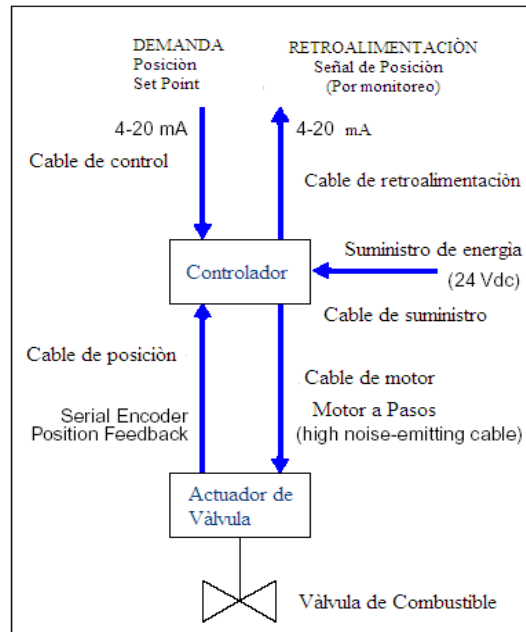


Figura 2.6 Cableado de válvula y controlador (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

El control y los cables de retroalimentación deben ser Belden 8732 o equivalente. La malla del cable es usada para reducir los efectos de emisiones y proporciona inmunidad a fenómenos eléctricos externos.

2.2 OPERACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA VÁLVULA AMOT

El recorrido máximo del actuador de la válvula es aproximadamente 64° , pero depende de la colocación exacta del tope mecánico. El rango operacional del recorrido de la válvula desde un flujo mínimo a un máximo es de 60° . El tope mecánico superior se debe posicionar a 62° . La Figura 2.7 muestra las características de flujo típico de la curva para la válvula de combustible y las correspondientes posiciones del orificio de ajuste.

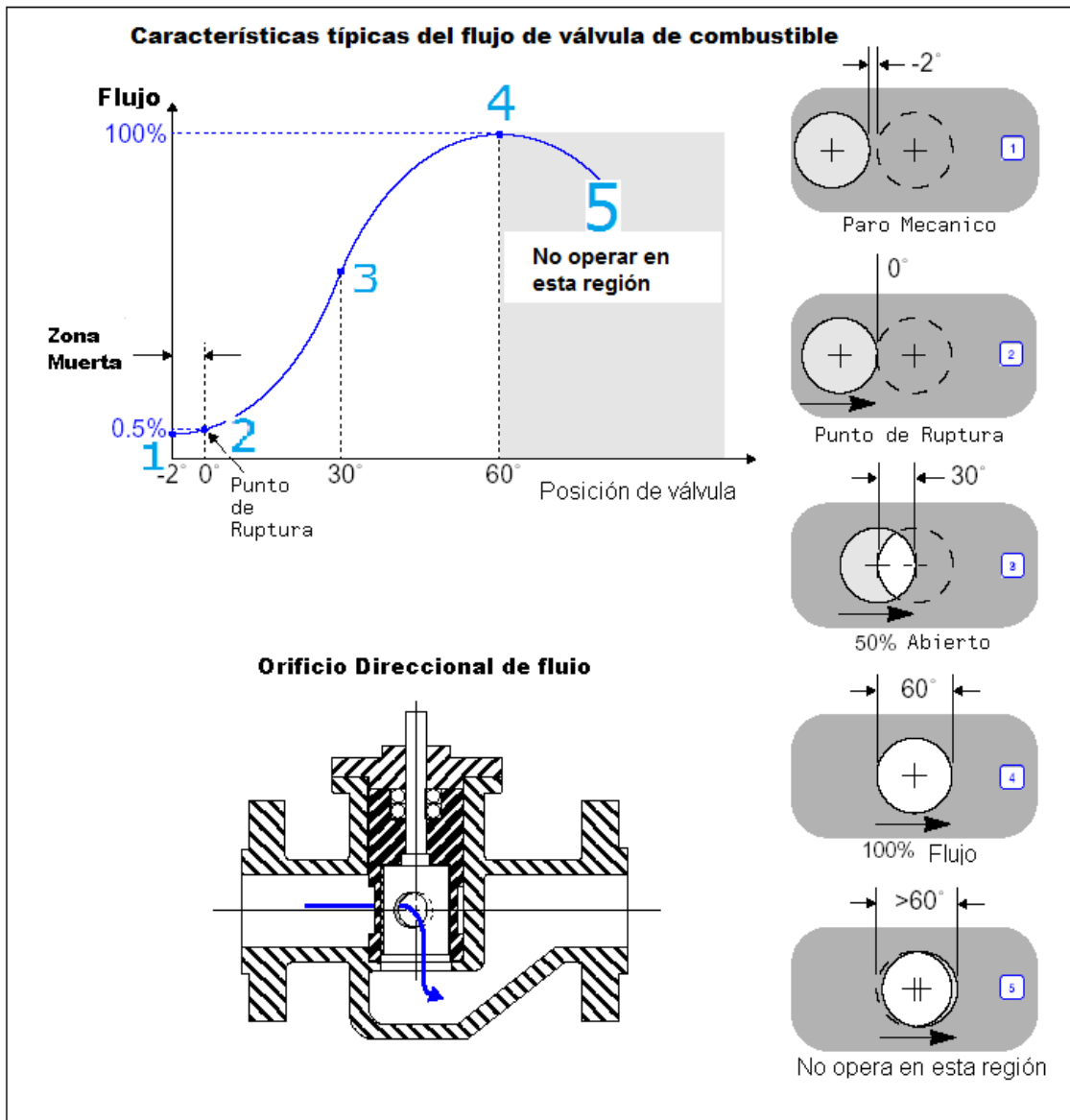


Figura 2.7 Características típicas del flujo de la válvula y sus orificios de posición (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

A continuación se explica la Figura 2.7 enumerando los pasos para una mejor comprensión, con base en la numeración indicada en la gráfica con números azules.

Con el número 1 se indica la zona muerta, en la gráfica de las características del flujo de la válvula, ésta corresponde a una posición cerrada cuando el posicionador de flujo parte del mínimo. El flujo de combustible a través de la válvula en esta región está bloqueado. Durante la configuración y calibración, esta región es identificada como un grado de posición negativo, ya que como se aprecia en la Figura 2.7 la zona muerta está atrás de donde inicia la cuenta, es decir no hay paso de gas combustible.

El número 2 se denomina punto de ruptura de flujo, en el cual la válvula comienza a abrir. La cuenta absoluta del codificador en la posición correspondiente al punto de ruptura del flujo es indicado por el fabricante, en una etiqueta en el interior del actuador. Ese valor puede ser usado para ayudar a calibrar el nivel de apertura de 0%, a 4 mA, correspondiente a la posición relativa baja del actuador en el punto de ruptura del flujo. Si dicha posición no está previamente identificada, puede ser necesario encontrar el flujo de punto de ruptura haciendo circular un flujo de aire a través de la válvula.

El punto 3 corresponde a la posición de la válvula a 30° y un 50% de abertura simétrica entre los orificios.

El punto 4 hace referencia a la condición de flujo a 100%, en la posición de la válvula a 60°.

El último punto es el 5, e indica que no deberá calibrarse la posición totalmente abierta de la válvula a más de 60°, de lo contrario el flujo disminuirá. El tope mecánico deberá colocarse en 62°.

2.2.1 INDICADOR DE POSICIÓN

Un indicador de posición en el acoplamiento muestra una posición aproximada del actuador de la válvula. La aproximación de los grados de la rotación de la válvula para cada graduación en el indicador se muestra en la Figura 2.8.

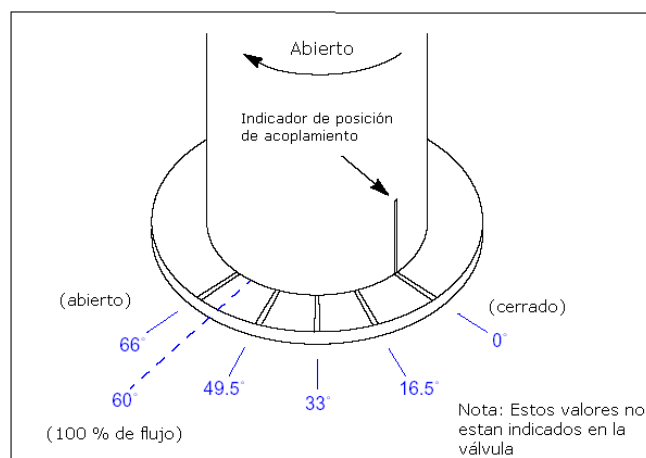


Figura 2.8 Indicador de posición (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

En la tabla 2.3 se muestran los porcentajes de recorrido del actuador que corresponden aproximadamente con las graduaciones en el indicador de posición de la válvula.

GRADOS DE ROTACIÓN	PORCENTAJE RECORRIDO CALIBRADO	NOTAS
0°	0%	CERRADO
16.5°	27.5%	
33°	55%	
49.5°	82.5%	
60°	100%	NO HAY GRADUACIÓN
66°	RANGO EXCEDIDO	

Tabla 2.3 Grados de rotación del actuador (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

2.3. CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR

El controlador del actuador tiene dos modos de operación: SETUP y RUN. El modo SETUP es usado para configurar el sistema. El modo RUN es usado para operar el sistema.

El modo de operación es seleccionado usando un switch (S1) en la tarjeta del circuito impreso (PCB). El switch puede ser puesto en cualquiera de sus dos posiciones, que son: RUN y CONFIG, como se aprecia en la Figura 2.9

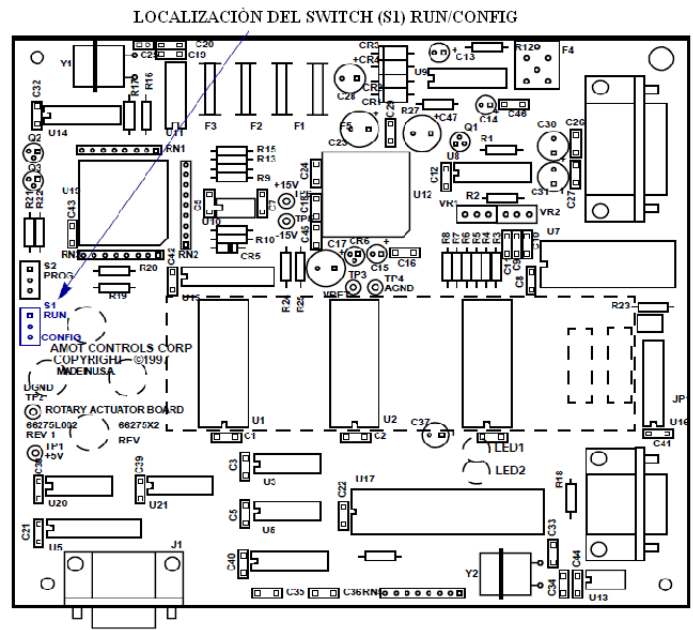


Figura 2.9 Circuito impreso del controlador (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

2.4 CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR

Para configurar y operar el controlador, un DIP switch (S1 en la figura 2.10) ubicado en el módulo del controlador del motor a pasos debe colocarse como se muestra en la Tabla 2.4

DIP SWITCH	CONFIGURACIÓN
1	ABAJO/CERRADO
2	ARRIBA/ABIERTO
3	ABAJO /CERRADO
4	ARRIBA/ABIERTO
5	ABAJO/CERRADO
6	ABAJO/CERRADO
7	ARRIBA/ ABIERTO
8	ABAJO/CERRADO

Tabla 2. 4 Configuración del DIP switch (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

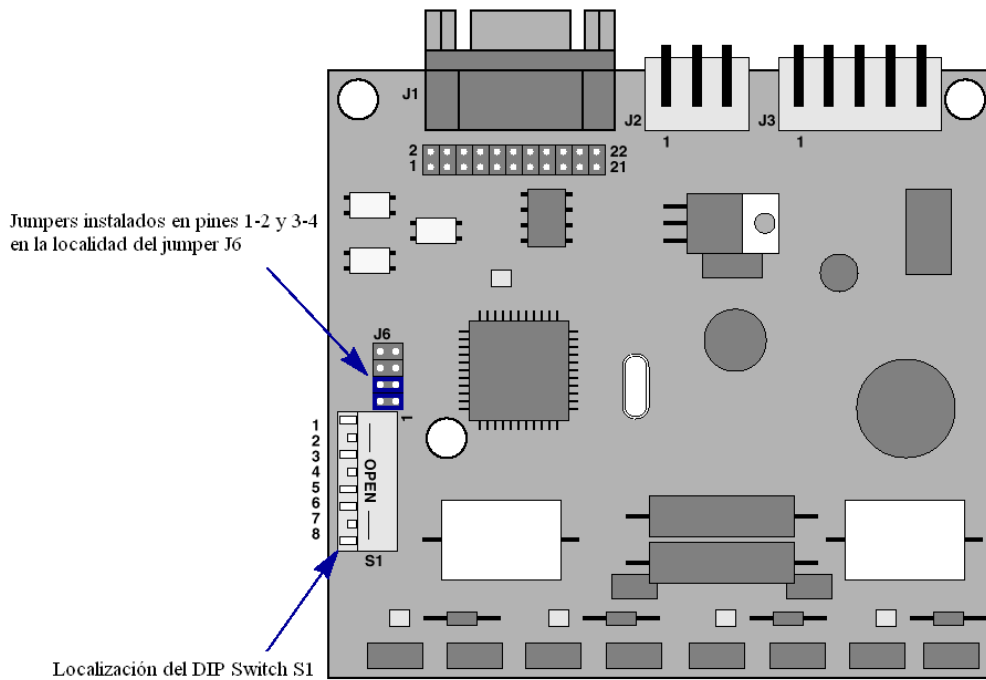


Figura 2.10 Localización del DIP switch de ocho posiciones (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

2.5 INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario para la válvula rotatoria de combustible consta de dos líneas de 20 caracteres, una pantalla (display) LCD, dos LEDs indicadores con luces (roja y verde) y cuatro botones pulsadores, como se aprecia en la Figura 2.11

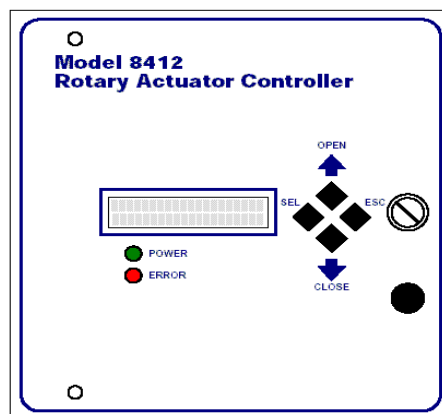


Figura 2.11 Panel de control (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

2.5.1 LEDs INDICADORES

Los LEDs indicadores rojos y verdes son usados para confirmar el modo de operación y señalar algunos errores, como se muestra en la Tabla 2.5

CONDICIÓN DEL LED	SIGNIFICADO
Verde on, rojo off	Operación automática; no hay errores
Verde on, rojo intermitente	Operación automática; error de set point
Verde on, rojo on	Operación automática, error en posición de válvula
Verde intermitente, rojo off	Modo setup

Tabla 2.5 LEDs indicadores (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

DISPLAY LCD

Las dos líneas de 20 caracteres del display LCD en el panel de interfaz de usuario son usadas para el monitoreo del correcto funcionamiento del controlador, para revisar la operación previamente registrada en el controlador, en el registro de sucesos, y para la configuración del controlador.

Cuando el controlador se encuentra en modo CONFIG, la secuencia del SET UP aparecerá en el display LCD como se muestra en la Figura 2.12

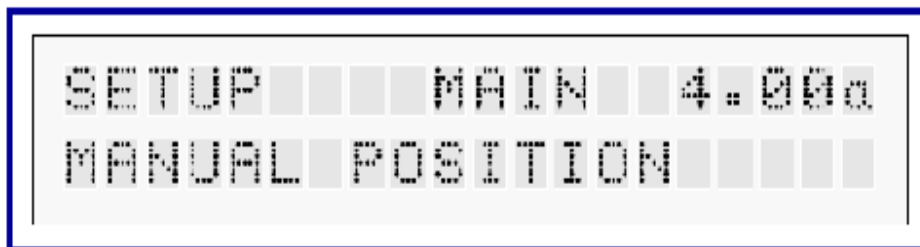


Figura 2.12 Modo Setup (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

Cuando el controlador está en modo RUN, el display LCD muestra el estado del controlador en la línea superior y el actual punto de ajuste (S) y posición (V) de la válvula en la línea de abajo. Durante una operación normal el display aparecerá como se muestra en la Figura 2.13.

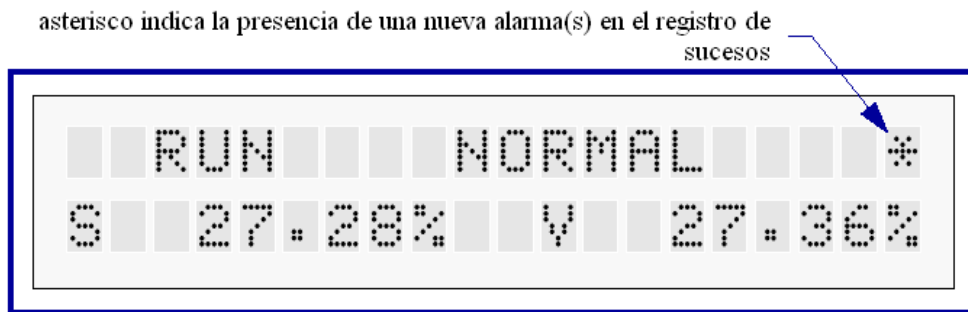


Figura 2.13 Modo normal RUN de LCD display (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

Un asterisco en el lado derecho en la línea superior indica la presencia de uno o más errores de nuevas alarmas en el registro de eventos.

Si ocurre un error estando en el modo RUN, la línea de arriba del display LCD indicará la causa del error, tal como se ve en la figura 2.14.

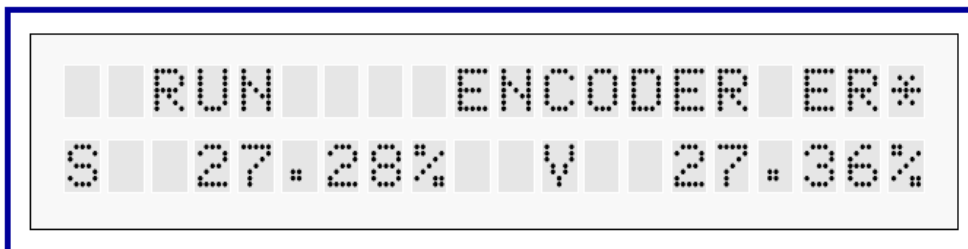


Figura 2.14 Ejemplo de error de mensaje en el display LCD (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

En la Tabla 2.6 se indican los posibles errores en modo RUN que pueden aparecer en la línea superior del display.

MENSAJE DE ERROR	DESCRIPCIÓN	Verde (ENCENDIDO) Condición del LED	Rojo (ERROR) Condición del LED
SP LOW	Señal del set point por debajo del mínimo	ENCENDIDO	PARPADEANDO
SP HIGH	Señal del set point por encima del máximo	ENCENDIDO	PARPADEANDO
OPEN LOOP	Control de lazo abierto	ENCENDIDO	NO CAMBIA
ENCODER ER	Error en el codificador	ENCENDIDO	ENCENDIDO
TRACKING E	Diferencia entre salida y posición	ENCENDIDO	ENCENDIDO
VALVE ERROR	Válvula de combustible en posición fuera de rango	ENCENDIDO	ENCENDIDO
DATA ERROR	Pérdida de información	ENCENDIDO	ENCENDIDO

Tabla 2.6 Errores en modo de ejecución (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

Cuando una condición de error se presenta y aparece un mensaje de error en el display, los botones del panel de control de usuario no funcionarán. La condición de error debe ser corregida y restablecerse el display para que los botones puedan utilizarse nuevamente.

Una vez vistas las características del sistema de control, se citan las siguientes pruebas factibles para determinar la causa de un error y el correcto funcionamiento de la válvula.

- Límites de la señal de demanda, dentro y fuera de rango

- Respuesta de la válvula para cierre emergente
- Rapidez de cierre y apertura de la válvula dentro de su rango
- Error entre demanda y posición en un régimen de cambio constante

Todas las pruebas darán un diagnóstico de desempeño de operación del sistema de control, de tal manera que sea práctico de usar para el personal de apoyo.

CONCLUSIÓN

El capítulo II describe el equipo a utilizar (válvula AMOT y controlador), resaltando sus características más relevantes, su comportamiento y la función que desempeña cada uno de ellos.

Es necesario tener una idea general de cómo trabaja el equipo empleado, las piezas más relevantes en la AMOT, como el encoder y el motor a pasos, en cuanto a la electrónica; la parte mecánica, su operación y configuración; las posibles fallas que pueden presentarse; la manera de configurar el controlador y los errores que puede indicarnos el panel de control para tener un panorama más claro sobre el desarrollo del proyecto, este capítulo permitirá familiarizarse con el equipo a trabajar.