



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**BANCO DE PRUEBAS PARA VÁLVULA DE CONTROL  
DE GAS COMBUSTIBLE MARCA AMOT**

**TESIS**  
que para obtener el título de:  
**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**  
**MÓDULO: SISTEMAS ENERGÉTICOS**

**P R E S E N T A:**

**YAIR HERNÁNDEZ SALINAS**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M.F. GABRIEL HURTADO CHONG**



MÉXICO, D.F.

2011

---

---



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

### A mi Madre

Por tu apoyo incondicional, tu carácter ante las adversidades de la vida me enseñó que nada es imposible. Gracias por tenerme la paciencia y dar todo por mí.

¡Gracias por darme la vida!

### A mi Padre

Por el ejemplo de perseverancia y constancia que me has infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, por cultivar e inculcar ese sabio Don de la responsabilidad. Gracias por tu amor infinito.

### A mi hermano Jazmany

Por el apoyo incondicional en mi desarrollo profesional, por creer en mí y depositar tu confianza. Este libro es el reflejo de todo lo que me brindaste.

### A mi hermano Ulises

Por escucharme, aconsejarme y darme ánimos para alcanzar mis sueños. Por apoyarme y animarme a lograr esta meta, que ahora sea motivo para que tú lo realices.

### A mi hermano Horacio

Por alentarme y recordarme que nada es difícil. Que sea un motivo más para que logres todas tus metas y sueños.

### A mis Abuelos

Fausto, Eulalia, Matías y Silvia por inculcarme y enseñarme a ser siempre una persona humilde, sencilla, que la base del éxito son el trabajo y la perseverancia.

### Al Instituto Mexicano del Petróleo

Por abrirme las puertas para mi desarrollo profesional, por permitirme realizar mi servicio social y desarrollar mi trabajo de tesis. Estaré agradecido eternamente por haber conocido a personas que me han brindado su amistad sinceramente.

### A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería

Por haberme brindado todas las facilidades para realizar una profesión, por permitirme superarme y tener armas para enfrentar los obstáculos que encuentre en el camino. Eternamente agradecido con la máxima casa de estudios.

# ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
<u>CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</u>	
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 PROBLEMÁTICA.....	13
<u>CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTIBLE</u>	
2.1.- CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA AMOT.....	15
2.1.1.- MECÁNICA DE VÁLVULA DE COMBUSTIBLE MODELO 4280.....	17
2.1.2.- ELECTRÓNICA DEL SISTEMA DE CONTROL DEL ACTUADOR MODELO 8412.....	20
2.1.3.- REQUERIMIENTOS EN LA ALIMENTACIÓN DE ENTRADA.....	21
2.1.4.- REQUERIMIENTOS DE CABLEADO.....	22
2.2 OPERACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA VÁLVULA AMOT.....	22
2.2.1 INDICADOR DE POSICIÓN.....	24
2.3 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR.....	25
2.4 CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR.....	26
2.5 INTERFAZ DE USUARIO.....	27
2.5.1 LEDs INDICADORES.....	28

### CAPÍTULO III CARACTERÍSTICAS DEL PLC GE FANUC 9070

3.1 ESTRUCTURA DEL PLC.....	33
3.1.1 COMPONENTES DEL PLC.....	34
3.1.2 OPERACIÓN DEL PLC.....	35
3.1.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	36
3.2 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL PLC.....	36
3.3 LENGUAJES DEL PLC.....	47

### CAPÍTULO IV DESARROLLO DE INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

4.1 CONEXIONES REQUERIDAS.....	50
4.2 CONFIGURACIÓN DEL PLC.....	53
4.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE INTOUCH V7.1.....	55
4.4 PROGRAMACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.....	55
4.5 DESARROLLO DE PANTALLAS.....	57
4.6 PRUEBAS DE INTERFAZ.....	67
CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73

## INTRODUCCIÓN

La realización del proyecto para el diseño y construcción de un banco de pruebas para la válvula de control de gas combustible marca AMOT, surge de las necesidades que se viven actualmente en los complejos petroleros Abkatun Alfa y Abkatun Delta, donde constantemente se presentan fallas en los diversos equipos que componen los módulos de compresión, entre los cuales se encuentra dicha válvula.

Para el personal encargado de operar el sistema, la manera más común de solucionar esta falla es remplazando una válvula AMOT por otra. El problema de esto es que no se tiene la certeza de saber si en realidad la válvula está dañada, lo que, en repetidas ocasiones, deriva en una importante pérdida de tiempo.

De esta manera, por iniciativa del Instituto Mexicano del Petróleo, se propone desarrollar un banco de pruebas para la válvula AMOT, aprovechando los recursos con los que PEMEX Exploración y Producción cuenta para dichas plataformas, que son el PLC GE Fanuc 9070 y el software Wonderware Intouch.

Este proyecto servirá como una herramienta capaz de dar un diagnóstico de confiabilidad de uso de la AMOT y, a su vez, como prototipo para desarrollar nuevos bancos de pruebas para diferentes válvulas empleadas en otros módulos de compresión.

El capítulo I da una breve introducción del surgimiento del Instituto Mexicano del Petróleo, visión, misión y objetivo que tiene la paraestatal. La manera en que está constituida y sus áreas de trabajo.

También habla del objetivo principal del proyecto, donde se presenta la problemática, describiendo cómo se realiza el proceso de arranque y cómo opera el sistema de gas combustible.

El capítulo II cubre todos los equipos utilizados para el desarrollo del banco de pruebas, se detallan las características de cada uno de ellos, así como las medidas necesarias para su uso correcto y óptimo funcionamiento.

Se detallan las características y la forma en que trabaja la válvula de control de flujo de gas combustible marca AMOT y se describe detalladamente cómo está compuesto el controlador modelo 8412. También se indican las fallas que el controlador logra detectar cuando la válvula opera inadecuadamente.

El capítulo III inicia con un breve historia de los controladores lógicos programables (PLCs) y más adelante se enfoca detalladamente en las características del PLC GE FANUC 9070, equipo utilizado para el desarrollo del proyecto.

Finalmente, el capítulo IV se enfoca propiamente al desarrollo del proyecto, la manera en que se diseñó el banco de pruebas para la válvula de control de combustible, empezando con la configuración del equipo empleado, las conexiones empleadas entre cada elemento del sistema y el desarrollo de cada una de las pantallas creadas, detallando la justificación de cada una de ellas.



# CAPÍTULO I

Tanto en nuestro país como en el resto de las naciones, la extracción del crudo, conocido también como el oro negro, es una actividad económica fundamental.

En el Mercado petrolero se ha visto cómo, en forma constante, la fluctuación del precio del barril del crudo ha sido determinante en el poder financiero y político de las grandes potencias. En el caso de México, desde la expropiación petrolera, la paraestatal PEMEX ha sido generadora de empleos y de grandes ingresos para la nación Mexicana.

## 1.1 ANTECEDENTES

Petróleos Mexicanos (PEMEX) es el responsable de todo lo relacionado a la conducción central y de la dirección estratégica de la industria petrolera estatal, y de asegurar su integridad y unidad de acción. Y esta paraestatal se divide de la siguiente manera:

- **PEMEX Exploración y Producción** que tiene a su cargo la búsqueda y explotación del petróleo y el gas natural.
- **PEMEX Refinación** produce, distribuye y comercializa combustibles.
- **PEMEX Gas y Petroquímica Básica** procesa el gas natural y los líquidos del gas natural; distribuye y comercializa gas natural y gas LP; y produce y comercializa productos petroquímicos básicos.
- **PEMEX Petroquímica** elabora, distribuye y comercializa una amplia gama de productos secundarios derivados del petróleo.

La importancia del petróleo radica en su alta demanda de exportación, ya que es uno de los principales motores de toda la industria. En general, los combustibles (gasolina, gas, turbosina, diesel, etc.) con los que operan las industrias son productos del petróleo; al igual que los plásticos, polietilenos, polímeros que son indispensables para cualquier área industrial y comercial.

Como consecuencia de la transformación industrial del país y de la necesidad de incrementar la tecnología relacionada con el desarrollo de la industria petrolera, el 23 de agosto de 1965 fue creado el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

El IMP nació por iniciativa del entonces director general de Pemex, Jesús Reyes Heróles, quien reconoció que la planeación y el desarrollo de la industria petrolera

deberían ser congruentes con las necesidades de una economía mixta. Por esta razón, consideró necesario fomentar la investigación petrolera y formar recursos humanos que impulsaran el desarrollo de tecnología propia.

En respuesta a esa exigencia, el gobierno federal decidió crear un "organismo descentralizado de interés público y preponderantemente científico, técnico, educativo y cultural, cuya función será buscar la independencia científica y tecnológica en el área petrolera". (Fuente <http://www.imp.mx>)

De esta forma, desde 1965, el Instituto Mexicano del Petróleo ha contribuido al desarrollo del país, mediante la formación de recursos humanos y la creación de tecnología propia.

Actualmente, mediante un renovado esfuerzo y una mayor correlación con Pemex, el IMP busca integrarse a los objetivos y grandes proyectos de esta empresa, al ofrecerle investigación, capacitación y prestación de servicios de alto contenido tecnológico, que le permitan aumentar su eficiencia, productividad y crecimiento.

Al igual que PEMEX, el IMP se divide en varias direcciones, su estructura se encuentra conformada de tal manera, que le permite brindar un servicio óptimo a Petróleos Mexicanos, para ello, cuenta con las direcciones de especialidad:

- Exploración y Producción
- Ingeniería de Proceso
- Ingeniería de Proyecto
- Seguridad de Medio Ambiente
- Capacitación

El presente proyecto se realiza para la Dirección de Ingeniería de Proceso a través de su Departamento de Tecnología Aplicada a Sistemas de Control, perteneciente a la Gerencia de Instrumentación y Control, y trabajando a la par con PEMEX Exploración y Producción en la región marina suroeste Dos Bocas, Tabasco: en las plataformas marítimas Abkatun Alfa y Abkatun Delta para el proceso de compresión de gas; la división regional se puede apreciar en la Figura 1.1.

## DIVISIÓN REGIONAL

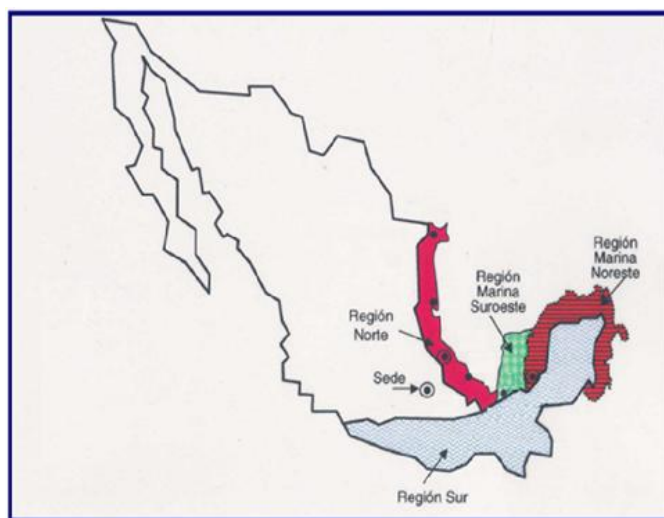


Figura 1.1 División regional (Fuente: <http://www.imp.mx/regiones>)

Las Regiones Marinas Noreste (RMNE) y Suroeste (RMSO) son las encargadas de realizar las actividades de extracción y transporte de petróleo crudo y gas natural en el Sur del Golfo de México, específicamente en la zona de Campeche. El gas natural que se extrae en esta zona viene asociado al petróleo crudo. La mezcla de petróleo y gas extraída es separada en las instalaciones de producción, para posteriormente enviar el petróleo crudo a las Terminales Marítimas, Cayo Arcas y Dos Bocas.

Por su parte, el gas natural asociado, conocido también como gas amargo por contener sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y bióxido de carbono ( $CO_2$ ), es comprimido y enviado al Centro de Proceso y Transporte de Gas en la Península de Atasta (CPTGA), en Campeche.

Por otra parte, también se le da uso al gas natural a bordo de las plataformas marítimas petroleras, ya sea para la generación de electricidad o para inyectarlo a los pozos por medio de turbocompresores; se utiliza gas a una presión relativamente alta para poder aligerar la columna de fluido y de este modo permitir al crudo fluir hacia la superficie (efecto popote).

Todo esto se logra a través de los módulos de compresión, su función finalmente es comprimir el gas; el manejo correcto del gas natural en estas plataformas es de suma importancia, ya que es volátil por naturaleza y no tratarlo de la manera adecuada puede resultar peligroso para el personal que se encuentra en estos complejos marítimos.

Un módulo de compresión se conforma por la turbina de gas (generador de gases y turbina de potencia) y tren de compresores.

Este trabajo está enfocado a la parte de la turbina de gas, donde una parte del proceso requiere de un control de suministro de gas combustible; pero es importante tener un panorama general de cómo funciona el sistema. A continuación se hace una breve descripción de cómo opera el proceso del sistema de gas combustible.

#### EL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

Tres son los elementos principales que lo componen: compresor axial, generador de gases y turbina de potencia, como se muestra en la Figura 1.2.

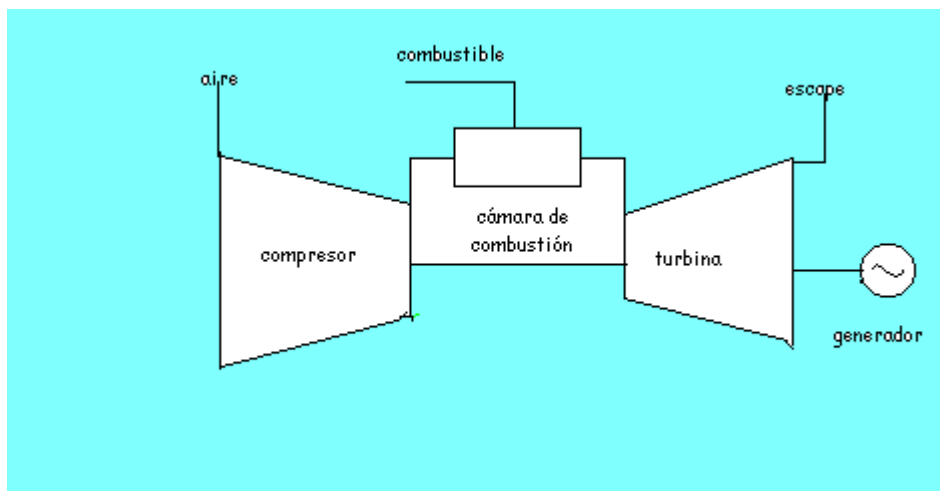


Figura 1.2 Turbina de gas (Fuente: Manual de proceso de compresión)

Éste es un sistema en el que el aire atmosférico entra continuamente al compresor, donde se comprime a alta presión. El aire entra entonces en la cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible, produciéndose la combustión y obteniéndose los productos de combustión a elevada temperatura. Los productos de combustión se expanden en la turbina y a continuación se descargan al ambiente (escape). Parte de la potencia desarrollada en la turbina se utiliza en el compresor centrífugo y la restante se utiliza para generar electricidad. El generador de gases tiene como velocidad máxima 9100 RPM y la turbina de potencia 3000 RPM para operar adecuadamente.

Ésa es la idea general de cómo se realiza el proceso dentro de la turbina de gas, pero para que ésta inicie a operar se requiere de un suministro adecuado de combustible, en este caso gas natural.

Previamente, para que este combustible pueda ser utilizado, es necesario que pase por un proceso de purga, que es denominado endulzamiento, ya que el gas natural, tal como es extraído de los yacimientos, contiene algunos compuestos dañinos que hay que eliminar como: el ácido sulfhídrico y el bióxido de carbono, que ocasionan contaminación; el CO<sub>2</sub> en el gas debe eliminarse debido a que disminuye su poder calorífico; así mismo, estos compuestos suelen ser muy dañinos para las tuberías y equipos del proceso por ser altamente corrosivos, de ahí también la importancia de eliminarlos.

El sistema de endulzamiento con el que cuenta el complejo Abkatun Alfa y Abkatun Delta inicia en un horno donde, a través de un serpentín, se obtiene aceite caliente, el cual se usa para intercambiadores de calor que contienen amina, entrando en proceso con el gas amargo; después de realizar varias veces este tratamiento se obtiene el gas dulce o gas combustible como se muestra en la Figura 1.3.

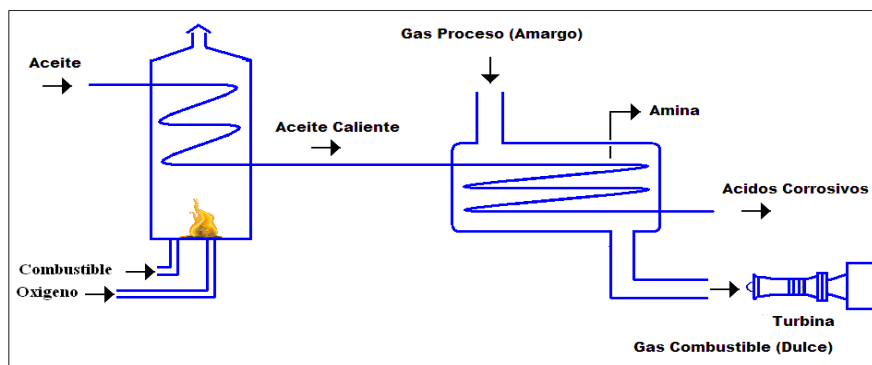


Figura 1.3 Proceso de endulzamiento (Fuente: Elaboración propia)

Una vez que ya se obtuvo el gas dulce o gas combustible, éste se utiliza para el proceso de arranque de la turbina de gas como se aprecia en la figura 1.4, este sistema tiene como función suministrar el gas al módulo de compresión de una forma que garantice un flujo con la presión y el gasto adecuados, según sea necesario para mantener el conjunto turbogenerador (turbina de potencia y tren de compresores) funcionando a las condiciones requeridas.

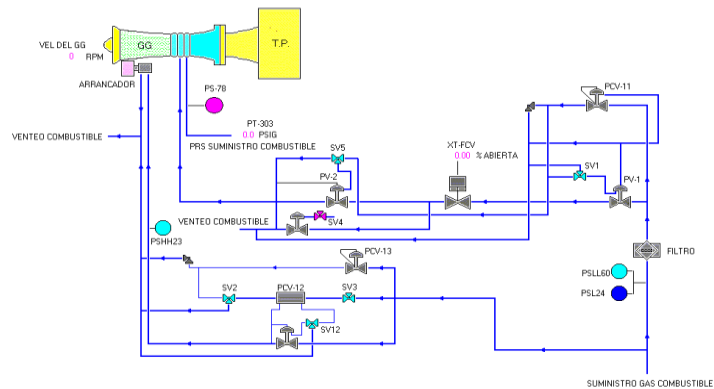


Figura 1.4 Arrancador y sistema de gas combustible (Fuente: Manual de proceso de compresión)

A continuación en la Tabla 1.1 se listan las nomenclaturas utilizadas por la Sociedad Internacional de Medición y Control (ISA), que aparecen en la Figura 1.4.

PSHH	Interruptor de presión alta alta
PSH	Interruptor de presión alta
PS	Interruptor de presión
PCV	Válvula de control de presión
PV	Válvula de presión
FCV	Válvula de control de flujo
PSLL	Interruptor de presión baja baja
PSL	Interruptor de presión baja
SV	Válvula solenoide

Tabla 1.1 Nomenclaturas utilizadas por la SIA

La válvula solenoide (SV) es un dispositivo utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases, con únicamente dos estados, ya sea que esté en posición completamente abierta o completamente cerrada, la nomenclatura de esta válvula aparece con diferentes coeficientes que dependerán de su aplicación y de dónde se localice dentro del proceso.

Para una fácil comprensión de la Figura 1.4, se dividirá en dos secciones que permitan tener una idea más clara de la secuencia del proceso y de los componentes que lo conforman. Dichas secciones se muestran en las Figuras 1.5 y 1.7.

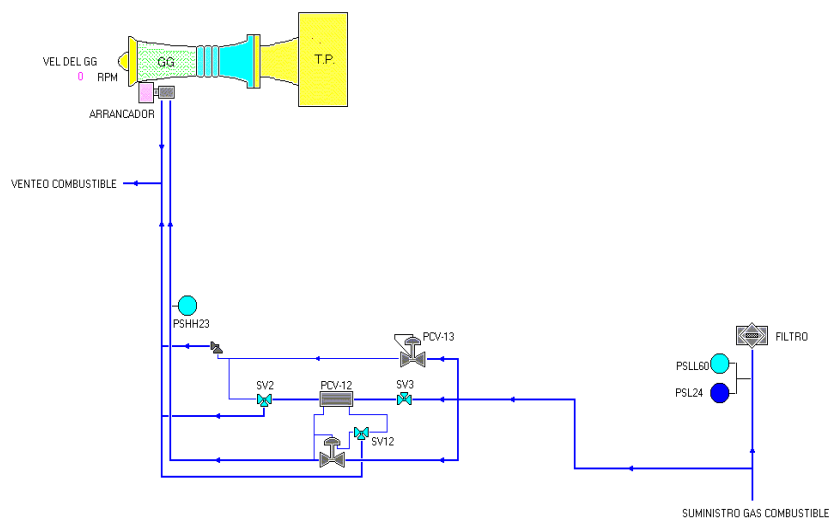


Figura 15 Primera sección del arrancador y del sistema de gas combustible (Fuente: Manual de proceso de compresión)

En la Figura 1.5 se observa el primer paso de la secuencia de arranque, que está compuesto por válvulas solenoides que sólo permiten el paso controlado de gas, un controlador de válvula de presión y una válvula de venteo. En este paso, el gas se estará venteando constantemente sin parar y el arrancador empieza a operar para dar inicio al encendido del turbocompresor.

El arrancador funciona cuando se alimenta a una presión regulada mayor a 25 kPa y esto se logra con la válvula de control de presión, una vez que empieza a trabajar el arrancador esta operación tiene la función de convertir la energía de presión en energía mecánica, para ello se utiliza un adaptador que hace funcionar un compresor axial, el cual se muestra en la Figura 1.6.

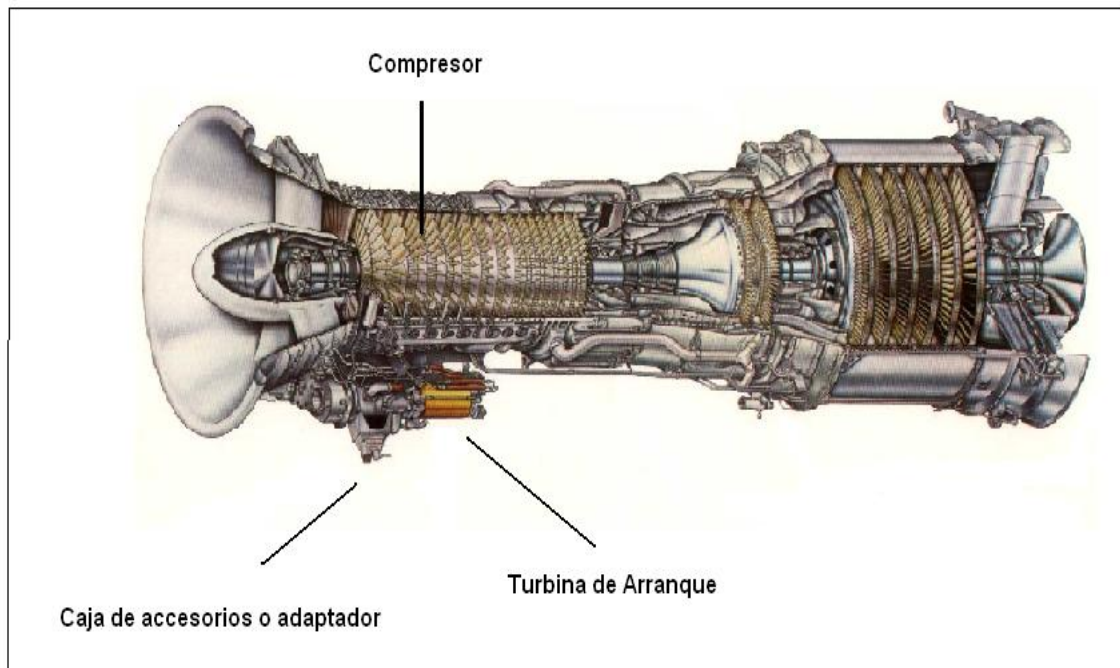


Figura 1.6 Turbina de arranque (Fuente:

<http://materias.fi.uba.ar/6517/Teoricas/Turbinas%20a%20Gas/Fundamentos.TURBINAS.A.GAS.pdf>)

Durante el periodo inicial de aceleración, el arrancador desempeña la función principal dándole velocidad a la turbina y a medida que ésta se acerca a la velocidad de autosustentación, disminuye la carga sobre la caja de accesorios que la conecta al sistema de arranque hasta que gira libremente y se desembraga, así finalmente corta la presión neumática al arrancador, el cual se detiene.

El desembrague del arrancador ocurre a las 4500 RPM, cuando la turbina comienza a acelerar. En esto consiste la primera parte de este proceso; iniciar el arranque del sistema de gas combustible para lograr el funcionamiento del turbogenerador.

En la segunda parte del proceso, el gas dulce pasa por un filtro destinado a eliminar las posibles impurezas que pudieran aparecer en la tubería del sistema, con la finalidad de tener gas en condiciones de alta pureza para así prevenir daños a los equipos en uso constante.



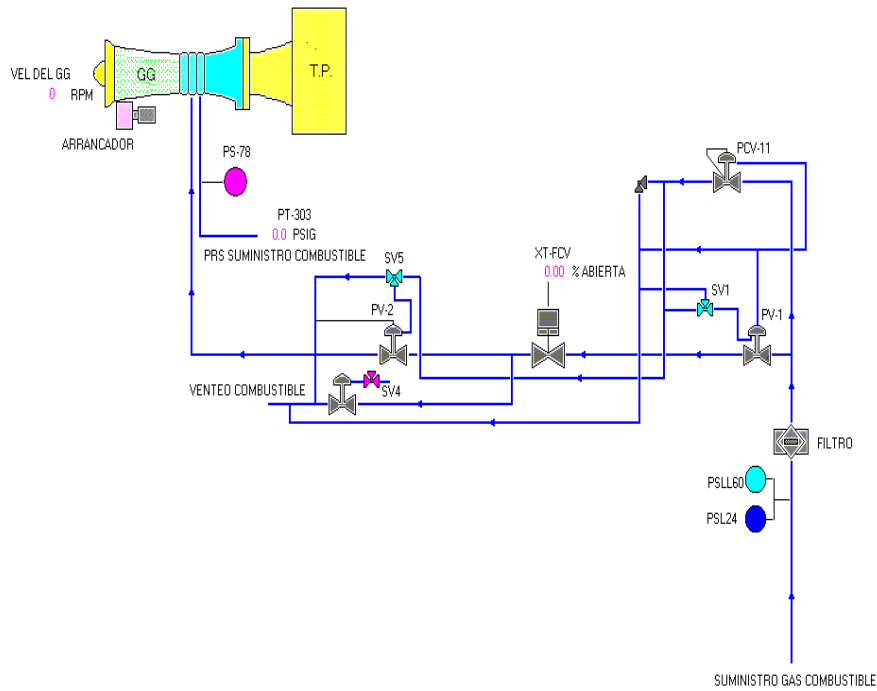


Figura 1.7 Segunda sección del arrancador y del sistema de gas combustible (Fuente: Manual de proceso de compresión)

En la figura 1.7 se observa que esta segunda etapa incluye el filtro antes mencionado, además de válvulas de presión, válvulas solenoide, válvula de venteo y válvula de control de combustible. Esta etapa inicia aproximadamente 3 minutos después de que finalizó la primera etapa.

El componente principal de esta parte del proceso es la válvula de control de combustible, encargada de controlar el flujo como se muestra en la figura 1.8; es de gran importancia ya que tiene como función regular la alimentación para la cámara de combustión del generador de gases.

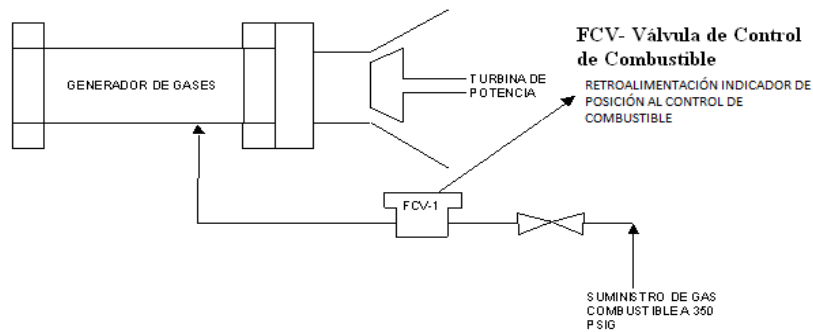


Figura 1.8 Válvula de control de combustible FCV (Fuente: Manual de proceso de compresión)

Esta parte del proceso se lleva a cabo a medida que el aire comprimido se expande dentro de la cámara de combustión, aproximadamente una cuarta parte de este aire es dirigida a la zona de la cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible inyectado para el proceso de combustión; este gas suministrado es regulado por la válvula AMOT.

Dentro de la cámara de combustión se crea una mezcla muy caliente de gases en rápida expansión, la cual pasará después a través de la sección de la turbina, este proceso ocurre en la zona del generador de gases, como se observa en la Figura 1.9.

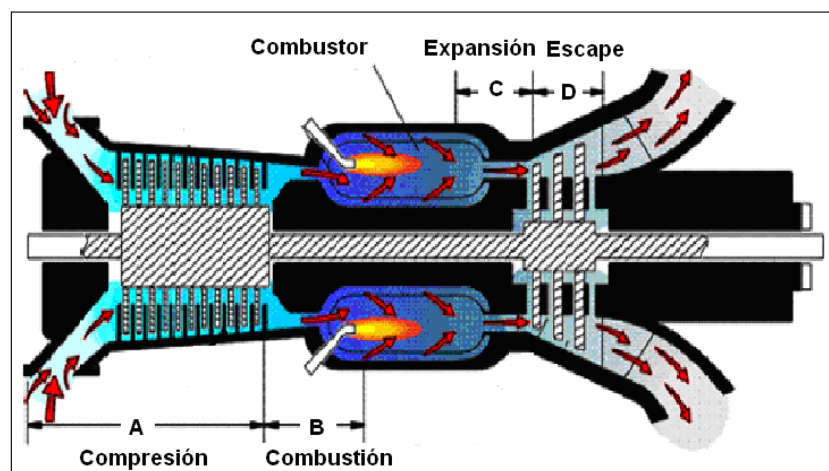


Figura 1.9 Generador de gases (Fuente: Manual de proceso de compresión)

El diseño y desarrollo del banco de pruebas se enfoca en la válvula de control de combustible, siendo ésta el principal instrumento de trabajo, junto con su controlador y la programación escalera en el PLC.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

El Instituto Mexicano del Petróleo es el centro de investigación de México dedicado al área petrolera que tiene la misión de transformar el conocimiento en tecnología y servicios de valor para la industria petrolera.

Una de las funciones principales del Departamento de Tecnología Aplicada a Sistemas de Control es la supervisión de los módulos de compresión, desde el arranque hasta el correcto funcionamiento de los equipos que lo componen, quienes llegan a presentar diversos problemas, uno de ellos, la válvula AMOT, encargada de regular el flujo de gas para que la cámara de combustión opere correctamente.

La válvula de control de flujo puede llegar a tener fallas, aunque en ocasiones no se tiene la certeza del origen de éstas, es decir, los errores en otras partes del sistema pueden ocasionar que la válvula no cumpla su función.

Actualmente lo que se hace en caso de que la válvula presente una falla es simplemente sustituirla por otra, sin tener la certeza de que sea realmente la válvula quien provoque la falla. El remplazo de esta pieza consume un tiempo considerable; además, el gas natural que es extraído, durante el tiempo de remplazo, tiene que ser quemado, pues la extracción de petróleo es un proceso que no puede parar, de esta manera se desperdicia un recurso natural no renovable y cuando el problema no es de la válvula, la quema sigue hasta que se encuentra la causa y se soluciona.

A partir de las fallas en la válvula surge la necesidad de crear una herramienta capaz de detectar el origen del problema para así agilizar su reparación. El diseñar y desarrollar un banco de pruebas para la AMOT brindará muchos beneficios para PEMEX Exploración y Producción de la región marina suroeste de los diferentes centros de proceso que así lo requieran (Abakatun Alfa y Abkatun Delta), para tener la certeza a través de diferentes pruebas, del correcto funcionamiento de este equipo.

En la Figura 1.10 se muestra la ubicación de la válvula de control de combustible AMOT en el sistema de gas combustible.

Para el banco de pruebas se diseñaron y desarrollaron pantallas de diagnóstico y operación sobre la plataforma Wonderware Intouch, ya que PEMEX cuenta con las licencias de uso de este software, y se utilizó para el prototipo un PLC GE FANUC 90-70, aprovechando también los recursos con los que ya cuenta PEMEX.

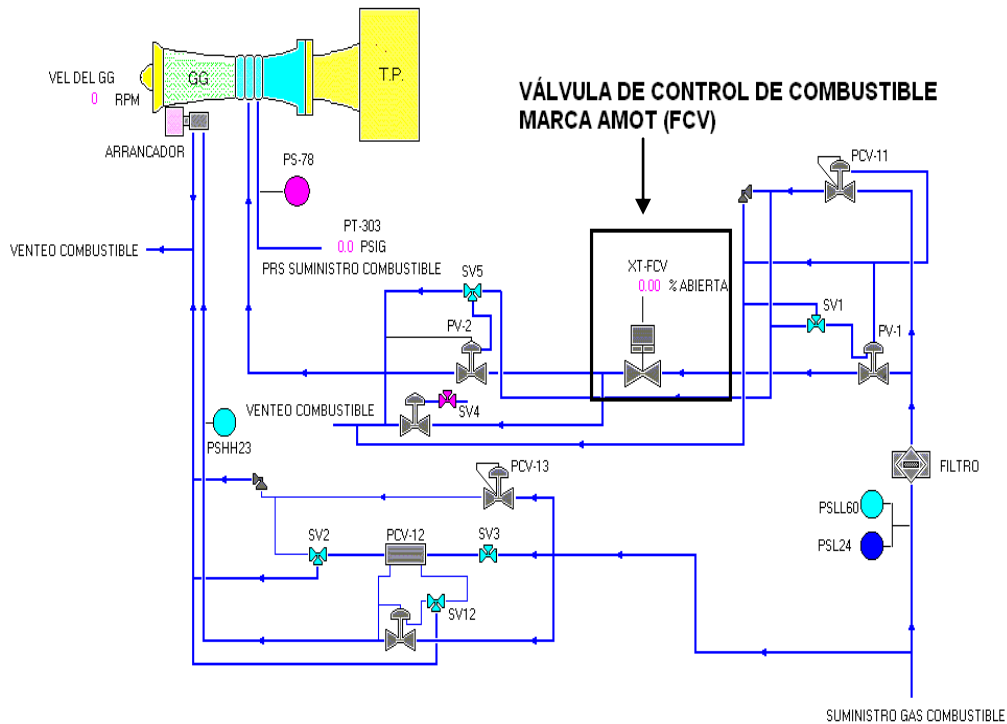


Figura 1.10 Localización de la válvula de control de combustible (Fuente: Manual de proceso de compresión)

## CONCLUSIÓN

El capítulo I hace una pequeña reseña histórica de la creación, organigrama y funciones que desempeña el Instituto Mexicano del Petróleo, así como la manera en que trabaja junto con PEMEX.

También se hace la descripción del proceso de compresión de gas y en qué momento aparece la válvula de control de gas combustible marca AMOT, resaltando la problemática por la cual surge la idea de desarrollar este proyecto, aportando una vez más el IMP desarrollo tecnológico a la paraestatal PEMEX.

## 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.

<b>Diámetro de la válvula (pulgada)</b>	<b>Coficiente de flujo (<math>C_v</math>)</b>
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 %.

<b>Porcentaje de apertura</b>	<b>Cv = 12</b>	<b>Cv = 25</b>	<b>Cv = 30</b>	<b>Cv = 60</b>
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

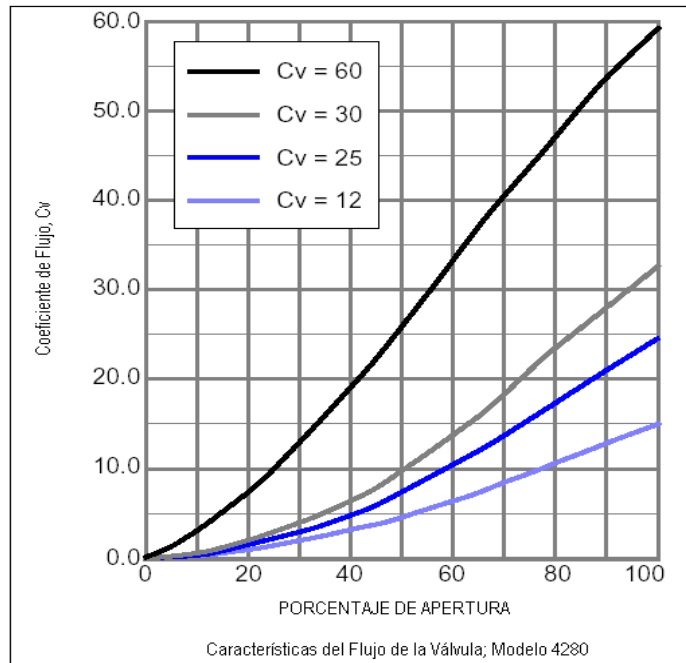


Figura 2.1 Flujo de combustible (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.

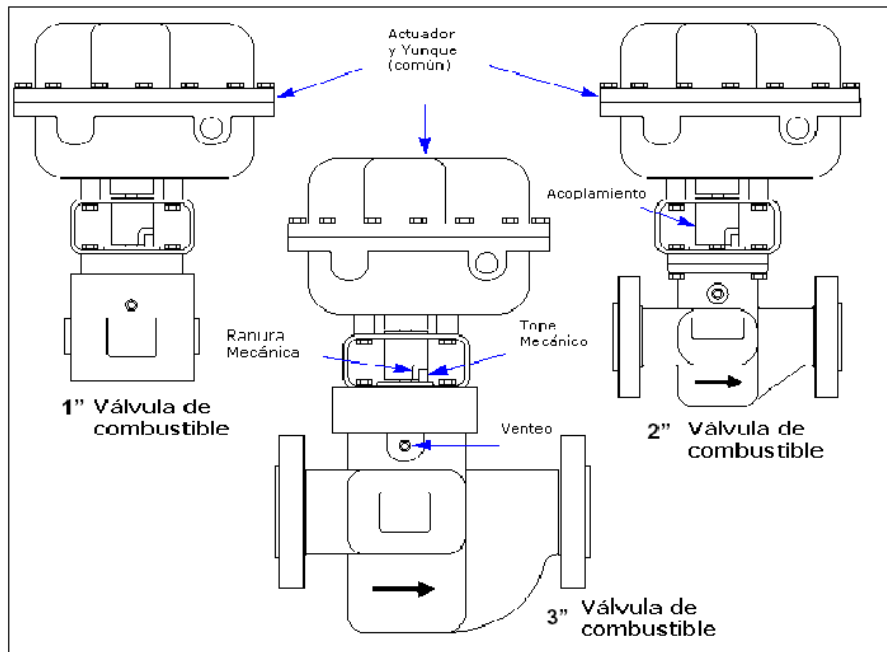


Figura 2.2 Válvula de combustible (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.



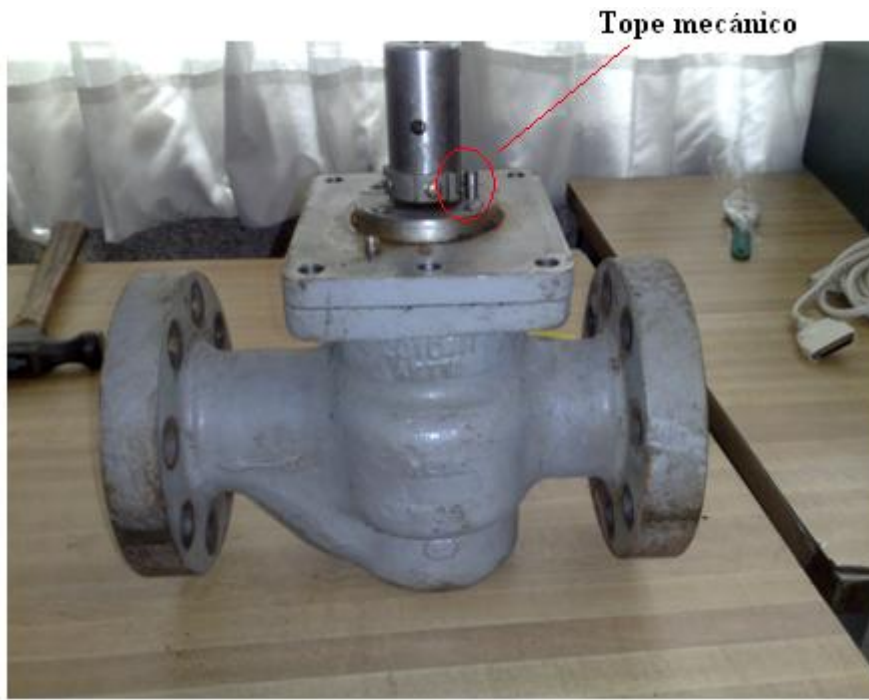


Figura 2.3 Tope mecánico



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.

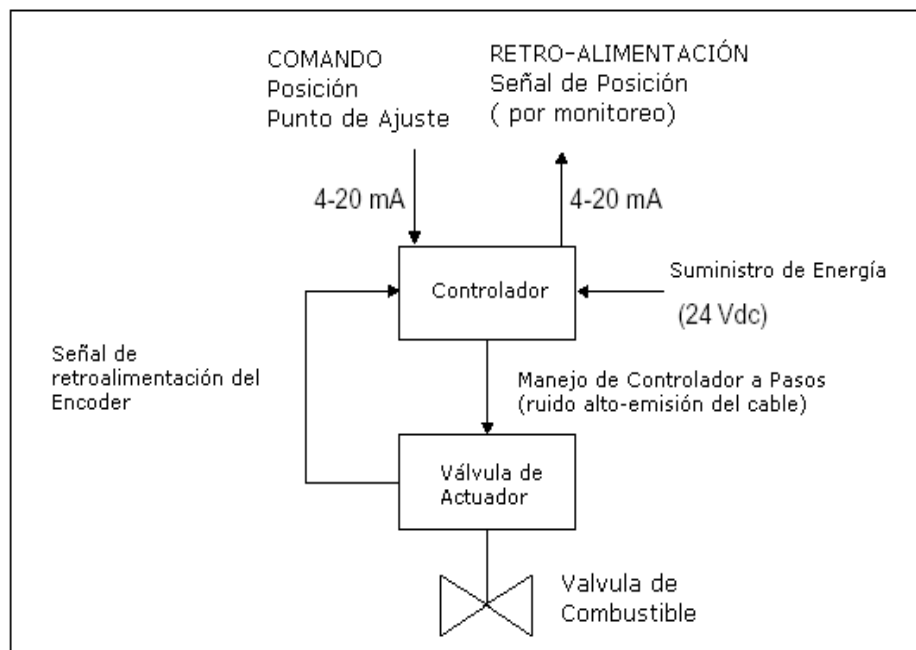


Figura 2.5 Sistema de control de lazo cerrado (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.

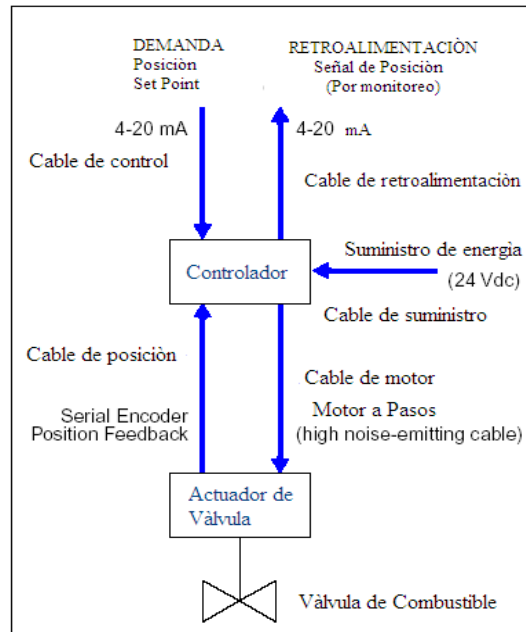


Figura 2.6 Cableado de válvula y controlador (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.

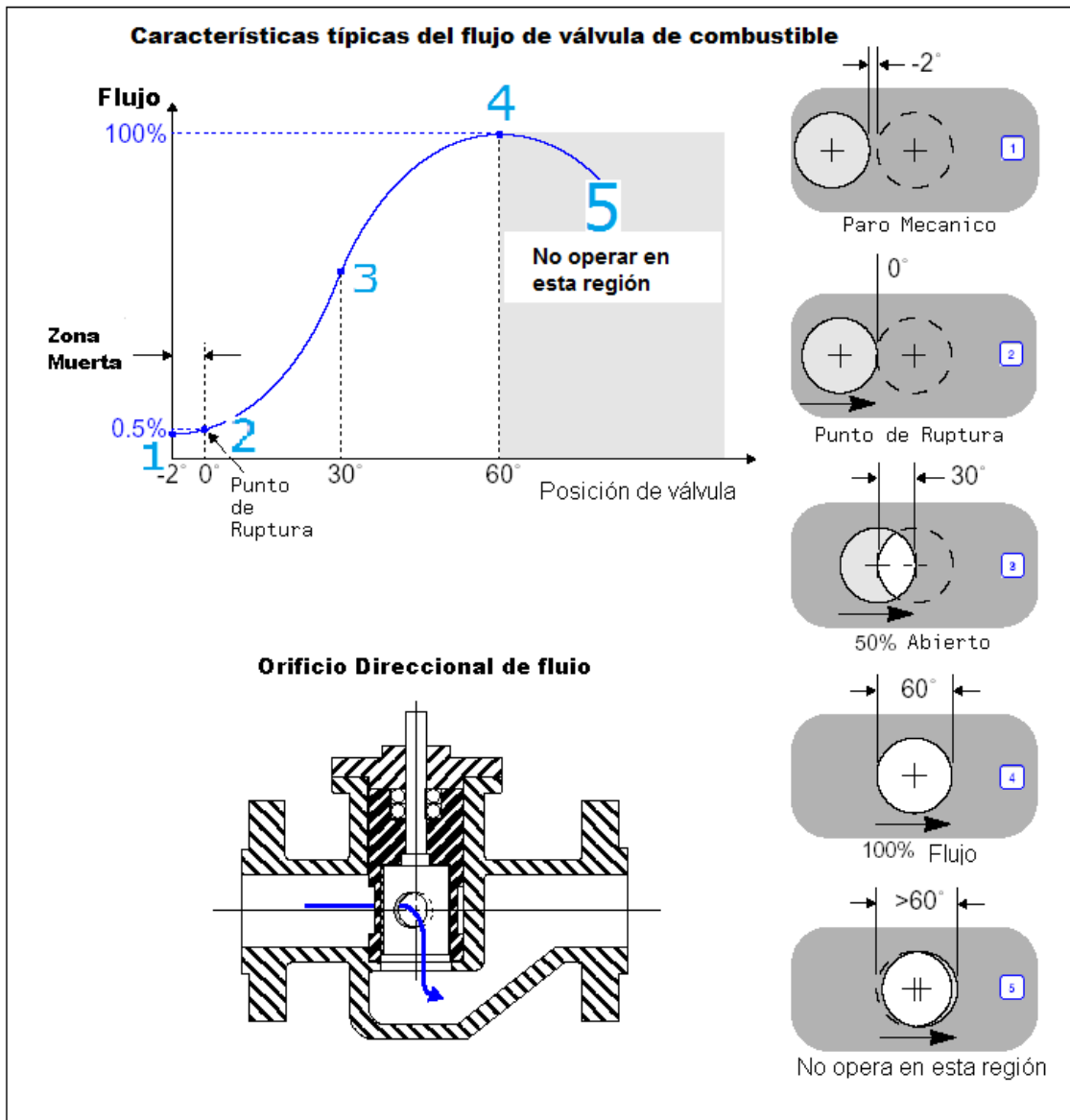


Figura 2.7 Características típicas del flujo de la válvula y sus orificios de posición (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.

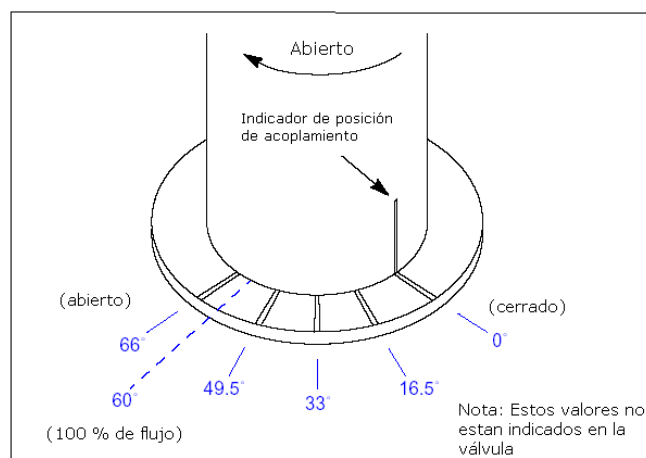


Figura 2.8 Indicador de posición (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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

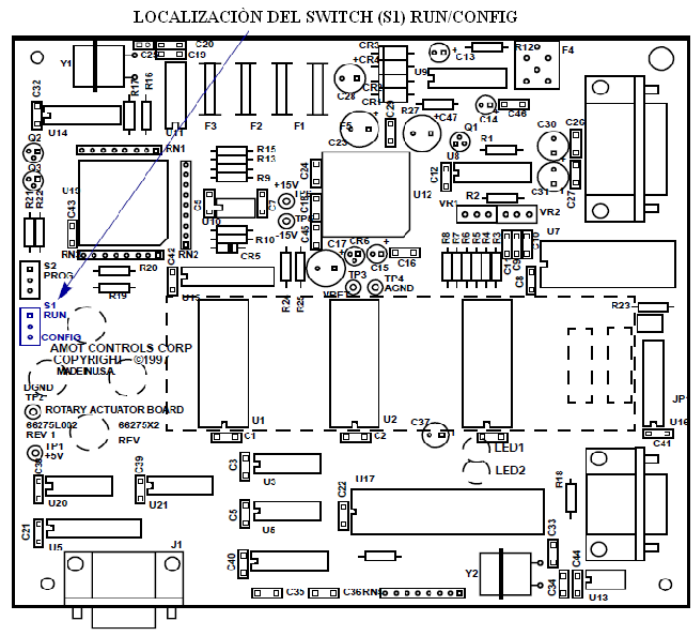


Figura 2.9 Circuito impreso del controlador (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

## 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)



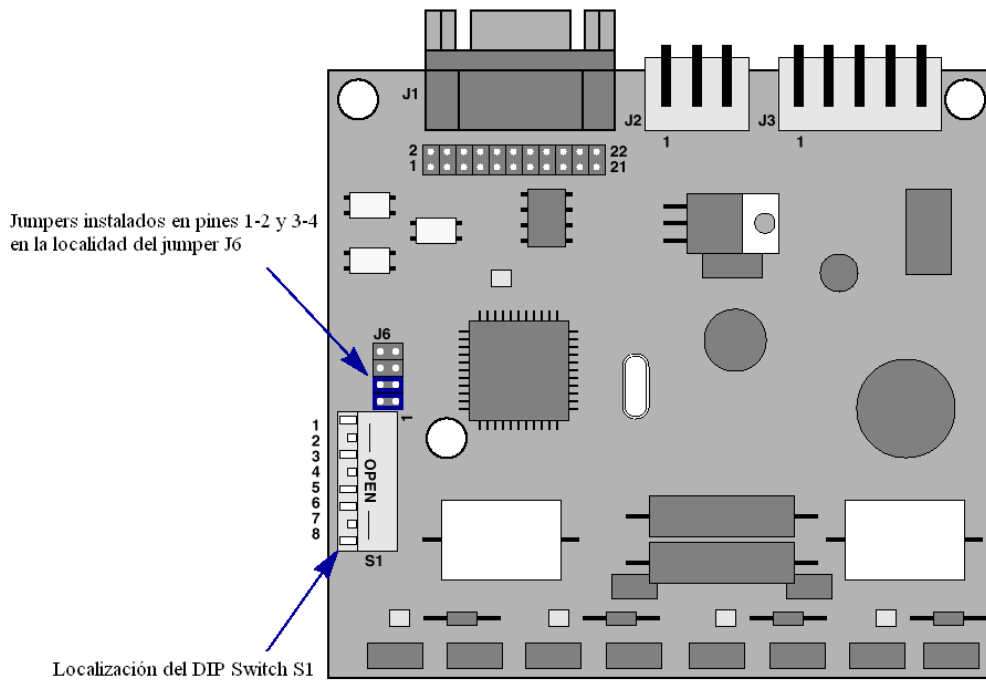


Figura 2.10 Localización del DIP switch de ocho posiciones (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

## 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

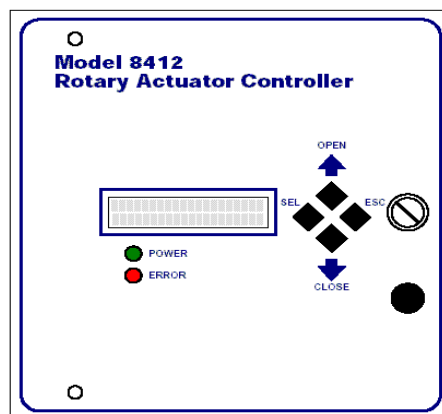


Figura 2.11 Panel de control (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

### 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

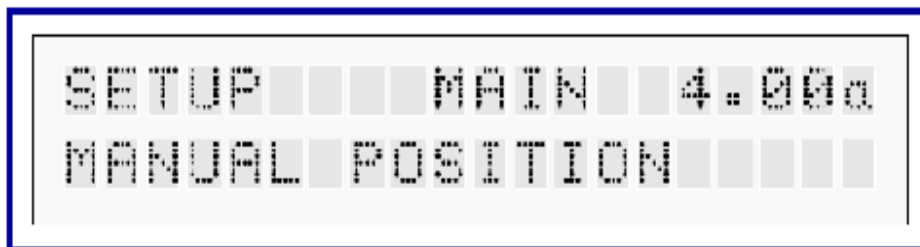


Figura 2.12 Modo Setup (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.

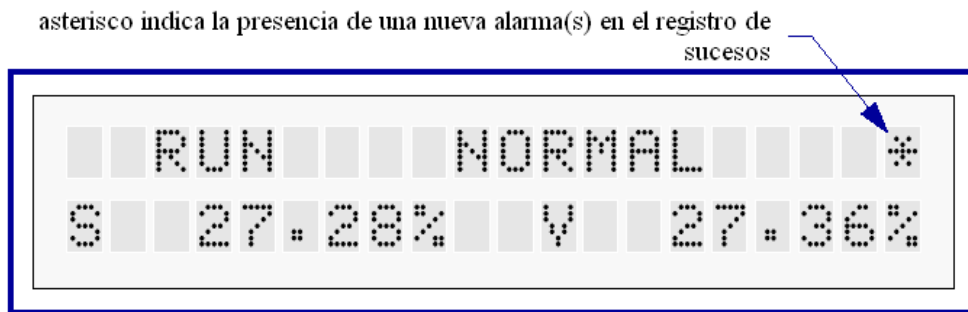


Figura 2.13 Modo normal RUN de LCD display (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.

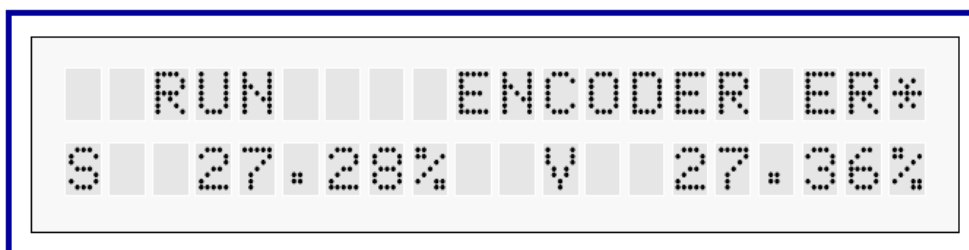


Figura 2.14 Ejemplo de error de mensaje en el display LCD (Fuente: Rotary fuel valve and position controller for gas turbines)

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.

## CAPÍTULO III

### ANTECEDENTES DE LOS PLC

Su historia se remonta a finales de la década de 1960 cuando la industria inició la búsqueda de nuevas tecnologías electrónicas para una solución más eficiente que fuera capaz de reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relevadores, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional. (Fuente: manual de usuario del PLC GE FANUC 9070 y sistema de control Dresser Rand)

Los controladores lógicos programables (PLC) son básicamente computadoras industriales complementadas con tarjetas electrónicas especiales que sirven como interfaz de adquisición de datos del PLC y los instrumentos de campo que controlan el proceso mismo, para adquirir datos se utilizan las tarjetas electrónicas de entrada, una vez recibidos los datos de entrada, son procesados en la memoria de la computadora o CPU, una vez procesada la información se obtiene un resumen de datos finales de salida en la memoria del CPU, los cuales son enviados al proceso a través de las tarjetas electrónicas de salida, estas tarjetas están interconectadas a los elementos en campo para poder activarlos cuando el programa de control así lo indique.

Los PLCs actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido, también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como control proporcional integral derivativo (PID).

### 3.1 ESTRUCTURA DEL PLC

Al ser el PLC un dispositivo basado en microprocesador, tiene una estructura interna similar a muchos controladores y computadoras. La estructura básica del hardware de PLC propiamente dicho está constituido por:

- Fuente de alimentación
- Unidad de procesamiento central (CPU)
- Módulos de interfaces de entradas/salidas (E/S)
- Módulos de memoria

La unidad de procesamiento central interactúa con el módulo de interfaces de entradas/salidas y los módulos de memoria. Esto se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 3.1.

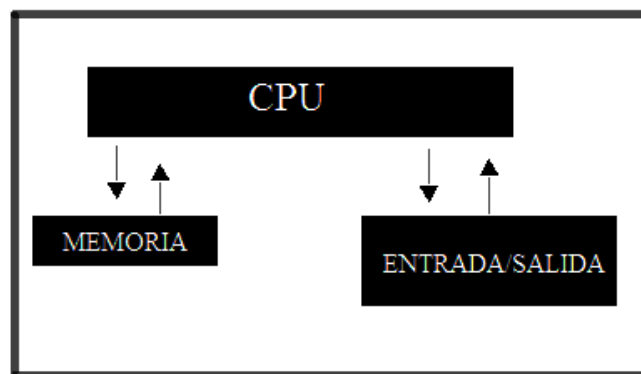


Figura 3.1 Diagrama de bloques de interacción del CPU (Fuente: Manual curso básico del PLC GE Fanuc 9070 y sistema de control DRESSER RAND)

Por ejemplo, dependiendo del tipo de sistema del PLC (pequeño, mediano o grande), todas las piezas se insertan en una unidad compacta (PLC pequeño) o se distribuyen. El sistema distribuido tiene el módulo de CPU/memoria, los racks de entrada/salida que pueden estar a cientos de metros de distancia del módulo principal del CPU. Unidades más grandes de PLC también pueden tener unidades y disposición analógica de entrada/salida, que pueden estar a cientos de metros de distancia del módulo principal del CPU, para programas de control más complejos que utilicen la aritmética y otras operaciones complejas no presentes originalmente en controladores de lógica de relevador.

Las diferencias principales entre los PLCs y otros dispositivos basados en microprocesador son que el PLC es una unidad de diseño robusto para una operación industrial y se blindan para mejorar su inmunidad al ruido eléctrico.

Además son modulares, permitiendo un fácil reemplazo y la adición de unidades, esto se refiere a que el sistema de control puede ser armado con una serie de módulos electrónicos de varios tipos y tamaños que reflejen las necesidades en tamaño y función del proceso, es decir, es como mandar a fabricar un pantalón a la medida con un sastre.

### **3.1.1 COMPONENTES DEL PLC**

#### **FUENTE DE ALIMENTACIÓN**

La función de la fuente de alimentación en un controlador, es suministrar la energía a la CPU y demás tarjetas según la configuración del PLC.

#### **UNIDAD DE PROCESAMIENTO CENTRAL (CPU)**

Es la parte más compleja e imprescindible del controlador programable, que en otros términos podría considerarse el cerebro del controlador. La unidad central está diseñada con base en microprocesadores y memorias, contiene una unidad de control, la memoria interna del programador RAM, temporizadores, contadores, memorias internas tipo relevador, imágenes de las entradas/salidas del proceso, etc. Su misión es leer los estados de las señales de las entradas, ejecutar el programa de control y gobernar las salidas, el procesamiento es permanente y a gran velocidad.

#### **MÓDULOS O INTERFACES DE ENTRADA Y SALIDA (E/S)**

Son los que proporcionan el vínculo entre la CPU del controlador y los dispositivos de campo del sistema. A través de ellos se origina el intercambio de información ya sea para la adquisición de datos o la del mando para el control de máquinas del proceso.

#### **TIPOS DE MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA**

Debido a que existen gran variedad de dispositivos exteriores como sensores (interruptores, finales de carrera, pulsadores) y actuadores (bobinas de contactos, lámparas, motores pequeños, etc.), encontramos diferentes tipos de módulos de entrada



y salida, cada uno de los cuales sirve para manejar cierto tipo de señal (discreta o analógica) a determinado valor de voltaje o de corriente en DC o en AC.

Módulos de entradas discretas

Módulos de salidas discretas

Módulos de entrada analógica

Módulos de salida analógica

## MÓDULOS DE MEMORIA

Estos dispositivos están destinados a guardar información de manera provisional o permanente.

Se cuenta con dos tipos de memorias:

Volátiles (RAM)

No volátiles (EPROM y EEPROM)

## UNIDAD DE PROGRAMACIÓN

Las terminales de programación son el medio de comunicación entre el hombre y la máquina; estos aparatos están constituidos por teclados y dispositivos de visualización.

Existen tres tipos de programadores: los manuales (Hand Held) tipo calculadora, los de video (tipo PC), y la computadora.

### **3.1.2 OPERACIÓN DEL PLC**

El PLC funciona internamente de una manera muy similar a las computadoras. Las entradas se monitorean y se copian continuamente del módulo de entrada/salida en la memoria RAM, que se divide en las secciones de entrada y de salida de información. El CPU procesa a través del programa de control, en otra sección de memoria, y busca las variables de entrada de la RAM de entrada. Dependiendo del programa y el estado de las entradas, la RAM de salida es llenada con las variables controladas que son copiadas en los módulos de entrada/salida donde se controla el proceso.

### **3.1.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC**

Una de las principales ventajas del controlador del PLC es que es un dispositivo programable, con lo cual hace posible, a diferencia de la lógica de relevador, diseñar y modificar fácilmente el programa de control o el proceso, sin cambio alguno en el cableado (ninguna modificación al hardware). Para hacer la programación de los sistemas del PLC fácil y eficiente, los estándares de la industria definen la aproximación de la programación y los lenguajes de programación adoptados. Esto reduce la necesidad de entrenamiento del personal haciendo un conjunto de lenguajes estándar para todas las plataformas del PLC en el mercado.

### **3.2 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL PLC**

A continuación se listan las partes que componen el PLC GE FANUC para saber cómo se conforma el equipo a utilizar, así como las características y función de cada una de ellas, cabe mencionar que el modelo de todos los módulos es IC697.

#### **RACK (BACKPLANE)**

Características:

1. Acepta conexión con energía de alimentación de CA y CD
2. Acepta todos los tipos de módulos de los PLCs IC697

Estos PLCs permiten una configuración de usuario de puntos de referencia de I/O para módulos, sin la necesidad de direccionar con DIP switches o jumpers, el direccionamiento se realiza a través del software Logic Master.

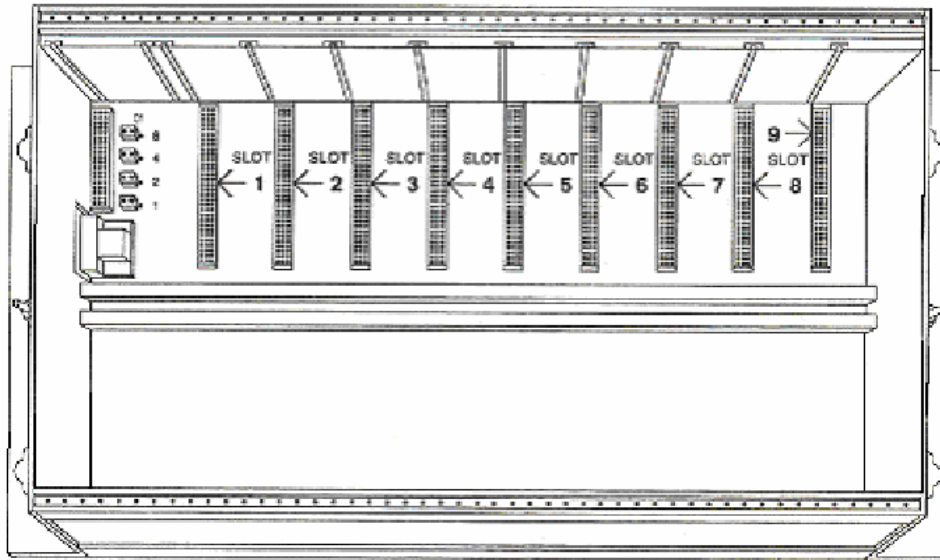


Figura 3.2 Rack (Fuente: Manual curso básico del PLC GE Fanuc 9070 y sistema de control DRESSER RAND)

Cada rack de este tipo contiene un conector para una fuente de alimentación y nueve slots de localización para módulos. Dos racks pueden compartir una fuente de alimentación de energía cuando se requiere una ampliación de I/O.

#### FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Características:

1. Opera con 24 VCD
2. Tres voltajes de salida para un total de 90 watts  
+15 VCD  
+12 VCD  
-12 VCD
3. Proporciona protección al bus de 5 Volts contra sobre corriente y cortocircuito



Figura 3.3 Fuente de alimentación.

## UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO

Es un controlador programable para control de máquinas y procesos en tiempo real que se comunica con módulos de entrada y salida montados en el mismo rack y con módulos remotos, soporta todos los módulos de interfaz LAN IC697, módulos coprocesadores, controladores de bus, módulos de comunicación y todas las tarjetas de I/O discretas y analógicas de la familia IC697.

La operación de este módulo puede ser controlada por el interruptor de tres posiciones de RUN/STOP que contiene el módulo o a través del software de programación. A los datos de programación y configuración se les puede poner candado a través de password en el software o manualmente con la llave de protección de memoria. El estado del PLC es indicado por cuatro leds verdes en el frente del módulo.

Cuenta con un puerto serial que facilita la comunicación con otros equipos, siendo éste el medio empleado para comunicarse y para desarrollar el proyecto del banco de pruebas.

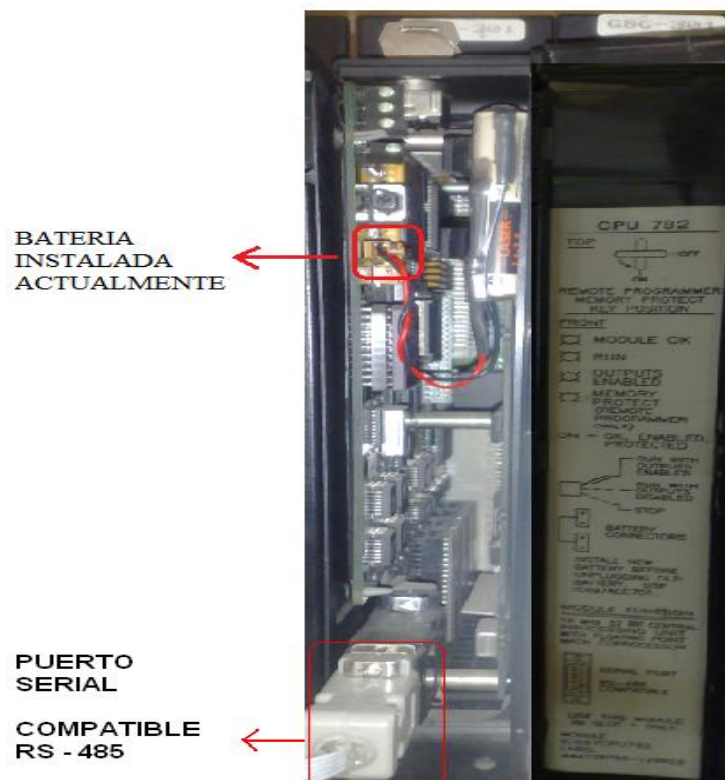


Figura 3.4 CPU

## MÓDULO CONTROLADOR DE BUS GENIUS

Para aplicaciones donde se requiere transferencia de información punto a punto, el controlador de bus puede servir como un nodo de comunicación, uniendo a otros dispositivos. Estas comunicaciones incluyen transmisión de datos global de un CPU a otro o entre múltiples PLCs y computadoras.

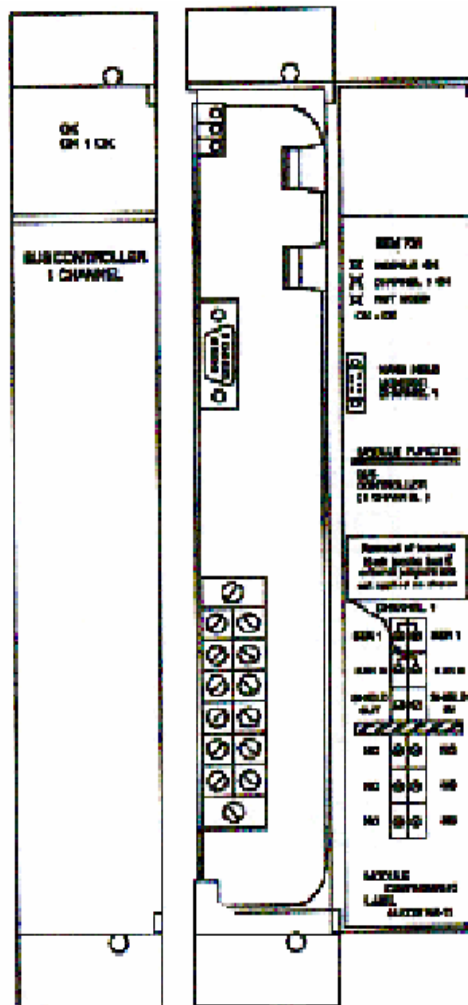


Figura 3.5 Controlador bus Genius (Fuente: Manual curso básico del PLC GE Fanuc 9070 y sistema de control DRESSER RAND)

## MÓDULO PARA COMUNICACIÓN ETHERNET

La interfaz Ethernet proporciona un alto desempeño de comunicaciones TCP/IP para la familia de los PLC IC697, utiliza un solo slot del rack y es configurada con el software de programación.

Consta de cuatro leds indicadores, como se muestra en la Figura 3.6 y se explica en la Tabla 3.1



Figura 3.6 Módulo para comunicación Ethernet

LED INDICADOR	ESTADO	DESCRIPCIÓN
MODULE OK	ON  OFF  INTERMITENTE	Este LED estará prendido si la interfaz Ethernet ha pasado el diagnóstico y opera adecuadamente.  Este LED estará apagado si el modulo falla la prueba de diagnóstico, o si un error fatal se detectó durante la operación.  El LED permanece intermitente durante el diagnóstico.
LAN ONLINE	ON  OFF  INTERMITENTE	Este LED estará prendido si la interfaz Ethernet está conectada a una red Ethernet y lista para comunicarse.  Este LED estará apagado cuando la interfaz no se comunica con la red o está desconectado el cable, cuando existe un malfuncionamiento o se ha mandado un comando de no entrar a la red.  Este LED permanecerá intermitente cuando la interfaz Ethernet esté transmitiendo datos en la red.
SERIAL ACTIVE	OFF  INTERMITENTE	Este LED estará apagado durante la inactividad del puerto serial RS-485  Este LED permanecerá intermitente durante la transferencia de datos en el puerto serial RS-485
STATUS OK	ON  OFF  INTERMITENTE	Este LED estará prendido cuando el módulo esté operando sin ningún problema.  Este LED estará apagado si la interfaz detecta un evento durante la operación que requiera supervisión.  El LED permanece intermitente durante condiciones de operación especiales (varios LEDs intermitentes al mismo tiempo)

Tabla 3.1 Significado de los LEDs indicadores (Fuente: Manual curso básico del PLC GE Fanuc 9070 y sistema de control DRESSER RAND)



## MÓDULO DE ENTRADAS DISCRETAS

El módulo de entradas discretas provee de 32 puntos de entradas en cuatro grupos aislados de ocho puntos cada uno. Se incluyen LEDs indicadores de estado ON-OFF para cada punto y están localizados en la parte superior del módulo.

Las señales discretas como los interruptores, son simplemente una señal de On/Off (1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente). Los botones e interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una señal discreta. Las señales discretas son enviadas usando voltaje o corriente, donde un rango específico corresponderá al On y otro rango al Off. Un PLC puede utilizar 24V de voltaje continuo en la E/S donde valores superiores a 22V representan un On, y valores inferiores a 2V representan Off. Inicialmente los PLC sólo tenían E/S discretas.

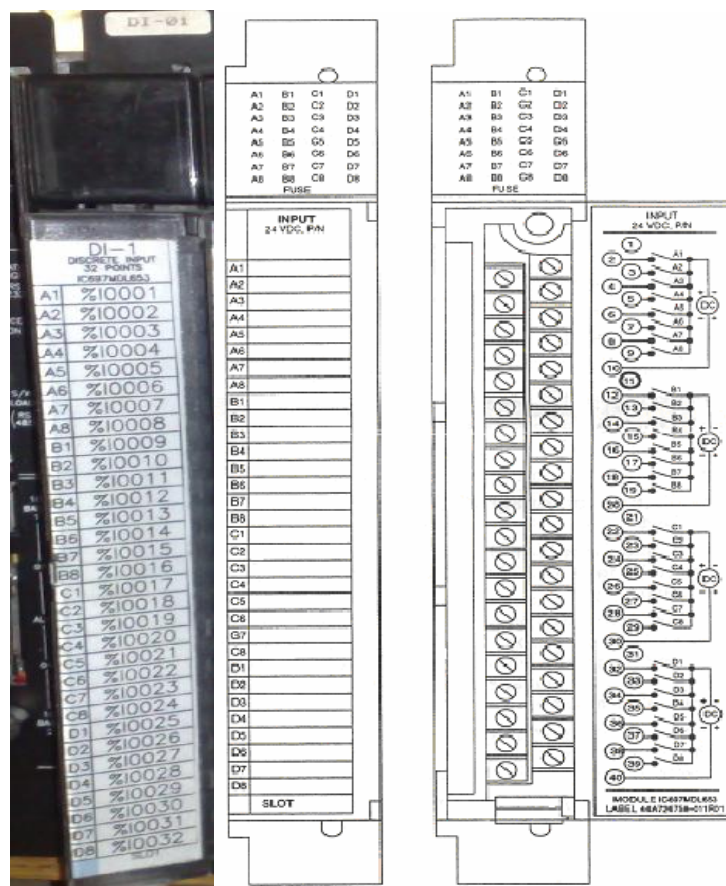


Figura 3.7 Módulo de entradas discretas (Fuente: Manual curso básico del PLC GE Fanuc 9070 y sistema de control DRESSER RAND)

## MÓDULO DE SALIDAS DISCRETAS

El módulo de salidas discretas provee 32 puntos de salida en cuatro grupos aislados de ocho puntos cada uno. Cada grupo de cuatro salidas es individualmente protegido con un fusible de 10 Amp.

LEDs indicadores dan el estado de ON-OFF los cuales están localizados en la parte frontal del módulo. Así también se cuenta con un LED para indicar el estado del fusible.

El módulo es compatible con una gran variedad de dispositivos de carga, como son:

1. Solenoides
2. Arrancadores de motores
3. Indicadores

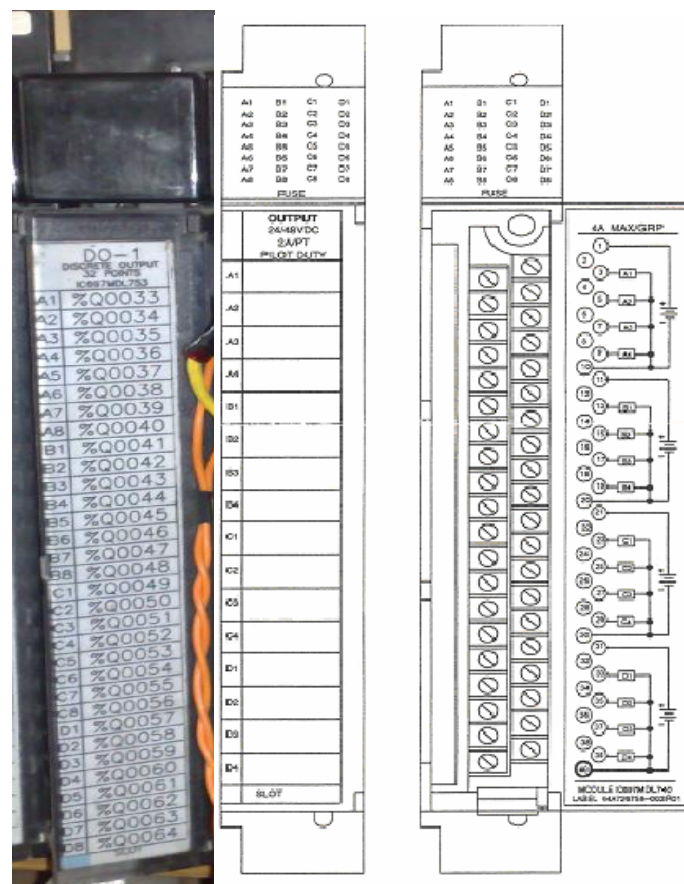


Figura 3.8 Módulo de salidas discretas (Fuente: Manual curso básico del PLC GE Fanuc 9070 y sistema de control DRESSER RAND)

## MÓDULOS DE ENTRADAS ANALÓGICAS

Las señales analógicas son como controles de volumen, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas. Las señales analógicas pueden usar voltaje o corriente con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. Por ejemplo, una entrada de 4-20 mA ó 0-10 V será convertida en enteros comprendidos entre 0 y 32767.

Contiene entradas analógicas de alto nivel de hasta  $\pm 10$  Volts de escala completa y acepta señales de lazo de corriente de 4 a 20 mA. Estas entradas son convertidas a forma digital por el CPU y otros controladores a través del backplane.

Las entradas analógicas usan la referencia %AI en el PLC. Cada entrada del canal usa una palabra de 16 bits de memoria %AI.

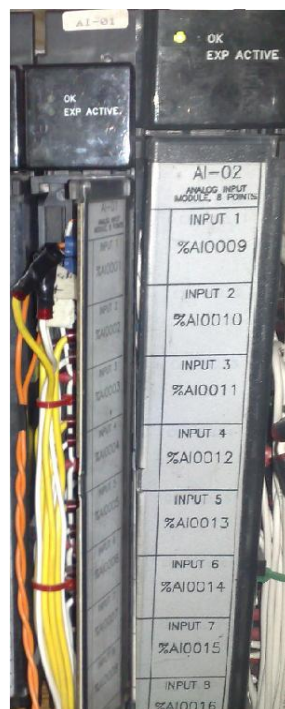


Figura 3.9 Módulos de entradas analógicas

## MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS

Las salidas analógicas de alto nivel aceptan señales digitales del PLC y otros controladores. Los datos de salida son convertidos a salidas analógicas.

Las salidas analógicas usan la referencia %AQ en el PLC. Cada entrada del canal usa una palabra de 16 bits de memoria %AQ. El alambrado de campo está diseñado para poder quitar la tarjeta terminal, y el módulo es mecánicamente ajustable para asegurar un correcto reemplazo con un módulo similar.



Figura 3.10 Módulos de salidas analógicas

### 3.3 LENGUAJES DEL PLC

Existen varios lenguajes de programación, ha sido establecida la norma IEC 1131-3 que fija criterios en tal sentido.

- La Norma IEC 1131-3 surge para normalizar los lenguajes de programación usados en automatización industrial.

Así, la norma define los lenguajes de programación: Escalera (ladder), Lista de instrucciones (Assembler), Estructurado (similar al Pascal), Bloques de Función y Diagrama Flujo de Secuencial (SFC o Grafset). Según el tipo de PLC que se utilice, podrá tener uno o más de estos lenguajes.

En la programación se pueden incluir diferentes tipos de operandos, desde los más simples como lógica booleana, contadores, temporizadores, contactos, bobinas y operadores matemáticos, hasta operaciones más complejas como manejo de tablas (recetas), apuntadores, algoritmos PID que le permitirían interconectarse con otros dispositivos.

Para el PLC GE FANUC 9070 los lenguajes de programación que pueden emplearse son el lenguaje escalera y lista de instrucciones, empleando el software LM90.

El lenguaje escalera, también denominado lenguaje de contactos, es un lenguaje basado en los esquemas eléctricos de control clásicos, consta de varios elementos tales como relevadores, timers y funciones matemáticas.

El lenguaje de lista de instrucciones son órdenes del tipo booleano, que utilizan para su representación letras y números. Dado que se usan abreviaturas nemotécnicas, no se requiere gran memoria para tareas de automatización.

La desventaja radica en la magnitud del trabajo que es necesario para su programación, especialmente si el programa consta de unos cientos de instrucciones.

Cada fabricante ha nombrado mediante siglas o palabras compuestas a su lenguaje de programación o software de programación que lo distingue del resto de los PLC. En la tabla 3.2 se indica el nombre empleado para el GE Fanuc.

LENGUAJE	GRÁFICO			TEXTUAL	
TIPO	PLANO DE FUNCIONES	PLANO DE CONTACTOS	GRAFSET	LISTA DE INSTRUCCIONES	TEXTO ESTRUCTURADO
GENERAL ELECTRIC		LOGIC MASTER 9070		LOGIC MASTER 9070	

Tabla 3.2 Lenguajes de programación para PLCs (Fuente: Elaboración propia)

## CONCLUSIÓN

Con este capítulo se termina de conocer todos los equipos que intervienen en el sistema de control, aquí se aborda el PLC GE FANUC 9070, detallando cada uno de los componentes ubicados en cada slot dentro del rack o chasis, así como las distintas maneras de programar en este equipo.

## CAPÍTULO IV

Para el desarrollo de la interfaz es necesario tener los conocimientos de los equipos mencionados en los capítulos anteriores, una vez que ya están estudiados, lo primero es realizar el cableado propiamente del equipo. El PLC GE FANUC 90-70, el controlador modelo 8412 y la válvula AMOT.

En la figura 4.1 se muestra de forma general la comunicación del equipo y la arquitectura para lograr el sistema de control en lazo cerrado, esto se refiere a tener retroalimentación de la señal de salida; en este caso la información que el PLC envíe al controlador y éste a la válvula se conoce como demanda, mientras que a la información que regresa la válvula al controlador y éste al PLC se le llama posición.

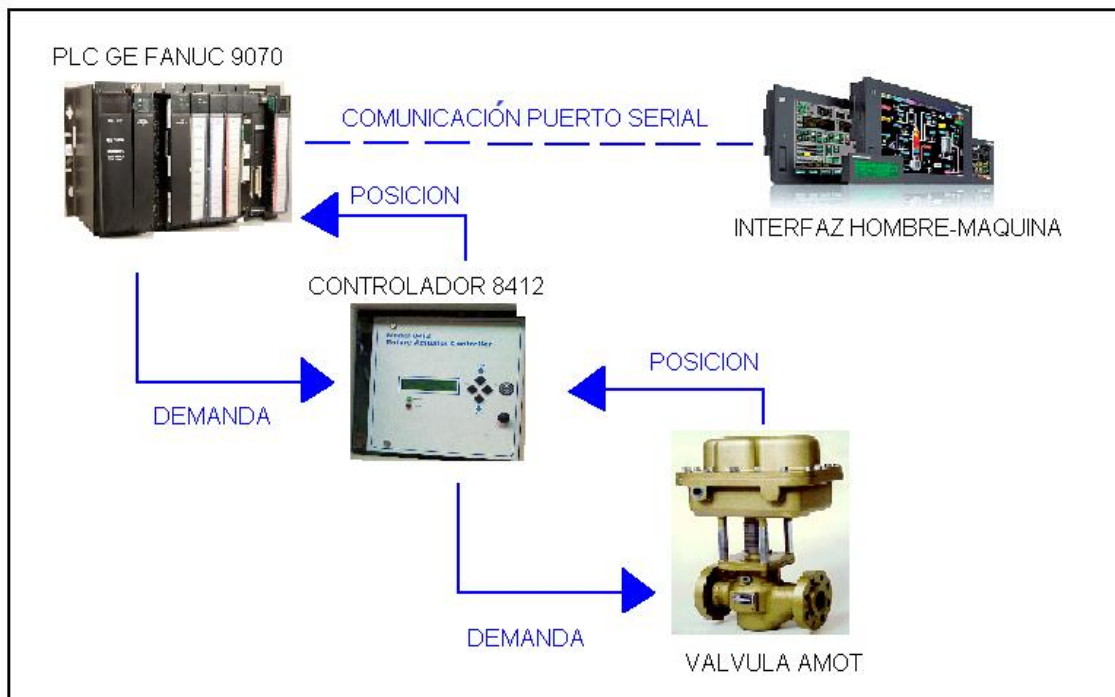


Figura 4.1 Arquitectura general del banco de pruebas (Fuente: Elaboración propia)

## 4.1 CONEXIONES REQUERIDAS

Ahora bien, para tener una idea más clara de cómo se realizaron las conexiones, en los siguientes diagramas se muestra específicamente a qué puntos de cada equipo se envían las señales.

Como diagrama general, se especifican las conexiones requeridas hacia otro equipo externo al controlador y actuador de la válvula, en este caso el PLC GE FANUC, y también las conexiones entre actuador y controlador, como se muestra en la figura 4.2.

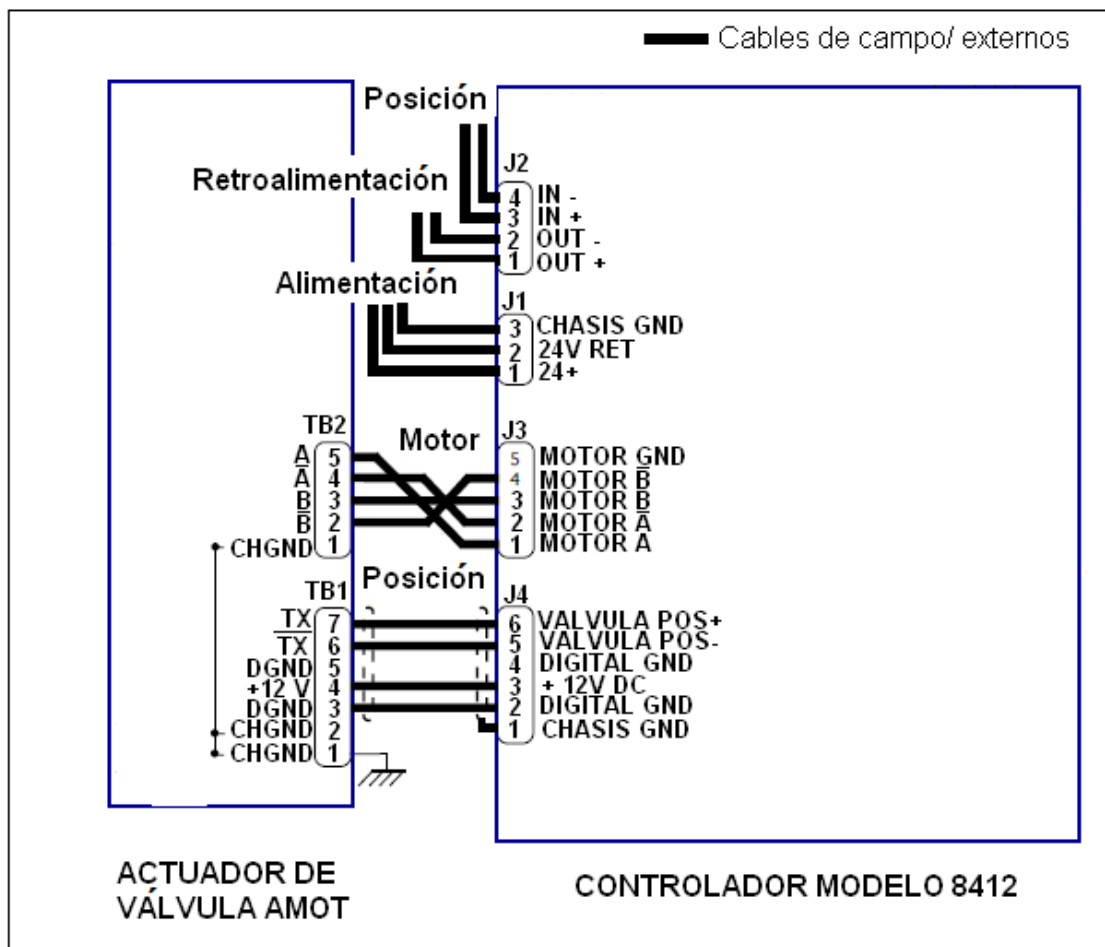


Figura 4.2 Cableado general del controlador (Fuente: Elaboración propia)

Para el caso particular de la alimentación no se muestra un diagrama en específico, ya que sólo se emplea una fuente de alimentación de 24 VCD para el controlador.



En la Figura 4.3 se aprecia más claramente el cableado entre actuador de válvula y controlador, señalado punto a punto la interconexión entre cada conector para un correcto funcionamiento del equipo, este cableado permitirá más adelante manipular el motor a pasos y la posición de retroalimentación.

Para accionar el motor a pasos se emplean los conectores TB2 y J3 ilustrados en la Figura 4.3, mientras que para la retroalimentación de su posición se utilizan los conectores TB1 y J4.

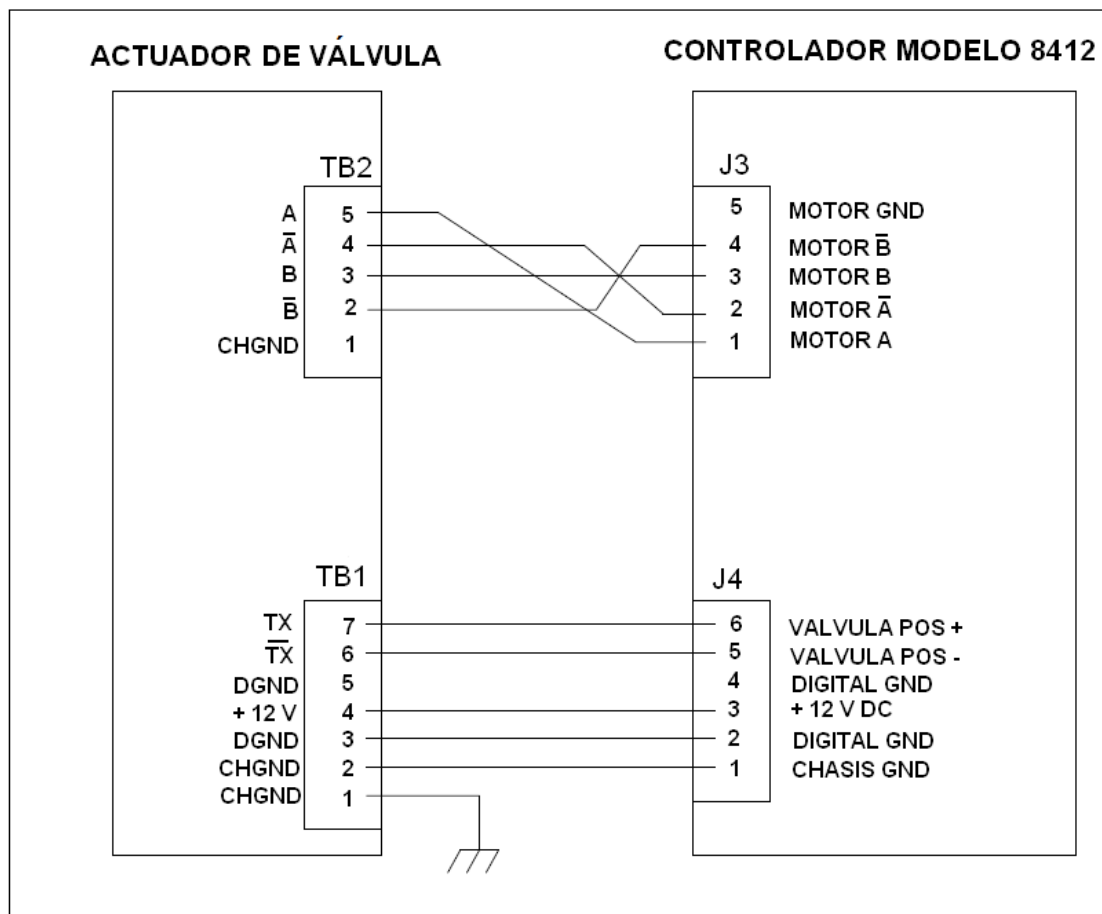


Figura 4.3 Cableado actuador-válvula (Fuente: Elaboración propia)

El cableado del equipo externo, que es el PLC, con el controlador, se aprecia en la Figura 4.4, para este caso solamente se ocupan las tarjetas de entrada/salida analógicas del GE FANUC.

La tarjeta de salidas analógicas se conecta a las terminales IN+ e IN- del conector J2 en el controlador para obtener la posición. La tarjeta de entradas analógicas va al mismo conector pero en las terminales OUT+ y OUT- para lograr la retroalimentación, de esta forma se obtiene un sistema de control de lazo cerrado.

Como se describe en el capítulo III los módulos de entrada/salida poseen varias terminales, en la Figura 4.4 se especifican los puntos empleados, las conexiones a estos módulos se realizan atornillando el cableado al conector terminal montado en el frente de cada módulo.

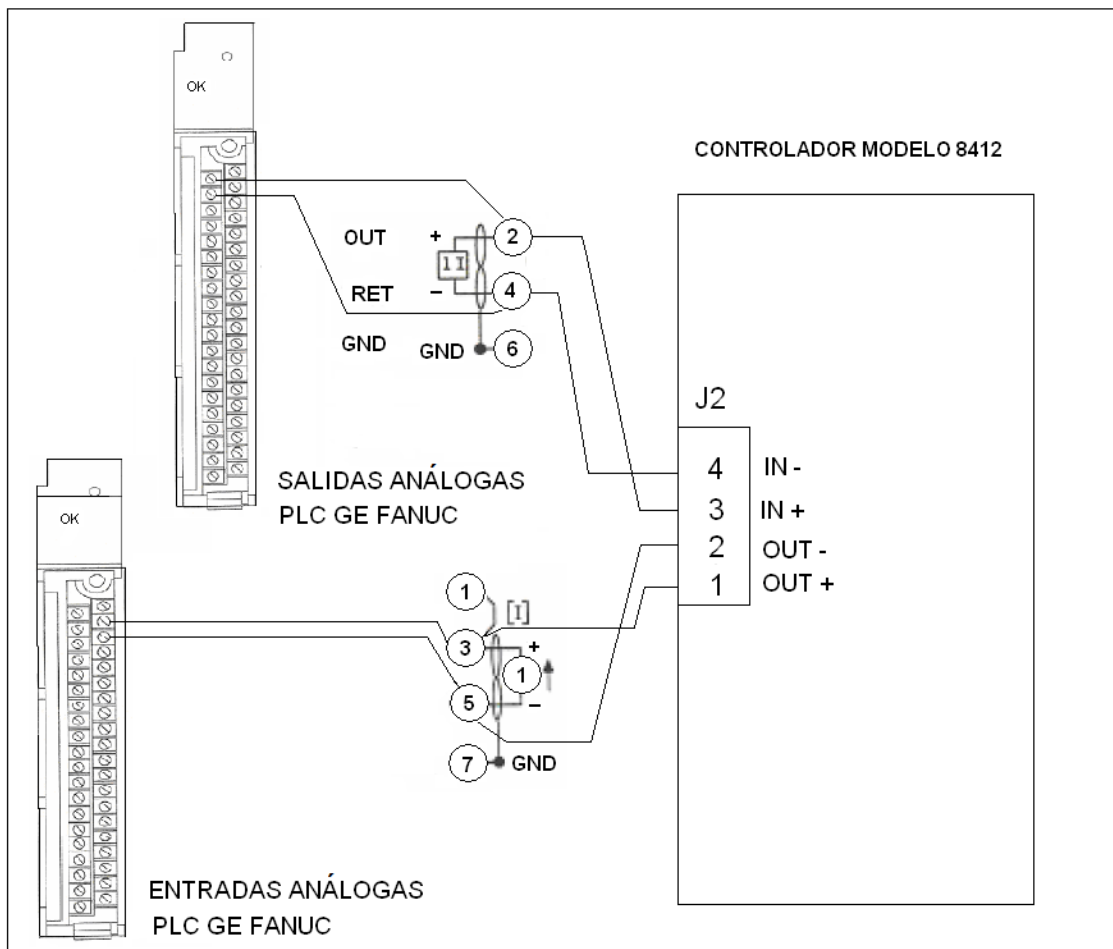


Figura 4.4 Cableado PLC-Controlador (Fuente: Elaboración propia)

## 4.2 CONFIGURACIÓN DEL PLC

Una vez que se tiene cableado, se realiza la configuración del PLC para poder utilizar la válvula adecuadamente. La válvula opera con una entrada mínima de 4 mA a un máximo de 20 mA, estos valores son los que se adecuan a las salidas analógicas del PLC para que el controlador esté listo para operar. En el capítulo III se habla de las características del PLC mencionando las señales analógicas, éstas pueden usar voltaje o corriente con una magnitud proporcional al valor de la señal que se procesa.

En la Figura 4.5 se muestra la manera en que se realiza la configuración del PLC GE FANUC 9070, mediante el software Logic Master 90. Se hace uso de un multímetro para conocer la corriente de la tarjeta analógica y a través del software se manipulan las cuentas para lograr la corriente deseada, en este caso 4 mA es lo que se requiere.

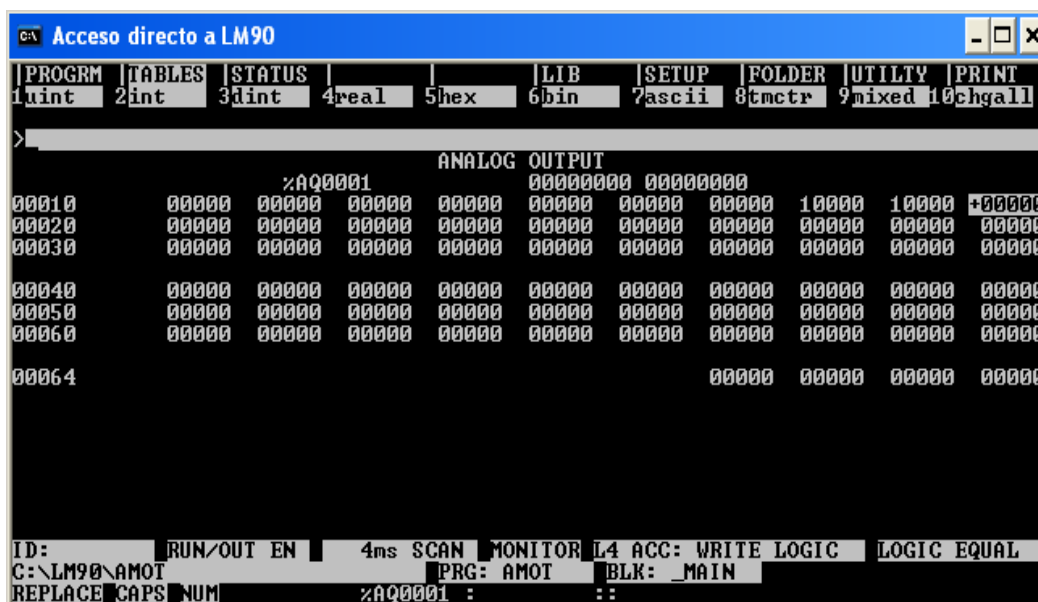


Figura 4.5 Salidas analógicas (Fuente: Software LogicMaster90)

Manipulando las cuentas y checando la corriente en el multímetro, cuando éste indique los 4 mA deseados se tienen las cuentas necesarias y son las que quedan registradas en la tabla de entradas y salidas en el software para ya tener la configuración correcta y poder operar adecuadamente la válvula.

En la Tabla 4.1 se indica la relación entre corriente y cuentas que se obtuvo para configurar el PLC.

DEMANDA  %AQ1	4 mA	Válvula abierta (100%)	0 cuentas
	20 mA	Válvula cerrada (0 %)	32 000 cuentas
POSICIÓN  %AI1	4 mA	Válvula cerrada (0%)	31 400 cuentas
	20 mA	Válvula abierta (100%)	300 cuentas

Tabla 4.1 Configuración PLC (Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 4.6 se muestra para el caso de la posición abierta (100%) de la válvula en las entradas analógicas.

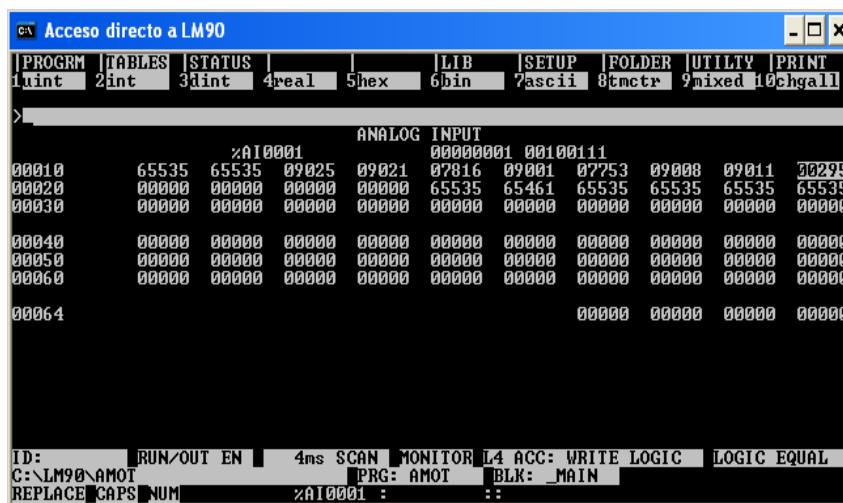


Figura 4.6 Entradas analógicas (Fuente: Software LogicMaster90)

Ya configurado el equipo y listo para operar, se puede manipular la apertura y cierre de la válvula manualmente mediante el controlador, de esta manera es como entra en servicio. Ahora, para el desarrollo del banco de pruebas, se necesita instalar el software para establecer comunicación entre el sistema de lazo cerrado y la PC para el desarrollo de la interfaz.

### 4.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE INTOUCH V7.1

Para el desarrollo de la interfaz hombre-máquina se empleó el software Wonderware InTouch 7.0 capaz de crear aplicaciones bajo entorno PC. Este software contiene varios

elementos, y uno de ellos es la interfaz hombre-máquina (HMI) InTouch, empleado para crear procesos de visualización y control. Consta básicamente de dos elementos: Windowmaker y Windowviewer.

Windowmaker es el sistema de desarrollo. Permite todas las funciones necesarias para crear ventanas animadas interactivas conectadas a sistemas de Entradas/Salidas externos o a otras aplicaciones Windows.

Windowviewer es el sistema runtime (modo ejecución) utilizado para interactuar con las aplicaciones creadas con Windowmaker.

Esto es solamente el software para la creación de las pantallas, pero para lograr la comunicación entre el PLC y el InTouch se requiere de otra aplicación, conocida como servidores de I/O de Wonderware. Básicamente son componentes que se comunican con Windows de Microsoft que permiten a InTouch acceder a datos en tiempo real, que está procesando el PLC GE Fanuc 90-70.

Con estas dos aplicaciones instaladas es suficiente para poder crear las pantallas y tener la comunicación con el PLC. Ya cableado y en comunicación nuestro sistema de control de lazo cerrado, se inicia el desarrollo de la interfaz hombre-máquina.

#### **4.4 PROGRAMACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS**

Para el desarrollo de las pruebas se programó de dos formas, una con el software Logic Master 90 del PLC GE FANUC 9070 y otra con el InTouch de Wonderware.

Para el Logic Master 90 se programó en lenguaje escalera, muy común y conocido para los PLCs, mientras que para el InTouch se hizo por medio de Scripts, este tipo de programación permite ejecutar comandos y operaciones lógicas basados en criterios específicos reunidos, como cuando una tecla es presionada, una ventana se abre, o un valor cambia. Todos los scripts de InTouch son eventos manipulados, tal como un cambio de dato, una condición, un clic del ratón, o un temporizador.

En la Figura 4.7 se muestran los diferentes tipos de scripts posibles de emplear, ya cuando se está interactuando con el Intouch, para la creación de las pantallas se utilizaron los scripts de aplicación y de condición.

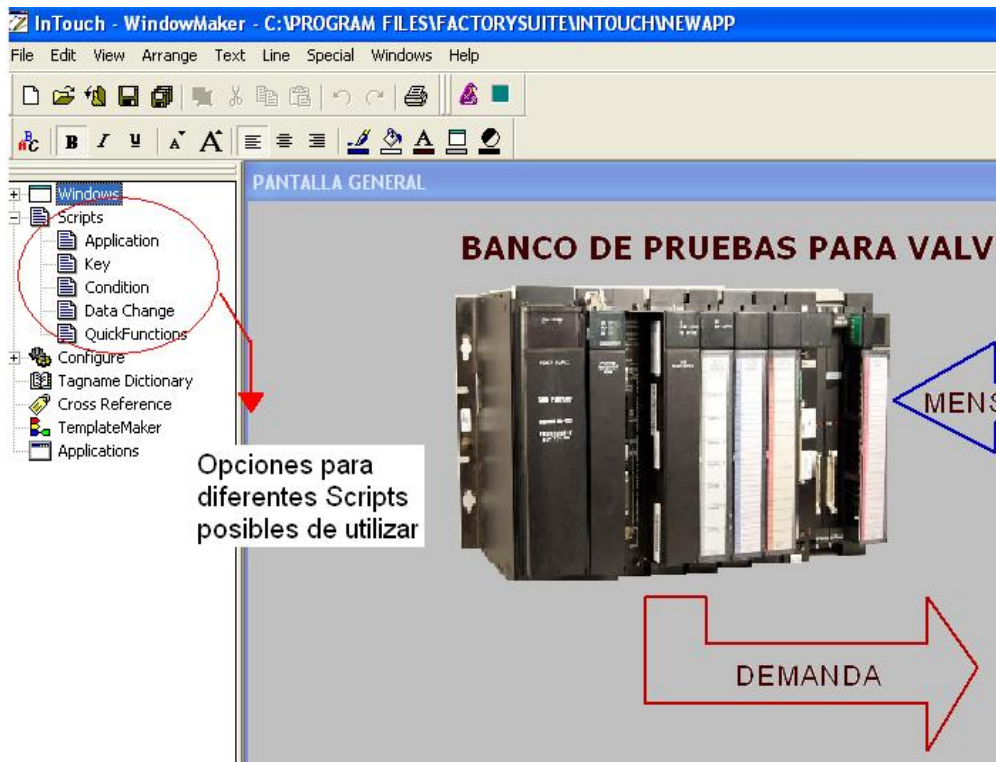


Figura 4.7 Posibles Scripts a utilizar (Fuente: Elaboración propia)

La otra manera en que se programó fue mediante lenguaje escalera con ayuda del software LM90, como se muestra en la figura 4.8, a pesar de que se empleó muy poco esta forma de programar sí fue indispensable para iniciar el arranque del sistema.

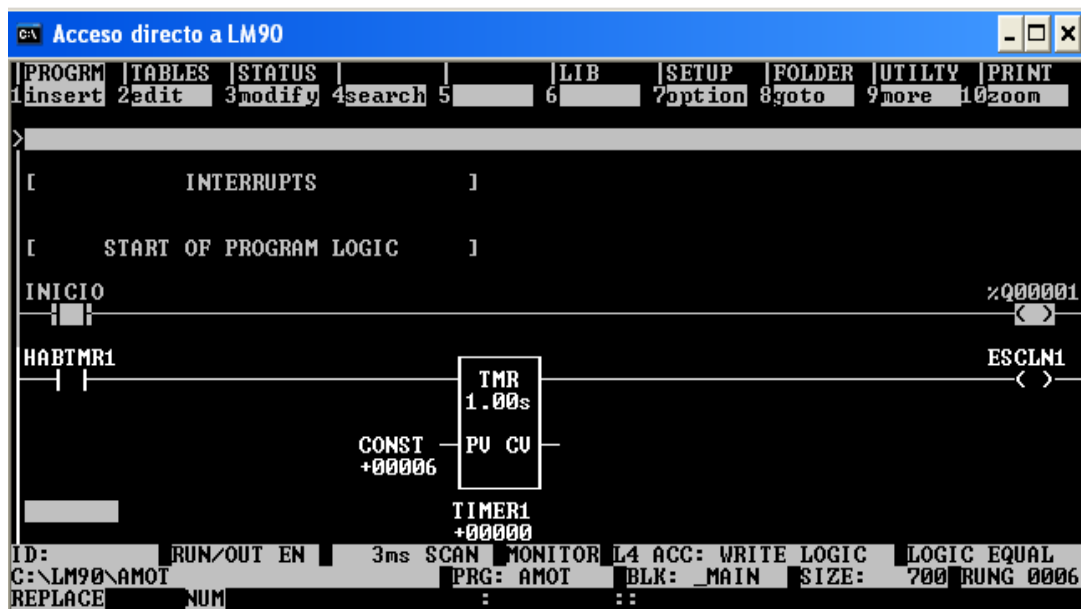


Figura 4.8 Programación lenguaje escalera (Fuente: Software LogicMaster90)

La mayor parte de la programación se realizó mediante scripts, debido a que en el uso del Intouch se tiene permitido blindar la información mediante códigos de seguridad, así la programación puede ser restringida al usuario y sólo personal autorizado puede realizar modificaciones o acceder a ella, a diferencia del Logic Master 90 donde todo el personal tiene acceso libremente a la programación, por tal motivo la programación del banco de pruebas está en su mayoría soportada por Intouch.

#### 4.5 DESARROLLO DE PANTALLAS

Como primera pantalla inicial se pretende que el operador interactúe fácilmente y conozca la forma de operar del sistema y los términos generales que se emplean, la Figura 4.9 nos muestra la pantalla principal del banco de pruebas de la válvula de control de combustible AMOT.

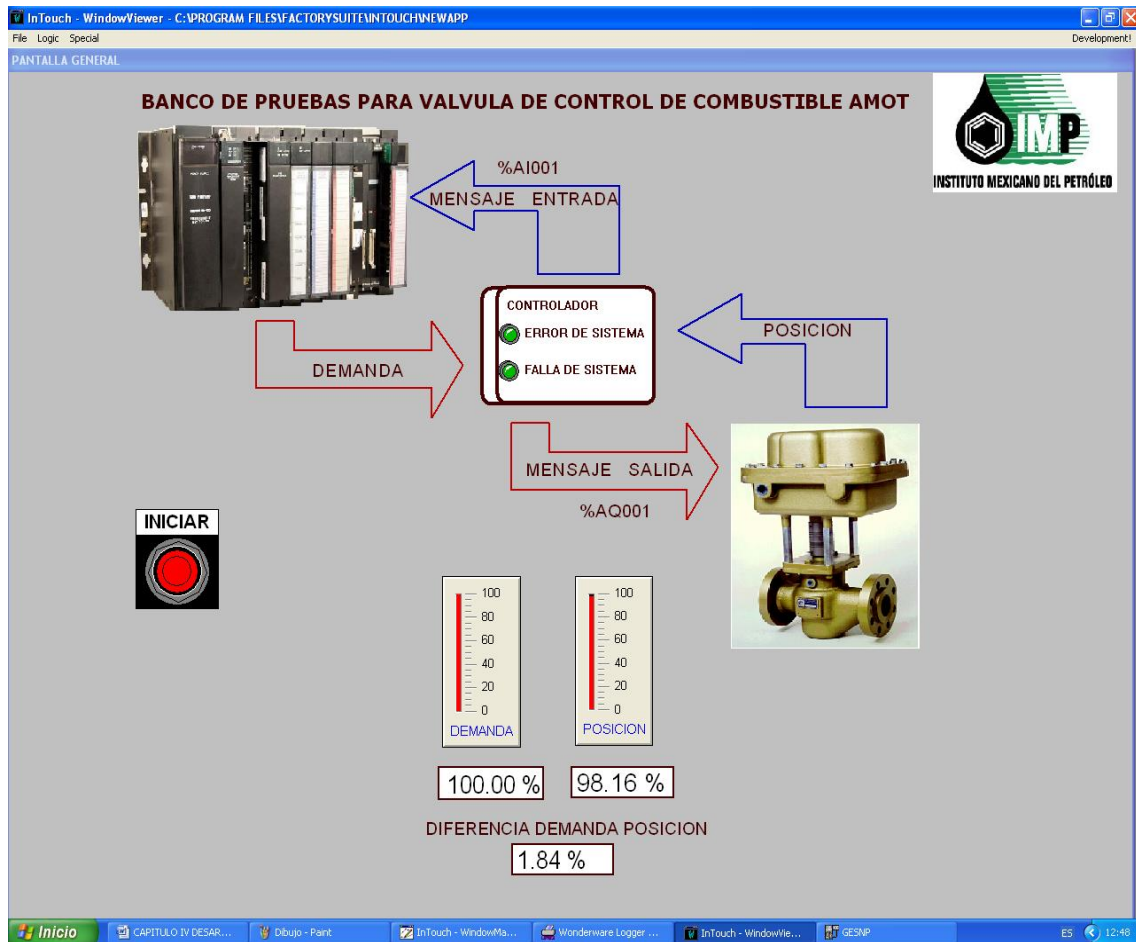


Figura 4.9 Pantalla inicial del banco de pruebas (Fuente: Elaboración propia)

La pantalla inicial brinda un panorama general del sistema de control de lazo cerrado, el equipo empelado y los parámetros a monitorear, en este caso la demanda y la posición.

En un inicio no puede manipularse hasta que un contacto normalmente abierto cambie su estado, programado en lenguaje escalera, ya activado el botón INICIAR se encenderá y cambiará a color verde, indicando que está listo el banco de pruebas para ser utilizado.

Iniciado el banco de pruebas se tendrá acceso a las diferentes opciones que brinda para realizar un diagnóstico de la válvula: calibrar, operar manualmente y pruebas de funciones, como se muestra en la Figura 4.10

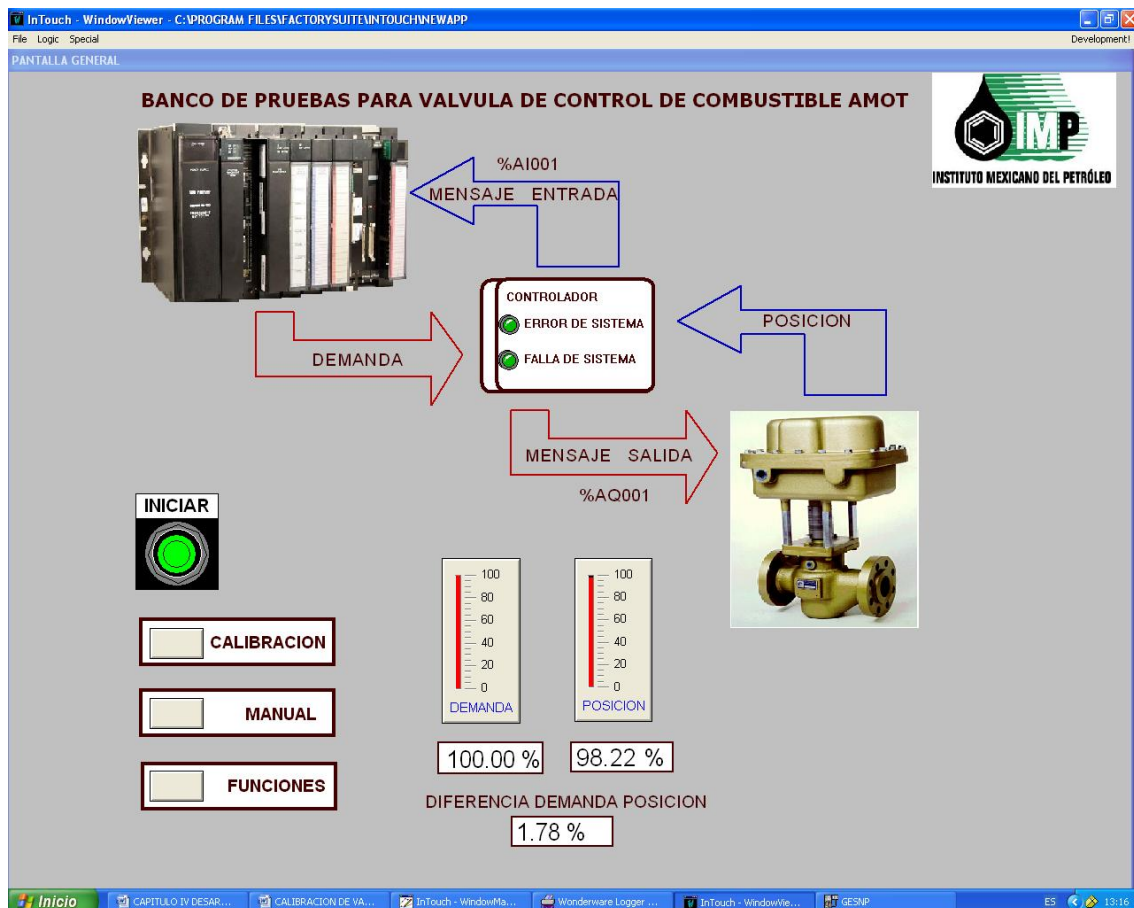


Figura 4.10 Pantalla inicial en funcionamiento (Fuente: Elaboración propia)

Una vez que ya se tiene la pantalla inicial en funcionamiento, la primera prueba propuesta para implementar es la calibración, que resulta fundamental para comenzar con un correcto funcionamiento de la AMOT. Si la calibración es incorrecta, el controlador mandaría a error inmediatamente; será esta la segunda pantalla a desarrollar.

Existe un protocolo para la programación de la válvula, siguiendo estos pasos se realizó la segunda pantalla por medio de scripts, lográndose que de un solo click se envíe la válvula a cierre total o apertura total, y a la par con el panel del controlador lograr calibrar la AMOT. Una vez que el panel indique una correcta calibración la válvula puede comenzar a trabajar.



Los mismos parámetros a monitorear son la demanda y posición así como la apertura y cierre de la AMOT.

A continuación se describen los pasos que se deben llevar a cabo para lograr la calibración y la forma como se despliegan y se utilizan las pantallas, primero se da un click en el botón CALIBRACION y se desplegará una pantalla como se muestra en la Figura 4.11.

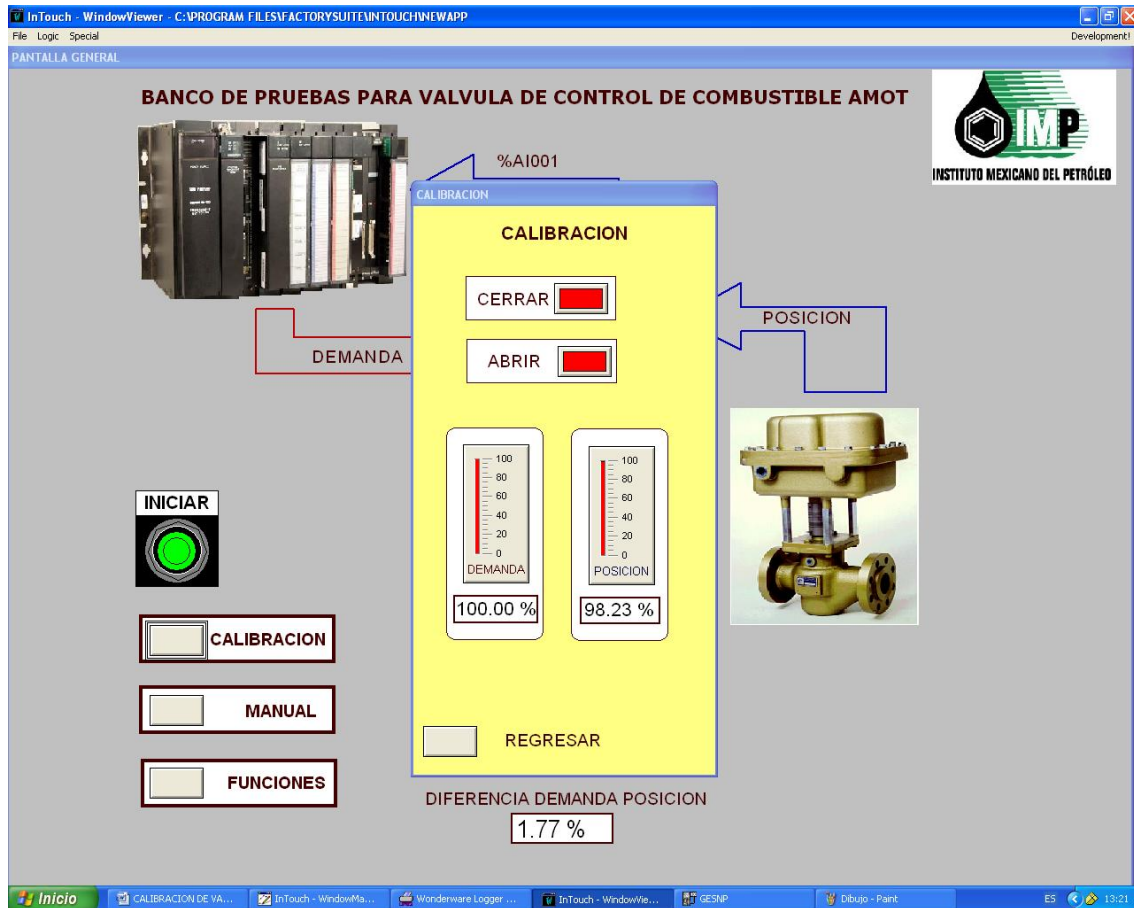


Figura 4.11 Pantalla calibración (Fuente: Elaboración propia)

Para calibrar la válvula se listan los siguientes 5 pasos a seguir, utilizando el banco de pruebas y el panel del controlador:

1. La válvula se configura en el modo SETUP, lo cual se logra accionando en el controlador el switch No. 1 a la posición CONFIG. Dicho switch está localizado en la parte posterior de la carátula del controlador.
2. Desde el menú principal en la carátula del controlador seleccione AUTO SETUP con las teclas OPEN y CLOSE. Aparecerá el mensaje DRIVING TO THE END STOP, el actuador se moverá hasta la posición completamente cerrada y aparecerá MIN SP -2.00 DEG.

En la pantalla del banco de pruebas se da click en el botón abrir por la configuración inversa que se tiene enviándola a una posición y demanda del 100 % como se aprecia en la Figura 4.12.

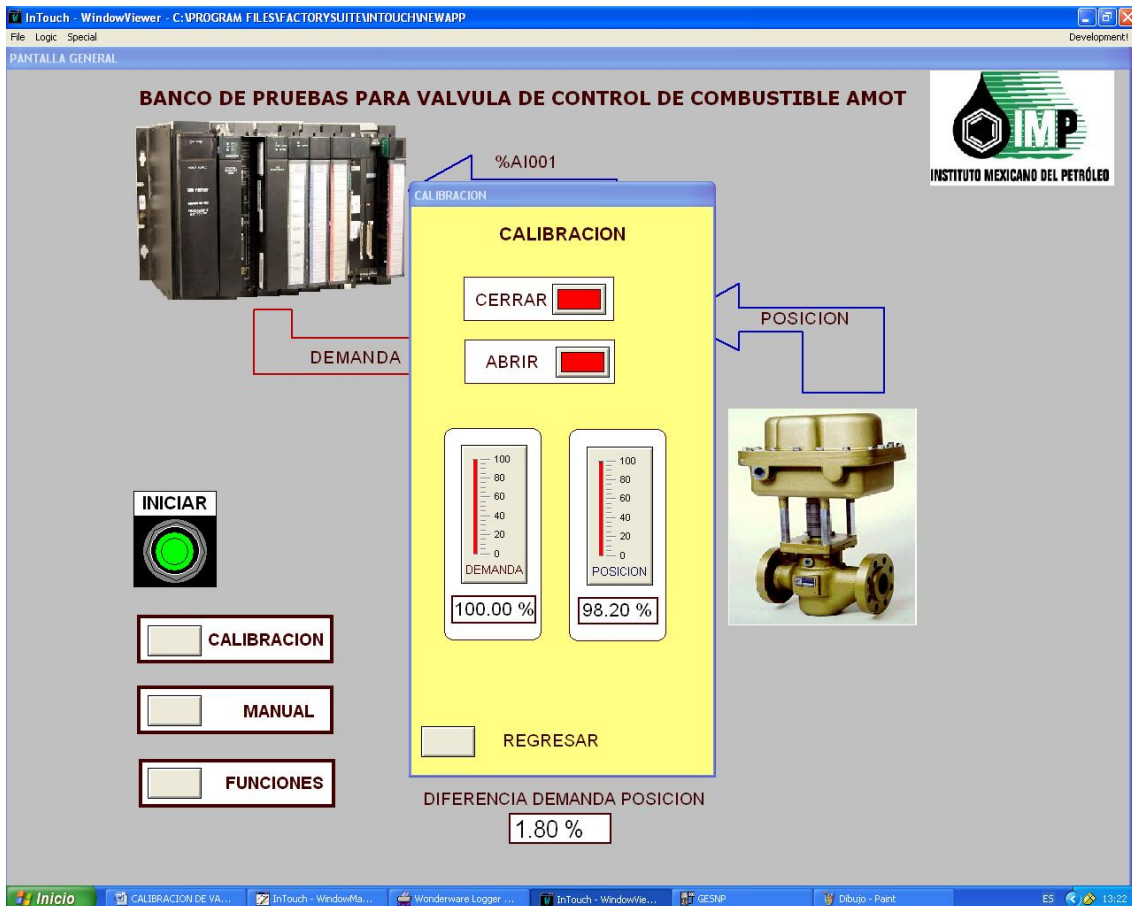


Figura 4.12 Pantalla calibración en modo abrir (Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente en el panel del controlador con las teclas OPEN y CLOSE se mueve el valor a cero, entonces se presiona SELECT en el mismo panel para grabar este valor en memoria.

3. La válvula sigue en el punto de completamente cerrada y aparecerá el mensaje MAX SP 60.00 DEG. (Posición totalmente abierta). Ahora en la pantalla del banco de pruebas se da un click en el botón cerrar y se aprecia que la posición y demanda se van a cero como se muestra en la Figura 4.13.

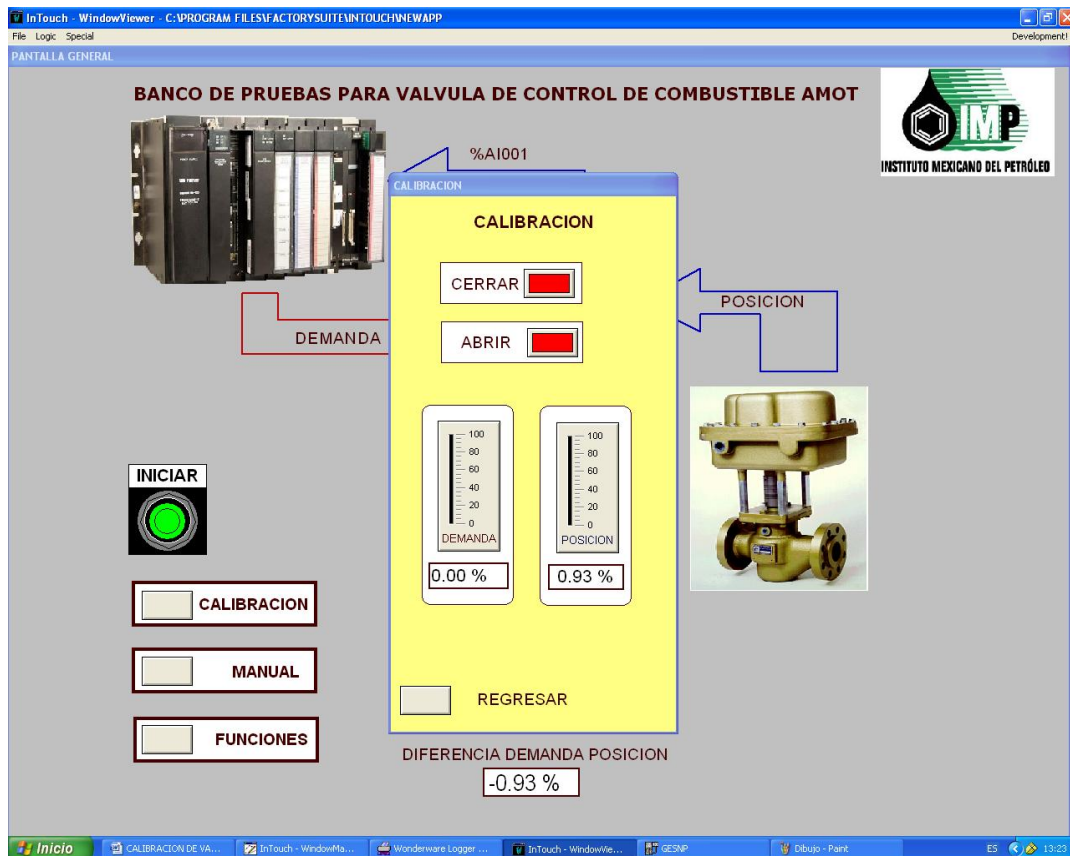


Figura 4.13 Pantalla calibración en modo cerrar (Fuente: Elaboración propia)

Ahora utilizando la carátula del controlador usamos las teclas OPEN y CLOSE para aumentar o disminuir el valor a 60 grados y se presiona SELECT para grabar el valor.

4. Si aparece el mensaje “VALVE CONFIGURED” significa que se ha realizado y completado adecuadamente la configuración. Presione SELECT para regresar al menú principal y se restablece el Switch 1 a la posición original (RUN).
5. Si aparece el mensaje CONFIGURATION ERROR significa que se ha configurado erróneamente el valor mínimo o máximo, por lo tanto es necesario repetir el procedimiento.

De esta manera, con el procedimiento descrito, se logra que la válvula comience a trabajar correctamente. Para el desarrollo de esta pantalla se interactuó con el Intouch Windowmaker y la programación con scripts basándose principalmente en el comportamiento de la demanda y posición, una respecto a otra.

La segunda pantalla propuesta para desarrollar fue el monitoreo y control de la AMOT para hacer uso de ella de manera libre a los grados de apertura deseados, en esta pantalla se hizo uso de las dos formas de programación para alcanzar a realizar esta prueba.

La opción MANUAL permitirá manipular la válvula de tres formas distintas:

- Manual
- Cerrar y Abrir
- Valor deseado

La Figura 4.14 muestra la pantalla nombrada MANUAL, en esta pantalla se tiene la facilidad de manipular la AMOT al valor que desee el operador.

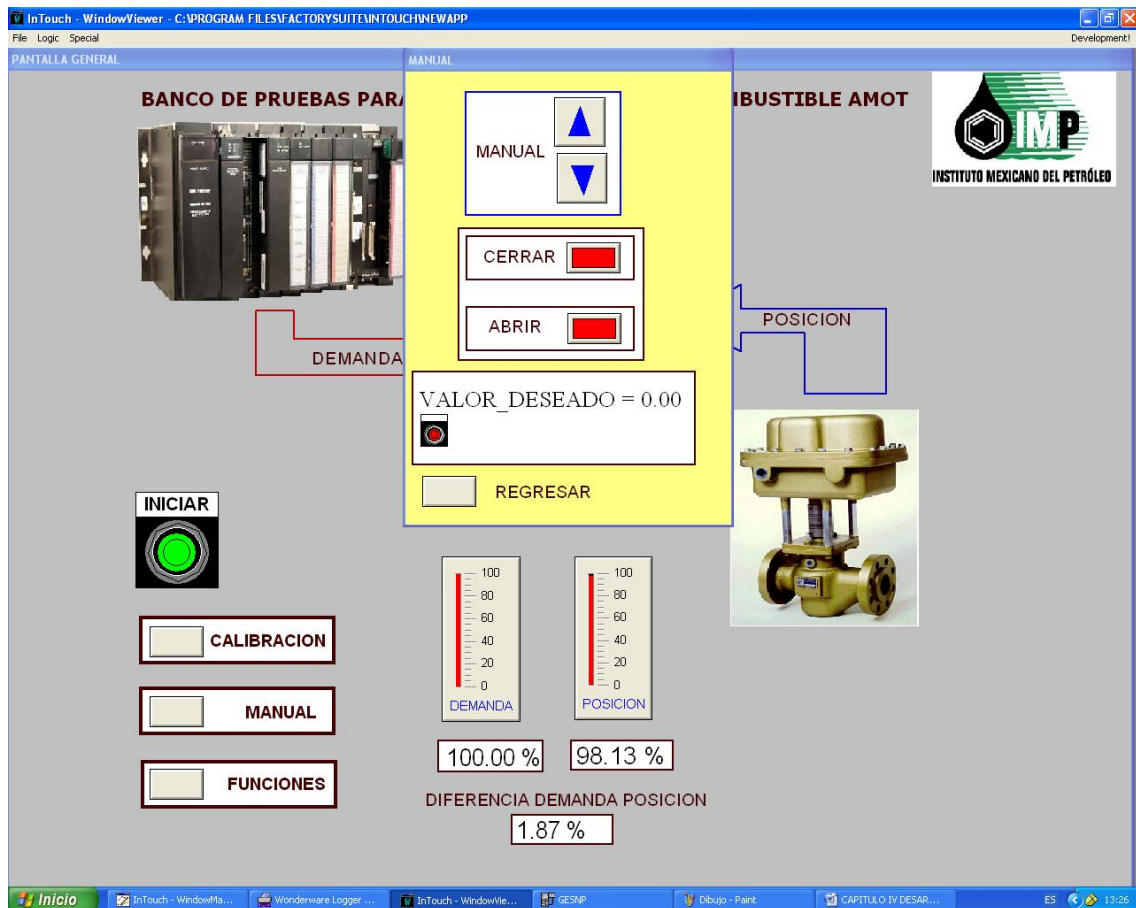


Figura 4.14 Pantalla Manual (Fuente: Elaboración propia)

La opción manual se compone de dos botones, con la opción de incrementar o disminuir las cuentas de cinco en cinco grados de apertura, teniendo la facilidad de monitorear demanda y posición, a su vez indicar la diferencia que existe entre ellas para checar que consta dentro del rango permitido.

La opción cerrar y abrir manda a posición totalmente cerrada o totalmente abierta, es decir cero por ciento de apertura o cien por ciento de apertura, de igual manera que en la pantalla CALIBRACIÓN.

La opción para ir a valor deseado, como su nombre lo dice, permitirá regular el porcentaje de apertura deseado de cero hasta cien por ciento. Cabe mencionar que para tener acceso a esta prueba es necesario activar otro contacto normalmente abierto y, cuando éste cambie su estado, el botón de selección se modificará a color verde, como se muestra en la Figura 4.15. Nuevamente con programación escalera se logra esta operación pero para seleccionar el grado de apertura se realizó por scripts.

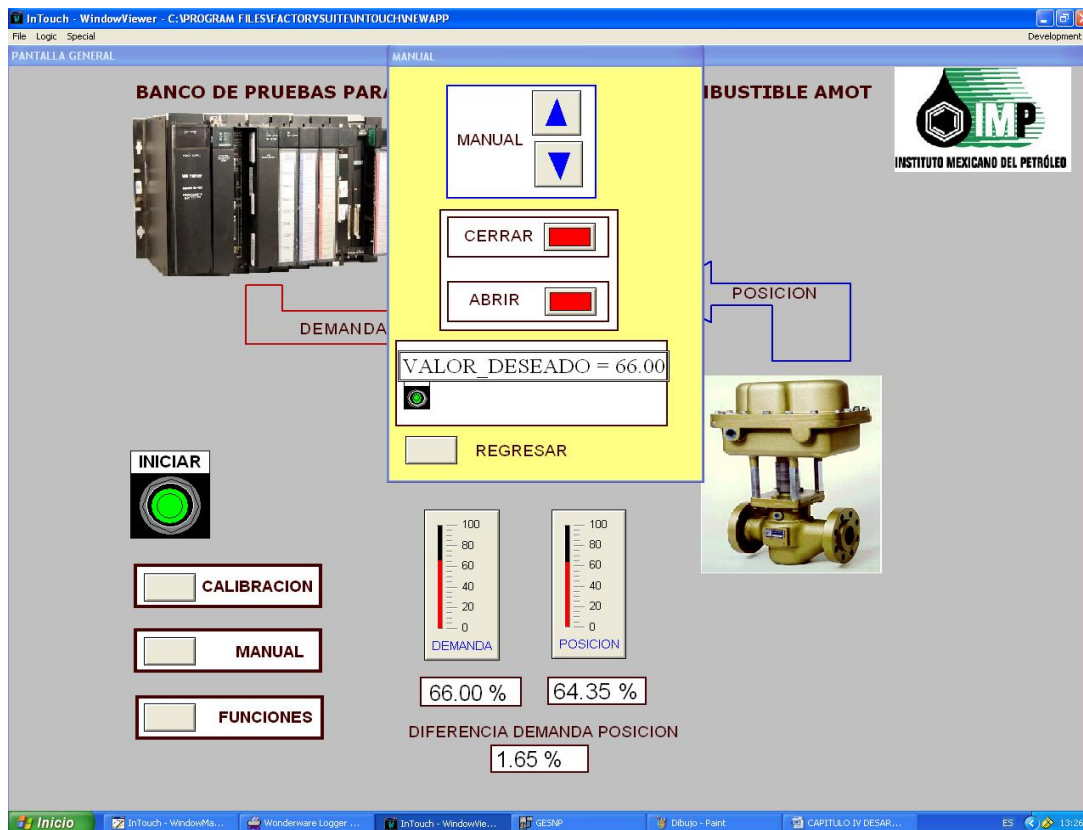


Figura 4.15 Valor deseado (Fuente: Elaboración propia)

En el ejemplo de la Figura 4.15 se aprecia el monitoreo de la demanda y posición cuando se somete la válvula a una apertura de 66% con una diferencia entre demanda y posición de 1.65%, permitida dentro del rango menor a tres por ciento de diferencia.

La última opción que se tiene en el banco de pruebas pero que a su vez permite realizar diversas pruebas se denominó FUNCIONES. Esta prueba abarcó la parte más compleja de la programación, partiendo como base de las pruebas realizadas anteriormente y del comportamiento que se espera que la válvula presente como respuesta a las pruebas sometidas. La Figura 4.16 muestra la forma en que se despliega la cuarta pantalla.

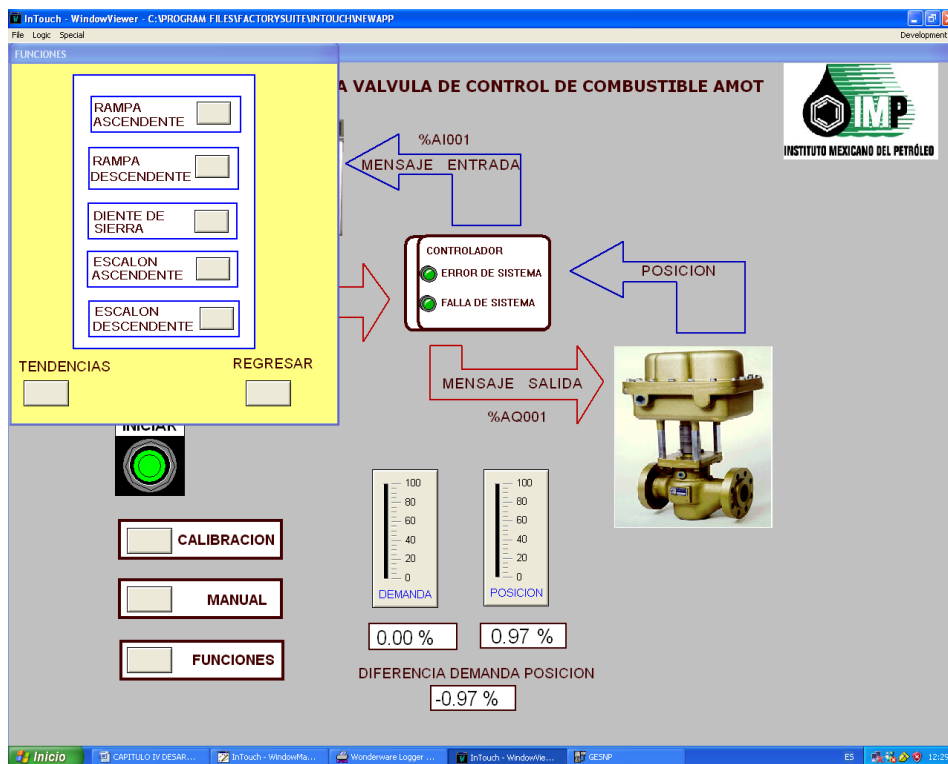


Figura 4.16 Pantalla funciones (Fuente: Elaboración propia)

En esta pantalla se aprecian cinco formas distintas de funciones posibles de utilizar para realizar un diagnóstico a la AMOT, así como dos botones en la parte inferior TENDENCIAS y REGRESAR.

El botón de tendencias permite monitorear en tiempo real el comportamiento de la válvula según la función que se esté utilizando, la pantalla aparecerá como se muestra en la Figura 4.17.

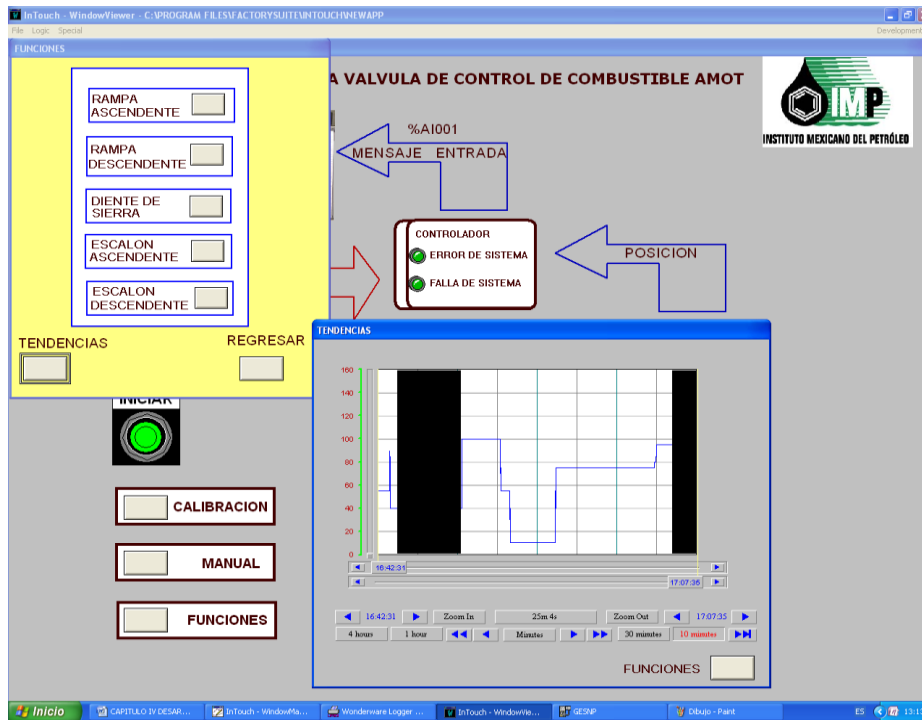


Figura 4.17 Tendencias (Fuente: Elaboración propia)

Se podrán monitorear las tendencias de cada una de las funciones que se despliegan en la pantalla denominada FUNCIONES, cuando se selecciona el botón denominado TENDENCIAS se despliega la pantalla indicando el comportamiento de la demanda y posición. Es importante resaltar que las tendencias pueden ser monitoreadas en cualquier día y hora, esta pantalla de TENDENCIAS se logra mediante el Wonderware Intouch, a través de declaración de variables y declaración de datos se hizo posible personalizar las gráficas como uno desee.

Como se aprecia en la Figura 4.17 se tienen las siguientes funciones:

- Rampa Ascendente
- Rampa Descendente
- Diente de Sierra
- Escalón Ascendente
- Escalón Descendente

## 4.6 PRUEBAS DE INTERFAZ

La programación de las funciones resultó más compleja, debido a que el comportamiento de la demanda debe ser como lo indica la función; es decir, si queremos una rampa ascendente la válvula tiene que abrir gradualmente de 0 a 100%, comportándose como una señal de comando linealmente creciente como se muestra en la figura 4.18 y, a su vez, cuando se selecciona rampa descendente, cerrar gradualmente de 100 a 0%, ahora formando una señal linealmente decreciente, como se muestra en la Figura 4.19.

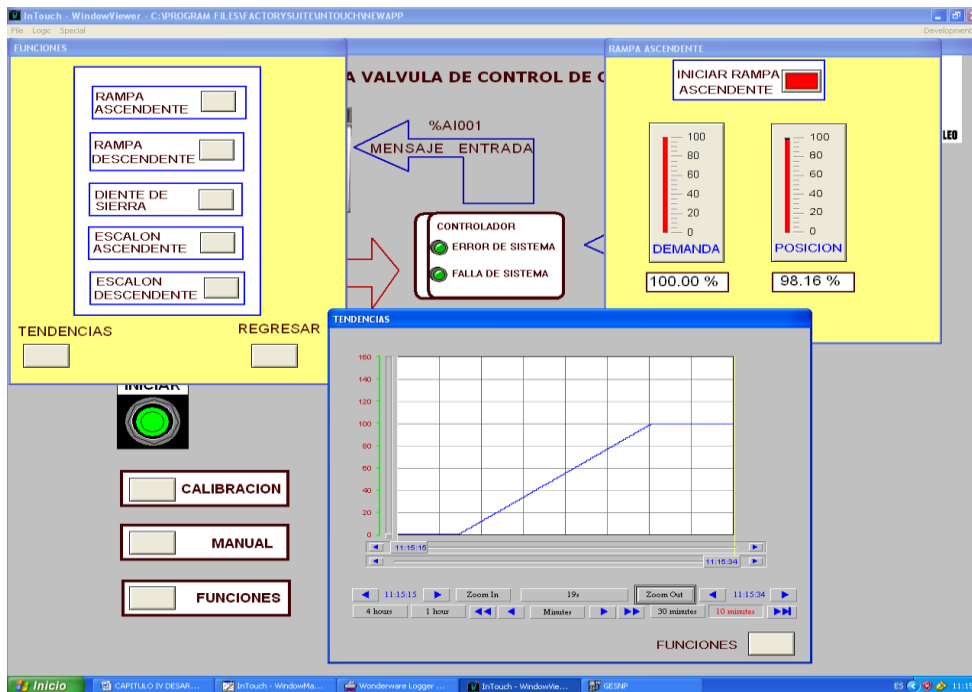


Figura 4.18 Rampa ascendente (Fuente: Elaboración propia)



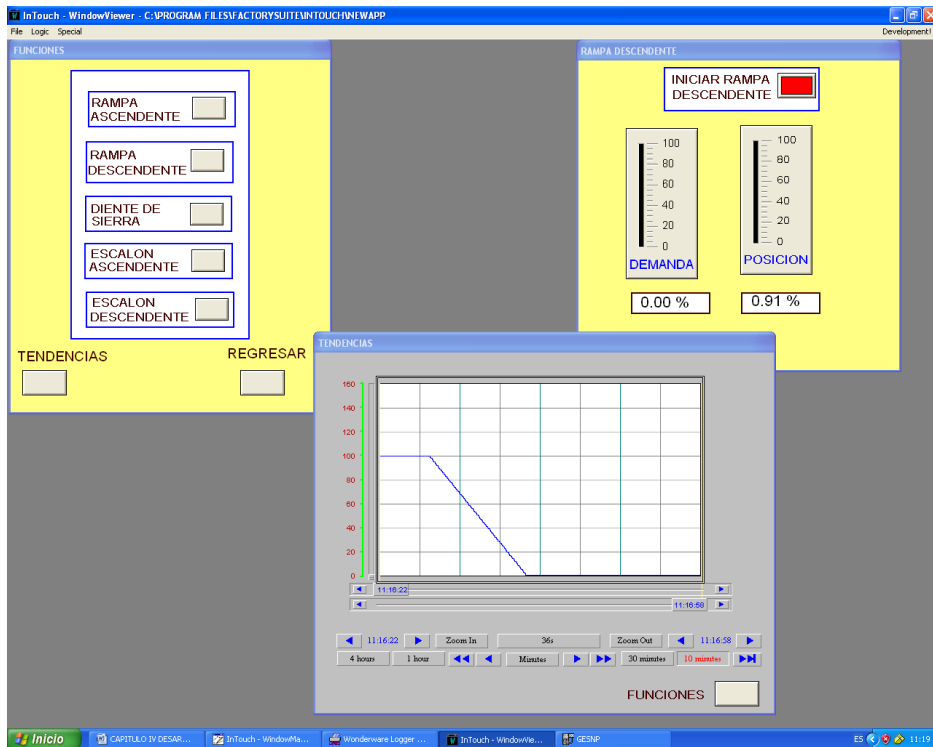


Figura 4.19 Rampa descendente (Fuente: Elaboración propia)

De esta manera es como se desea que se comporte la válvula, y se monitoree el comportamiento de la señal en tiempo real, para lograr esta programación se realizó mediante scripts. Así, cuando el operador oprima el botón RAMPA ASCENDENTE o RAMPA DESCENDENTE, la AMOT comenzará a abrir o a cerrar gradualmente y, a su vez, la demanda y posición es monitoreada teniendo la posibilidad, mediante las TENDENCIAS, de seguir el comportamiento de la señal.

Las funciones rampa ascendente y rampa descendente, permitirán hacer una comparación entre demanda y posición, para saber si la señal está dentro o fuera de rango.

Para la función diente de sierra es más complejo el comportamiento de la señal, comenzará de 0 y abrirá gradualmente hasta llegar al 100% para cerrar inmediatamente hasta 0% y nuevamente comenzar a repetir el proceso tantas veces como uno desee, monitoreando la demanda y posición así como la señal por medio de las tendencias, como se muestra en la Figura 4.20

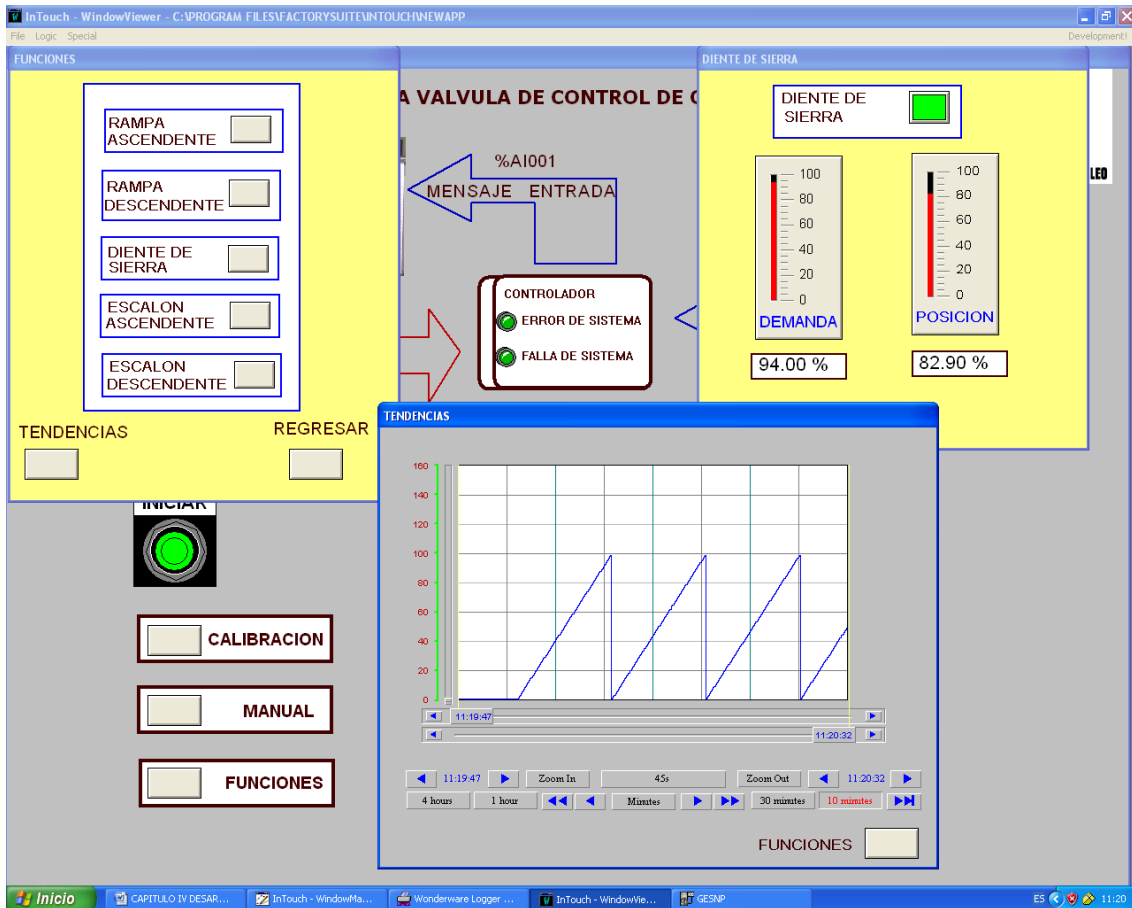


Figura 4.20 Función diente de sierra (Fuente: Elaboración propia)

El modo seguro o posición segura de la válvula es cuando se encuentra totalmente cerrada, en 0° de apertura, el diente de sierra permitirá monitorear la respuesta de la válvula en caso de un cierre emergente, para conocer la relación entre la demanda y la posición, así como la rapidez de cierre y apertura de la AMOT dentro de su rango.

Las funciones escalón ascendente y escalón descendente fueron las más difíciles de programar, para poder tener acceso a estas pruebas es necesario activar el contacto correspondiente y cuando éste cambie de estado iniciará el escalón, ya sea ascendente o descendente.

Cada seis segundos cambiará de porcentaje de apertura, está programado para que abra en incrementos de 25% hasta llegar a 100% de apertura, de modo que iniciando desde 0% cuenta 6 segundos y abre a 25% sucesivamente hasta llegar a 100%, como se muestra en la Figura 4.21

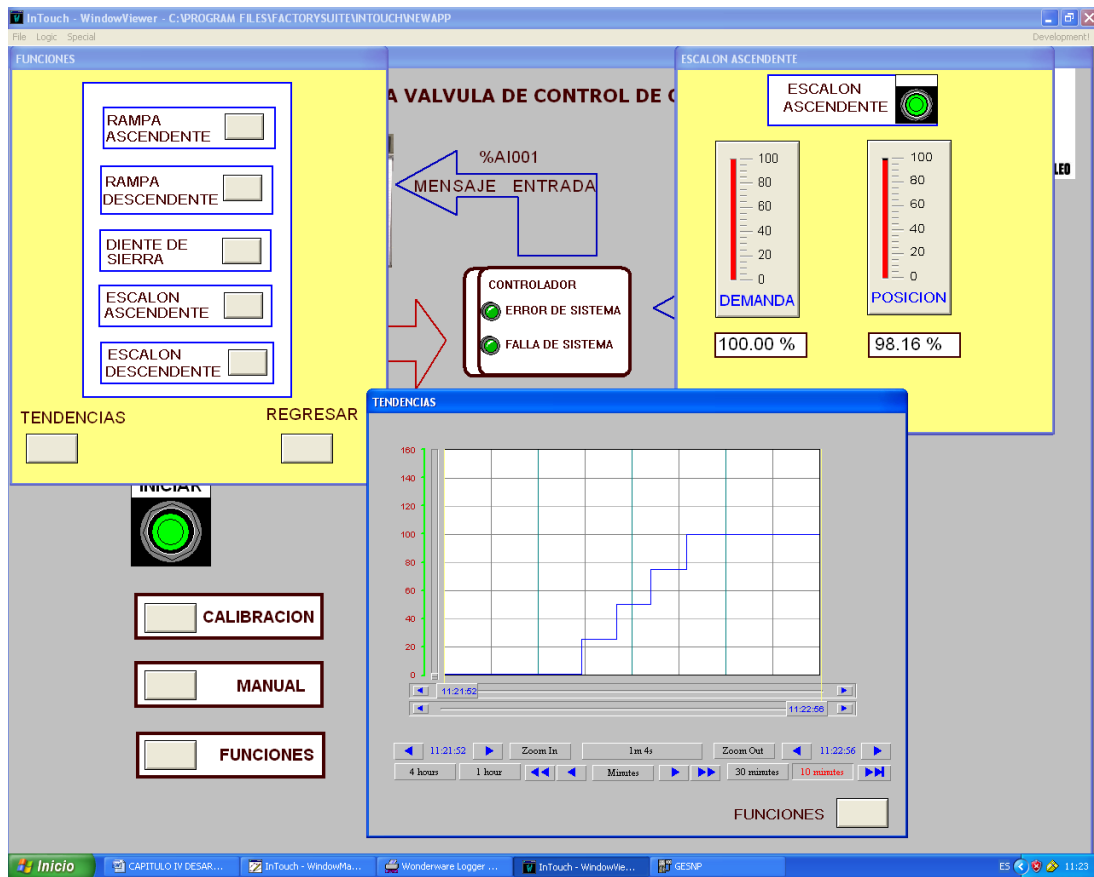


Figura 4.21 Escalón ascendente (Fuente: Elaboración propia)

Inmediatamente o después de cierto tiempo se puede accionar el escalón descendente, y ahora cerrar de 100% a 0% a intervalos de 25% cada seis segundos, monitoreando el comportamiento de la señal, su demanda y posición, como se muestra en la Figura 4.22.

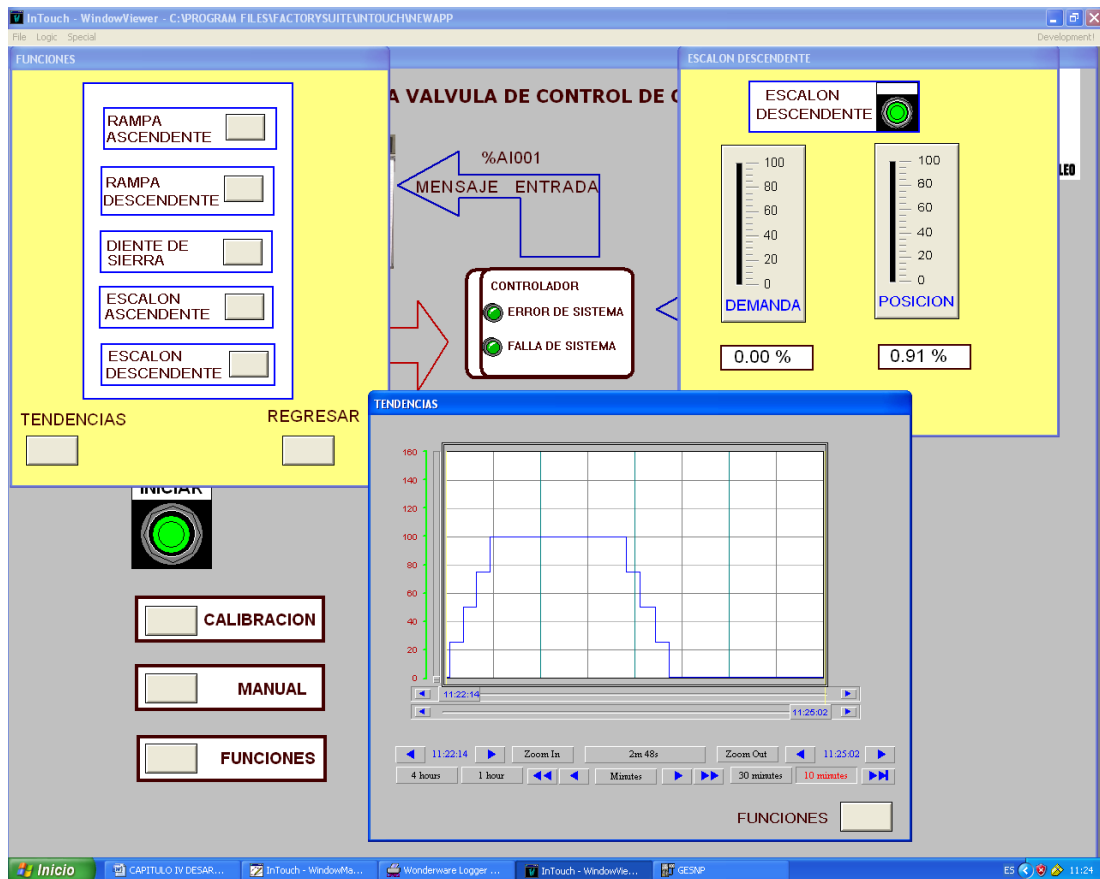


Figura 4.22 Escalón descendente (Fuente: Elaboración propia)

El escalón ascendente y descendente permite hacer un diagnóstico de error entre demanda y posición en un régimen de cambio constante.

## CONCLUSIÓN

En este capítulo se muestra la aportación realizada para el desarrollo de éste proyecto, con la creación de las pantallas de interfaz hombre máquina, que servirán para dar un diagnóstico sobre la operatividad de la válvula.

Se logra apreciar cómo se hizo uso de los dos softwares para poder realizar la programación del banco de pruebas. En primer lugar se cubre la configuración del PLC, para poder operar correctamente el sistema de control, para posteriormente comenzar a hacer la programación trabajando conjuntamente con el LogicMaster 90 y el InTouch.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del banco de pruebas para la válvula de control de combustible marca AMOT alcanzó el objetivo principal, diseñar y desarrollar una herramienta capaz de dar un diagnóstico de confiabilidad del equipo que sea sometido a las diversas pruebas.

El banco de pruebas dará un gran aporte a PEMEX, principalmente para las plataformas Abkatun Alfa a sus módulos de compresión 1, 2, 3, 4 y 5 y Abkatun Delta módulos 5 y 6.

En lo personal me deja una gran experiencia, siendo ésta la primera vez en desarrollar mi profesión en algo aplicable a la vida cotidiana, desarrollando ingeniería y principalmente una satisfacción de comenzar a ser productivo a mi país, colaborando con un proyecto de gran relevancia.

La importancia de éste proyecto es que en un futuro inmediato se tomará como base para el desarrollo de banco de pruebas para otras válvulas que se emplean en diferentes plataformas, como el caso de la válvula woodward que tiene diferentes características pero sirve igualmente para el control de combustible.

Sin descartar la posibilidad de una mejora del banco de pruebas una vez puesto en marcha en las plataformas y el desarrollo de manual de usuario para la actualización constante del personal a bordo que realice las pruebas al equipo.

Se concluye con este proyecto aumentando la confiabilidad de los equipos, y representa un ahorro en horas hombre y periodos menores de paros atribuibles al sistema de control de combustible de los módulos de compresión.

## BIBLIOGRAFÍA

### CONSULTA EN PÁGINAS DE INTERNET

- <http://www.imp.mx/regiones> (fecha de consulta 15/11/10)
- <http://materias.fi.uba.ar/6517/Teoricas/Turbinas%20a%20Gas/Fundamentos.TURBINAS.A.GAS.pdf> (fecha de consulta 23/11/10)
- Rotary fuel valve and position controller for gas turbines  
<http://www.amot.com/us/products/8402.asp> (fecha de consulta 20/11/10)

### CONSULTA EN MANUALES

- Manual de proceso de compresión, Tecnología Aplicada a Sistemas de Control, Abkatun Alfa, 140 págs.
- Manual curso básico del PLC GE Fanuc 9070 y sistema de control DRESSER RAND, Junio 2005, Instituto Mexicano del Petróleo, Tecnología Aplicada a Sistemas de Control, Abkatun Compresión, 155 págs.
- Manual de participante. Operación Configuración y Mantenimiento del sistema de monitoreo a tiempo real (Desarrollo de Aplicaciones INTOUCH IHM versión 7). Ed. VECO-PIAS, S.A. de C.V. (ventas, contratos proyectos, ingeniería, automatización y servicios) Abril-Mayo 2007, 589 págs.
- Manual curso INTOUCH BASICO V7.1, Ed. Logitek S.A., 70 págs.