

21361537
ES 77

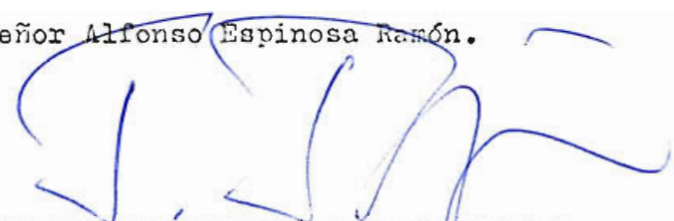
ALONSO ESPINOSA RAMON

CONTROL ELECTRONICO DE
CALDERAS A PETROLEO

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero, en la especialización de Electrónica y Telecomunicaciones, de la Escuela Politécnica Nacional.

QUITO
Marzo de 1.973

Certifico que este trabajo ha sido
realizado en su totalidad por el
señor Alfonso Espinosa Rasón.



Ing. Jacinto Jijón Caamaño y Barba

DIRECTOR DE TESIS

Quito, Marzo de 1.973

I N D I C E

P R E F A C I O

1. I N T R O D U C C I O N , 1

1.1. TIPOS DE CALDERAS , 2

1.1.1. Definición , 2

1.1.2. Clasificación , 2

1.1.3. Tipos de combustible , 3

1.1.4. Tipos de controles , 4

1.2. UTILIZACION EN LA INDUSTRIA ECUATORIANA DE CALDERAS A PETROLEO , 6

1.2.1. Ventajas del uso del petróleo , 6

1.2.2. Necesidad del control automático , 6

1.2.3. Situación del mercado de calderería , 7

1.3. PRECAUCIONES DE OPERACION , 8

1.3.1. Instalaciones , 8

1.3.2. Operación , 8

1.3.3. Mantenimiento , 11

2. DISEÑO , 12

2.1. ESPECIFICACIONES , 13

- 2.1.1. Especificaciones generales , 13
- 2.1.2. Especificaciones del circuito de control de protección , 13
- 2.1.3. Especificaciones del circuito de control de encendido , 14
- 2.1.4. Especificaciones del circuito de control de funcionamiento , 15
- 2.1.5. Especificaciones de los paneles centrales de operación , 15

2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES , 17

- 2.2.1. Ordenes del operador , 17
- 2.2.2. Secuencia de encendido automático , 19
- 2.2.3. Circuitos de funcionamiento automático , 21

2.3. CIRCUITOS DE CONTROL DE PROTECCION , 24

- 2.3.1. Detector general de fallas , 25
- 2.3.2. Detector de llama , 34
- 2.3.3. Protección a fallas de encendido: Control del período máximo de prueba del combustible piloto , 47
- 2.3.4. Detector de fallas de llama , 52

2.4. CIRCUITOS DE CONTROL DE ENCENDIDO , 56

- 2.4.1. Control del tiempo de prepurga , 56
- 2.4.2. Control del encendido de la chispa , 60
- 2.4.3. Control de la válvula del combustible piloto , 65
- 2.4.4. Control de la válvula del combustible principal , 68

- 2.4.5. Control del periodo de prueba del combustible principal y encendido de la regulación por medio del servomecanismo , 69
- 2.4.6. Control del ventilador del aire y periodo de post purga , 73

- 2.5. CIRCUITOS DE CONTROL DE FUNCIONAMIENTO , 78
 - 2.5.1. Servomecanismo , 78
 - 2.5.2. Funcionamiento manual , 90

- 2.6. FUENTE DE POTER REGULADA , 92
 - 2.6.1. Circuito de entrada , 92
 - 2.6.2. Fuente de 12 V. , 94
 - 2.6.3. Fuente de 3,6 V. , 100
 - 2.6.4. Fuente de -12 V. , 103

- 2.7. PANELES CENTRALES DE OPERACION , 107
 - 2.7.1. Comandos , 107
 - 2.7.2. Entradas y salidas , 107
 - 2.7.3. Simulaciones , 109

- 3. CONSTRUCCION , 110
 - 3.1. CONSTRUCCION , 111
 - 3.1.1. Aspecto físico , 111
 - 3.1.2. Costos , 113

 - 3.2. EXPERIMENTACION , 115
 - 3.2.1. Circuitos de control de protección , 115
 - 3.2.2. Circuitos de control de encendido , 115

3.2.3. Circuitos de control de funcionamiento , 117

3.2.4. Fuente de poder regulada , 117

3.3. CONCLUSIONES , 119

4. GUIA DE MANTENIMIENTO , 120

A P E N D I C E S

A.- Diagramas de los circuitos integrados , 126

B.- Características de los semiconductores utilizados , 128

B I B L I O G R A F I A , 130

A

M A R I A D O L O R E S

"La meta verdadera y legítima de las ciencias no es otra que la de dotar a la vida humana de nuevos inventos y recursos".

Francisco Bacon (1.561-1.626)

(Novum Organum, Aforismo LXXXI)

P R E F A C I O

S u m a r i o

Se ha diseñado y construido un sistema electrónico que automáticamente protege, enciende y controla el funcionamiento de una caldera a petróleo, que produce hasta 66.000 MBh¹.

Los circuitos de protección apagan la caldera en caso de fallas en el proceso de encendido, apagones de la llama principal, o cualquier falla proveniente de la superación de un valor límite fijado previamente, por ejemplo, el nivel del agua.

El sistema de encendido regula los tiempos necesarios para la prepurga y postpurga de aire, encendido de la chispa, apertura de las válvulas del combustible piloto y combustible principal e iniciación del funcionamiento del servo.

Se controla el funcionamiento de la caldera por medio de un servo, tipo posición modulada, que modula el flujo del combustible principal y el aire, manteniendo la presión en un valor fijado previamente por el operador.

Se tiene, además, la posibilidad de operar manualmente, desde el tablero principal, las válvulas del combustible piloto, combustible principal, aire, chispa y de regular el flujo del combustible principal/aire.

1

MBh = 1000 BTU/hora = 1 libra de vapor/hora

100 MBh = (energía de un galón de aceite, quemado al 70% de eficiencia).

Propósito

La presente tesis tiene como objeto el diseño y construcción de un control electrónico; que proteja la seguridad de los trabajadores, e instalaciones industriales que utilizan calderas que funcionan a petróleo; con una capacidad de hasta 66.000 Mbh y que por lo tanto, consumen aproximadamente unos 660 galones de combustible por hora, a una eficiencia del 70%.

Estructura de la Tesis

Está dividida en cuatro secciones: Introducción, Diseño, Construcción y Guía de Mantenimiento.

En la Introducción se muestra una visión general de cómo se ha realizado el trabajo, y se dan algunos datos sobre lo que es una caldera y su utilización en el Ecuador; con el fin de que se comprenda la razón de las especificaciones.

La parte correspondiente al Diseño es la más amplia, contiene todas las especificaciones y cálculos.

La sección Construcción incluye los costos y datos experimentales.

La Guía de Mantenimiento indica algunas recomendaciones para que el personal técnico que utilice el aparato, pueda mantenerlo en óptimas condiciones.

Los apéndices y bibliografía proporcionan los datos necesarios para una mejor comprensión del trabajo realizado.

Fuentes de Información

La bibliografía utilizada se indica en el apéndice respectivo. El Diseño se lo realizó esencialmente a base de las notas de las clases dictadas por el Ing. Jacinto Jijón, Dr. Kanti Hore, e Ing.

Herbert Jacobson, profesores de Electrónica y Sistemas Digitales, de la Escuela Politécnica Nacional de Quito.

Limitaciones

Básicamente se ha tratado lo referente a los sistemas electrónicos que regulan y protegen el funcionamiento de las calderas; por lo que se ha reducido al mínimo la discusión de las calderas, en su parte mecánica. Y la discusión de los problemas de seguridad referentes a los factores químicos o de mantenimiento mecánico.

Las explicaciones referentes a estos temas solamente tienen como fin introducir al ingeniero eléctrico en el conocimiento de estos equipos.

Como el trabajo será leído por personal técnico profesional, en la explicación del diseño se ha eliminado todo detalle algebraico o explicación teórica superficial.

Reconocimientos

El autor agradece la colaboración prestada por los profesores: Dr. Kanti Hore, Ing. Jacinto Jijón, Ing. Herbert Jacobson e Ing. Raúl Bonilla, quienes dieron todas las facilidades administrativas y valiosas sugerencias técnicas para la realización del presente estudio.

1. INTRODUCCION

1.1. TIPOS DE CALDERAS

1.1.1. Definición

El término caldera se aplica a cualquier recipiente, herméticamente cerrado, que trabaja a presión y que sirve para calentar líquidos (agua, mercurio, etc.). Su objeto es tomar la energía calórica que poseen los combustibles (petróleo, carbón, materiales radioactivos, etc.). Para en forma de vapor transportarla fácilmente.

1.1.2. Clasificación

Existe una inmensa variedad de tipos de calderas, y su clasificación puede hacerse a base de cualquiera de las siguientes características: uso, presión, material, tamaño, contenido de los tubos, combustible, fuente de energía calórica, fluido, circulación, posición del horno, tipo de horno, posición relativa del horno y el banco de tubos, estructura general, fabricante, o tipos especiales.

En forma general, podemos clasificarlas en tres grupos básicos:

1.1.2.a. Calderas a tubos de humo (fuego) : Son aquellas en las que el fuego, producido por la combustión, pasa a través de tubos o conductos que están completamente rodeados por agua. Se utilizan principalmente en sistemas de calefacción y procesamiento industrial de vapor, o también como calderas portátiles, ya que se adaptan muy bien a demandas pequeñas. Son fabricadas en unidades que producen hasta 15.000 libras de vapor por hora.

Las calderas a tubos de humo tienen la ventaja de poseer una gran reserva de agua, por lo que amortiguan las fluctuaciones rápidas de la demanda de vapor; pero necesitan mayor tiempo que las calderas a tubos de agua para alcanzar la presión de operación. Tienen una eficiencia del orden del 70%. Su instalación es, relativamente, simple y su costo reducido. Para garantizar un prolongado servicio,

deben trabajar al 80% de su capacidad nominal.

1.1.2.b. Calderas a tubos de agua: Son aquellas en las que el agua pasa a través de tubos, que están rodeados completamente por el fuego producido por la combustión. Son más económicas en instalaciones que requirieron capacidades mayores que 15.000 libras de vapor por hora y presiones altas; desde 150 hasta 15.000 libras por pulgada cuadrada, ya que presentan una mejor área de calentamiento.

El costo de instalación de estas calderas es más alto que el de las calderas a tubos de humo; pero su eficiencia es mayor: del orden 78-80%. Tienen la desventaja de poseer una reserva pequeña de agua; pero un adecuado control puede evitar esta dificultad; además, por ser el diámetro de los tubos reducido, pueden producir rápidamente vapor, dando una respuesta eficiente a las variaciones de la demanda.

1.1.2.c. Calderas de cámara: Son las más simples. Se componen de un recipiente que contiene agua y una fuente de calor, que puede ser fuego, vapor o electricidad. Se utilizan en instalaciones domésticas, en plantas industriales pequeñas, o en lugares en los que se tiene una fuente principal de vapor y se necesita producir agua caliente para fines específicos.

1.1.3. Tipos de combustible

En el mercado existen calderas diseñadas para funcionar a base de:

- Combustibles sólidos: carbón, coke, antracita, carbón pulverizado, madera y basura.
- Combustibles líquidos: gasolina, petróleos livianos (diesel) y petróleos pesados (residuos).
- Combustibles gaseosos: gas natural y gas de carbón.

Actualmente se utiliza también electricidad como fuente de energía.

1.1.4. Tipos de controles

Control automático es la regulación del funcionamiento y la presión (o temperatura), sin que el operador actúe sobre los mandos de la caldera. Puede hacerse por medio de sistemas electrónicos, de aire comprimido, de fluidos o mecánicos.

En forma general, podemos clasificarlos en cuatro grupos:

1.1.4.a. Encendido/Apagado: Cuando la presión (o temperatura) supera un valor de referencia, se cierran las válvulas de aire y combustible, para abrirse nuevamente cuando se ha llegado a otro valor inferior de referencia. Se utiliza en calderas de 400 a 3.000 Mbh de capacidad.

1.1.4.b. Alto/Bajo/Apagado: Los elementos del control de aire y flujo de combustible se colocan en una de las tres posiciones indicadas, de acuerdo a la presión (o temperatura) real, en comparación con un valor fijado previamente. Se utiliza en calderas de 2.000 a 5.000 Mbh.

1.1.4.c. Posición Modulada: La posición de los mecanismos de control está en proporción a la carga; entendiéndose por carga cualquier factor que reduce la presión o temperatura bajo un valor deseado. Se utiliza en calderas de 3.000 a 6.000 Mbh. El diseño del servomecanismo de la presente tesis, corresponde a este tipo.

1.1.4.d. Semidosificado: La posición de la una entrada de control (aire o combustible) está en proporción a la carga, mientras que la posición de la otra entrada es medida y controlada en función de la posición de la primera entrada. Se utiliza en calderas de 36.000 a 66.000 Mbh.

1.1.4.e. Dosificación completa: La posición de la una entrada de control (aire o combustible) está en proporción a la car-

ga, mientras que la posición de la otra entrada es medida y controlada en proporción a la medida del flujo de la primera entrada. Se utiliza en calderas de una capacidad superior a los 36.000 MWh.

1.2. UTILIZACION EN LA INDUSTRIA ECUATORIANA DE CALDERAS A PETROLEO

En el Ecuador se utilizan calderas en la mayoría de plantas industriales; especialmente para producir energía calórica, en forma de vapor, a bajo costo.

Debido a su alto valor de calor de vaporización: 539 cal/gr (970 BTU c/lb.), el vapor tiene la ventaja de acumular una gran cantidad de calor, a una temperatura que puede ser utilizada fácilmente. El agua que lo origina es un elemento barato, y químicamente es idéntica al vapor, por lo que puede transformarse sin alterar su composición.

Muchas calderas producen vapor recalentado, con el fin de ~~de~~ variar la presión y evitar su condensación en los conductos.

1.2.1. Ventajas del uso del petróleo

Nuestro país tiene, actualmente, una gran producción petrolera, por lo que su costo es reducido. Además este combustible tiene las siguientes ventajas:

- Posee un alto calor específico: aproximadamente 17.000 - BTU/lb, en relación a otros elementos, como el carbón: 14.000 BTU/lb.

- Produce altas temperaturas y su combustión es casi completa, por lo que deja muy pocos residuos, eliminándose la necesidad de mecanismos de remoción de cenizas y limpieza.

- La intensidad de la llama puede variarse fácilmente, por lo cual la respuesta a las fluctuaciones de la demanda se produce en pocos minutos (4-5 min).

- Puede ser almacenado fácilmente. Pesa un 25% menos y ocupa 30% menos espacio que una cantidad de carbón, que produce igual cantidad de calor.

1.2.2. Necesidad del Control Automático

El tamaño y grado de complejidad de las calderas modernas

dificultan el que un operador pueda controlar las variaciones que ocurren en el interior de la caldera. No sólo debe ocuparse de limitar el valor de la presión bajo un determinado límite; sino también el nivel del agua, del combustible, los tiempos de purga, de prueba de llama, etc. Además, todas las variables deben ajustarse a la demanda, que cambia constantemente.

La utilización de un control automático aumenta la eficiencia¹ y hace que su costo se amortice rápidamente; más aún si se considera que las instalaciones de calderería están diseñadas para funcionar, por lo menos, durante 20 años. Por otra parte, la seguridad es un factor preponderante en estos equipos, ya que la explosión de una caldera puede destruir toda la instalación industrial a la que está acoplada.

1.2.3. Situación del mercado de calderería

De acuerdo a las estadísticas de CENDES, la importación de calderas, tanques y repuestos para estos artículos, alcanzó un valor de 8'056.758 sucres en 1.967, habiéndose demandado preferentemente las de 40 a 80 HP de capacidad.

Generalmente, en la industria existen calderas de 250 HP, siendo las más grandes las de una capacidad de 400 HP; por lo que el presente diseño de control automático cubre todos los tipos actualmente existentes.

En lo que se refiere al combustible que utilizan, el mayor porcentaje corresponde a las que consumen aceite N°2, aceite N°6 y diesel.

En 1.969 se importaron 54 calderas, y se calcula que para 1.973 la demanda será de 69.

Las agencias que venden estos equipos no ofrecen un sistema eficiente de mantenimiento, por lo que no existen repuestos en el mercado.

¹Williams indica que, en una instalación de calderas a tubos de agua, es del orden $\frac{1}{2}$ al 1%.

1.3. PRECAUCIONES DE OPERACION

1.3.1. Instalaciones

El equipo de control debe colocarse junto a la caldera; mientras que los timbres y luces de alarma deberán estar junto al sitio de trabajo del personal.

Todos los accionadores deben tener, como mínimo, cuatro veces la fuerza necesaria para mover los elementos de control, a los cuales están conectados,

El agua debe ser suministrada por medio de una conexión directa a la fuente principal; con el fin de asegurar un servicio independiente del consumo general de la planta.

Los tanques principales de reserva del petróleo deben tener una capacidad igual a, por lo menos, el consumo durante 10 o 15 días de operación a máximo consumo, y los tanques de servicio, una capacidad de, aproximadamente, 8 horas de consumo. En todos los recipientes habrá un medidor que indique la cantidad de combustible presente.

1.3.2. Operación

Quien opere una caldera deberá recibir entrenamiento sobre las propiedades fundamentales del agua y medidas calóricas, fundamentos de operación, equipo utilizado, situaciones de emergencia, controles manuales de funcionamiento y peligros para la salud ocasionados por escapes de gases tóxicos.

Para las diferentes etapas del funcionamiento deberán tenerse en cuenta las siguientes precauciones:

1.3.2.a. Encendido y Apagado: Cuando se utilizan petróleos livianos (diesel), en nuestro medio, no es necesario un período de pre-calentamiento; ya que no se presentan temperaturas muy ba

gas. Si se utilizan petróleos pesados (residuos), el período de precalentamiento es necesario para disminuir la viscosidad y permitir la fluidez a través de los conductos.

Si no existen fallas, la secuencia de encendido puede iniciarse con una prepurga, que permita cambiar, por lo menos 4 veces, el aire de la caldera. Esta purga debe durar un minuto, y tiene como fin introducir aire fresco, para expulsar cualquier posible acumulación de gases de combustible que formarían una mezcla explosiva. En forma opcional, por la misma razón, al apagarse la llama, deberá existir un período de postpurga.

Para calderas de una capacidad mayor que 150 HP, luego de la prepurga, debe iniciarse el período de prueba de la llama piloto; durante el cual, una chispa eléctrica trata de encender el combustible piloto (generalmente gas). Este combustible piloto es necesario, ya que la temperatura de una chispa no puede encender al petróleo; sólo la llama puede hacerlo.

Si no se produce la ignición en el período de prueba, la secuencia de encendido debe detenerse, para proteger a los electrodos que producen la chispa y evitar que el gas llene la caldera, con peligro de explosión, en caso de encenderse la llama. Cualquier nueva tentativa de encendido, deberá repetir la secuencia completa, para proporcionar una ordenada prepurga.

En vista de que, actualmente, existe equipo que puede encender la llama piloto en menos de 10 segundos, se ha escogido éste período como de prueba; con el fin de reducir al mínimo la cantidad de gas que entre en la caldera, en caso de que la llama piloto no se encienda.

Si se produce la ignición dentro del período de prueba de llama piloto, la chispa debe apagarse y, al mismo tiempo, debe abrirse la válvula del combustible principal, con lo cual se inicia el período de prueba de la llama principal. Este período varía según el tipo de combustible utilizado, ya que los aceites más livianos se encienden más rápido que los más pesados.

Si no se enciende la llama principal durante este período, la

caldera debe apagarse y el flujo de combustible principal debe detenerse, para evitar su acumulación que podría ocasionar una explosión en caso de que se encendiera posteriormente la llama o, por lo menos, haría necesario un drenaje, lo cual interrumpiría el servicio. Cualquier nueva tentativa de encendido deberá repetir la secuencia completa.

Si la llama principal se enciende, al finalizar su período de prueba, debe cerrarse la válvula del combustible piloto y, simultáneamente, comenzar a funcionar el servo.

1.3.2.b. Seguridad: Para casos de emergencia, debe existir un interruptor, que al ser accionado, interrumpa la fuerza eléctrica de alimentación. Esta será una medida extrema, que se tome sólo en casos de inminente peligro de explosión.

Cuando por cualquier motivo, se apague la llama debe, inmediatamente apagarse la caldera, para evitar que se derrame el combustible principal. Antes de encenderla nuevamente, deberá el operador revisar el equipo, con el fin de conocer la causa de la falla.

Es muy importante que exista un sistema que apague la caldera, en cuanto el nivel de agua, que se está calentando, baje de un nivel crítico, además, debe existir un sistema de alarma, independiente del circuito de control general, que indique esta situación de peligro. La mayoría de las explosiones ocurren por esta causa; ya que, al no existir un flujo constante de agua, el vapor producido se recalienta y alcanza presiones muy altas. Además, las temperaturas elevadas, que se producen pueden fundir las paredes metálicas o, en su defecto, un súbito ingreso de agua fría puede ocasionar deformaciones en las paredes recalentadas, destruyéndolas.

1.3.2.c. Funcionamiento: Si bien el control de funcionamiento, por medio del servomecanismo, puede hacerse para límites de sobrepresiones o iguales a 3% de la presión deseada, en la práctica dicha regulación no es necesaria; puesto que implica un funcionamiento casi continuo del servo, que rápidamente se desgastaría. El servo puede operar

con un error del hasta el 20% sobre la presión deseada para, posteriormente, regularla con más exactitud, por medio de cámaras de presión, conectadas entre la carga y la caldera.

Si, a consumo normal, la presión real supera a la presión deseada en un porcentaje mayor al error de la regulación del servomecanismo, lo más probable es que se tiene una falla en el circuito de control de funcionamiento y la caldera debe apagarse.

1.3.3. Mantenimiento

Una caldera trabaja en óptimas condiciones cuando su funcionamiento es continuo; por lo que deben evitarse los apagones frecuentes. Además, de ninguna manera deben permitirse sobrecargas.

Cuando se vayan a realizar reparaciones deberá llamarse al ingeniero de planta, y nunca deberá hacerse mientras se encuentre el equipo funcionando.

No se debe permitir la acumulación de depósitos; ya que corroen las paredes interiores. Los residuos de petróleo pueden formar ácido sulfúrico al combinarse con el vapor a temperaturas menores de 300°C.; por lo que las limpiezas deben ser periódicas.

El agua que se utilice deberá ser convenientemente tratada, para eliminar toda substancia corrosiva o impureza que pueda obstruir los conductos. Con el mismo fin, cuando la caldera vaya a ser puesta fuera de servicio, deberá ser almacenada, luego de un tratamiento químico.

2. D I S E Ñ O

2.1. ESPECIFICACIONES

Nuestro país no cuenta aún con un sistema de normas técnicas sobre calderería. Para las especificaciones se tomaron en cuenta las necesidades propias de nuestro medio, y las normas de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de Norteamérica, publicadas por el Consejo Federal de la Construcción (Federal Construction Council) en su Reporte Técnico Nro. 51,1966, por ser éstas las más difundidas en el Ecuador.

2.1.1. Especificaciones generales

- a) El sistema de control se alimenta con 110 Voltios, 60Hz
- b) Todos los interruptores están conectados a la línea que no está a tierra, Así, al estar desconectado el interruptor, el aparato queda conectado a tierra.

2.1.2. Especificaciones de los circuitos de control de protección

- a) Los controles de seguridad tienen prioridad sobre los controles de eficiencia.
- b) A excepción del circuito de postpurga, toda la caldera se apaga cuando:
 - Existen fallas en el proceso de encendido.
 - Se apaga la llama en forma accidental.
 - La presión real supera a la deseada, en más que un cierto valor, el cual se ha fijado en el 20% de la presión máxima admisible.
 - Se supera un valor límite de seguridad (nivel de agua, temperatura de precalentamiento del combustible, temperatura de la chimenea, presión muy baja del petróleo, etc.), o existe cualquier otra condición de peligro, que

puede ser detectada por interruptor (Ejemplo. Las puertas de la caldera no están cerradas.).

c) Cuando se produce una falla -aún en el caso de que sea transitoria- solo el operador puede volver a encender la caldera, luego de que haya corregido el error. Hasta tanto, funciona un sistema de luces y alarma.

d) En el caso de falla del sistema eléctrico, todas las válvulas quedan cerradas para evitar escapes de combustible.

e) El sensor de la llama funciona solamente con la luz intermitente ($f = 10\text{Hz}$) para evitar que sea excitado por luz proveniente de cenizas incandescentes o paredes recalentadas de la caldera. Además, tiene un filtro para ruidos de 60 Hz.

f) La válvula del combustible principal debe cerrarse, máximo, cuatro segundos después de haberse apagado la llama.

g) El panel y un terminal del secundario del transformador están conectados a tierra.

h) Se tiene un interruptor de emergencia con el que se pueden apagar todos los circuitos.

2.1.3. Especificaciones de los circuitos de control de encendido

a) Hay un período de prepurga para cada vez que se enciende la caldera, y otro de postpurga para cada vez que se apaga. Ambos períodos duran un minuto y sirven para evitar que se formen mezclas explosivas.

b) El período de prueba de la llama piloto se inicia al terminarse la prepurga; con el encendido de la chispa y la apertura de la válvula del combustible piloto. Dura máximo 10 segundos, y si en ese tiempo no se produce la ignición, la caldera se apaga.

c) En cuanto existe llama, la chispa se apaga y se abre la válvula del combustible principal; con lo que se inicia su período de prueba.

d) El período de prueba del combustible principal es de 15

segundos para diesel o petróleos livianos (Nros. 4 o menos) y de 30 segundos para residuos o petróleos posados (Nros. 5 y 6). Al finalizar este período se cierra la válvula del combustible piloto, y comienza la regulación del funcionamiento por medio del servomocnismo. Si hasta entonces no se ha prendido la llama principal la caldera se apaga.

2.1.4. Especificaciones de los circuitos de control de funcionamiento

a) Se puede modular, automáticamente, el flujo del combustible principal/aire para tener siempre una presión elegida arbitrariamente con un error máximo en el circuito electrónico de \pm el 3%.

b) La modulación se mantiene casi completamente cerrada cuando la presión real es mayor o igual que la deseada; dejando paso, solamente, a una pequeña cantidad de aire y combustible principal, que mantienen encendida la llama. La modulación se mantiene completamente abierta cuando la presión real es menor que la deseada, es más que un cierto valor arbitrario; el cual se ha fijado en el 20% de la presión máxima admisible. Por tanto, la regulación automática se realiza cuando la presión real está entre los dos límites antes mencionados.

c) La modulación está completamente abierta durante los períodos de purga para permitir que los ventiladores de aire funcionen a su máxima capacidad; sin embargo, el combustible principal no fluye, debido a que su válvula está cerrada.

d) La modulación está casi completamente cerrada, mientras se consume el combustible piloto, para que la llama no se apague por el fuerte viento que producen los ventiladores.

e) Se puede regular manualmente el flujo del combustible principal/aire y la secuencia de encendido.

2.1.5. Especificaciones de los paneles centrales de operación

a) En los paneles centrales de operación están todos los -

indicadores de presión, entradas y salidas eléctricas, interruptores y luces de señalización.

b) Para el caso en que se utilicen petróleos pesados (residuos), existe en el panel un interruptor para el sistema de precalentamiento, el cual puede prenderse o apagarse independientemente de todo el sistema de control. El tiempo de anticipación con que se enciende el precalentamiento es función del volumen de combustible, tipo de calentadores, temperatura ambiental, etc., por lo cual no existen normas fijas sobre su duración. Generalmente, está protegido por un sistema independiente de control, que utiliza termostatos.

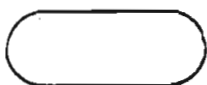
2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

Esta sección tiene como fin explicar cuál es la concepción general del diseño para que se cumpla con las especificaciones.

2.2.1. Ordenes del operador

El diagrama 1 indica la secuencia de órdenes que el operador realiza, con el fin de encender o apagar la caldera. En él se puede ver claramente la posición de los interruptores en cada momento.

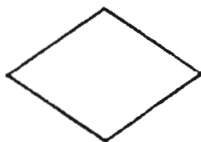
Los símbolos utilizados son los siguientes:



- Un óvalo indica el tipo de proceso que el operador desea realizar



- Un rectángulo simboliza cualquier interruptor o perilla que pueden ser regulados manual o automáticamente. Las líneas que entran indican el tipo de orden.



- Un rombo simboliza que el operador debe elegir la posición de un interruptor. Las líneas que salen de la figura se identifican con los resultados de la decisión.



- Las flechas indican el orden de la secuencia de operaciones que se deben realizar, con el fin de que el operador alcance su objetivo.

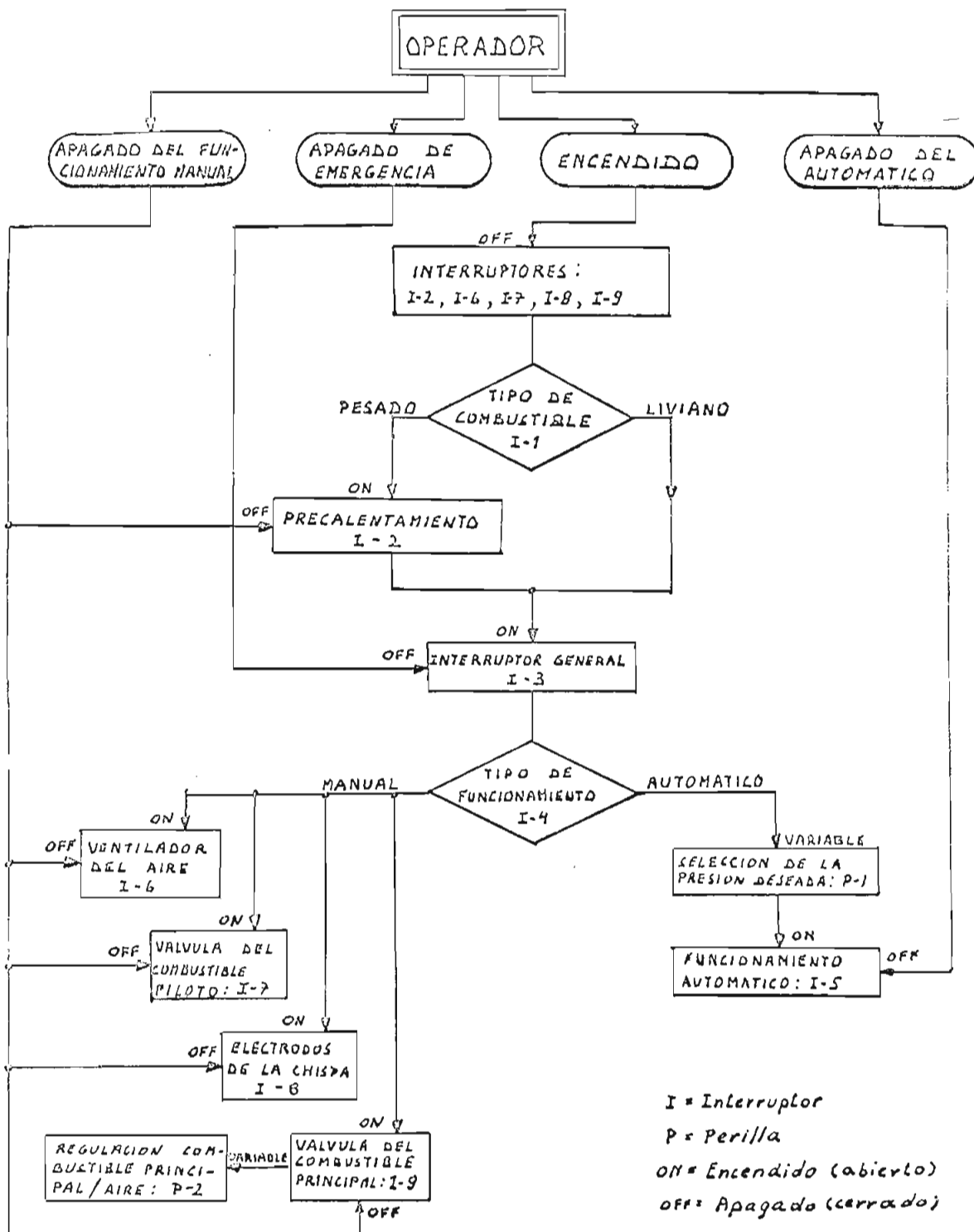


Diagrama 1: Ordenes del Operador

Por seguridad, al iniciar el proceso de encendido, el operador debe colocar en la posición apagado (OFF) los interruptores I-2, I-6, I-7, I-8, I-9. Así, en el momento en que se conecte el interruptor general I-3 y el interruptor I-4 en la posición MANUAL, no se tendrá ninguna válvula abierta, motor funcionando, o electrodos encendidos.

Nótese que al apagarse el sistema de funcionamiento automático, queda aún el interruptor general (I-3) en la posición encendido. Esta condición es necesaria para permitir el funcionamiento de los ventiladores de aire, para la postpurga de un minuto. Posteriormente, pueden apagarse el interruptor general, y siempre en forma independiente, el de precalentamiento I-2 (Especificación 2.1.5.b.).

El interruptor general (I-3) alimenta a todo el sistema; cuando se lo apaga, todas las válvulas quedan cerradas y los motores y electrodos se apagan. Este es por lo tanto, el interruptor de emergencia (Especificación 2.1.2.b)

2.2.2. Secuencia de encendido automático

El diagrama 2 indica la secuencia de encendido automático.

Los períodos de la secuencia son los siguientes:

- t - 1: El período de prepurga, de un minuto de duración (Especificación 2.1.3.a.)
- t - 2: Período de prueba de la llama piloto. Dura máximo 10 segundos (Especificación 2.1.3.b.)
- t - 3: Período de prueba del combustible principal; tiene una duración de 15 segundos, si se usa diesel o petróleos livianos (Nro. 4 o menos) y 30 segundos si se usan petróleos pesados (Nros. 5 y 6). (Especificación 2.1.3.d.).
- t - 4: Período de funcionamiento normal, de duración indeterminada.
- t - 5: Período de postpurga, de un minuto de duración. (Especificación 2.1.3.a.).

En los puntos críticos de la secuencia de funcionamiento,

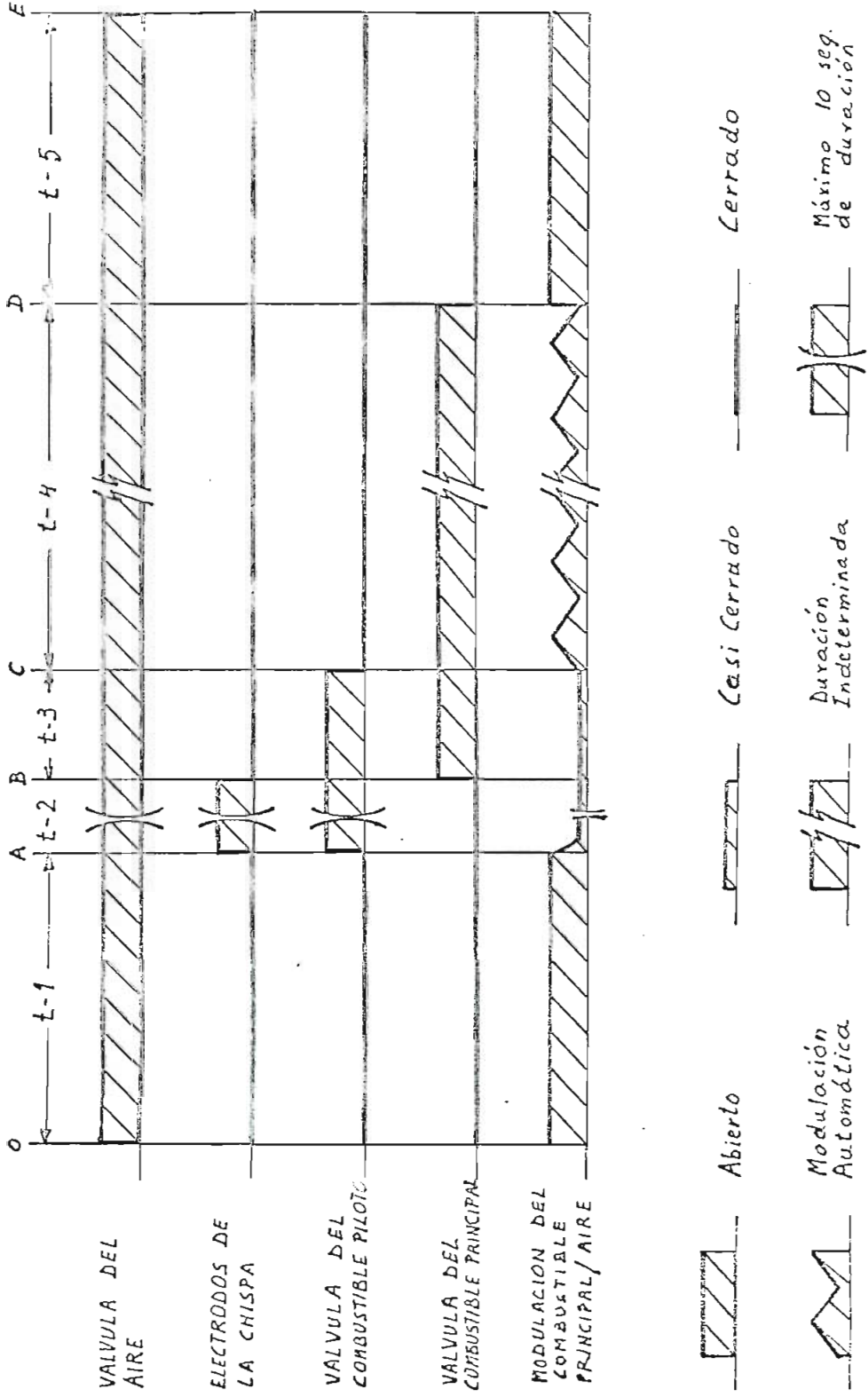


Diagrama 2: Secuencia de Encendido Automático

tienen lugar los siguientes procesos:

- o : Si no existen fallas, se inicia la operación de encendido. Se enciende el ventilador del aire y la modulación del combustible principal/aire está completamente abierta, pero la válvula del combustible principal está cerrada. (Especificación 2.1.4.c.)
- A : Se encienden los electrodos que producen la chispa y se abre la válvula del combustible piloto (Especificación 2.1.3.b.), al mismo tiempo, la modulación del combustible principal/aire queda casi completamente cerrada (Especificación 2.1.4.d.).
- B : Se enciende la llama. Se apaga, entonces, la chispa y se cierra la válvula del combustible principal (Especificación 2.1.3.c.)
- C : Se cierra la válvula del combustible piloto y comienza a funcionar la regulación por medio del servomecanismo. (Especificación 2.1.3.d.)
- D : Por presentarse una falla, o porque el operador apaga el sistema de funcionamiento automático, se cierra la válvula del combustible principal, apagándose la caldera; pero, para la prepurga, continúa encendido el ventilador del aire (Especificación 2.1.2.b) y la modulación del combustible principal/aire se abre completamente (Especificación 2.1.4c)
- E : Fin del período de postpurga. Se apaga el ventilador del aire.

2.2.3. Circuitos de funcionamiento automático

El diagrama 3 indica el flujo de órdenes de los circuitos de funcionamiento automático, para que se cumpla con la secuencia de encendido anteriormente descrita.

Los bloques representan interruptores que comandan circuitos de : alimentación (FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO), posición de válvulas (COMBUSTIBLE PILOTO Y COMBUSTIBLE PRINCIPAL), electrodos (CHISPA) ,

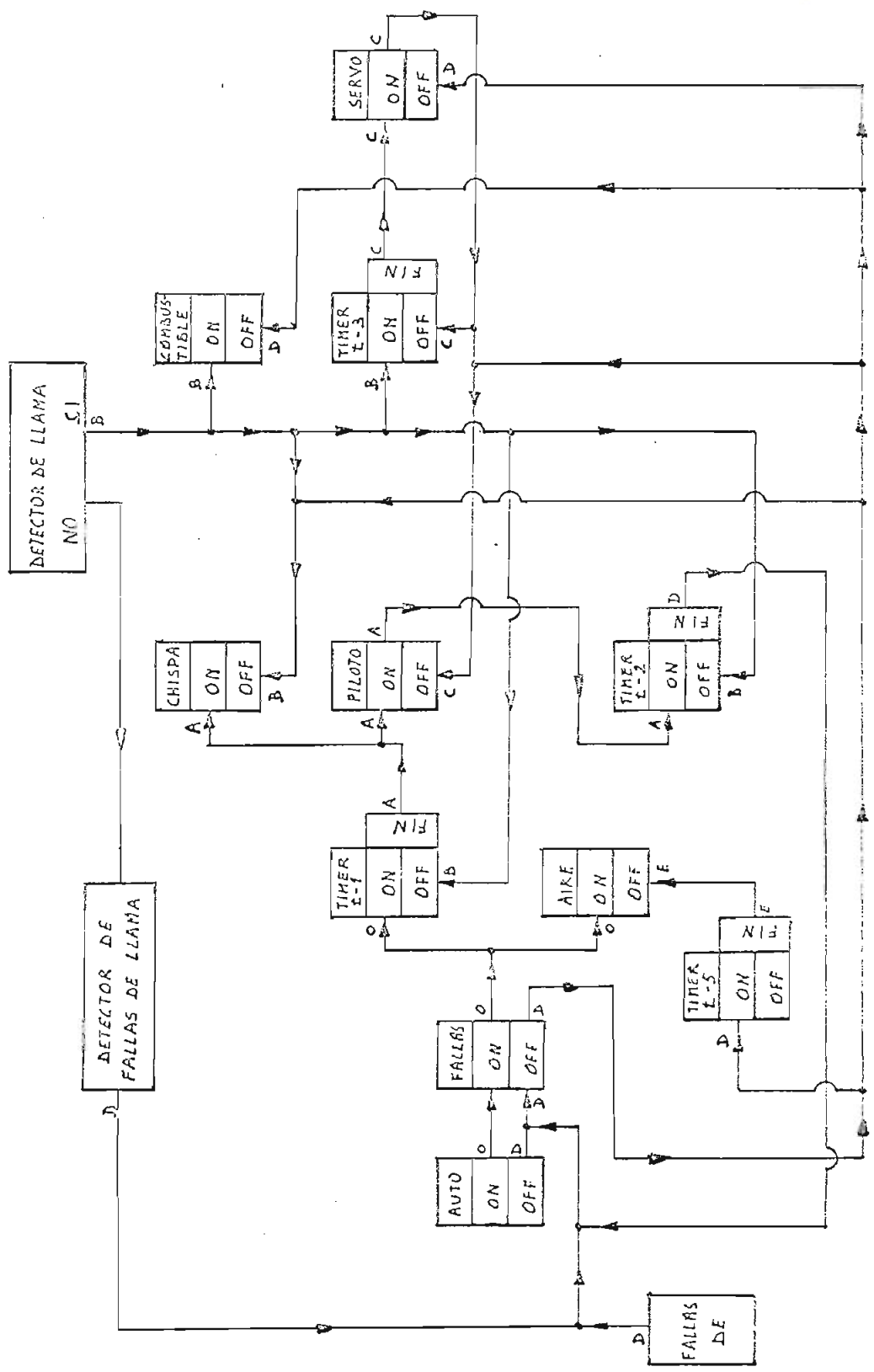


Diagrama 3: Circuitos de funcionamiento automático

ventiladores (AIRE) , controles de período de tiempo (TIMERS), u otros sistemas de control (SERVO Y FALLAS).

El bloque FALLAS DE representa las condiciones físicas que pueden enviar señales al circuito de control de fallas (FALLAS) : sobrepresión, o superación de cualquier otro límite de seguridad, que puede ser detectado por un interruptor.

Las salidas del DETECTOR DE LLAMA indican si existe o no llama en la caldera. Funciona a través del circuito de control de fallas.

El DETECTOR DE FALLAS DE LLAMA envía una señal, siempre que luego de haberse prendido, la llama se apague.

En los controles de tiempo la posición ON indica el momento en que el circuito inicia la medida del período; la posición FIN, el momento en que termina el período y se envía la orden, y la posición OFF, el momento en que el control de tiempo deja de producir señales (TIMERS t-1, t-2 y t-5) o, si las continúa produciendo, éstas no influyen sobre el circuito (TIMER t-3).

El TIMER t-5 produce, por una sola vez, la señal que mantiene el ventilador de aire en funcionamiento durante un minuto; es por esto que no necesita ser apagado, para que deje de producir señales.

Las letras colocadas junto a las flechas, que indican el momento en que se ejecuta la orden, y la nomenclatura de los controles de tiempo, corresponden a las utilizadas en el Diagrama 2 : Secuencia de encendido automático.

2.3. CIRCUITOS DE CONTROL DE PROTECCION

Para la descripción de estos circuitos y todos los demás, se han utilizado los siguientes símbolos:

R = Resistencia

C = Condensador

Q = Transistor

D = Diodo

Z = Diodo Zener

Rel = Relé

V_{ab} = Voltaje entre los puntos a y b

V_a = Voltaje entre el punto a y la tierra

V_{R₁} = Voltaje que cae en la resistencia R-1

I_{R₁} = Corriente que circula por la resistencia R-1

I_{ab} = Corriente que circula entre los puntos a y b

W = Potencia

Las letras minúsculas indican puntos del circuito que se está discutiendo (Ejemplo: a)

Los caracteres encerrados en paréntesis indican las conexiones de las tarjetas sobre las que se armará el circuito. Sirven también para señalar puntos del circuito a los que, anteriormente o posteriormente, se conectarán otros elementos. (Ejemplo: (A-1) = Conexión A de la tarjeta 1).

Los números colocados junto a las conexiones de los relés y circuitos integrados indican sus salidas.

Los interruptores que se operan manualmente están señalados con la letra I (Ejemplo: I-1 = Interruptor 1) y con la letra S los que se operan electrónicamente (Ejemplo: S-1 = Interruptor electrónico 1)

Los reóstatos que se operan manualmente, por medio de perillas, están indicados con la letra P (Ejemplo: P-1 = Perilla 1).

Los focos están indicados con la letra F (Ejemplo: F-1 = Fo

co 1).

Los microamperímetros se indican con la letra M (Ejemplo : M-1 = Microamperímetro 1).

Los terminales están señalados con la letra T acompañada de un número, y luego de una raya, otro número indica el punto de conección del terminal (Ejemplo T1-5 = Punto de conexión 5 del terminal 1).

Como sólo existen ciertos valores normalizados de resistencias y condensadores, no siempre la magnitud del elemento utilizado corresponderá con la calculada, por lo que subrayaré solamente los valores que utilizaré en la construcción.

Si no hay otra especificación, las resistencias serán de 250 mW. , los condensadores de 16 V., y los diodos de 200 mA, 50 V. El cálculo de estas características se hará solamente cuando superen los valores señalados.

Las características de la ganancia de los transistores, que dan los fabricantes, no son valores mínimos, sino promedios, por lo que, para los cálculos en que intervengan estos factores, se tomarán valores iguales o inferiores para tener seguridad en el fun-cionamiento.

Se ha utilizado una fuente de 12 Voltios, por existir en el mercado circuitos integrados, relés, focos, y otros elementos, que funcionan con éste o voltajes menores.

Los circuitos de control de protección son: el detector general de fallas, el detector de llama, el control de período máximo de prueba del combustible piloto y el detector de fallas de llama. Tienen por objeto apagar la caldera en caso de que se presente cualquier situación de peligro.

2.3.1. Detector general de fallas

Objeto:

001623

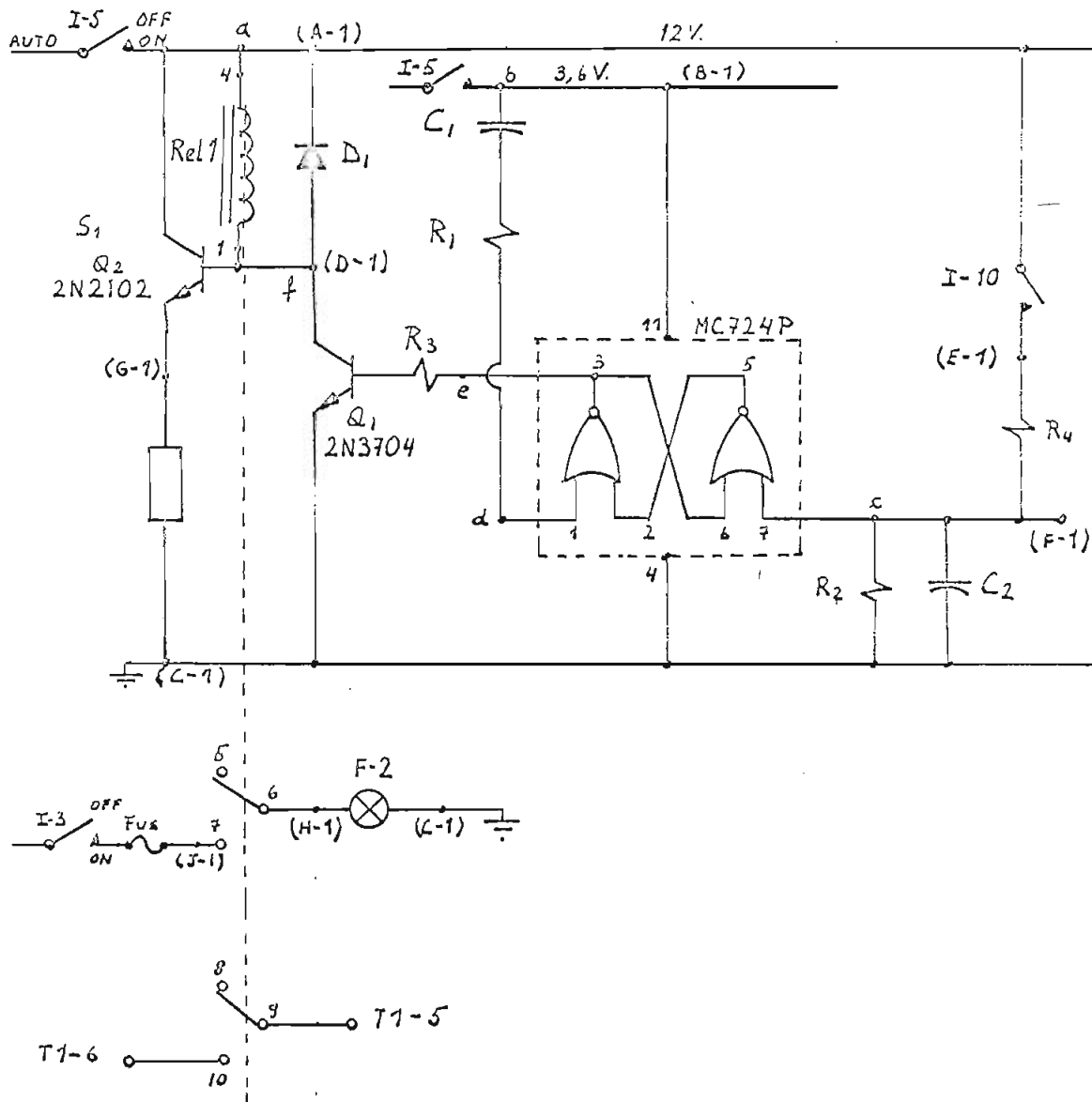


Figura 1: Detector General de Fallas

Apagar la caldera, a excepción del ventilador de aire, que debe permanecer encendido para la postpurga, cuando se presente cualquier falla (Especificación 2.1.2.b). En el Diagrama 3 : Circuitos de funcionamiento automático, corresponde al bloque FALLAS.

En este circuito se han utilizado 2 circuitos NO-0 para formar un circuito bistable.

Un circuito bistable es aquel que puede permanecer indefinidamente en cualquiera de sus dos estados estables, y que puede ser inducido a realizar una transición brusca de uno a otro estado, mediante una excitación exterior.

La tabla de verdad del circuito lógico NO-0 y su símbolo se muestran en la Fig. 2.

ENTRADAS		SALIDA
A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

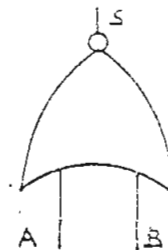


Figura 2: Tabla de verdad y símbolo del circuito NO-0

En la Fig.3. se muestra la conexión de dos circuitos NO-0, contenidos en el circuito integrado MC724P, para formar un bistable.

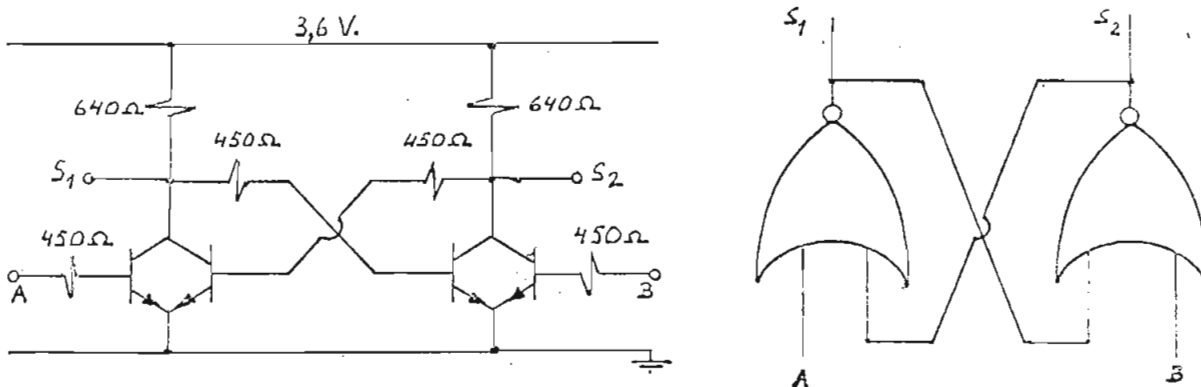


Figura 3: Bistable a base de circuitos NO-0

En cuanto se enciende el bistable, las salidas son siempre diferentes, dependiendo su valor del tiempo de transición de los circuitos NO-O. Aquel que sea más rápido dará a la salida el valor 1_L .

Ambas salidas cambian su valor solamente cuando una de las entradas cambia de 0_L a 1_L y la salida que está conectada al circuito NO-O, que está variando su entrada, está en la posición 1_L .

Los cambios de 1_L a 0_L en la entrada, no varían la posición de las salidas, por lo que mantienen su posición anterior, aún luego de que ha terminado la excitación.

Descripción:

El circuito recibe su alimentación a través del interruptor I-5 que enciende el sistema de funcionamiento automático.

El interruptor I_0 simula cualquier falla proveniente de la superación de un valor límite fijado previamente o, la existencia de una condición de peligro. En condiciones normales está abierto, pero cuando se produce una falla se cierra, haciendo $V_c = 1_L$. En la práctica I-10 representa varios interruptores que están conectados en paralelo, de tal forma que al cerrarse uno solo de ellos se presenta a la entrada del bistable.

El sistema ha sido diseñado para calderas que tienen interruptores de seguridad normalmente abiertos; si se tratara de una caldera que tiene interruptores de seguridad normalmente cerrados, el interruptor I-10 debería conectarse como indica la Figura 4.

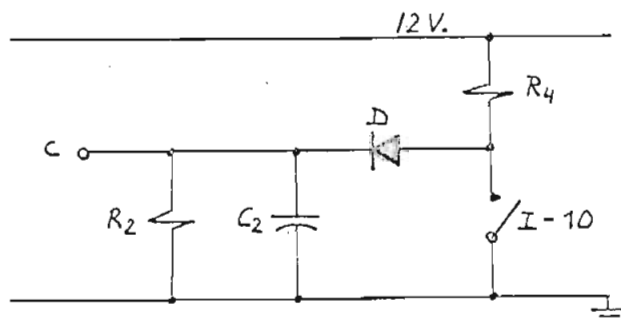


Figura 4: Conexión de interruptores de seguridad normalmente cerrados.

En ese caso, cuando I-10 está cerrado no existe señal en la entrada del bistable, pero en cuanto I-10 se abre, la entrada del bistable toma el valor l_L , que indica la presencia de falla.

El diodo D sirve para aislar los pulsos que llegan al bistable, del cortocircuito de I-10.

Si no existen fallas, $V_C = 0_L$, pero $V_d = l_L$, ya que al cerrarse I-5, C_1 es un cortocircuito; entonces en el bistable queda $V_e = 0 V.$ y Q_1 está en circuito abierto, haciendo $V_f = 12 V.$ El relé 1, que enciende el foco F-2 que indica la presencia de fallas en el tablero de control y acciona a los sistemas de alarma, no se mueve pues $V_a = V_f$ y no se excita la bobina. Al mismo tiempo Q_2 se cortocircuita y alimenta a la carga conectada en su emisor.

Si se presenta una falla, V_c cambia de 0_L a l_L por lo que las salidas del bistable también cambian su valor y $V_e = 3,6 V.$, por lo que Q_1 se cortocircuita, haciendo de $V_f = 0 V.$ El relé 1 enciende entonces las alarmas pues $V_{af} = 12 V.$ A la vez, Q_2 queda en circuito abierto y la carga no recibe alimentación. Posteriormente sólo el operador podrá volver a encender la caldera. (Especificación 2.1.2.c.).

La carga representa a los circuitos y relés que encienden la chispa, abren las válvulas del combustible piloto y combustible principal y la regulación automática combustible principal/aire, por lo que, en caso de falla, todo el sistema se apaga automáticamente (Especificación 2.1.2.b), teniendo prioridad el circuito detector general de fallas sobre cualquier otro de funcionamiento (Especificación 2.1.2.a).

El punto C es la entrada de los impulsos que indican que existen fallas en el proceso de encendido, de llama, o de sobrepresión.

C_2 sirve para que los impulsos que harán cambiar V_c de 0_L a l_L tengan un período lo suficientemente prolongado como para asegurar el cambio de posición del bistable. Al producirse el impulso, C_2 se carga y, posteriormente, se descargará a través del bistable asegurando que $V_c = l_L.$ R_2 sirve para descarga completa de C_2 .

Las resistencias R_1 y R_4 atenúan la señal de entrada al bistable, haciendo que su voltaje no supere el máximo admisible por el

circuito integrado.

R_3 atenúa el voltaje de salida del bistable, para que V_{L2} no sea excesivo.

El momento de encenderse o apagarse el relé, la bobina produce voltajes negativos superiores a los de la fuente, que pueden dañar a los transistores. El diodo D_1 sirve para eliminar su efecto, protegiendo al circuito.

Cálculos

En el Apéndice 1 se muestran las conexiones que forman el circuito integrado MC724P, que contiene cuatro circuitos NO-C. Allí se puede ver que su impedancia de entrada es del orden de $R_{L1} = 450\Omega$ y su resistencia de carga del orden de $R_{L2} = 640\Omega$. Estos circuitos integrados se alimentan con 3,6 V. y reconocen con seguridad, como la cualquier voltaje entre 1 V. y 2 V. Su tiempo de transición es del orden de los 50 ns.

- Cálculo de R_1

La alimentación al punto b es de:

$$V_b = 3,6 \text{ V.}$$

C_1 es un cortocircuito para las altas frecuencias, de la función paso, que produce el interruptor I-5 al cerrarse. Para que $V_d = 1,8$, a la entrada del bistable, esté dado por 1,8 V. y $V_e = 0$, al iniciarse el proceso,

$$V_{R_1} = \frac{V_b}{2}$$

$$R_1 = R_{L1}$$

De donde,

$$\underline{R_1 = 450 \Omega}$$

- Cálculo de C_1

C_1 se descarga a través de la resistencia de carga R_{L1} .

circuitos integrados $R_{L2} = 640\Omega$. Para que el impulso que fija $V_c = 1_L$ se mantenga durante un periodo mayor que el tiempo de transición de los circuitos NO-O, el cual es del orden de los 48 nanosegundos, hacemos la constante de tiempo

$$C_1 \cdot R_{L2} = 64 \text{ } \mu\text{s.}$$

$$\underline{C_1 = 0,1 \text{ } \mu\text{F}}$$

- Cálculo de R_2

R_2 debe ser mayor que la impedancia de entrada del bistable: $R_{L1} = 450\Omega$, para que C_2 se descarge en primera instancia por el bistable, y, posteriormente, por completo por R_2 . De donde:

$$\underline{R_2 = 1K\Omega}$$

- Cálculo de C_2

Para que el impulso que indica la existencia de falla V_c que fija $V_c = 1_L$, se mantenga durante un periodo mayor que el tiempo de transición de los circuitos NO-O, y sea también superior a la constante de tiempo $C_1 \cdot R_{L1}$ que fija la posición $V_d = 1_L$, hacemos que:

$$C_2 \cdot R_{L1} = 4,5 \text{ ms.}$$

$$\underline{C_2 = 10 \text{ } \mu\text{F}}$$

- Cálculo de R_3

Los circuitos integrados NO-O producen voltajes correctos de salida hasta con un máximo de 5 circuitos NO-O similares, conectados a la salida. Por tanto, tendremos la seguridad de que la señal será correcta si:

$$R_3 = R_{L2}$$

$$\underline{R_3 = 470\Omega}$$

Así la carga conectada a la salida será por lo menos cuatro

iente a la salida es un circuito NO-O

- Cálculo de R_4

Para que cuando se presente una falla y se cierre I-10, $V_c = 1_L$ esté cado por 1,3 V., se debe cumplir que:

$$\frac{R_4}{R_{L1}} = \frac{12V. - 1,3V.}{1,3V.}$$

$$\underline{R_4 = 3,9 \text{ k}\Omega}$$

- Elección de los transistores.

La resistencia de la bobina del Rel 1 es de 130 Ω . Por tanto, la corriente de saturación de Q_1 será :

$$I_{CQ1} = 92 \text{ mA.}$$

Q_1 puede ser el transistor 2N 3704 de silicio, que trabaja con corrientes de colector de hasta 600 mA. y V_{CE} de hasta 40 V.

Como Q_2 tiene conectado a su emisor una carga equivalente básicamente de 5 relés, su corriente de colector será del orden de los 0,5 A. Escogemos para Q_2 el transistor npn 2N2102 que resiste corrientes de colector de hasta 1 A. y voltajes colector-emisor de hasta 80 V. Para evitar que su temperatura se eleve excesivamente, tendrá un disipador.

Por ser D_1 un diodo de protección, debe resistir corrientes de hasta 1 A, por lo que escogemos el rectificador R6-100.

Para Rel 1 se ha escogido el relé marca Delapalma, de 12 V. DC, 130, 2vías 2 posiciones. Tiene contactos para 5 A, que es una corriente lo suficientemente grande como para hacer funcionar cualquier tipo de alarma. Está sellado en cápsula plástica para evitar fallas provenientes del polvo que se deposita sobre los contactos y es la causa más común de errores.

Todos los relés usados en el presente trabajo son de este tipo.

lista de componentes

$C_1 = 0,1 \text{ MF}, 16 \text{ VDC}$

$C_2 = 10 \text{ MF}, 16 \text{ VDC}$

$D_1 = \text{Diodo tipo R66-7978}$

$I-10 = \text{Interruptor tipo ON-OF}, \text{ una v\u00eda.}$

$MC724P = \text{Circuito integrado que contiene 4 circuitos NO-C}$

$Q_1 = \text{Transistor tipo 2N3704}$

$Q_2 = \text{Transistor tipo 2N2102 con disipador.}$

$Rel 1 = \text{Rel\u00e9 marca Relaymatic, 12 V.DC, } 130 \Omega, 2 \text{ v\u00edas, 2 p\u00e1rtes.}$

$R_1 = 470 \Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_2 = 1 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_3 = 470 \Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_4 = 3,5 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

2.3.1.1. Detector de llama

Objeto:

Cuando existe presencia de llama en la caldera; se activa el relé que abre la válvula del combustible principal; de esta manera, se tiene la seguridad que nunca existirá derrames iniciales de combustible.

Por razones de seguridad, como se explicó en la Sección 1.3.2, el relé se activa solamente cuando existe luz intermitente; tiene un filtro para el ruido de 50 Hz. (Especificación P.I. 1.1) en el Diagrama 3 : Circuitos de funcionamiento automático, como se ve en el Bloque: DETECTOR DE LLAMA.

Descripción:

El circuito se muestra en la Fig.6.

Básicamente consta de tres partes, que se encuentran conectadas como muestra la Fig.5.

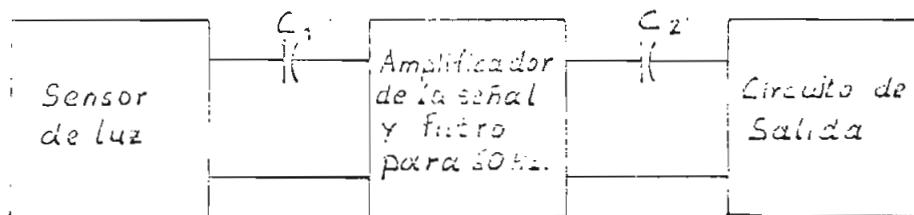


Fig.5 : Diagrama de Bloques del Detector de Llama.

Como sensor de luz se ha utilizado un fotoresistor, el cual varía su resistencia, de acuerdo a la intensidad de la luz que incide sobre él. R_1 limita la corriente que atraviesa I_{11} . El condensador C_1 deja pasar solamente las señales intermitentes y elimina las componentes continuas,

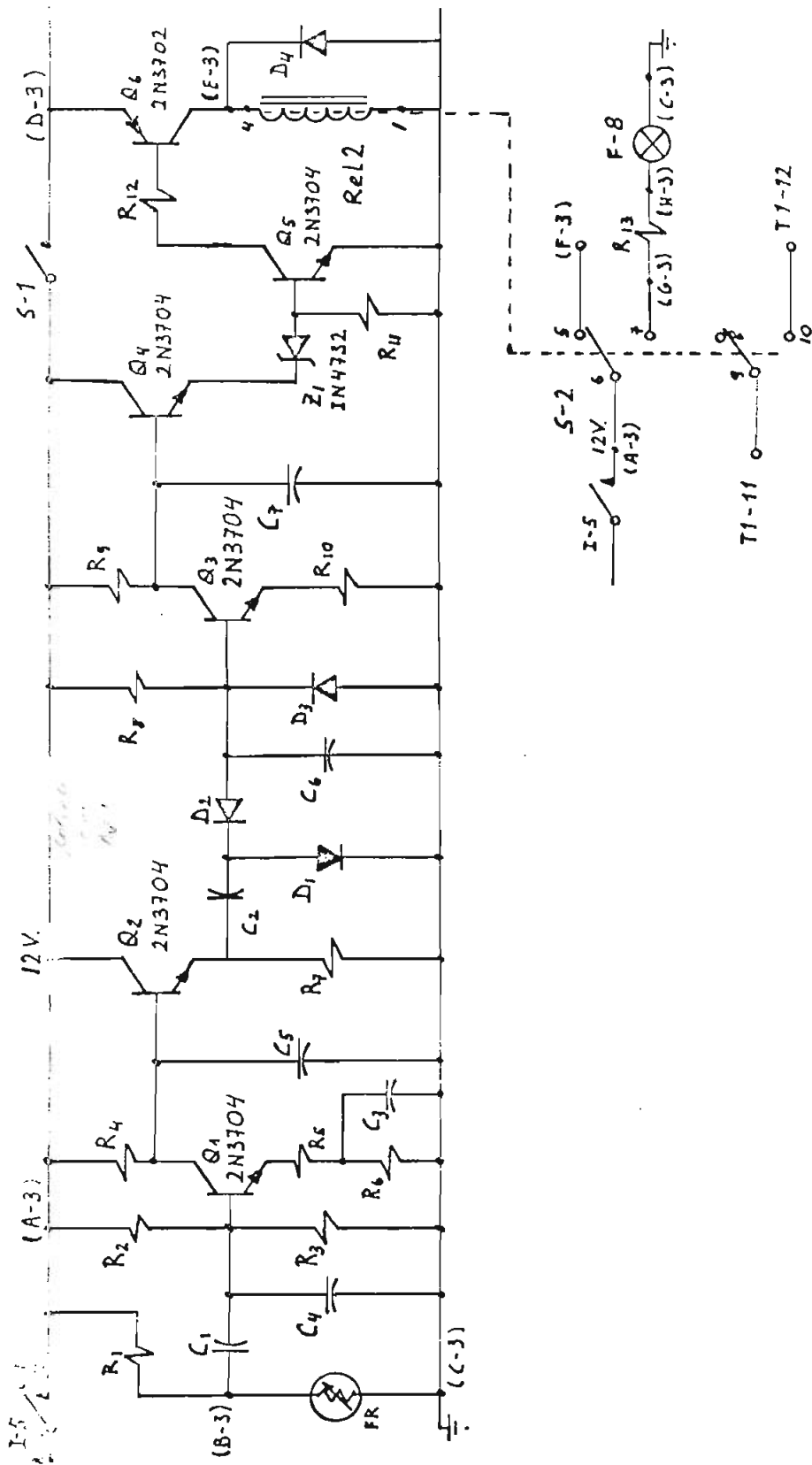


Figure 6 : [unclear] [unclear]

que produce FR, provenientes de luz de intensidad constante, además es un filtro para frecuencias bajas.

Posteriormente, la señal alterna se amplifica por medio del transistor Q_1 .

R_2 y R_3 sirven para polarizar a Q_1 y R_4 es su resistencia de carga.

Para que exista máxima transferencia de potencia de la señal alterna, es conveniente la impedancia de entrada alterna de Q_1 sea del orden del valor medio que tenga el fotoresistor en presencia de llama, que es $20K\Omega \pm 1K\Omega$. Por otra parte, para que la señal alterna amplificada no sufra distorsiones, es conveniente que V_{ce1} , sea de por lo menos 3V. El arreglo de R_5 , R_6 y C_3 armoniza estos dos circuitos, ya que la impedancia de entrada alterna de Q_1 , se reduce por medio de la conexión de C_3 en paralelo a R_6 .

Q_2 sirve para aislar al amplificador y filtro para 60 Hz. del circuito accionador del relé, el cual rectifica la señal de entrada. Por esta razón, tiene R_7 conectada al emisor.

Las señales de 60 Hz. son filtradas por medio de los condensadores C_4 y C_5 , conectados antes y después del amplificador.

C_2 es un condensador de paso que aísla las componentes cónicas del voltaje.

El circuito de salida ha sido diseñado para que el relé opere con los pulsos negativos de la señal alterna. Si se excitara con los pulsos positivos, la señal positiva que se produce al cerrarse el interruptor I-5 excitará por un momento al relé, apagándose todo el sistema, puesto que el detector de fallas de llama traduciría este fenómeno transitorio del circuito electrónico como una falla proveniente de la caldera al apagarse la llama principal. El fenómeno transitorio similar que se produce al abrirse I-5 no interesa, puesto que para entonces todo el sistema se apaga por orden del operador.

Cuando no existe señal, Q_3 está polarizado y circula una corriente a través de R_8 , haciendo bajar el voltaje V_{ce3} a un valor inferior al del voltaje de ruptura del diodo Zener Z_1 , por lo que no existe una corriente de base que polarice a Q_5 , que permanece en corte.

cuito abierto. Al estar Q_5 en circuito abierto, no existe una corriente de base que polarice a Q_6 , por lo que el relé no se excita.

Cuando existe señal, D_2 y C_2 la rectifican para que produzca un voltaje negativo que disminuye el voltaje de base de Q_3 , reduciéndose su corriente de colector. Entonces el voltaje V_{CQ_3} aumenta y llega a ser superior al voltaje de ruptura de Z_1 , por lo que existe una corriente de base en Q_5 . Al estar Q_5 polarizado, circula una corriente por R_{12} , que polariza a Q_6 y excita al relé.

D_1 sirve para que las cargas positivas que se acumulan en el condensador C_2 vayan a tierra, ya que si no tienen fuga pueden producir un voltaje positivo continuo que anularía el efecto de la señal alterna para reducir el voltaje V_{BQ_3} .

D_3 limita V_{BQ_3} , para que no se produzca un voltaje negativo que podría destruir el transistor Q_3 .

R_8 es la resistencia de polarización de Q_3 y R_9 su resistencia de carga.

R_{10} sirve para elevar la impedancia de entrada de Q_3 , anulando el efecto de la rectificación de media onda.

C_7 elimina el rizado amplificado del voltaje de entrada de Q_3 .

El transistor Q_4 sirve para elevar la impedancia de la carga conectada en paralelo a R_9 , para que no influya en las variaciones de V_{CQ_3} producidas por las variaciones de V_{BQ_3} .

El diodo Zener Z_1 , sirve para bloquear el voltaje V_{CQ_3} que existe aún en el caso de no haber señal. La corriente de fuga que produce podría polarizar a Q_5 ; para evitarlo se ha conectado la resistencia R_{11} .

D_4 es un diodo de protección del relé.

Al ser excitado el relé se abre la válvula del combustible principal, que está conectada a T-11 y T-12 y en el tablero de control se enciende el foco F-8.

Puesto que en el mercado no existen focos de corriente continua de 12V., se ha utilizado un foco de 6V.DC conectado en serie a

una resistencia R/3.

Las conexiones 5,6 y 7 de Rel 2 forman el interruptor S-2 que sirve para encender el control de tiempo del período de prueba del combustible principal, cerrar la válvula del combustible piloto, apagar la chispa y el control del período máximo de prueba del combustible piloto y dar las señales con las que funciona el detector de fallas de llama.

Cálculos

- Cálculo de R₁

Experimentalmente se encontró que para la llama de un solo dero, el fotoresistor presenta, normalmente, una resistencia del orden de los 20KΩ±1KΩ. En forma ocasional alcanza valores cercanos a 1KΩ o algunos cientos de KΩ según la intensidad de la señal de llama.

Para protegerlo de corrientes muy altas, y garantizar su funcionamiento, es conveniente que la máxima corriente que lo atraviesa sea del orden de los microamperios, de donde:

$I_{R_1} = 100 \mu A.$

$R_1 = \frac{V_a}{I_{R_1}}$

R₁ = 150 KΩ

Para la experimentación y demostraciones, se simulará la llama por medio de un generador de 10 Hz, que produce señales del orden de las centésimas de voltio, en serie con una resistencia de 20 KΩ.

- Cálculo del amplificador.

Para que la señal amplificada no sufra distorsiones...

corte, es conveniente que:

$$V_{CQ_1} = 3V.$$

Para que Q_1 pueda funcionar,

$$V_{CQ_1} > V_{BQ_1}$$

Por lo que podemos asumir que.

$$V_{BQ_1} = 1,6V.$$

Si Q_1 es un transistor de silicio, tendrá un voltaje base-emisor de 0,6V., de donde

$$V_{EQ_1} = 1V.$$

Acumimos que

$$I_{CQ_1} = 0,5 \text{ mA.}$$

Puesto que:

$$R_5 + R_6 = \frac{V_{EQ_1}}{I_{EQ_1}}$$

Se debe cumplir que

$$R_5 + R_6 = 2K\Omega$$

Para que exista máxima transferencia de potencia de la señal alterna, se debe cumplir que

$$(\beta R_5 + h_i) \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \approx R_{FR}$$

R_{FR} = Resistencia media del fotoresistor: 20 K Ω

Si hacemos R_1 , R_2 y R_3 de un orden mayor que 20 K Ω , obtenemos la máxima transferencia de potencia de la señal, al transistor Q_1 , si:

$$\beta R_5 + h_i \approx 20 \text{ K}\Omega$$

Para un transistor de silicio se pueden asumir los valores típicos de β y h_i , 100 y 2K Ω respectivamente, de donde

$$\underline{R_5 = 150 \Omega}$$

$$R_6 = 2K\Omega - R_5$$

$$\underline{R_6 = 1,8 \text{ K}\Omega}$$

R_2 y R_3 forman un divisor de voltaje para polarizar a Q_1 .
Un criterio de diseño indica que:

$$R_3 = \frac{\beta}{10} (R_5 + R_6)$$

Por lo que R_3 debería ser del orden de 20 K Ω pero como práticamente asumimos que debía tener un valor mayor que este, nos da:

$$\underline{\underline{R_3 = 270 K\Omega}}$$

De donde, para que $V_{BQ1} = 1,6$ V,

$$\underline{\underline{R_2 = 270 K\Omega}}$$

La corriente que atraviesa R_4 es practicamente:

$$I_{R_4} = I_{EQ1}$$

Y como $V_{CE1} = 3$ V., encontramos que:

$$\underline{\underline{R_4 = 18 K\Omega}}$$

Para que C_3 sirva de cortocircuito a R_6 para señales alter-
nas, se debe cumplir, a la frecuencia de 10 Hz. de la señal:

$$\frac{1}{2\pi f C_3} \ll R_6$$

$$C_3 \gg 9,1 \text{ MF.}$$

$$\underline{\underline{C_3 = 200 \text{ MF}}}$$

La impedancia de entrada de Q_2 debe ser mayor que R_4 , de
donde:

$$\beta R_7 > 18 K\Omega$$

$$\underline{\underline{R_7 = 470 \Omega}}$$

- Cálculo de los filtros

Los puntos de corte (-3db.) para las frecuencias de los filtros
són dados por:

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_o R_o}$$

Donde:

C_o = Suma de los condensadores en paralelo con la salida, o entrada, del amplificador y

R_o = Resistencias conectadas en paralelo con la salida, o entrada, del amplificador.

$$C_o = \frac{1}{2\pi f_c R_o}$$

Es conveniente que el punto de corte esté en los 10 Hz, así, cualquier ruido proveniente de los 60 Hz. de la línea tendrían gran atenuación. Si hacemos coincidir los puntos de corte de C_4 y C_5 la atenuación será aún mucho mayor.

Para el filtro formado por C_4

$$R_o = R_1 // R_{FR} // R_2 // R_3 // \beta R_5$$

Donde,

R_{FR} = Resistencia media del fotoresistor : 20 K Ω

$$\underline{C_4 = 1 MF.}$$

Para el filtro formado por C_5 :

$$R_o = R_4 // \beta R_7$$

$$C_5 = 3,5 MF.$$

- Cálculo de C_1 .

Este condensador, a más de aislar las componentes de var taje continuo de la señal, puede funcionar como un filtro para las frecuencias menores de 3Hz. , para hacer que la respuesta de frecuencia del amplificador tenga su punto óptimo en los 10 Hz. que produce la llama intermitente.

Los puntos de corte (-3db.) para las frecuencias bajas _____
 tán dados por

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_p (R_a + R_b)}$$

Donde:

C_p = condensador de paso

R_a = Paralelo de las resistencias conectadas antes de C_p

R_b = Paralelo de las resistencias conectadas despues de C_p

$$C_p = \frac{1}{2\pi f_c (R_a + R_b)}$$

Para el filtro formado por el condensador C_1

$$R_a = R_1 \parallel R_{FR}$$

$$R_b = R_2 \parallel R_3 \parallel \beta R_5$$

$$\underline{\underline{C_1 = 2 \text{ MF.}}}$$

- Cálculo del circuito de salida

Para que la media onda rectificada, que entre a la carga Q_3 , sea transformada en una corriente directa negativa, a la frecuencia de la señal, se debe cumplir que:

$$\beta R_{10} C_6 < \frac{1}{f}$$

De donde:

$$\underline{\underline{R_{10} = 1 \text{ K}\Omega}}$$

$$\underline{\underline{C_6 = 3,5 \text{ MF.}}}$$

El diodo Zener sirve para bloquear V_{CQ_3} cuando no exista señal. Un valor adecuado de su voltaje de ruptura es:

$$V_{Z_1} = 4,7 \text{ V.}$$

Si Q_4 es de silicio, para que no exista corriente de base

en Q_3 cuando no existe señal, se debe cumplir que:

$$V_{CQ_3} < V_{Z_1} + 0,6 \text{ V.}$$

$$V_{CQ_3} = 4 \text{ V. (sin señal)}$$

Asumimos que, cuando no existe señal,

$$I_{CQ_3} = 2 \text{ mA.}$$

Con esta corriente, se debe cumplir que:

$$V_{R_9} = 12 \text{ V.} - V_{CQ_3}$$

$$R_9 = \frac{V_{R_9}}{I_{CQ_3}}$$

$$\underline{\underline{R_9 = 47 \text{ k}\Omega}}$$

El voltaje de emisor de Q_3 será:

$$V_{EQ_3} = I_{EQ_3} \cdot R_{10}$$

$$V_{EQ_3} = 0,2 \text{ V.}$$

Si Q_3 es de silicio,

$$V_{BQ_3} = V_{EQ_3} + 0,6 \text{ V.}$$

De donde:

$$I_{BQ_3} = \frac{V_{BQ_3}}{\beta R_{10}}$$

El voltaje que cae sobre R_8 será:

$$V_{R_8} = 12 \text{ V.} - V_{BQ_3}$$

En vista de que D_1 y D_2 están conectados a tierra, por R_8 debe pasar una corriente mayor que I_{BQ_3} , por lo que:

$$R_8 < \frac{V_{R_8}}{I_{BQ_3}}$$

$$\underline{\underline{R_8 = 220 \text{ k}\Omega}}$$

Las corrientes de fuga del diodo Zener: I_{fz1} , son del orden de 50 mA, por lo que, si Q_5 es de silicio, el valor de R_{11} debe ser

$$R_{11} = \frac{0,6 \text{ V.}}{50 \text{ mA.}}$$

$$\underline{\underline{R_{11} = 12 \text{ K}\Omega}}$$

El relé funciona con 92 mA, por lo que

$$I_{CQ_6} = 92 \text{ mA.}$$

Si asumimos que Q_6 es un transistor de silicio de $\beta = 100$ tendremos que:

$$I_{BQ_3} = 0,92 \text{ mA.}$$

Cuando existe señal, Q_5 está en cortocircuito, Por tanto:

$$R_{12} = \frac{12 \text{ V.} - 0,6 \text{ V.}}{I_{BQ_3}}$$

$$\underline{\underline{R_{12} = 12 \text{ K}\Omega}}$$

Cálculo de C_2

C_2 es un condensador de paso. Para evitar atenuaciones, la frecuencia de la señal, debe cumplirse que:

$$\frac{1}{2\pi f C_2} \ll \beta R_{10} \parallel R_8$$

$$\underline{\underline{C_2 = 10 \text{ MF.}}}$$

Todos los transistores, excepto Q_6 , deben ser de silicio, tener un β del orden de 100, y resistir corrientes de unos pocos miliamperios, por lo que pueden ser del tipo 2N3704

Q_6 debe ser de silicio, tener un $\beta = 100$ o mayor y ser del tipo pnp. Escogemos para Q_6 el transistor 2N3702.

- Cálculo de R_{13}

Los focos que se encontraron en el mercado son de 6,3 V. y

110 mA, por lo que:

$$R_{13} = \frac{12V. - 6,3V.}{110 mA.}$$

Su disipación de potencia será:

$$P_{R_{13}} = (12V-6,3V) \cdot 110 mA.$$

De donde

$$R_{13} = 47 \Omega (1W.)$$

Lista de Componentes:

$C_1 = 2MF, 16 V.,$ electrolítico

$Q_2, C_7 = 10 MF., 16 V.,$ electrolítico

$C_3 = 200 MF, 16 V.,$ electrolítico:

$C_4, C_6 = 3,5 MF, 16 V.,$ electrolítico

$C_5 = 1 \mu P, 16 V.,$ electrolítico

$D_1, D_2, D_4 =$ Diodos tipo RC6-7978

$D_3 =$ Diodo de 50 m.A., 50 V.

F-8 = Foco de 6,3 V , 110 mA.

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 =$ Transistores tipo 2N3704

$Q_6 =$ Transistor tipo 2N3702

Rel 2 = Relé Relaymatic, 12 V. DC, 130 Ω , 2 vías 2 posiciones.

$R_1 = 150 K\Omega, 0,25 W.$

$R_2 = 270 K\Omega, 0,25 W.$

$R_3, R_9 = 47 K\Omega , 0,25 W.$

$R_4 = 18 K\Omega, 0,25 W.$

$R_5 = 150\Omega, 0,25 W.$

$R_6 = 1,8 K\Omega, 0,25 W.$

$R_7 = 470\Omega, 0,25$

$R_8 = 220 K\Omega, 0,25 W.$

$R_{10} = 1 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

R_{11} , $R_{12} = 12 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

$R_{13} = 47\Omega$, 1 W.

$Z_1 =$ Diodo Zener tipo IN4732

2.3.3. Protección a fallas de encendido: Control del período de tiempo de prueba del combustible piloto:

Objeto:

Este circuito envía una señal al detector general de fallas, para que interrumpa la secuencia de encendido y apague el sistema, cuando la chispa no logra encender al combustible piloto, en un período de 10 segundos (Especificación 2.1.3.b). En el Diagrama 3: Circuitos de funcionamiento automático, corresponde al bloque: PIER t-2

Descripción:

El diagrama del circuito se indica en la Fig. 7

Para diseñar el control del período de tiempo t-2, se ha utilizado un transistor de juntura única, que se caracteriza por tener una muy estable tensión de disparo, y una elevada capacidad para corrientes pulsatorias, que lo hace muy adecuado para ser utilizado en controles de tiempo.

El circuito funciona de la siguiente forma: cuando se abre la válvula del combustible principal, el interruptor automático S-4 se cierra comenzando a cargar al condensador C_1 , a través de la resistencia R_3 . Si hasta el momento en que C_1 alcance la tensión de disparo, la llama no se enciende, Q_2 producirá un pulso de corriente, el cual, al pasar sobre R_5 , se transformará en una señal de voltaje que llegará al detector general de fallas, apagando todo el sistema. Pero si la llama se enciende antes de que C_1 alcance la tensión de disparo, el interruptor S-2 se cerrará, polarizando a Q_1 , que quedará en estado de corte en el circuito y descargará a C_1 .

R_1 y R_2 son las resistencias de polarización de Q_1 .

R_4 y R_5 limitan la corriente de Q_2 cuando se produce el disparo.

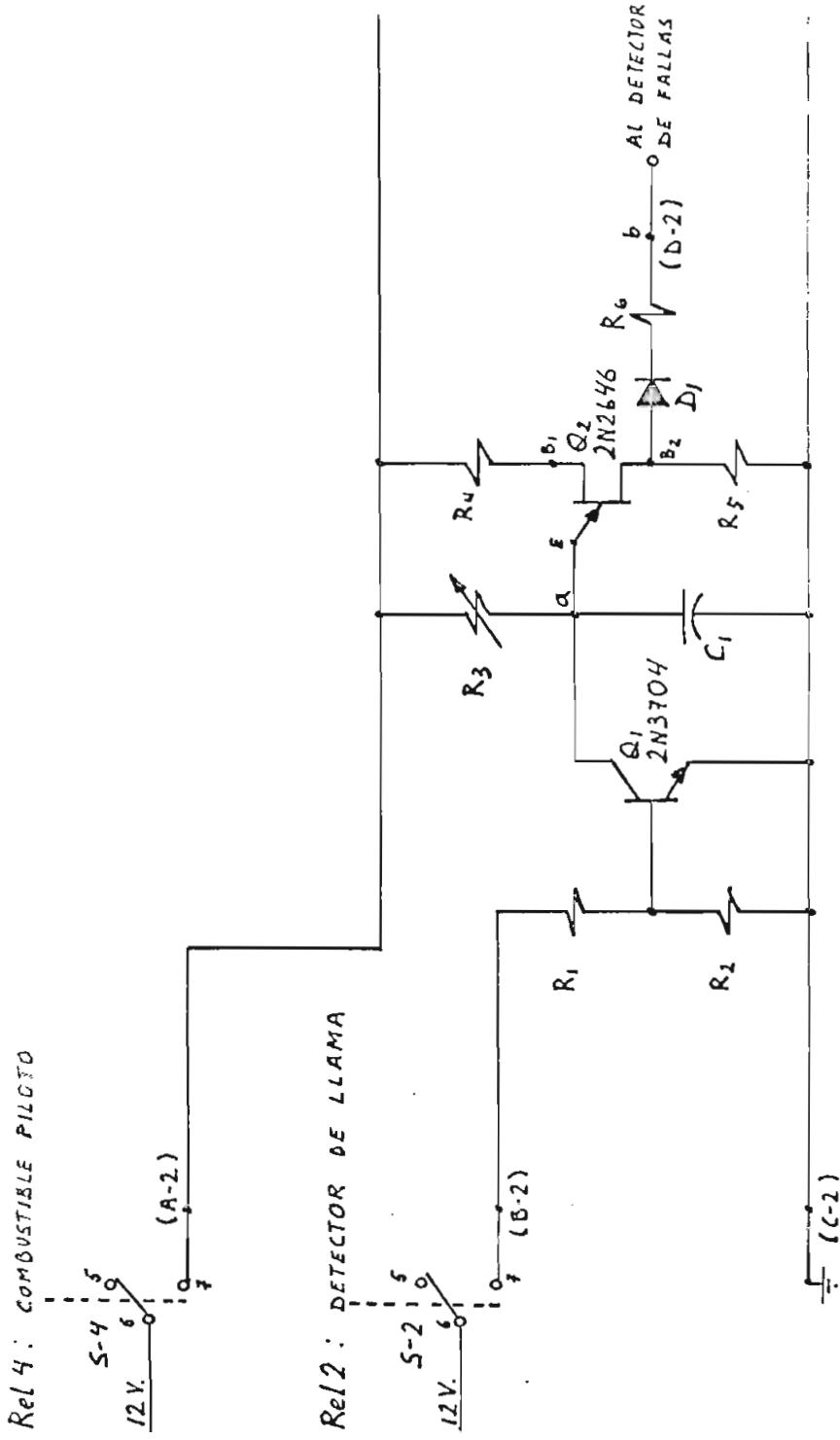


Figura 7 : Protección a Fallas de Encendido: Control del Período Máximo de Prueba del Combustible Piloto.

paro.

R_6 sirve para atenuar el pulso de voltaje antes de que llegue al detector general de fallas. A la entrada de ese circuito existe un condensador, que, al descargarse a través del bistable, prolonga el período de tiempo de la señal de falla. D_1 sirve para bloquear la corriente de descarga de ese condensador.

Cálculos:

Si Q_2 es un transistor de juntura única de:

$$\eta = 0,63$$

El valor de la tensión de disparo será igual a la constante de tiempo $R_1 C_1$, por lo que, de acuerdo a lo especificado:

$$R_3 C_1 = 10 \text{ seg.}$$

$$\underline{C_1 = 100 \text{ MF.}}$$

$$R_3 = 100 \text{ K}\Omega$$

Estos dos valores cumplen con la condición, pero para poder calibrar exactamente el período $t-2$, hacemos que

$$\underline{R_3 = 260 \text{ K}\Omega \text{ (variable)}}$$

Para que el voltaje de disparo sea sólo función de η y el voltaje de la fuente, hacemos que

$$R_4 = R_5$$

Además, en ese momento:

$$V_a = \eta \cdot 12 \text{ V.}$$

Y como Q_2 es de silicio:

$$V_{B1} = V_a - 0,6 \text{ V.}$$

$$V_{B1} = 7 \text{ V.}$$

Podemos limitar la corriente de disparo a:

$$I_{B,Q_2} = 15 \text{ mA.}$$

$$R_5 = \frac{V_{B1}}{I_{B,Q_2}}$$

$$\underline{\underline{R_5 = 470 \Omega}}$$

$$\underline{\underline{R_4 = 470 \Omega}}$$

Los valores de R_4 y R_5 son muy adecuados, ya que por ser pequeños, no anularán el efecto de resistencia negativa que tienen los transistores de juntura única el momento del disparo.

La impedancia de entrada al bistable del detector de fallas es de 450Ω . Para que el pulso de $7V.$ se atenúe a $1,3V.$, se debe cumplir que:

$$\frac{R_6}{450 \Omega} = \frac{7V. - 1,3V.}{1,3V.}$$

$$\underline{\underline{R_6 = 2K\Omega}}$$

R_5 y R_6 forman un simple divisor de voltaje para dar el voltaje de polarización a Q_1 , el momento en que se cierra 5-2

$$\underline{\underline{R_1 = 100K\Omega}}$$

$$\underline{\underline{R_2 = 10K\Omega}}$$

Q_1 debe ser un transistor pnp que trabaje con bajas corrientes. Escogemos para Q_1 el transistor 2N3704

Q_2 debe ser un transistor de juntura única de silicio, y debe tener un η del orden de $0,63$. El transistor 2N2646 cumple con estos requisitos por lo que escogemos para Q_2 .

Lista de componentes:

C_1 = 100 MF, 16V. , electrolítico

D_1 = Diodo de 50 mA., 50 V.

Q_1 = Transistor tipo 2N3704

Q_2 = Transistor de juntura única tipo 2N2646

R_1 = 100 K Ω , 0,25 W.

R_2 = 10 K Ω , 0,25 W.

R_3 = 260 K Ω , 0,25 W., variable

R_4, R_5 = 470 Ω , 0,25 W.

R_6 = 2 K Ω , 0,25 W.

2.3.4. Detector de fallas de llama

Objeto:

Este circuito apaga la caldera, excepto el ventilador de aire, que queda prendido para dar la postpurga, cuando la llama se apaga en forma accidental. (Especificación 2.1.2.b) En el Diagrama 3 : Circuitos de funcionamiento automático, corresponde al bloque: DETECTOR DE FALLAS DE LLAMA.

Descripción

El diagrama del circuito se muestra en la Figura 8.

Funciona a base de un circuito NO-O, el cual tiene una salida l_L , solamente cuando en sus dos entradas existe O_L .

Cuando no existe llama, el interruptor S-2 del detector de llama está cargando a C_1 y a la vez dando en el punto "a" una entrada l_L , por lo que la salida es O_L .

En cuanto se enciende la llama, S-2 cambia de posición, y mientras está en el aire, no alimenta a ninguna de las entradas, pero, el punto "a" continúa en l_L debido a la carga de C_1 , permaneciendo la salida en O_L .

Luego, muy rápidamente, S-2 queda conectado en su nueva posición y hace que exista en el punto "b" una entrada l_L , por lo que la salida continúa en O_L . Cuando existe llama. Mientras tanto, C_1 se descarga por completo a través de R_1 , por lo que en el punto "a" la entrada es O_L .

Si por cualquier causa la llama se apaga, el interruptor S-2 regresará a su posición original, haciendo que en el punto "a" exista una entrada O_L . Mientras S-2 está en el aire el punto "a" continuará también en O_L , por lo que la salida pasará a la posición l_L , produciendo un voltaje que llegará al detector general de fallas,

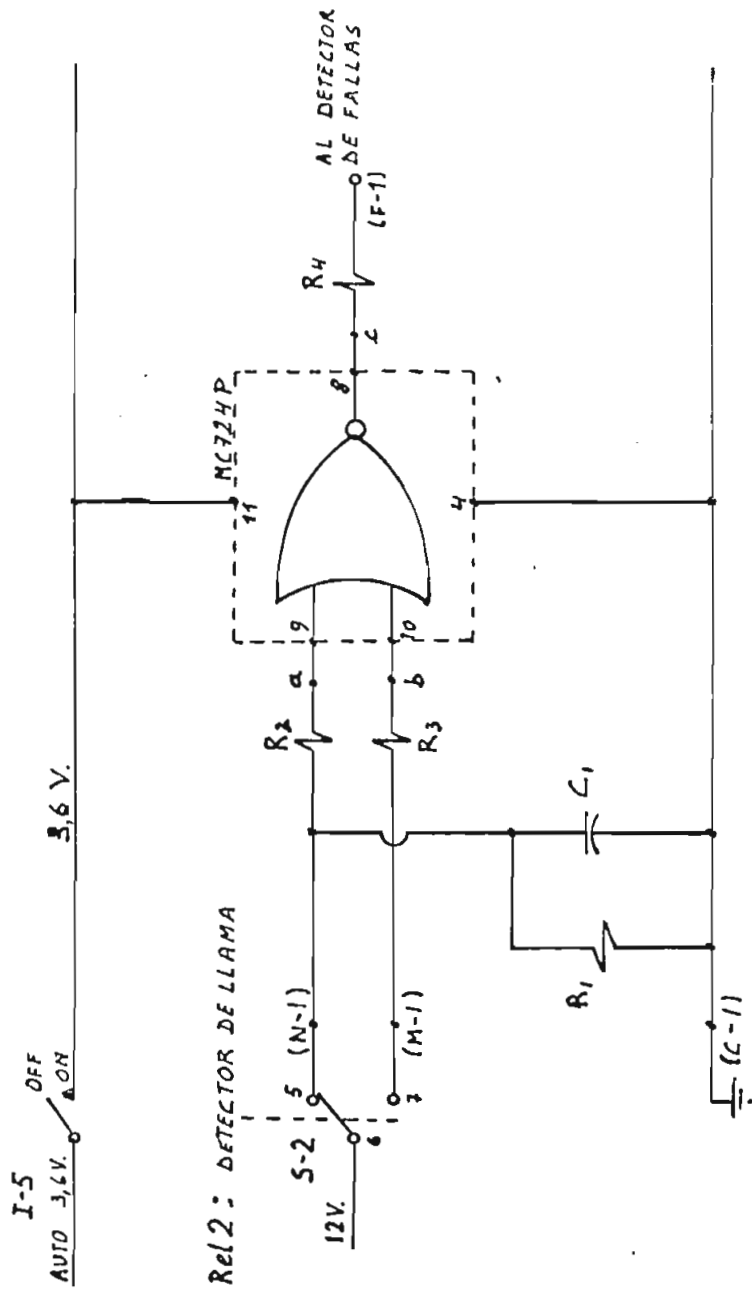


Figura 8 : Detector de Fallas de Llama

apagando todo el sistema.

Cuando S-2 alcance nuevamente su posición original se tendrá I_L en el punto "e" y O_L en el punto "b", por lo que salida será O_L , pero para entonces ya todo el sistema estará apagado.

R_2 y R_3 sirven para atenuar el voltaje de entrada al circuito NO-0, y R_4 para atenuar el voltaje de salida, antes de que llegue el detector general de fallas.

Cálculos:

La impedancia de entrada del circuito NO-0 es:

$$R_{in\ NO-0} = 450\ \Omega$$

La señal de I_L , a la entrada de los circuitos NO-0 puede estar dada por un voltaje de 1,4 V., de donde:

$$\frac{R_2}{R_{in\ NO-0}} = \frac{12\ V. - 1,4\ V.}{1,4\ V.}$$

$$\underline{R_2 = 3,3\ K\ \Omega}$$

De igual forma;

$$\underline{R_3 = 3,3\ K\ \Omega}$$

R_4 debe atenuar el voltaje de salida de 3,6 V., y convertirlo en un voltaje de entrada, de 1 a 2 V., a una impedancia de $450\ \Omega$; de donde:

$$\underline{R_4 = 1\ K\ \Omega}$$

Para que la señal en el punto "a" continúe siendo I_L , mientras S-2 está en el aire, se debe cumplir que:

$$C_1 \cdot (R_2 + R_{in\ NO-0}) = 0,1\ \text{seg.}$$

Ya que 0,1 seg. es un tiempo suficiente para que el interruptor S-2 cambie de posición. Por tanto

$$\underline{C_1 = 25\ MF.}$$

C, para tener una descarga completa en el tiempo t_d , así, en caso de que se produzcan pulsos de la línea de detector no apagará el sistema, pero si lo hará cuando el tiempo sea más del período señalado.

De donde:

$$R_1 C_1 = 0,5 \text{ seg.}$$

$$R_1 = \underline{\underline{22 \text{ K}\Omega}}$$

El circuito NO-0 que se ha utilizado, es uno de los circuitos NO-0 que existen en el MC7247. Dos de ellos se utilizarán en el detector general de fallas,

Lista de componentes

$C_1 = 25 \mu\text{F}$, 16 V., electrolíticos

MC7247 = Circuito integrado que contiene 4 circuitos NO-0

$R_1 = 22 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

$R_2, R_3 = 3,3 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

$R_4 = 1 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

2.4. CIRCUITOS DE CONTROL DE ENCENDIDO

Constan básicamente de tres controles de tiempo: t-1, t-3 y t-4, que dan los tiempos de prepurga, período de prueba del combustible principal y tiempo de postpurga, respectivamente. Además, se tienen los controles del ventilador de aire, encendido de la chispa, válvula del combustible piloto, válvula del combustible principal y encendido de la regulación por medio del servomecanismo.

2.4.1. Control del tiempo de prepurga

Objeto:

El ventilador de aire comienza a funcionar en cuanto se enciende el funcionamiento automático. Este circuito deja pasar un minuto antes de que se encienda la chispa y se abre la válvula del combustible piloto, con el fin de que la caldera tenga una prepurga. (Especificación 2.1.3.a). En el Diagrama 3 : Circuitos de funcionamiento automático, corresponde al bloque: TIMER t-1.

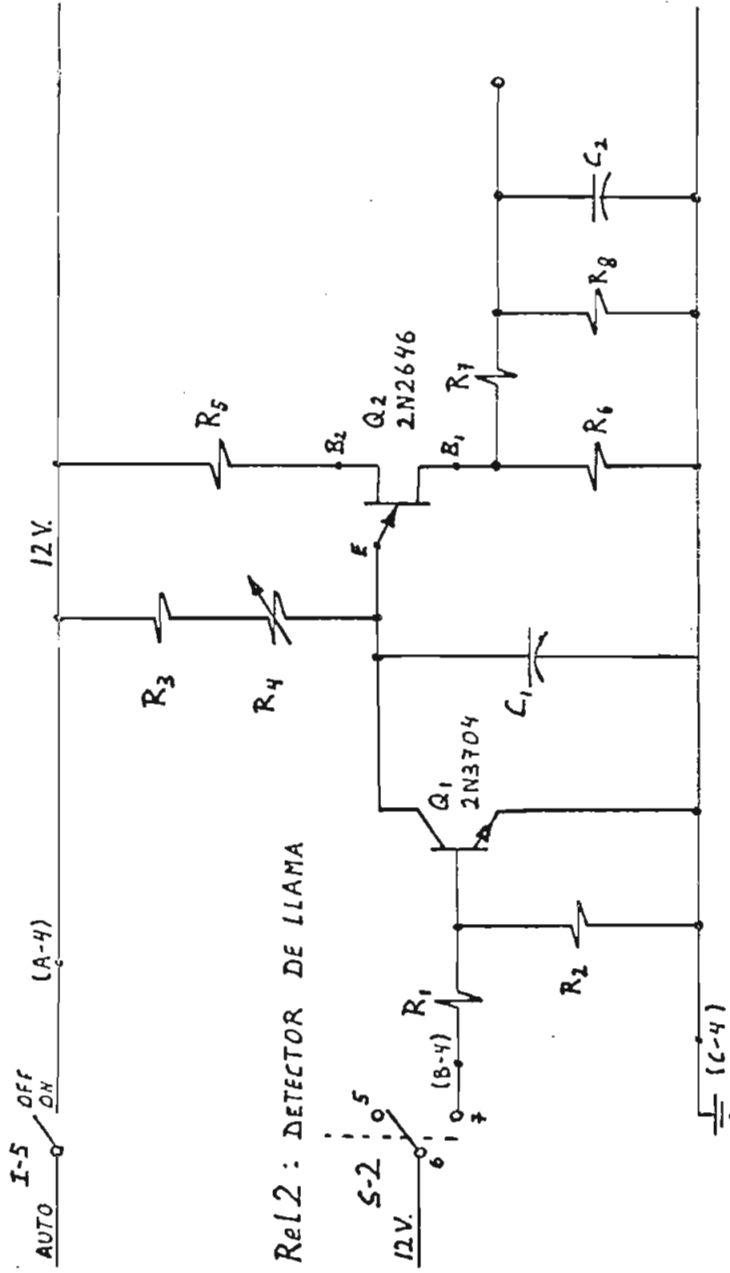
Descripción:

El circuito se muestra en la Figura 9.

El control del período de tiempo t-1 se hace por medio de un transistor de juntura única, tal como se explicó en la Sección 2.3.3. en el diseño del control del período de tiempo t-2.

Al comenzar el funcionamiento automático, se cierra I-5 y el condensador C_1 comienza a cargarse, a través de R_3 y R_4 . Cuando su voltaje sea igual a la tensión de disparo de Q_2 , se producirá un pulso, que excitará a los circuitos que encienden la chispa y abren la válvula del combustible piloto.

El transistor Q_1 cortocircuita al condensador C_1 en cuanto



Rel2 : DETECTOR DE LLAMA

Figura 9 : Control del Tiempo de Prepurga

se enciende la llama, con el fin de que C_2 no continúe produciendo pulsos que podrían encender nuevamente a los circuitos antes cancelados, aún cuando ya deban permanecer apagados.

R_7 sirve para atenuar el voltaje de disparo de C_2 , C_2 para prolongar su efecto y R_8 para descargar completamente a C_2 .

Cálculos:

El cálculo de R_1 , R_2 , R_5 y R_6 es igual al que se hizo en la Sección 2.2.3, para las resistencias R_1 , R_2 , R_4 y R_5 respectivamente, ya que cumplen con las mismas funciones. Por tanto:

$$\underline{R_1 = 100 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_2 = 10 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_5 = 470 \Omega}$$

$$\underline{R_6 = 470 \Omega}$$

Para que el período de prepurga sea de un minuto se debe cumplir que:

$$(R_3 + R_4) \cdot C_1 = 60 \text{ seg.}$$

$$\underline{C_1 = 200 \text{ MF}}$$

$$R_3 + R_4 = 300 \text{ K}\Omega$$

La resistencia a través de la cual se carga C_2 se ha dividido en dos partes, porque para una calibración exacta de $t-1$ se necesita una resistencia variable, y en nuestro mercado existen solamente hasta valores de $260 \text{ K}\Omega$. De donde:

$$\underline{R_3 = 100 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_4 = 200 \text{ K}\Omega} \quad (\text{variable})$$

Anteriormente se calculó que:

$$V_{B1} = 7 \text{ V.}$$

A la salida de R_7 se conectarán dos bistables de 450Ω de impedancia de entrada cada uno. Si la entrada 1_1 se indica con $1,3\text{V}$, se tendrá:

$$\frac{R_7}{450\Omega // 450\Omega} = \frac{7\text{V} - 1,3\text{V}}{1,3\text{V}}$$

$$\underline{R_7 = 1 \text{ K}\Omega}$$

El bistable reconoce señales de entrada que duran por lo menos 48 ns. , por tanto:

$$C_2 \cdot 450\Omega > 48 \text{ ns.}$$

$$\underline{C_2 = 10 \text{ MF}}$$

Para que C_1 se descargue por completo en un tiempo mayor 48 ns. , pero mucho menor que los períodos de los controles de tiempo, se debe cumplir que:

$$48 \text{ ns.} < R_8 \cdot C_2 \ll 1 \text{ seg.}$$

De donde

$$\underline{R_8 = 1 \text{ k}\Omega}$$

Igual que en la Sección 2.2.3, escogemos para Q_1 el transistor 2N3704 y para Q_2 el transistor 2N2646.

Lista de componentes:

$C_1 = 200 \text{ MF}$, 16 V., electrolítico

$C_2 = 10 \text{ MF}$, 16 V., electrolítico

$Q_1 =$ Transistor tipo 2N3704

$Q_2 =$ Transistor de juntura única tipo 2N2646

$R_1, R_3 = 100 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

$R_2 = 10 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

$R_4 = 260 \text{ K}\Omega$, 0,25 W., variable

$R_5, R_6 = 470\Omega$, 0,25W.

$R_7, R_8 = 1 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

2.4.2. Control del encendido de la chispa

Objeto:

Este circuito enciende la chispa en cuanto ha terminado el tiempo de prepurga, y la apaga en cuanto se enciende la llama. (Especificaciones 2.1.3.b y 2.1.3.c.). En el Diagrama 3: Circuitos de funcionamiento automático, corresponde al bloque: CHISPA.

Descripción:

El circuito se muestra en la Figura 10.

Se ha utilizado un bistable, formado a base de dos circuitos NO-0, cuyo funcionamiento se explicó en la Sección 2.3.1.: Detector general de fallas.

En cuanto se enciende el funcionamiento automático, cierra el interruptor I-5 que alimenta al bistable. Al mismo tiempo, C_1 actúa como un cortocircuito, asegurando que la entrada 7 esté en O_L y la salida 5 en O_L . Como el transistor Q_1 es polarizado por el voltaje de salida del bistable, al estar en O_L , Q_1 está en circuito abierto, por lo que no existe corriente de base en Q_2 y el relé no es excitado.

Cuando ha pasado un minuto, el control de tiempo t-1: TIMER t-1, envía un pulso que hace cambiar la posición del bistable, por lo que a la salida se tiene un voltaje que polariza a Q_1 , y produce una corriente de base en Q_2 ; entonces se excita el relé, y se encienden la chispa y el foco de señalización en el panel de control.

Posteriormente, cuando se enciende la llama, el interruptor electrónico S-2 se cierra, y C_2 actúa por un momento como un cortocircuito, por lo que el bistable cambia nuevamente de posición; el relé deja de ser excitado, apagándose la chispa y el foco de señalización.

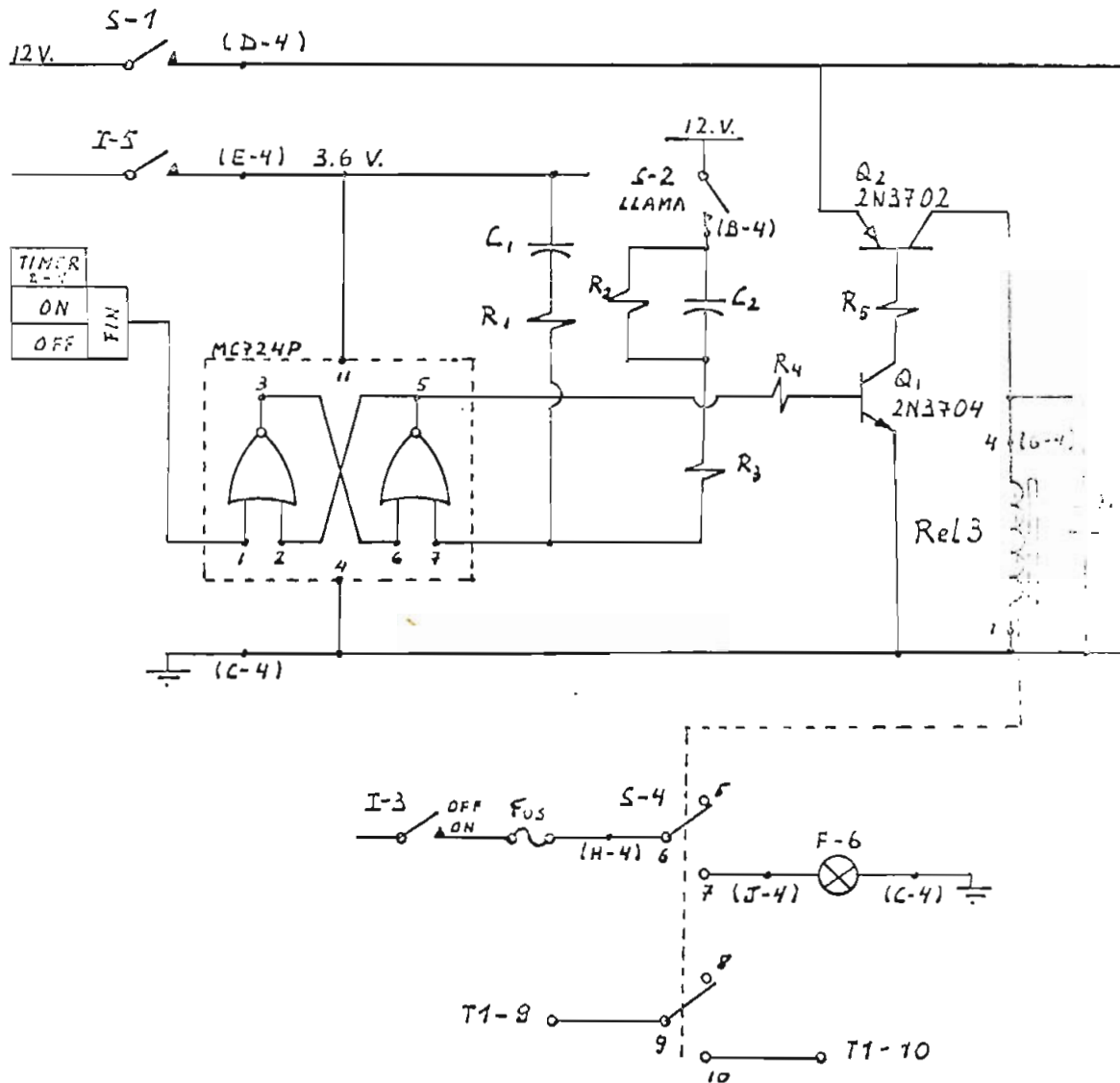


Figura 10 : Control del Encendido de la C...

El emisor de Q_2 está conectado a la fuente y también al interruptor electrónico S-1 del detector general de fallas, de modo que en caso de que se produzca un fallo la chispa se apagará inmediatamente, o no podrá encenderse.

R_1 sirve para atenuar el voltaje de 3,6 V. que se produce cuando C_1 se cortocircuita al cerrarse I-5, y R_3 para atenuar el voltaje que se produce al cerrarse I-2.

R_2 se utiliza para descargar por completo a C_2 .

R_4 es la resistencia de polarización de Q_1 y R_5 su resistencia de carga.

D_1 es el diodo de protección del relé.

Cálculos:

El cálculo de R_1 y C_1 es igual al de los elementos R_1 y C_1 de la Sección 2.3.1. : Detector general de fallas, ya que realizan las mismas funciones. De donde:

$$\underline{R_1 = 470 \Omega}$$

$$C_1 = 0,1 \text{ MF}$$

Para que R_3 atenúe el voltaje de 12 V. que se produce al cortocircuitarse C_2 y se tenga a la entrada del bistable un voltaje de 1,5 V., se debe cumplir que:

$$\frac{R_3}{450 \Omega} = \frac{12 \text{ V.} - 1,5 \text{ V.}}{1,5 \text{ V.}}$$

$$\underline{R_3 = 3,3 \text{ K}\Omega}$$

Luego de que se ha producido el pulso, la entrada del bistable debe quedar en O_L , para que el control de tiempo t-1 pueda cambiar sus salidas. Por esta razón, R_2 debe ser mucho mayor que la impedancia de entrada del bistable, así descargará a C_1 y mantendrá la entrada I_1 . Por tanto:

$$\underline{\underline{R_2 = 100 K\Omega}}$$

La duración del pulso que se produce al cerrarse Q_2 debe ser mayor que el tiempo de transición del bistable, por esto:

$$R_2 C_2 > 48 \text{ n. seg.}$$

$$\underline{\underline{C_2 = 0,1 \text{ MF}}}$$

La corriente de base de Q_2 estará dada por la relación:

$$I_{BQ_2} = \frac{I_{EQ_2}}{\beta}$$

El relé necesita una corriente de 92 mA. para ser excitado. Si escogemos para Q_2 un transistor que tenga un valor de β del orden de 100, tendremos:

$$I_{BQ_2} = 0,92 \text{ mA.}$$

Si Q_2 es de silicio, cuando Q_1 se cortocircuita se tendrá:

$$V_{R_5} = \frac{12 \text{ V.} - 0,6 \text{ V.}}{I_{BQ_2}}$$

$$R_5 = \frac{V_{R_5}}{I_{BQ_2}}$$

$$\underline{\underline{R_5 = 12 K\Omega}}$$

Para que, al ser polarizado, Q_1 se cortocircuite:

$$I_{BQ_1} > \frac{I_{EQ_1}}{\beta}$$

Si Q_1 es de silicio, al estar la salida del bistable en L_1 , el voltaje sobre la resistencia R_3 será.

$$V_{R_3} = 3,6 \text{ V.} - 0,6 \text{ V.}$$

$$R_3 = \frac{V_{R_3}}{I_{BQ_1}}$$

$$\underline{\underline{R_3 = 24 K\Omega}}$$

Q_1 y Q_2 deben ser de silicio, tener un β del orden de 100 y resistir corrientes de colector de unos pocos miliamperios, por estas razones, escogemos para Q_1 el transistor npn 2N3704 y para Q_2 el transistor npn 2N3702.

Lista de componentes

$C_1, C_2 = 0,1 \mu F, 16 V.$

$D_1 =$ Diodo tipo R66-7978.

MC724P = Circuito integrado que contiene 4 circuitos LM-0

$Q_1 =$ Transistor tipo npn 2N3704

$Q_2 =$ Transistor tipo pnp 2N3702

Rel 3 = Relé Relaymatic, 130 Ω , 12 V. DC, 2 vías, 2 posiciones

$R_1 = 470 \Omega, 0,25 W.$

$R_2 = 100 K\Omega, 0,25 W.$

$R_3 = 3,3 K\Omega, 0,25 W.$

$R_4 = 24 K\Omega, 0,25 W.$

$R_5 = 12 K\Omega, 0,25 W.$

2.4.3. Control de la válvula del combustible piloto

Objeto:

Por medio de este circuito se abren las válvulas del combustible piloto cuando termina el período de purga, y se cierran, al finalizar el período de prueba del combustible principal, cuando comienza a funcionar el servomecanismo. (Especificaciones 2.1.3.b) y 2.1.3.d). En el Diagrama 3 : Circuitos de funcionamiento automático, corresponde al bloque: PILOTO

Descripción:

El circuito se muestra en la Figura.11 . Su funcionamiento es idéntico al de la Sección 2.4.2 : Control del encendido principal. Su única diferencia radica en que el interruptor que abre la válvula del combustible piloto es el interruptor electrónico que se cierra cuando ha terminado el período de prueba del combustible principal, y comienza a funcionar el servomecanismo. Por otra parte, los valores de todos los elementos son iguales a los que se utilizaron para el circuito antes mencionado y no hay necesidad de repetidos.

Al exitarse el relé Rel-4, se abre la válvula del combustible piloto, y en el panel se enciende el foco de señalización.

Lista de componentes:

- C₁ , C₂ = 0,1 μF., 16 V.
- D₁ = Diodo tipo R66-7978
- IC/24P = Circuito integrado que contiene cuatro circuitos IC-0
- Q₁ = Transistor tipo npn 2N3704
- Q₂ = Transistor tipo pnp 2N3702.

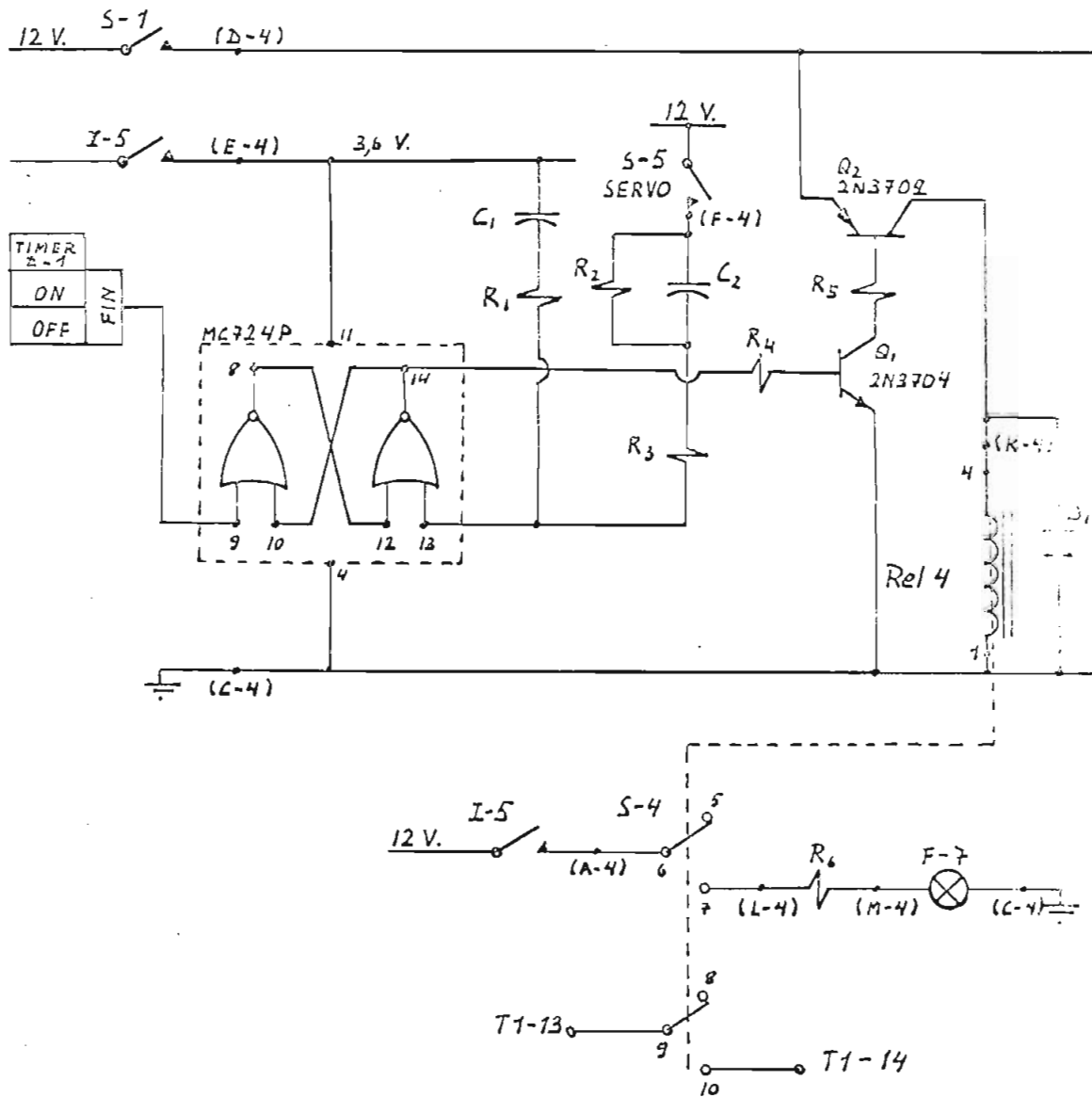


Figura 11 : Control de la Válvula del Combustible Piloto

Rel3 = Relé Releymatic, 130 Ω , 12 V. DC, 2 vías, 2 posiciones.

R₁ = 470 Ω , 0,25 W.

R₂ = 100 K Ω , 0,25 W.

R₃ = 3,3 K Ω , 0,25 W.

R₄ = 24 K Ω , 0,25 W.

R₅ = 12 K Ω , 0,25 W.

R₆ = 47 Ω , 1 W.

2.4.4. Control de la válvula del combustible principal

Objeto:

Este circuito abre la válvula del combustible principal cuando la llama se enciende y la cierra cuando se apaga la llama por cualquier causa, se presenta una falla, o el operador apaga la caldera. (Especificación 2.1.3.c). En el Diagrama 3 : Circuitos de funcionamiento automático, corresponde el bloque: COMBUSTIBLE

Descripción:

En la Sección 2.3.2.: Detector de llama, se indicó que este circuito de seguridad servía para evitar el relé que abría la válvula del combustible principal para, de esta forma, tener la seguridad de que nunca se derramará inutilmente el combustible.

En ese circuito (Fig. 6) puede verse que el terminal Q_6 , por medio del cual se evita el relé, tiene su emisor alimentado por medio del interruptor electrónico S-1 del detector general de fallas, así, cuando se produzca cualquier anomalía, inmediatamente se cerrará la válvula del combustible principal.

2.4.5. Control del período de prueba del combustible principal, encendido por la regulación por medio del servo mecánico.

Objeto:

Este circuito tiene como fin controlar el período de prueba del combustible principal, que se inicia en cuanto se enciende la llama y termina después de 15 o 30 segundos según el tipo de combustible utilizado con el inicio de la regulación de la presión por medio del servo mecanismo. (Especificación 1.1.3.d). En el Diagrama 3: circuitos de funcionamiento automático, está representado por el bloque: TIMA t-3.

Descripción:

El diagrama del circuito se muestra en la Figura 12.

El período de prueba se controla por medio del transistor Q_1 de junctiona única, tal como se explicó en la Sección 2.3.3. : Prueba de encendido: Control del período máximo de prueba del combustible piloto. La duración de este período debe ser de 15 o 30 seg. según el combustible utilizado, por esta razón, el interruptor I-1 selecciona dos caminos diferentes por donde se cargará C_1 , haciendo el emisor del transistor Q_1 alcanzar su voltaje de disparo en dos tiempos distintos, luego de que se ha cerrado el interruptor I-1 o el detector de llama.

Al producirse el disparo, la base de Q_2 se polariza a través de la resistencia R_5 , cortocircuitando su colector y emisor. En consecuencia circula una corriente a través de R_6 , que polariza a Q_3 , y el relé S-5 acciona, cambiando de posición a S-5. Al cerrarse S-5, el relé S-5 conecta directamente a la fuente y permanecerá excitado aún después de que termine el pulso.

Las resistencias R_3 y R_4 sirven para limitar la corriente

Rel 2: DETECTOR DE LLAMA

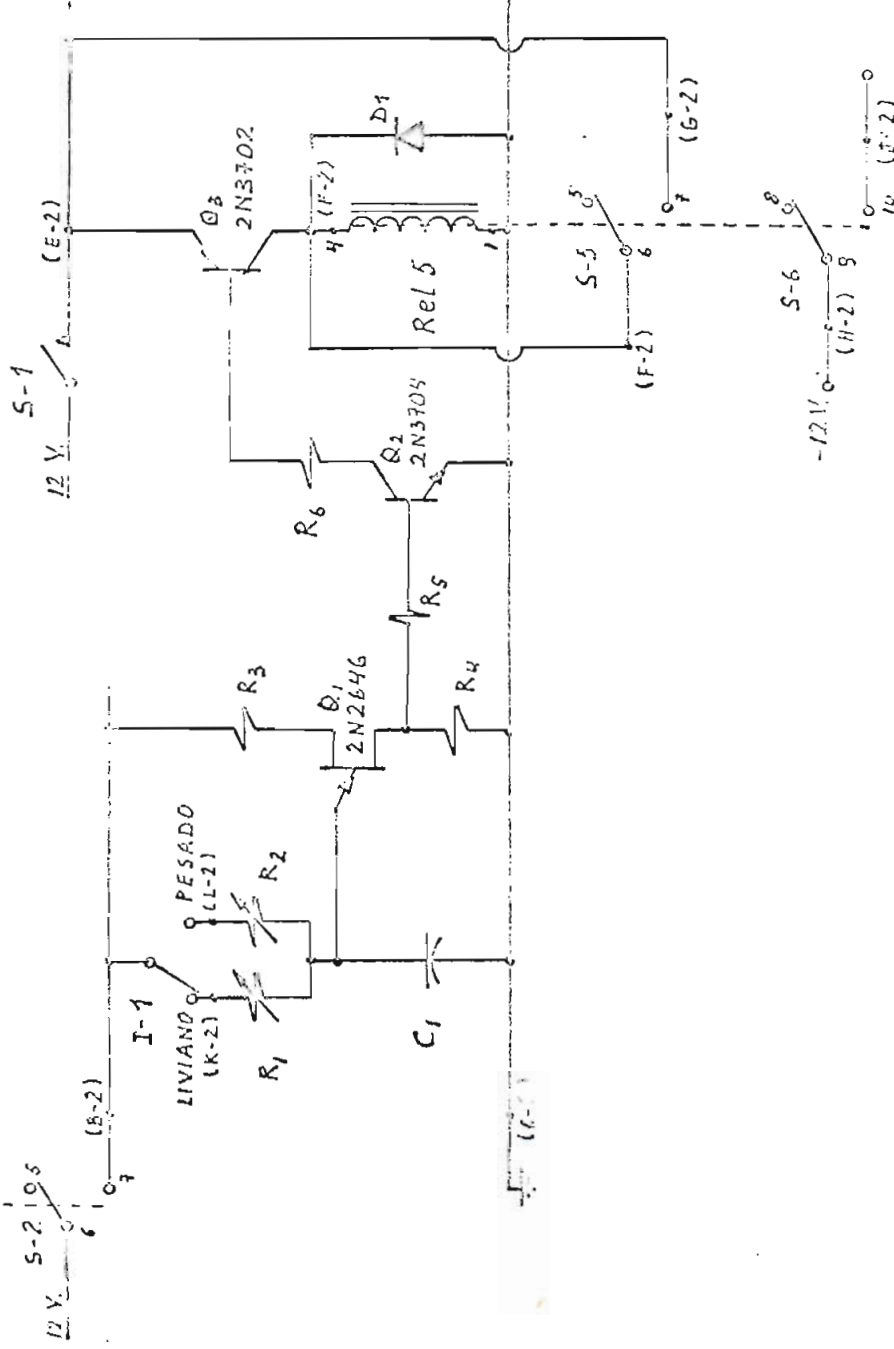


Figura 1: Control del combustible de prueba del combustible Principal y control de la regulación por medio del Servom. unimóvil

disparo de Q₁, y D₁ da protección al relé.

El emisor de Q₃ y el relé reciben su alimentación a través del interruptor S-1 del detector general de fallas, por esto, en caso de que se presente una de ellas, o el operador apague la caldera, él dejará de ser excitado.

Cálculos:

Como se explicó en la Sección 2.3.3, para que el disparo se produzca a los 15 y 30 segundos debe cumplirse:

$$R_1 \cdot C_2 = 15 \text{ seg.}$$

$$R_2 \cdot C_2 = 30 \text{ seg.}$$

Con el fin de poder calibrar exactamente el periodo de disparo, hacemos:

$$\underline{R_1 = 100 \text{ K}\Omega} \quad (\text{variable})$$

$$\underline{R_2 = 200 \text{ K}\Omega} \quad (\text{variable})$$

$$\underline{C_2 = 200 \text{ MF}}$$

La limitación de la corriente de disparo de Q₂ se hace a medio de Q₁ y Q₂, que ya fueron calculadas en la Sección 2.3.1. Por tanto:

$$\underline{R_3 = 470 \Omega}$$

$$\underline{R_4 = 470 \Omega}$$

El relé funciona con 92 mA. Si Q₃ es un transistor de tipo BC107, con un $\beta = 100$, su corriente de base debe ser

$$I_{BQ3} = \frac{92 \text{ mA}}{100}$$

Esta corriente será la que circule a través de R₅ cuando Q₂ y Q₃ se cortocircuiten. Si estos transistores son de Silicio NPN, tenemos:

$$R_5 = \frac{12 \text{ V.} - 0,6 \text{ V.} - 0,6 \text{ V.}}{I_{BQ3}}$$

$$\underline{R_6 = 12 \text{ K}\Omega}$$

Cuando Q_2 esté cortocircuitando, su corriente de base será:

$$I_{BQ_2} = \frac{I_{BQ_3}}{\beta}$$

Anteriormente se calculó que el voltaje de disparo en Q_2 era de 7 V.; si Q_2 es de silicio.

$$V_{R_5} = 7V. - 0,6V.$$

$$R_5 = \frac{V_{R_5}}{I_{BQ_2}}$$

$$\underline{R_5 = 40 \text{ K}\Omega}$$

Igual que en los otros circuitos semejantes de este tiempo, escogemos para Q_1 el transistor de juntura única 2N2646. Q_2 y Q_3 deben ser transistores de silicio, que tengan valores de β aproximadamente 100, y deben funcionar con corrientes de unos pocos μA . Para Q_2 escogemos el transistor npn 2N3704, y para Q_3 el transistor pnp 2N3702, que tienen las características señaladas.

Lista de componentes:

$C_1 = 200 \mu F$, 16 V.DC, electrolítico

$D_1 =$ Diodo tipo RC6-797E

$Q_1 =$ Transistor tipo 2N2646

$Q_2 =$ Transistor tipo 2N3704

$Q_3 =$ Transistor tipo 2N3702

RL5 = Relé Relaymatic, 12 V.DC, 130Ω , 2 vías, 2 posiciones.

$R_1 = 100 \text{ K}\Omega$, 0,25 W, variable

$R_2 = 260 \text{ K}\Omega$, 0,25 W. variable

$R_3, R_4 = 470 \Omega$, 0,25 W.

$R_5 = 40 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

$R_6 = 12 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

2.4.6. Control del ventilador de aire y periodo de postpurga

Objeto:

Este circuito tiene como fin encender el ventilador de aire en cuanto comienza el funcionamiento automático, pero, para que se tenga una postpurga, debe apagarse en un minuto después de que se apaga el sistema de control, ya sea por orden del operador, o por presentarse una falla. (Especificación 2.1.3.a). En el Diagrama 3: Circuito de funcionamiento automático, corresponde a los bloques AIR-RE y TIMER t-5.

Descripción:

La Figura 13 muestra el diagrama del circuito.

Funciona de la siguiente forma: En cuanto se cierra S-1, C_1 se carga y se polarizan los transistores Q_1 y Q_2 , por lo que existe una corriente de base en Q_1 , el cual comienza a conducir y excita al relé Rel-6. Entonces el ventilador de aire comienza a funcionar y se enciende el foco F-5 en el tablero de control.

Cuando el interruptor electrónico S-1 se abre, el condensador C_1 comienza a descargarse, produciendo una corriente que polariza a Q_1 y Q_2 , por lo que continúa existiendo una corriente de base en Q_3 . Como el interruptor I-4 permanece cerrado aún cuando el interruptor S-1 está abierto, el relé estará excitado.

Q_1 y Q_2 se han conectado en la forma de un par de Darlington, para que presenten una alta impedancia de entrada y producen una alta ganancia de corriente.

El diodo D_1 sirve para evitar que C_1 se descargue por otros circuitos que están conectados al punto "a", y D_2 de protección al relé.

El momento de cerrarse S-1, C_1 actúa por un momento como cortocircuito. R_1 sirve para proteger a D_1 de las altas corrientes que entonces se producen.

12 V. I-4 MANUAL AUTOMATICO (A-5)

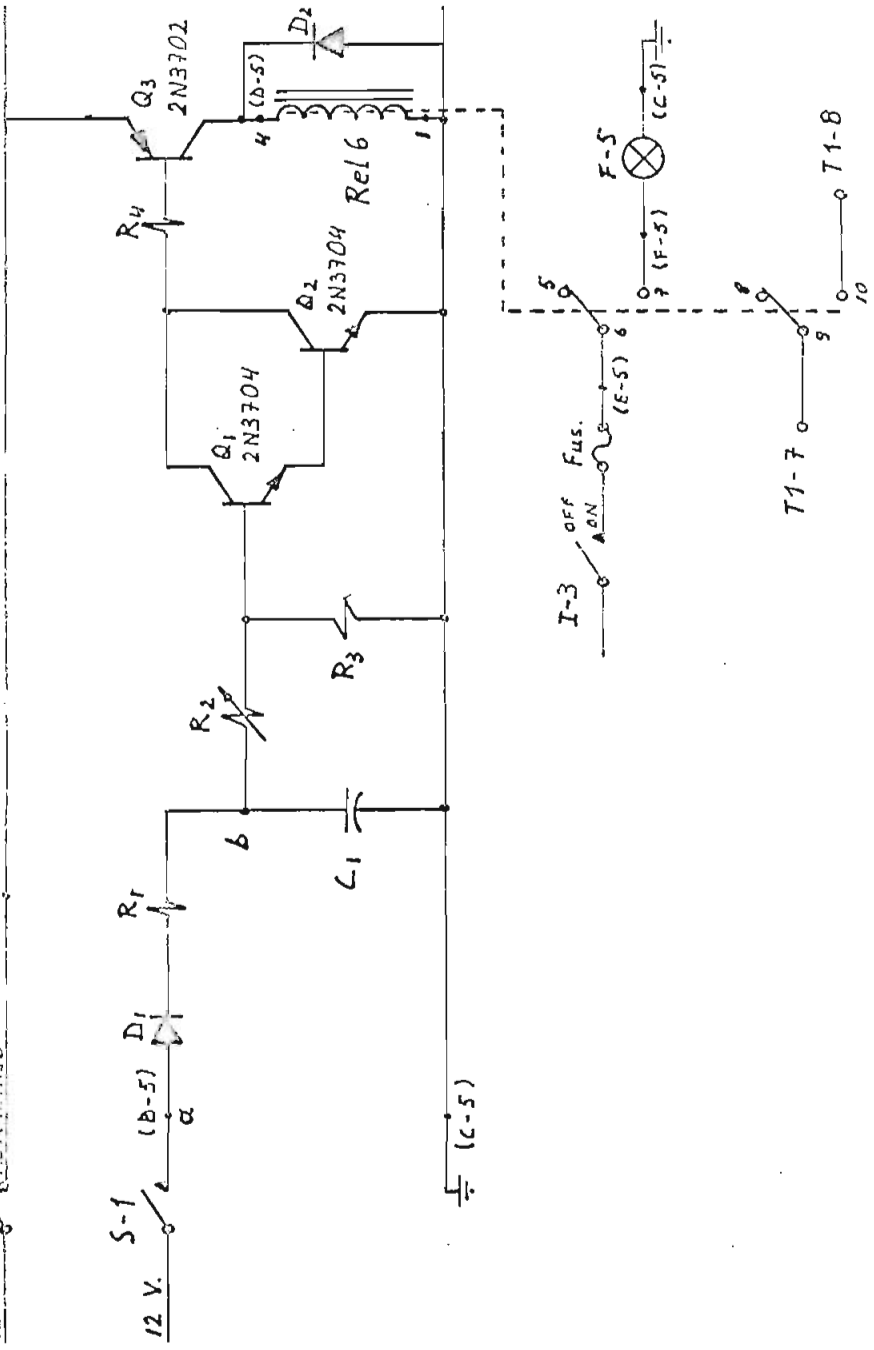


Figura 13 : Control del Ventilador de Aire y Periodo de Posipurga.

R_2 es la resistencia de polarización de Q_1 y Q_2 . A través de ella se descarga C_1 , por lo que es variable para poder calibrar el período de postpurga.

R_4 es la resistencia de carga del par de Darlington y limita la corriente de base de Q_3 .

Cuando se descarga C_1 , el voltaje en la base del par de Darlington disminuye, llegando eventualmente a un valor inferior a 1,2 V. Entonces los transistores dejan de conducir y el condensador C_1 no puede descargarse a través de ellos. R_3 sirve para que se produzca una descarga completa de C_3 .

Cálculos:

El relé consume una corriente:

$$I_{CQ_3} = 92 \text{ mA.}$$

El transistor Q_3 puede tener un β de hasta 200 por lo que

$$I_{BQ_3} = \frac{I_{CQ_3}}{\beta}$$

$$I_{BQ_3} = 0,46 \text{ mA.}$$

Si Q_3 es de silicio

$$V_{BE_3} = 12 \text{ V.} - 0,6 \text{ V.}$$

Cuando el interruptor S-1 está cerrado, o C_1 está cargándose, Q_1 y Q_2 estarán en cortocircuito. Si son transistores de silicio, tendremos que:

$$R_4 = \frac{V_{BE_3} - 0,6 \text{ V.}}{I_{BQ_3}}$$

$$\underline{R_4 = 22 \text{ K } \Omega}$$

Puesto que Q_1 y Q_2 están conectados como un par de Darlington;

$$I_{BQ_1} = \frac{I_{BQ_3}}{\beta^2}$$

Estos transistores pueden trabajar con V_{BE1} promedio de $\beta = 40$, por lo que:

$$I_{BQ1} = 11,5 \text{ mA.}$$

Para que el par de Darlington estén funcionando:

$$V_{BE1} = 0,6 \text{ V.} + 0,6 \text{ V.}$$

Además, debe existir una corriente de base igual o superior a menos 11,5 mA, aún cuando V_b disminuya por la descarga de C_1 , a:

$$V_b = \frac{V_a}{e}$$

$$\text{Donde } e = 2,7182$$

$$R_2 = \frac{V_b - V_{BE1}}{I_{BQ1}}$$

$$\underline{R_2 = 260 \text{ K}\Omega \text{ (variable)}}$$

R_3 debe ser del orden de la impedancia de entrada de T_1 , para que el par de Darlington pase bruscamente de cortocircuito a circuito abierto.

$$R_3 \approx \frac{V_{BE1}}{I_{BQ1}}$$

$$\underline{R_3 = 47 \text{ K}\Omega}$$

Para que el tiempo de postpurga sea de un minuto,

$$C_1 \cdot (R_2 + R_3 // \frac{V_{BE1}}{I_{BQ1}}) = 60 \text{ seg.}$$

De donde,

$$C_1 = 200 \text{ MF.}$$

En cuanto se cierre S-1, C_1 debe cargarse rápidamente, por lo que el producto $R_1 \cdot C_1$ debe ser lo más pequeño que sea posible, para que R_1 limite la corriente que atraviesa D_1 , el momento de cerrar S-1, a unas pocas decenas de miliamperios, por ejemplo 20 mA, a una tensión que

$$R_1 > \frac{V_a}{20 \text{ mA.}}$$

De donde, de acuerdo a los dos criterios anteriores,

$$\underline{R_1 = 1 \text{ K}\Omega}$$

Q_1 y Q_2 trabajan con corrientes del orden de los miliamperios, son npn y deben ser de silicio. Escogemos para Q_1 y Q_2 el transistor 2N3704.

Q_3 debe ser de silicio, resistir corrientes de hasta 92mA, tener un valor de β del orden de 200 y ser del tipo pnp. Escogemos para Q_3 el transistor 2N3704.

Lista de componentes:

$C_1 = 200 \text{ MF}$, 16 V., electrolítico.

$D_1 =$ Diodo de hasta 200 mA, 50 V.

$D_2 =$ Diodo tipo R66-7978

Q_1 , $Q_2 =$ Transistores tipo 2N3704

$Q_3 =$ Transistor tipo 2N3702

Rel 6 = Relé Relaymatic. 130 Ω , 12V.DC, 2 vías, 2 posiciones.

$R_1 = 1\text{K}$, 0,25 W.

$R_2 = 260 \text{ K}\Omega$, 0,25 W., variable

$R_3 = 47 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

$R_4 = 22 \text{ K}\Omega$, 0,25 W.

2.5. CIRCUITOS DE CONTROL DE FUNCIONAMIENTO

2.5.1. Servomecanismo

Objeto:

Este circuito regula, automáticamente, el flujo del combustible principal/aire en cada momento de la secuencia de encendido y durante su funcionamiento normal, para tener siempre una presión elegida arbitrariamente. Ofrece también la posibilidad de realizar esta regulación en forma manual. (Especificaciones 2.1.4.).

En el Diagrama 3 : Circuitos de funcionamiento automático, está representado por el bloque: SERVO. Debe anotarse que este circuito está regulando la posición de la válvula desde el momento en que se enciende el funcionamiento automático, hasta cuando se apaga por completo la caldera. Sin embargo, la regulación de la presión real, en comparación a una presión arbitraria elegida anteriormente, sólo comienza luego de que termina el período de prueba del combustible piloto, y finaliza cuando se ha presentado una falla, o el operador quiere apagar el sistema; por esta razón, en el diagrama de bloques su encendido y apagado corresponden a estos momentos.

Descripción:

El circuito se muestra en la Fig. 14

Cuando el sistema regula automáticamente la presión el interruptor S-6 está cerrado y el interruptor I-4 está en la posición AUTO. Por lo tanto, el circuito queda alimentado con ± 12 V.

El diagrama de bloques de la Fig. 15 muestra como se realiza la modulación.

La presión real: P_R , se mide a través de un manómetro que tiene acoplado un reóstato: R_3 , que traduce el valor de la presión en

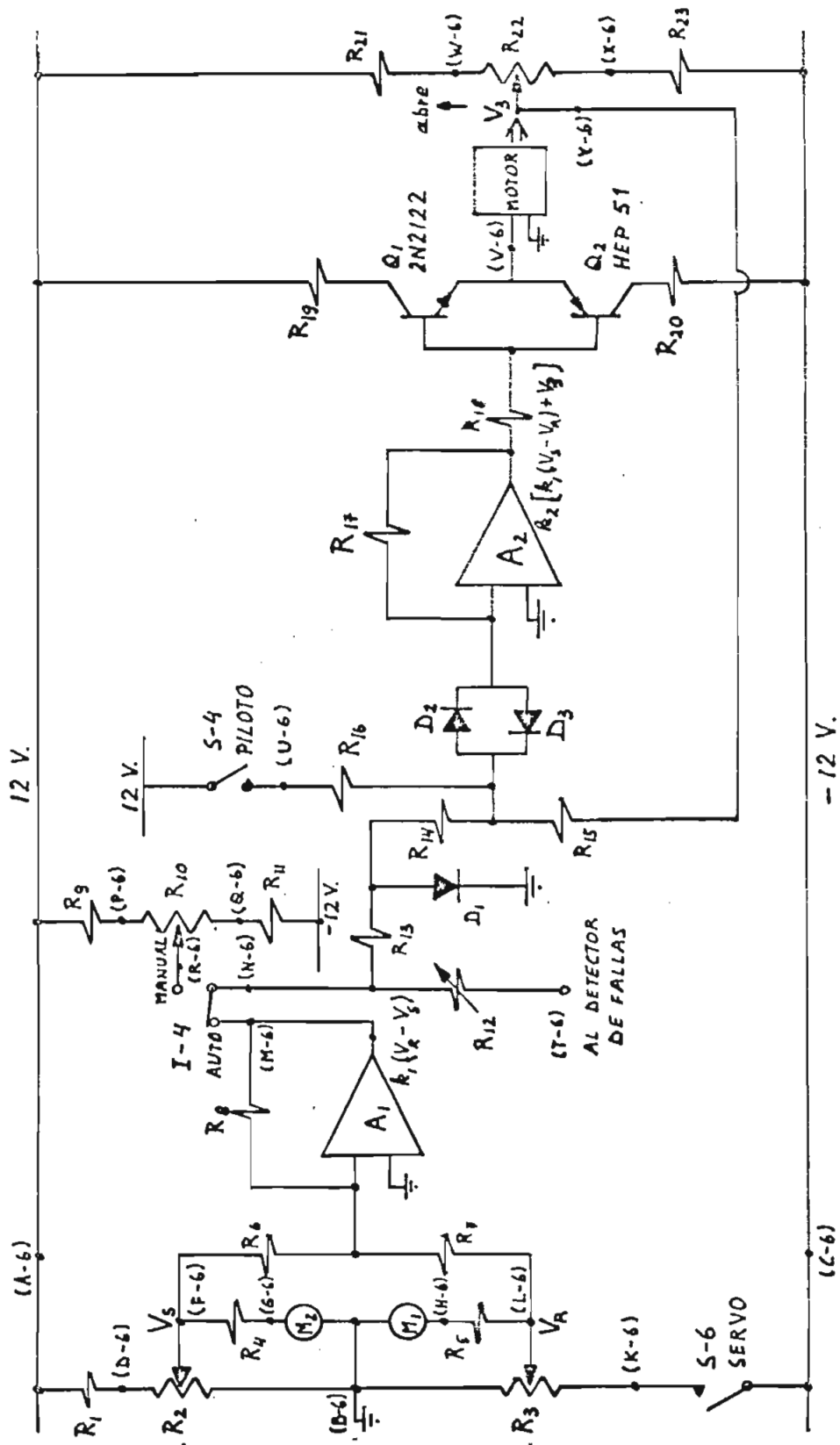


Figura 14 : Servomecanismo

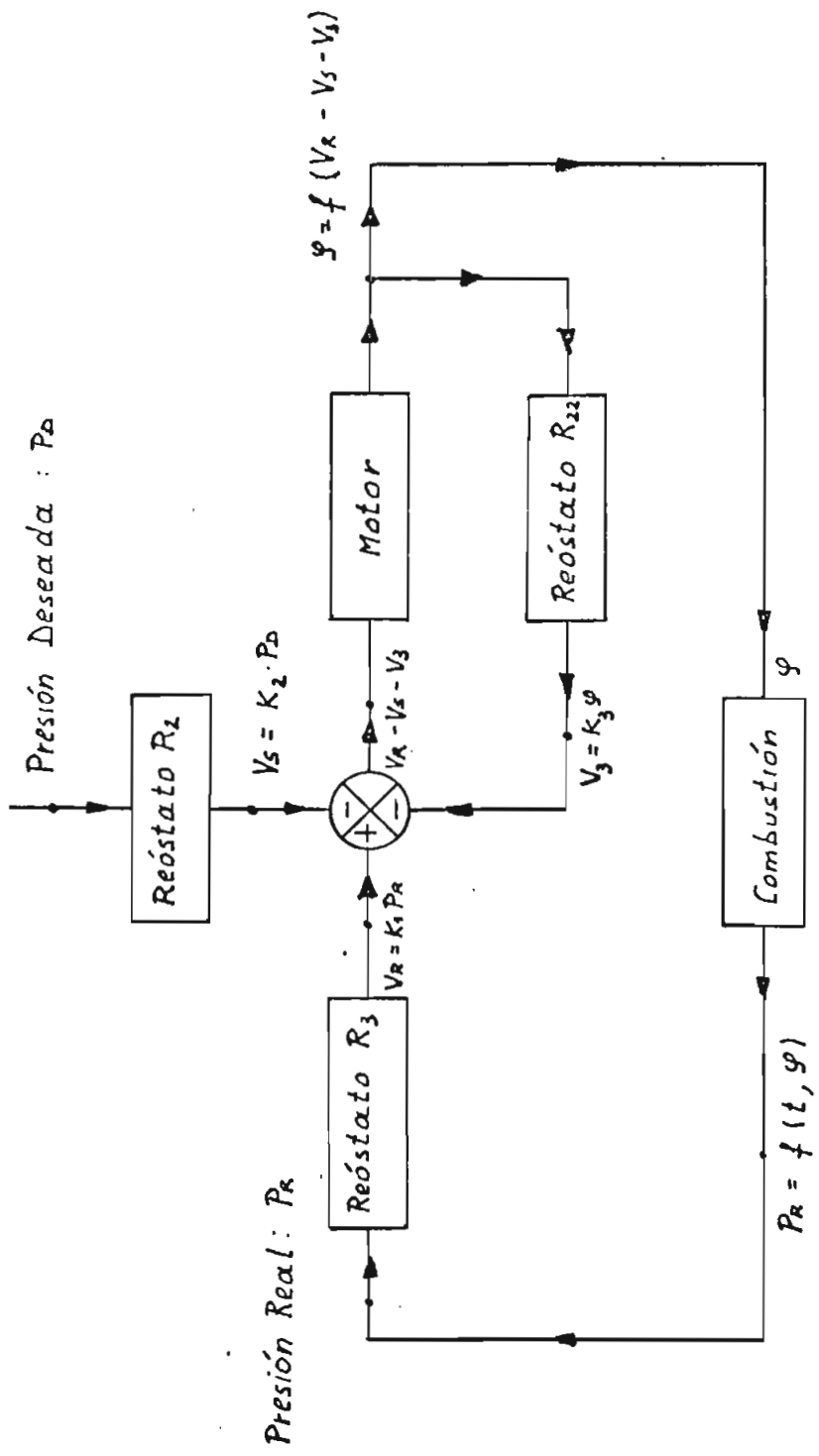


Figura 15 : Regulación Automática de la Presión.

un voltaje V_R , de donde:

$$V_R = K_1 \cdot P_R$$

La presión deseada se fija a través del reóstato R_2 , que determina el valor de V_S :

$$V_S = K_2 P_D$$

La válvula que regula el flujo del combustible principal/aire, tiene acoplado un reóstato: R_{22} , que indica cuál es la posición de la válvula: φ en la forma de un voltaje V_3 :

$$V_3 = K_3 \varphi$$

La diferencia entre V_R y V_S será, por lo tanto, función de la relación entre la presión real y la presión deseada.

$$V_R - V_S = f(P_R - P_D)$$

El sentido en que el motor del servomecanismo mueva la válvula del combustible principal/aire, es función de la presión real, la presión deseada y la posición de la válvula, ya que, si por ejemplo, la presión real es mayor que la deseada, la válvula debe cerrarse si ha estado abierta, o debe permanecer en su posición si ha estado cerrada. De donde

$$\varphi = f(V_R - V_S - V_3)$$

La posición de la válvula hace variar la cantidad de combustible que se quema en la caldera, haciendo disminuir o aumentar la presión real cuando se cierra o se abre, respectivamente, por lo que:

$$P_R = f(t, \varphi)$$

El sistema descrito, por lo tanto, regula continuamente la combustión dentro de la caldera, haciendo que la presión real sea igual a una presión elegida arbitrariamente.

En el circuito utilizado, V_R y V_S se comparan por medio de un restador, diseñado a base del amplificador operacional A_1 y las resistencias R_6 , R_7 y R_8 , y V_3 se compara a $A_1 (V_R - V_S)$ con el restador formado con el amplificador operacional A_2 y las resistencias R_{13} , R_{14} , R_{15} y R_{17} . Este restador alimenta la entrada a la base de los transistores Q_1 y Q_2 , los cuales excitan al motor M de corriente

te continúa, para que abra o cierre la válvula de acuerdo al valor de $k_2 [k_1(V_S - V_R) + V_3]$.

La resistencia R_4 sirve para que el voltaje V_S no sea nunca superior al 80% del voltaje máximo, lo que significa que se tendrá la seguridad de que la presión deseada nunca se fijará en valores mayores que el 80% de la presión máxima admisible de la caldera.

La lectura de los voltajes V_S y V_R se hace por medio de los microamperímetros M_1 y M_2 ; R_4, R_5 son las resistencias que limitan la corriente máxima que circula por ellos. Sus lecturas deben tener una tabla de equivalencia con las presiones máximas características de la caldera.

Para que la modulación se realice entre valores de $\pm 20\%$ de la presión máxima admisible (Especificación 2.1.4.b), la relación entre R_6 , R_6 y R_7 debe ser la siguiente:

$$\frac{R_6}{R_8} = \frac{R_7}{R_8} = \frac{20}{100}$$

Por lo tanto, a la salida de A_1 se tendrá el máximo voltaje positivo cuando $P_R - P_S$, $(V_R - V_S)$, sea igual o mayor que el 20% de la presión máxima admisible, (12 V.).

Cuando la presión real supera a la deseada en más del 20%, la caldera debe apagarse (Especificación 2.1.2.b.). Para que esto suceda, la salida del amplificador A_1 está conectada al detector general de fallas por medio de la resistencia variable R_{12} , que actúa como un divisor de voltaje con la entrada del bistable, de tal forma que cuando se tiene el voltaje positivo máximo a la salida de A_1 , no tiene I_L a la entrada del detector de fallas.

Cuando P_R es mayor o igual que P_D , la modulación debe permanecer casi completamente cerrada (Especificación 2.1.4.b). Esto significa que en estos casos, no interesa la magnitud del voltaje de salida, sino solamente su polaridad. El diodo D_1 cortocircuita la salida de R_{13} cuando $k_1(V_R - V_S)$ tiene valores positivos; entonces V_D , será 0,6 V. Para que se tenga 0 V. a la salida de A_2 , el potenciómetro R_{22} debe dar un voltaje $V_3 = -0,6$ V. cuando la válvula del combustible principal/aire está casi cerrada.

La ganancia del restador que funciona con A_2 se ha hecho muy grande, de tal forma que, en cuanto se tenga una diferencia entre V_3 y $k_1(V_R - V_S)$, los transistores Q_1 o Q_2 tengan una polarización de base que los haga funcionar y exciten al motor hasta que se establezca un equilibrio.

Los diodos D_2 y D_3 sirven para evitar las oscilaciones que se puede producir por la inercia del motor, que hará variar a V_3 más allá del valor necesario para compensar a $k_1(V_R - V_S)$. Como son de germanio, forman una zona muerta de $\pm 0,3$ V. dentro de la cual el restador de A_2 no responde a las variaciones de V_3 . Este voltaje es menor que el 3% de los voltajes máximos de $k_1(V_R - V_S)$ y V_3 por lo que el error en la regulación será menor que este porcentaje (Especificación 2.1.4.a).

Las resistencias R_{21} y R_{23} sirven para que la variación de V_3 coincida con los límites de la variación de $k_1(V_R - V_S)$; de esta forma la válvula tendrá como posiciones límites las de completamente abierta y las de casi cerrada.

Si el voltaje de salida de A_2 es positivo quiere decir que $k_1(V_R - V_S) - V_3$ es negativo, o sea que la válvula debe moverse en el sentido de compensar esta diferencia. Esto se realiza de la siguiente forma: Como $k_1(V_R - V_S) - V_3$ es negativo, a la salida de A_2 se tendrá un voltaje positivo que polarizará a Q_1 el cual excitará al motor a moverse en la dirección que haga V_3 más positivo, de esta forma, $k_2[k_1(V_S - V_R) + V_3]$ tenderá a cero, estableciéndose el equilibrio. Físicamente lo que sucedería es que como la presión deseada es mayor que la presión real, el servomecanismo abriría más la válvula del combustible principal/aire. Similarmente, si la válvula debe cerrarse, se tendrá un voltaje $k_1(V_R - V_S) - V_3$ positivo, por lo que a la salida de A_2 se tendrá un voltaje negativo que polarizará a Q_2 , el cual excitará al motor a moverse en el sentido que haga menor a V_3 , cerrando la válvula.

R_{18} es la resistencia de polarización de Q_1 y Q_2 . R_{19} y R_{20} sirven para disminuir el voltaje que cae en los transistores Q_1 y

Q_2 , evitando que tengan que disipar una potencia excesiva.

Cuando no funciona la regulación automática de la presión, esto es, durante los periodos de prepurga, encendido del combustible piloto y postpurga, el interruptor S-6 está desconectado, por lo que en la entrada de A_1 estará solamente el voltaje positivo de V_5 , que equivale a una señal de que la presión deseada es superior a la presión real, por lo que la válvula se abrirá. Si, estando en esta posición, se cierra el interruptor electrónico S-4 , del combustible piloto, el voltaje negativo de $k_1 (V_5 - V_R)$ - que produce el voltaje positivo de V_5 - será compensado, por lo que el voltaje V_3 debe permanecer en 0 V. para que se establezca el equilibrio, cerrándose por lo tanto la válvula del combustible principal/aire. De esta forma durante los periodos de purga, la válvula está completamente abierta, permitiendo la entrada de aire, y cuando está abierto el combustible piloto, la válvula está casi completamente cerrada (Especificaciones 2.1.4.c y 2.1.4.d)

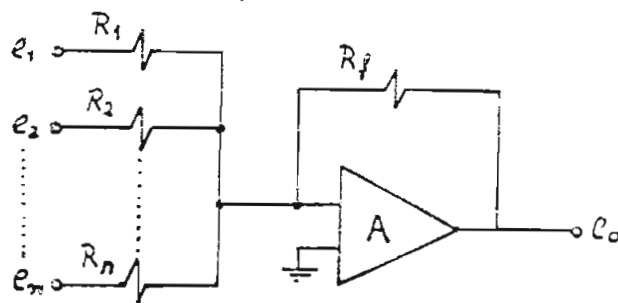
Para que la regulación de la posición de la válvula se haga manualmente (Especificación 2.1.4.e), se debe colocar el interruptor I-4 en la posición MANUAL, entonces se desconecta la salida de $V_R - V_5$ y se puede variar la entrada de A_2 , entre voltajes de polarización inversa a las variaciones de V_3 . El restador de A_2 y los transistores que excitan al motor trabajan igual que en el funcionamiento automático. Los valores de R_9 , R_{10} , y R_{11} deberán ser iguales a los de R_{23} , R_{22} y R_{21} respectivamente.

Cálculos:

Los dos amplificadores operacionales que se han utilizado están contenidos en el circuito integrado μ a 747 c. Son alimentados con ± 12 V. y dan voltajes de salida hasta 11 V.

La función de transferencia de un sumador a base de amplificadores operacionales, como los utilizados, está dada por:

$$e_o = - \sum_{i=1}^n \frac{R_f}{R_i} e_i$$



Para cumplir las especificaciones, la relación entre R_6 , R_7 y R_8 debe ser:

$$\frac{R_6}{R_8} = \frac{R_f}{R_8} = \frac{20}{100}$$

Los amplificadores operacionales contenidos en el circuito integrado funcionan con corrientes del orden de unas décimas de miliamperio, por lo que podemos escoger los siguientes valores:

$$\underline{R_6 = 36 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_7 = 36 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_8 = 180 \text{ K}\Omega}$$

El voltaje V_5 es función de la posición de la salida variable de R_2 . Para que la relación sea lineal, debe cumplirse que:

$$R_2 \ll R_6$$

$$\underline{R_2 = 2 \text{ K}\Omega \text{ (variable)}}$$

Por la misma razón:

$$R_3 \ll R_7$$

$$\underline{R_3 = 2 \text{ K}\Omega \text{ (variable)}}$$

El máximo valor de V_5 debe ser el 80% del voltaje máximo, por lo tanto:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{80}{100}$$

$$\underline{R_1 = 510 \Omega}$$

Los microamperímetros tienen una escala de hasta 200 μ A. Para que con 12 V. se tenga la deflexión máxima, se debe tener:

$$R_4 = \frac{12 \text{ V.}}{200 \mu\text{A.}}$$

$$\underline{R_4 = 60 \text{ K}\Omega}$$

El bistable del detector de fallas tiene una impedancia de entrada de 450Ω , e indica I_L con voltajes desde aproximadamente 0,5 V. Como el máximo voltaje de salida de los amplificadores operacionales es de 11 V., para que con la máxima salida positiva se tenga I_L a la entrada del bistable, se debe cumplir que:

$$\frac{450 \Omega}{R_{12} + 450 \Omega} = \frac{0,5 \text{ V.}}{12 \text{ V.}}$$

Como los valores límites de funcionamiento del bistable no son exactos, para poder hacer una calibración exacta, escogemos

$$\underline{R_{12} = 20 \text{ K}\Omega \text{ (variable)}}$$

Las variaciones de $V_R - V_5$ deben ser compensadas por variaciones de igual magnitud de V_3 . Por tanto;

$$R_{13} + R_{14} = R_{15}$$

Para que A_2 funcione también con corrientes de entrada del orden de las décimas de miliamperio, escogemos.

$$\underline{R_{13} = 15 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_{14} = 12 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_{15} = 27 \text{ K}\Omega}$$

El restador que funciona con A_2 debe tener una ganancia que permita tener el máximo voltaje de salida, con variaciones de voltaje de las entradas mayores que 0,3 V. Por tanto.

$$\frac{R_{17}}{R_{15}} \geq \frac{12 \text{ V.}}{0,3 \text{ V.}}$$

$$\underline{R_{17} = 1,8 \text{ M}\Omega}$$

El motor funciona con corrientes de aproximadamente 100 mA. y es de 3 V. Si los transistores son de silicio y tienen un β de 60

$$I_B = \frac{I_{CQ}}{60}$$

El voltaje de base debe ser:

$$V_B = 3V + 0,6 V.$$

El voltaje que cae en la resistencia R_{18} será igual a la diferencia entre V_B y el voltaje de salida de A_2 . En los circuitos integrados, este voltaje de salida disminuye cuando la corriente es de orden de algunos miliamperios, como en el caso de I_B ; por esta razón hacemos:

$$\underline{R_{18} = 1,2 K\Omega}$$

Para que los transistores Q_1 y Q_2 no se calienten, y funcionen casi en cortocircuito, hacemos:

$$V_{R_{19}} = V_{R_{20}} = 6,5 V.$$

Como la corriente que consume el motor es de unos 100 mA

$$R_{19} = R_{20} = \frac{6,8 V.}{100 mA.}$$

Y la potencia que disiparán:

$$P_{R_{19}} = P_{R_{20}} = 100 mA \cdot 6,8 V.$$

$$\underline{R_{19} = 68\Omega} \quad (1 W.)$$

$$\underline{R_{20} = 68\Omega} \quad (1 W.)$$

Para que la variación de V_3 sea función lineal de la posición de la salida variable de R_{22}

$$R_{22} \ll R_{15}$$

$$\underline{R_{22} = 2,2 K\Omega} \quad (\text{variable})$$

R_{21} y R_{23} forman con R_{22} un simple divisor de voltaje, que hace variar V_3 entre el valor máximo de $V_R - V_S$ y un poco más que su valor mínimo, para que la válvula no se quede completamente cerrada como indican las especificaciones. Por tanto:

$$\underline{R_{21} = 330 \Omega}$$

$$\underline{R_{23} = 2 \text{ K}\Omega}$$

Para que la regulación manual pueda abrir o cerrar completamente la válvula, se indicó que:

$$R_9 = R_{23}$$

$$\underline{R_9 = 2 \text{ K}\Omega}$$

$$R_{11} = R_{21}$$

$$\underline{R_{11} = 330 \Omega}$$

R_{16} sirve para compensar el voltaje a la salida de A_1 , cuando S-4 está cerrado. Por tanto:

$$\frac{R_{16}}{R_{13} + R_{14}} = \frac{12 \text{ V.}}{11 \text{ V.}}$$

$$\underline{R_{16} = 30 \text{ K}\Omega}$$

Como el motor es excitado por los transistores Q_1 y Q_2 , estos deben ser capaces de resistir corrientes del orden de los 100 mA, ser de silicio y tener un valor de β de por lo menos 60, por lo que escogemos para Q_1 el transistor npn 2N2102, y para Q_2 el transistor pnp HEP51.

Lista de componentes:

D_1 = Diodo tipo R66-7978

D_2 , D_3 = Diodos de germanio, 100 mA.

M = Motor de 3 V. 100 mA.

M_1 , M_2 = Microamperímetros de 200 μ A. de escala máxima.

Q_1 = Transistor npn 2N2102

Q_2 = Transistor pnp HEP51

R_1 = 510 Ω , 0,25 W.

$R_2, R_3 = 2 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}, \text{ variable}$

$R_4, R_5 = 60 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_6, R_7 = 36 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_8 = 180 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_9, R_{23} = 2 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{10}, R_{22} = 2,2 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}, \text{ variable}$

$R_{11}, R_{21} = 330\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{12} = 20 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}, \text{ variable}$

$R_{13} = 15 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{14} = 12 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{15} = 27 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{16} = 30 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{17} = 1,8 \text{ M}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{18} = 1,2 \text{ K}\Omega, 0,25 \text{ W.}$

$R_{19}, R_{20} = 68\Omega, 1 \text{ W.}$

$\text{Ma747c} = \text{Circuito integrado que contiene dos amplificadores operacionales.}$

2.5.2. Funcionamiento manual:

Objeto:

Este circuito permite operar manualmente, desde el tablero de control, la apertura de las válvulas del combustible piloto y combustible principal, encendido de la chispa y funcionamiento del ventilador de aire (Especificación 2.1.4.e)

Descripción:

El circuito se muestra en la Figura 16.

Cuando el operador selecciona el tipo de funcionamiento MANUAL, el interruptor I-4 desconecta los controles automáticos, y alimenta a los interruptores de funcionamiento manual y modulación manual del servomecanismo, los cuales pueden excitar directamente a los diferentes relés. Al mismo tiempo se enciende en el tablero de control el foco F-4 que señala que la caldera puede operarse manualmente.

Puede suceder, alguna vez, que el operador olvide cerrar algunos interruptores de funcionamiento manual y, posteriormente, encienda el sistema de control automático. Para estos casos, por seguridad, se han conectado los diodos D_1 , D_2 , D_3 y D_4 , que aíslan a los relés para que nunca puedan quedar conectados en paralelo cuando el sistema automático está funcionando.

Cuando los relés no están excitados, todas las válvulas están cerradas y apagado el ventilador de aire y la chispa; así, en caso de que exista una falla del sistema electrónico ninguna válvula quedará abierta. (Especificación 2.1.2.d).

Lista de componentes

D_1 , D_2 , D_3 , D_4 = Diodos tipo R66-7978

R_1 , R_2 = 47Ω , 1 W.

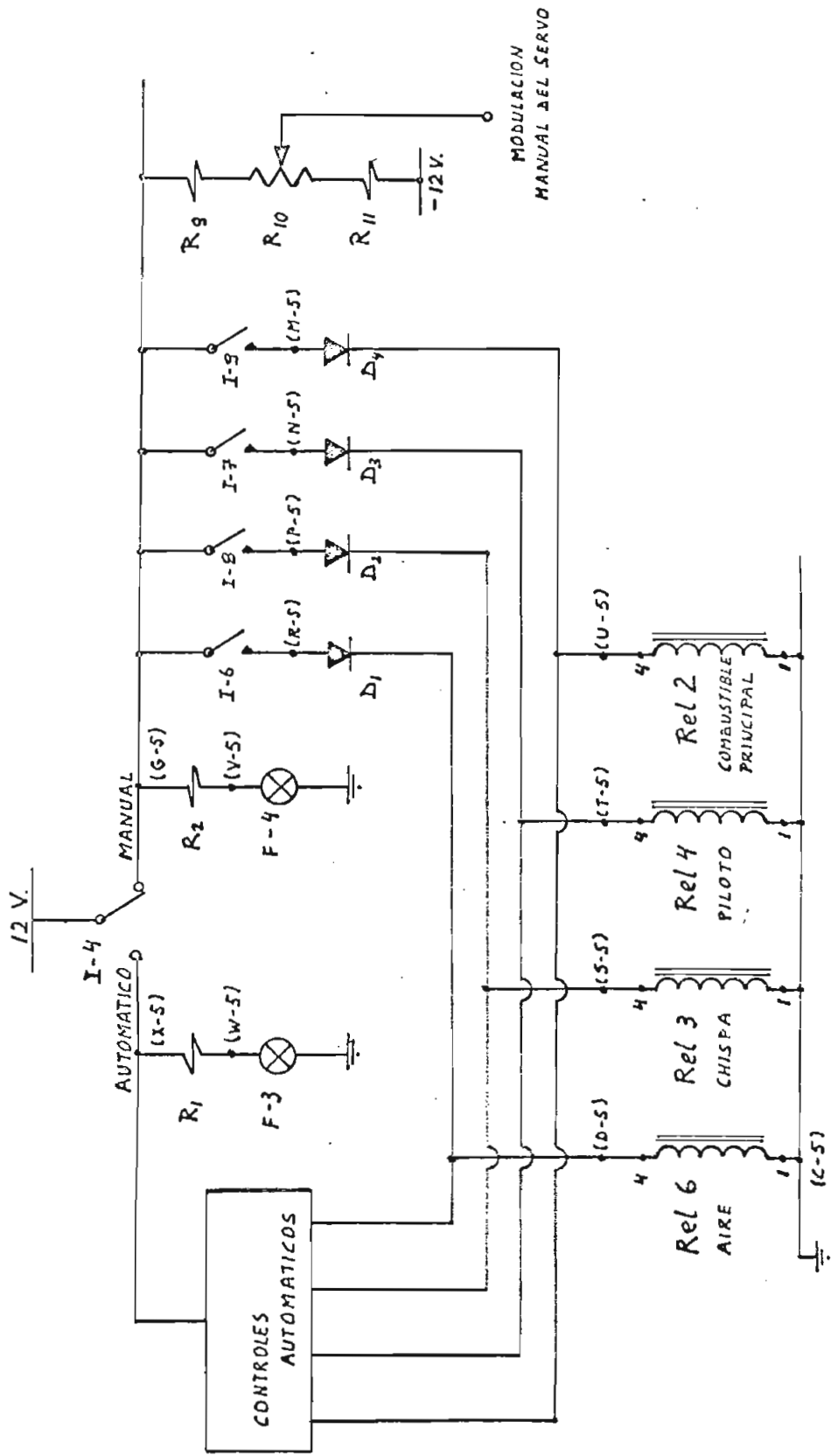


Figura 16 : Funcionamiento Manual

2.6. FUENTE DE PODER REGULADA

Se necesita una fuente de poder regulada por las siguientes razones:

- Durante el proceso de encendido la carga tiene variaciones muy grandes: desde unas pocas decenas de miliamperios, hasta uno o dos amperios.

- Se utilizan circuitos integrados, los cuales aceptan muy pocas alteraciones en su voltaje nominal de funcionamiento.

- El período de los controles de tiempo es función del voltaje de alimentación.

- El detector de llama es muy sensible al ruido.

La única fuente externa de alimentación es el voltaje normal de la línea: 110 V. 60 Hz. (Especificación 2.1.1.a).

El circuito se muestra en la Figura. 17.

2.6.1. Circuito de entrada

Objeto:

Reducir el voltaje de entrada y producir una rectificación de onda completa.

Descripción:

Los 110 V. de la línea se reducen a 25,2 V., por medio del transformador T. Posteriormente, este voltaje es rectificado en onda completa, por medio de un puente común de diodos.

El momento en que se cierra el interruptor general I-1, se enciende el foco F-1, que indica que los controles están en funcionamiento.

Por seguridad, en caso de que se produzca un cortocircuito

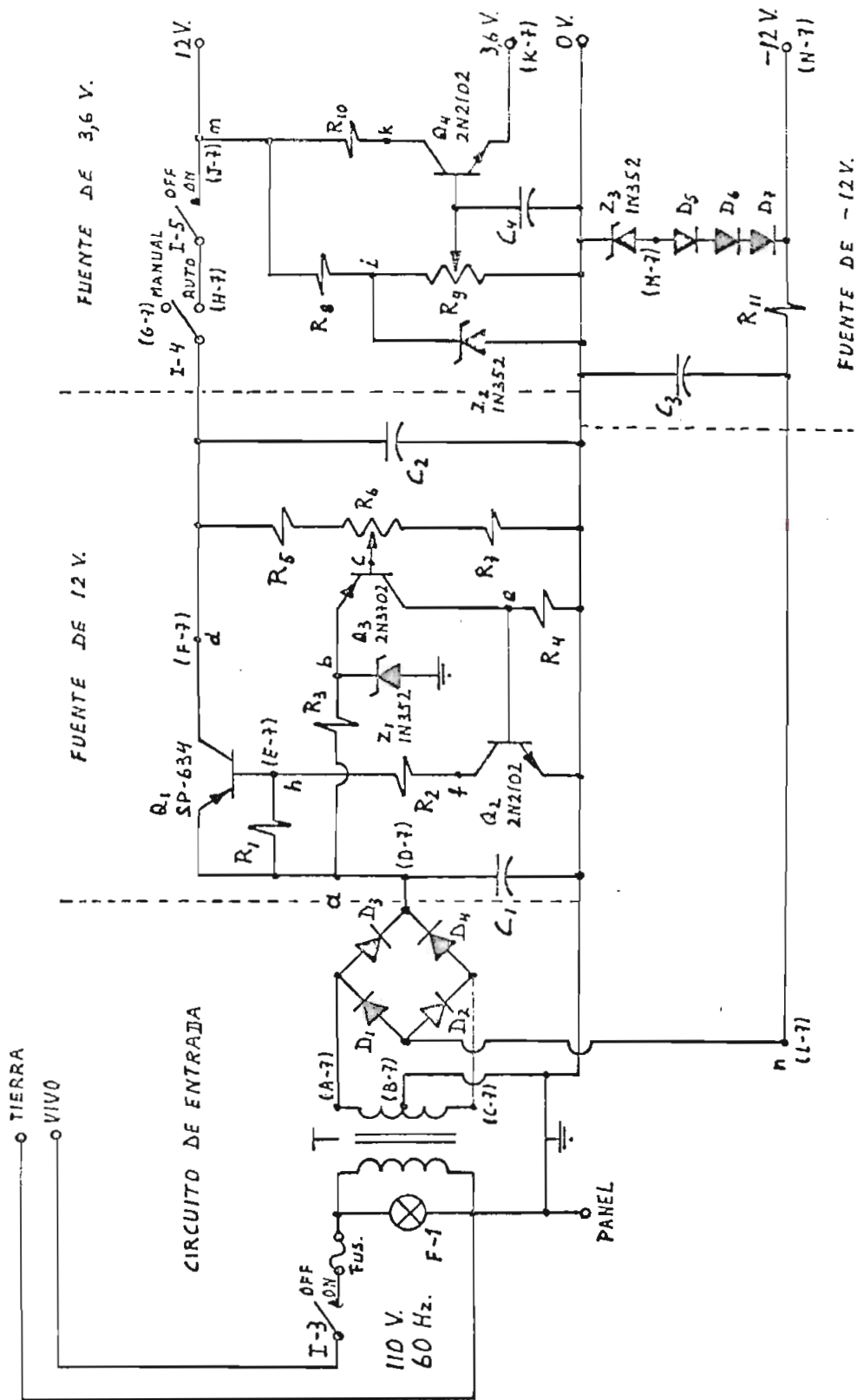


Figura 11 : Fuente de Poder Regulada

- que puede cargar el panel y alcanzar al operador- la tierra de la línea está conectada a la toma central del transformador y el panel (Especificación 2.1.2.g).

Cálculos

Cálculo de la corriente del fusible de entrada: I_{Fus} .

Máxima potencia de entrada = Máxima potencia de salida + pérdidas

$$110 \text{ V} \cdot I_{Fus} = 12 \text{ V} \cdot 3 \text{ A}$$

$$I_{Fus} = 0,328 \text{ A}$$

Se debe utilizar un fusible de 0,5 A.

Puesto que se necesitarán voltajes positivos y negativos; se ha escogido con un transformador de 117V.- 25,2 V. , 2,8 A., con toma central.

Los diodos D_1 , D_2 , D_3 y D_4 forman el puente de rectificación de onda completa. Deben tener un PIV (Peak Inverse Voltage) de por lo menos 50 V. ; ya que, al encender o apagar la fuente, las bobinas del transformador producen voltajes mayores que el nominal de salida del transformador.

A través de D_1 y D_2 se alimenta la fuente de -12 V. que consume unos 200 mA; por tanto, estos diodos deben ser de, por lo menos, 0,25 A.

A través de los diodos D_3 y D_4 se alimentan las fuentes de 12 V. y 3,6 V., que consumen la mayor parte de la corriente; por lo que deben ser de, por lo menos, 2 A.

A la salida del circuito de entrada se tiene 12,6V = 25,2 V/2 en rectificación de onda completa.

2.6.2. Fuente de 12 V.

Objeto:

Alimentar a la mayoría de los circuitos, relés, motor del servo y focos.

Descripción:

Se tiene un voltaje de referencia $V_b = 10 \text{ V.}$, producido sobre un diodo Zener Z_1 , que está conectado al emisor del transistor Q_3 .

El voltaje de base de Q_3 se puede calibrar manualmente, para fijar el voltaje de la salida de la fuente. Si posteriormente varía la carga, por ejemplo, haciendo disminuir el voltaje de salida V_d , V_c también disminuirá; pero, como V_b se mantiene fijo, se tendrá un mayor voltaje emisor-base en Q_3 , lo que hará aumentar su corriente de colector.

El incremento de la corriente de colector de Q_3 , produce un mayor voltaje V_c , que hace aumentar la corriente de colector de Q_2 -que es la corriente de base de Q_1 -aumentándose la corriente de Q_1 que alimenta la carga, incrementándose por lo tanto el voltaje de salida. De esta forma se ha conseguido compensar la disminución del voltaje de salida.

En el caso de que se produzca un aumento del voltaje sobre la carga, similarmente, la regulación producirá una disminución de la corriente de colector de Q_1 , que reducirá el voltaje de salida, regulándolo.

El condensador C_1 sirve para filtrar gran parte de las componentes alternas de la onda rectificada de entrada y C_2 para filtrar las componentes alternas a la salida.

R_1 es una resistencia que sirve para eliminar el efecto negativo que tienen las corrientes de fuga colector-base del transistor Q_1 ; que pueden ser muy grandes en comparación a su corriente de base, anulando la regulación.

La resistencia R_3 sirve para limitar la corriente de regulación del diodo Zener Z_1 .

R_2 y R_4 son las resistencias de carga de I_2 y I_3 respectivamente.

R_5 , R_6 y R_7 forman un divisor de voltaje que permite dividir el voltaje V_c entre 11 y 5 voltios.

Cálculos:

El consumo máximo de corriente será:

6 LEDs (90 mA. c/u)	540 mA.
3 LEDs (100 mA. c/u)	300 mA.
Motor del servo	20 mA.
Circuitos electrónicos	50 mA.
	<hr/>
TOTAL	1200 mA.

- Cálculo de C_1 :

Por sobre C_1 pasará una corriente máxima de $I_{max} = 1200$ mA. Voltaje $V_a = 17,8$ V. $V_c = 12,6$ V., por lo que la carga está en serie:

$R_L = 11,6 \Omega$

Para que el rizado sea reducido RC, debe ser menor que el período.

$R_L \cdot C_1 \gg T$

Donde

$T = \frac{1}{2 \cdot 60 \text{ Hz}}$

Ya que, por ser la rectificación de onda en puente, el rizado es el doble que la línea. Por tanto:

$C_1 \gg \frac{1}{2 \cdot 60 \cdot 11,6}$

$C_1 \gg \frac{1}{1392}$

El factor de rizado será:

$$\gamma = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot R_L \cdot C_1} \quad (2.6.2.-1)^4$$

- Cálculo de las corrientes y transistores:

Para máxima carga, la corriente de colector de Q_1 debe ser de 1,5 A. Este transistor, además deberá tener una gran disipación; ya que entre emisor y colector deberán caer 5,8 V. = 17,8V-12V

Es conveniente que Q_1 tenga una baja respuesta de frecuencia, para evitar que se produzcan oscilaciones.

Escogemos para Q_1 , el transistor de germanio 5P-634, que cumple con las condiciones anteriores. Su única desventaja consiste en que produce muchas corrientes de fuga pero, para evitar las usaremos la resistencia R_1 .

Q_1 tiene una ganancia $\beta = 60$, pero por seguridad hacemos los cálculos con $\beta = 50$. Por tanto:

$$I_{R2} = \frac{I_{CQ1}}{\beta}$$

$$I_{R2} = 30 \text{ mA.}$$

Q_2 debe ser un transistor que funcione con corrientes de colector del orden de hasta 30 mA. Para que de una buena regulación y exista una máxima transferencia de potencia a R_2 , hacemos que su voltaje colector-emisor sea la mitad de V_h , donde:

$$V_h = 17,8 \text{ V.} - 0,3 \text{ V.}$$

$$V_f = 8,75 \text{ V.}$$

La potencia máxima que disipará Q_2 es:

$$W_{Q2} = 264,5 \text{ mW.}$$

Escogemos para Q_2 el transistor npn de Silicio 2N2102. que puede disipar hasta 1 Vatio.

⁴ Chirlan, Paul M., "Análisis y diseño de circuitos electrónicos" pg. 553.

Q_2 funciona con una ganancia de corriente de $\beta = 100$, por lo tanto: la corriente de base de Q_2 : I_{BQ_2} , será:

$$I_{BQ_2} = \frac{I_{CQ_2}}{\beta}$$

$$I_{BQ_2} = 0,3 \text{ mA.}$$

Y su impedancia de entrada, visto desde el punto "c" :

$$Z_{in} Q_2 = \frac{V_{BEQ_2}}{I_{BQ_2}}$$

$$Z_{in} Q_2 = 3 \text{ K}\Omega$$

Ya que como Q_2 es de silicio, $V_c = 0,6 \text{ V}$.

La corriente de colector de Q_3 no será muy alta; por lo tanto se necesita mucha corriente de base para Q_2 , por lo que es razonable asumir que este transistor puede trabajar con:

$$I_{CQ_3} = 1 \text{ mA.}$$

Para que exista una buena regulación, es conveniente que Q_3 tenga un valor de β muy alto; así, una pequeña variación del punto de salida, producirá una gran variación de su corriente de colector.

Escogemos para Q_3 el transistor pnp de silicio 2N3704, que trabaja con bajas corrientes y tiene un valor de $\beta = 200$. Por lo tanto su corriente de base será:

$$I_{BQ_3} = \frac{1 \text{ mA.}}{200}$$

$$I_{BQ_3} = 5 \text{ }\mu\text{A.}$$

- Cálculo de las resistencias

El transistor Q_1 2N-654, tiene mucha corriente de fuga: hasta 10 mA. Por tanto:

$$R_1 = 33 \text{ }\Omega$$

Anteriormente vimos que en R_2 debe caer la mitad de V_{CC} (10 V). Por tanto:

$$R_2 = 202 \text{ }\Omega$$

La potencia de disipación de R_2 , debe ser igual a la de R_3 :
264,5 mW. Por tanto:

$$R = 270 \Omega \text{ (1/2 Vatio)}$$

La característica esencial que debe tener el diodo Zener Z_1 es la de ser de 10 V. Escogemos el 1N-352 que es de 10 V. y resiste hasta 250 mA. Debe anotarse que no es necesario que Z_1 sea capaz de resistir una corriente de 250 mA, bastaría con que resista una corriente del orden de unas pocas decenas de mA; pero se ha escogido este elemento, por ser el más común en nuestro mercado.

El diodo Zener puede funcionar con 30 mA., por lo que la corriente que atraviesa R_3 será:

$$I_{R_3} = I_{Z_1} + I_{CQ_3}$$

$$I_{R_3} = 31 \text{ mA.}$$

El voltaje que cae en la resistencia R_3 debe ser:

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$V_{R_3} = 7,8 \text{ V.}$$

$$R_3 = \frac{7,8 \text{ V.}}{31 \text{ mA.}}$$

$$R_3 = 250 \Omega$$

$$\underline{\underline{R_3 = 220 \Omega}}$$

Puesto que es preferible que R_3 sea un poco menor, para que Z_1 pueda regular el voltaje aún para corrientes un poco mayores que la calculada.

La corriente que atraviesa R_4 es:

$$I_{R_4} = I_{CQ_3} - I_{BQ_2}$$

$$I_{R_4} = 0,7 \text{ mA.}$$

$$R_4 = \frac{V_{BQ_2}}{I_{R_4}}$$

$$\underline{\underline{R_4 = 1 \text{ K} \Omega}}$$

Puesto que $V_b = 10 \text{ V.}$ y Q_3 es de silicio ($V_{EB} = 0,6 \text{ V.}$)

$$V_c = 9,4 \text{ V.}$$

El divisor de voltaje, formado por R_5 , R_6 , y R_7 , sirve para calibrar el voltaje de salida, por medio de la variación de V_c entre valores de $9,4 \text{ V} \pm \Delta V$. Donde ΔV puede ser $1,3 \text{ V}$. para que no tenga un voltaje emisor-base excesivo, que pueda destruirlo.

Como $I_{B3} = 5 \text{ mA}$, un valor razonable de la corriente del divisor de voltaje es $1,2 \text{ mA}$. De donde:

$$\underline{R_5 = 1 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R_6 = 2 \text{ K}\Omega \text{ (variable)}}$$

$$\underline{R_7 = 6,8 \text{ K}\Omega}$$

- Cálculo de C_2 :

Este condensador sirve para eliminar el rizado y las oscilaciones que se produzcan en la regulación, o en transistor de potencia Q_1 , y que son del orden de por lo menos algunos KHz. (10 KHz.)

Por sobre C_2 pasará una corriente máxima de $1,5 \text{ A}$, a un voltaje $V_d = 12 \text{ V}$. La carga equivalente será:

$$R_L = \frac{12 \text{ V.}}{1,5 \text{ A.}} = 8 \Omega$$

Para que el rizado sea reducido:

$$R_L \cdot C_2 \gg T$$

Donde

$$T = \frac{1}{10 \text{ KHz.}}$$

$$C_2 \gg 12,5 \text{ MF.}$$

$$\underline{C_2 = 200 \text{ MF.}}$$

2.6.3. Fuente de 3,6 V.

Objeto:

Alimentar a dos circuitos integrados MC724P, que tienen 3 circuitos NO-O, que se utilizan en el control de chips, etc.

tible piloto, detector de fallas y detector de fallas de línea.

Descripción:

La fuente se alimenta con los 12 V. provenientes de la fuente de poder anteriormente descrita.

Estos circuitos integrados son parte del control de motor y necesitan ser alimentados muy exactamente; por lo que se utiliza un diodo Zener: Z_2 , de 10 V.; para obtener una mejor regulación. Anteriormente, este voltaje de referencia alimenta a un divisor de tensión: R_9 , que sirve para calibrar el voltaje de salida del transistor Q_4 , por medio de la variación de su voltaje de base.

La resistencia R_8 sirve para limitar la corriente en el resistor R_{10} de carga a Q_4 .

El condensador C_4 se utiliza para eliminar el ruido y oscilaciones que pueden ser amplificadas por Q_4 , alternando el voltaje de salida.

Se ha colocado el interruptor I-4 a la salida de la fuente de 12 V., porque el circuito de funcionamiento manual funciona con este voltaje.

Mientras está abierto el interruptor I-5, que enciende el sistema de funcionamiento automático, el transistor Q_4 está en estado abierto, por lo que los circuitos integrados NO-0 están apagados.

Cálculos:

Cada circuito integrado consume 100 mW. Por tanto, los dos circuitos integrados necesitan ser alimentados con una corriente de emisor I_{EQ_4} de:

$$I_{EQ_4} = \frac{2 \cdot 100 \text{ mW.}}{3,6 \text{ V.}}$$

$$I_{EQ_4} = 55,5 \text{ mA.}$$

La resistencia de carga equivalente será:

$$R_L = \frac{3,6 \text{ V.}}{55,5 \text{ mA.}}$$

$$R_L = 65 \Omega$$

Si Q_4 es de silicio, su voltaje de saturación será:

$$V_{BQ_4} = 4,2 \text{ V.}$$

Para que sobre Q_4 no venga toda la diferencia de potencial entre 12 V. y 3,0 V., calentándose, pero que V_{BQ_4} sea suficiente para que funcione Q_4 , hacemos que sobre R_{10} caiga una diferencia de potencial de:

$$R_{10} = \frac{5,5 \text{ V.}}{55 \text{ mA.}}$$

La potencia que disipará esta resistencia será:

$$P_{R_{10}} = 300 \text{ mW.}$$

$$R_{10} = 100 \Omega \quad \left(\frac{1}{2} \text{ W.}\right)$$

Q_4 debe ser un transistor de silicio, que funcione a corrientes del orden de los 55,5 mA. Por ser el transistor el componente que pueda disipar hasta 1 W. Elegiremos el transistor 2N2102, que reúne estas características.

La impedancia de entrada de Q_4 será

$$Z_{in} Q_4 = \beta R_L$$

$$Z_{in} Q_4 = 6,5 \text{ K}\Omega$$

Para que la calibración sea efectiva, i_{BQ_4} debe ser menor que i_{BQ_3} , pero no es necesario que sea mucho menor, siempre que i_{BQ_4} sea siempre constante, y no habrá variaciones de i_{BQ_4} si R_{10} es constante para R_{10} es

$$R_{10} = 100 \Omega \text{ (variable)}$$

Y como $V_h = 10 \text{ V.}$

$$i_{BQ_4} = 9 \text{ mA.}$$

Escogemos para Z_2 , el diodo Zener 1N4352, por las mismas razones que lo escogimos para Z_1 .

La corriente que atraviesa R_8 será :

$$I_{R8} = I_{Z2} + I_{R9}$$

$$I_{R8} = 35 \text{ mA.}$$

Por tanto R_8 será

$$R_8 = \frac{V_m - V_i}{I_{R8}}$$

$$\underline{R_8 = 56 \Omega}$$

Cálculo de C_4

Para que C_4 elimine el ruido, especialmente el de f_{10} .

$$\frac{1}{\omega C_4} \ll R_{10}$$

Donde

$$\omega = 2\pi \cdot 60 \text{ rad./seg}$$

$$C_4 \gg 1,32$$

$$\underline{C_4 = 25 \text{ MF.}}$$

2.6.4. Fuente de -12 V.

Objeto:

Alimentar el control de funcionamiento, circuito de retroalimentación de los amplificadores operacionales, y el motor del servomecanismo.

Descripción:

La onda rectificada, que proviene del circuito de alimentación, es filtrada por el condensador C_3 , para eliminar sus componentes de rizado.

El voltaje de salida se regula por medio de diodos Zener.

y los diodos de silicio de D_5 , D_6 , y D_7 , los que producen un voltaje constante total de -12 V.

La resistencia R_{11} sirve para limitar la corriente que atraviesa los diodos.

Cálculos:

El consumo máximo de la corriente será:

Motor del servo	200 mA
Diodos	30 mA
Circuitos electrónicos	70 mA
	<hr/>
TOTAL	300 mA

- Cálculo de C_3 :

Por sobre C_3 va a pasar una corriente máxima de $I = 300$ mA a $17,8$ V. Por tanto, la resistencia equivalente será:

$$R_L = 59 \Omega$$

Para que el rizado sea reducido,

$$R_L \cdot C_3 \gg T$$

Donde,

$$T = \frac{1}{120}$$

Por tanto:

$$C_3 \gg 118 \mu F$$

$$\underline{\underline{C_3 = 10.000}}$$

De acuerdo a la fórmula (2.6.2.-1), el factor de rizado será:

$$\rho = 0,32\%$$

Z_3 es un diodo Zener que debe resistir hasta 250 mA.

mos para Z_3 el diodo 1N-352 que cumple con esta condición, pero como sólo da una caída de voltaje de 10 V., colocamos tres diodos de silicio de 1 Amperio: D_5 , D_6 y D_7 para que se alcancen los 12 V. que necesitamos.

- Cálculo de R_{11} :

Por ser simétrico el puente de rectificación del puente de entrada, $V_n = -V_a$ por lo tanto

$$V_m = -17,8 \text{ V.}$$

Y como el voltaje de salida será -12 V.,

$$V_{R_{11}} = 5,8 \text{ V.}$$

Por R_{11} circulará una corriente de 250 mA, de donde

$$R_{11} = 23 \Omega$$

La potencia que disipa R_{11} es:

$$W_{R_{11}} = 1,45 \text{ W.}$$

$$\underline{\underline{R_{11} = 22 \Omega \quad (2W.)}}$$

Lista de componentes:

$C_1, C_3 = 10.000 \text{ MF., } 15 \text{ V., electrofítico}$

$C_2 = 200 \text{ MF., electrofítico.}$

$C_4 = 25 \text{ MF., electrofítico.}$

$D_1, D_2, D_5, D_6, D_7 = \text{Diodos tipo R66-7978: } 1 \text{ A. } 200 \text{ V.}$

$D_3, D_4 = \text{Diodos } 2,5 \text{ A. } 1000 \text{ V.}$

F-1 = Foco de neón, 110 V.

Fus. = Fusible de 0,5 A.

I-3, I-5 = Interruptores tipo ON-OFF, una vía

I-4 = Interruptor de dos posiciones, tres vías.

$Q_1 = \text{Transistor tipo SP-634}$

Q_2, Q_4 = Transistor tipo 2N2102

Q_3 = Transistor tipo 2N3704

R_1 = 33Ω , 0,25 W.

R_2 = 270Ω , 0,25 W.

R_3 = 220Ω , 0,25 W.

R_4 = $1\text{ K}\Omega$, 0,25 W.

R_5 = $1\text{ K}\Omega$, 0,25 W.

R_6, R_9 = $2\text{ K}\Omega$, 0,25 W., variable

R_7 = $6,8\text{ K}$, 0,25 W.

R_8 = 56Ω , 0,25 W.

R_{10} = 100Ω , 0,25 W.

R_{11} = 22Ω , 2 W.

T = Transformador de entrada 117 V.-25,2 V, con tap controlada.

Z_1, Z_2, Z_3 = Diodos Zener tipo 1N-352

2.7. TERMINALES CENTRALES DE OPERACIÓN

2.7.1. Comandos

La Figura 18 muestra la distribución de los interruptores (I), medidores (M), perillas de los reóstatos (R) y luces de señalización (L) en el tablero de control.

Los interruptores que son comunes para el funcionamiento automático y manual se han colocado en la parte superior.

En la parte izquierda inferior están los comandos del sistema automático y a la derecha los del sistema manual. Entre ellos están las luces de señalización que indican qué dispositivos están en funcionamiento.

Todos los focos son de color verde, excepto T-2 que es rojo e indica la presencia de fallas. Está situado en la parte superior, sobre el interruptor general I-3.

Los medidores de presión: M-1 y M-2, se han colocado inclinados verticalmente para que el operador pueda distinguir fácilmente cual indica un mayor valor.

Tanto los focos que indican el funcionamiento de los dispositivos, como los interruptores del sistema manual, están alineados según su orden normal de encendido.

2.7.2. Entradas y salidas

Están situadas al lado derecho del aparato, en dos terminales.

En el terminal 1 están las siguientes conexiones:

T1-1 , T1-2 : Alimentación de la línea de 110 V., con T1-2 conectado al lado de tierra.

T1-3 , T1-4 : Salida al sistema de precalentamiento.

T1-5 , T1-6 : Salida al sistema de alarmas.

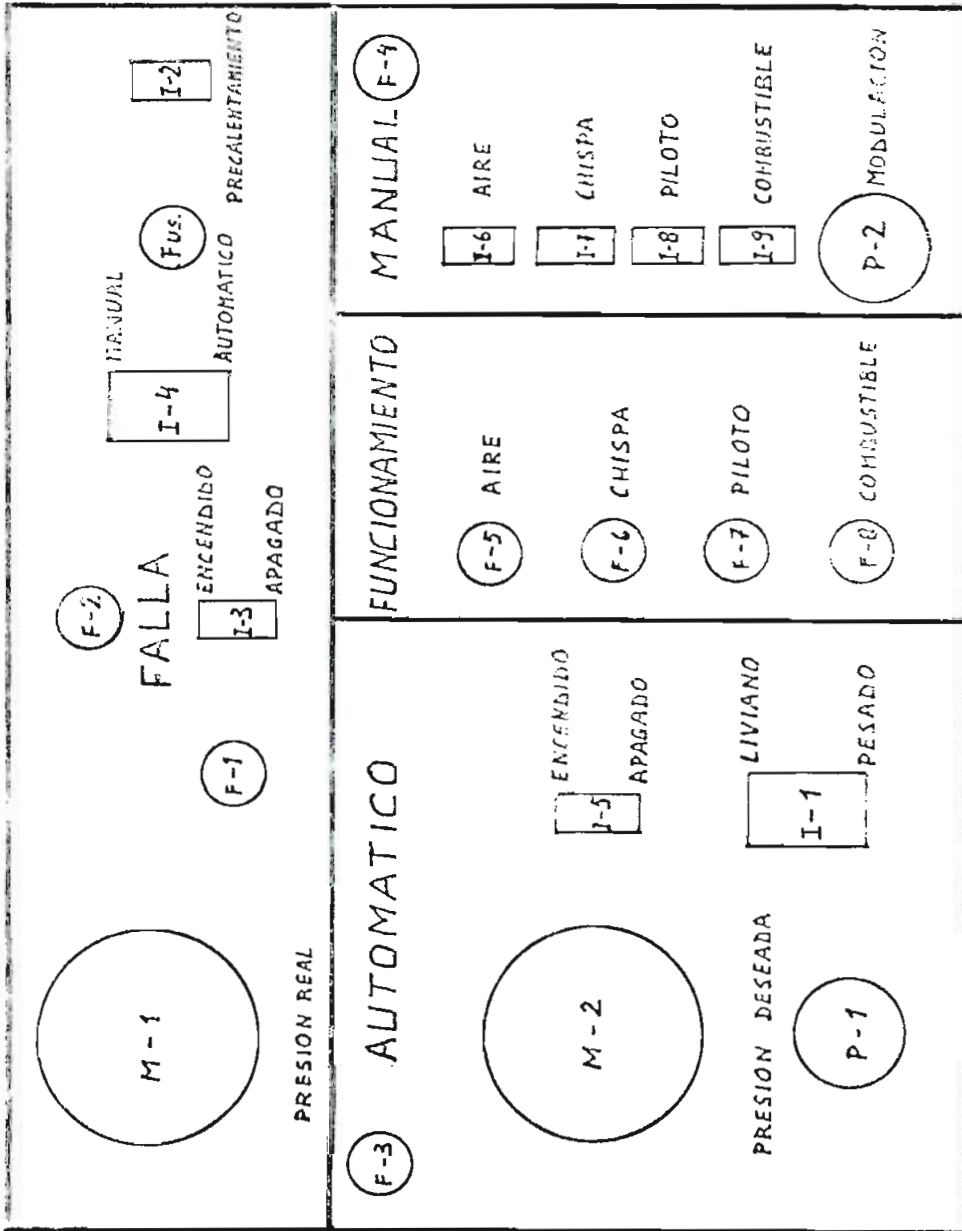


Figura 15 Control (Anexo 15)

T1-7 , T1- 8 : Salida al ventilador de aire.
 T1-9 , T1-10 : Salida a los electrodos de la chispa.
 T1-11, T1-12 : Salida a la válvula del combustible principal.
 T1-13, T1-14 : Salida a la válvula del combustible piloto.

En el terminal 2 estan las siguientes conexiones:

T2-1 , T2-2 : Entradas del fotoresistor.
 T2-3 , T2-4 : Salida al motor del servomecanismo.
 T2-5 , T2-6 , T2-7 : Salida al relé que indica la posición de la
 válvula de modulación del combustible principal/
 aire.

2.7.3. Simulaciones

Puesto que para las pruebas experimentales no se puede conectar el aparato a una caldera real, se han simulado sus condiciones por medio de dos elementos que estarán situados al lado izquierdo del aparato, y que son: Un interruptor (I-10) que simula la presencia de una falla cuando se ha superado un valor límite de seguridad o existe una condición de peligro, y un relé que simulará las variaciones de la presión real en la caldera.

3. C O N S T R U C C I O N

3.1. CONSTRUCCION

3.1.1. Aspecto físico

Los circuitos se hallan dentro de una caja de aluminio de 3 mm. de espesor y de dimensiones 30cm. x 40cm. x 40cm., que tiene en la parte delantera el tablero de control. Se hallan distribuidos en siete tarjetas, cada una de las cuales contiene los siguientes circuitos:

- 1- Detector general de fallas y detector de fallas de llama.
- 2- Protección a fallas de encendido: control del período máximo de prueba del combustible piloto, control del período de prueba del combustible principal y encendido de la regulación por medio del servomecanismo.
- 3- Detector de llama: control de la válvula del combustible principal.
- 4- Control del tiempo de prepurga, control del encendido de la chispa y control de la válvula del combustible piloto.
- 5- Control del ventilador de aire, período de postpurga y funcionamiento manual.
- 6- Servomecanismo.
- 7- Fuente de poder regulada.

Para facilidad en el mantenimiento, en los diagramas de los respectivos circuitos se muestran sus conexiones a los terminales de las tarjetas.

Las Figuras 19 y 20 muestran fotografías del aparato.

La válvula del combustible principal/aire y el fotoreistor, que se utilizaron para la experimentación, se muestran en la Figura 21.

Nro	ELEMENTO	COSTO
16	Diodos R66-7978 (1A.	480,00
2	Diodos de 2,5 A.	80,00
8	Diodos, 200 mA.	120,00
3	Circuitos integrados	170,00
3	Zócalos para circuitos integrados	80,00
4	Zócalos para transistores	40,00
1	Disipador para transistores 2N2102	14,00
2	Condensadores 10.000 p., 15 VDC	160,00
23	Condensadores de hasta 200 MF.	115,00
94	Resistencias	145,00
4	Potenciómetros	80,00
7	Resistencias variables	48,00
1	Transformador 117V.-25,2V., 2A.	115,00
6	Relés Relaymatic, 2 vías, 2 posiciones	720,00
2	Microamperímetros	430,00
2	Terminales	100,00
3	Focos con pilotos	128,00
1	Fusible con portafusible	14,00
3	Perillas para reóstatos	25,50
1	Chasis	300,00
3	Interruptores tipo ON-OFF	134,40
2	Interruptores de 2 posiciones, 3 vías	25,00
7	Tarjetas de baquelita	280,00
7	Uniones	250,50
TOTAL		5.600,00

El costo no es elevado ya que controles que realizan algunas de las funciones, y que actualmente se importan, cuestan aproximadamente 25.000 sucres., sin impuestos.

3.2. EXPERIMENTACION

3.2.1. Circuitos de control de protección

Los circuitos bistables reconocen como 1_1 señales de $0,5$ V. Como los pulsos de entrada fueron calculados para ser de 1 a 2 V., el cambio de estado se realizó muy precisamente cuando se presentó la excitación.

En el Detector General de Fallas (Figura 1) el transistor Q_2 presentó para máxima carga (400 mA.) voltajes de emisor de $10,8$ V. en funcionamiento normal y de 0 V. para casos de fallo, lo que actúa eficientemente como un interruptor electrónico: 1-1.

En el detector de llama, para simular una llama de frecuencia variable, se utilizó un generador de audio en serie con una resistencia de 22 K Ω , encontrándose la respuesta de frecuencia que se muestra en la Figura 22 . En donde:

f = Frecuencia de la señal del simulador de llama.

V_5 = Voltaje de la señal que excita al relé 2 para que abra la válvula del combustible principal.

Allí puede verse claramente que el detector es muy sensible para frecuencias de 5 a 20 Hz, filtrando las frecuencias que superan a estos límites. En los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica se probó el detector de llama en una caldera para usos experimentales, funcionando satisfactoriamente.

El circuito de protección a fallas de encendido y el detector de fallas de llama funcionaron de acuerdo a lo prescrito en el diseño, excitando al detector general de fallas cuando se presentaron las condiciones de peligro,

3.2.2. Circuitos de control de encendido

Todos los controles de tiempo funcionaron con un error

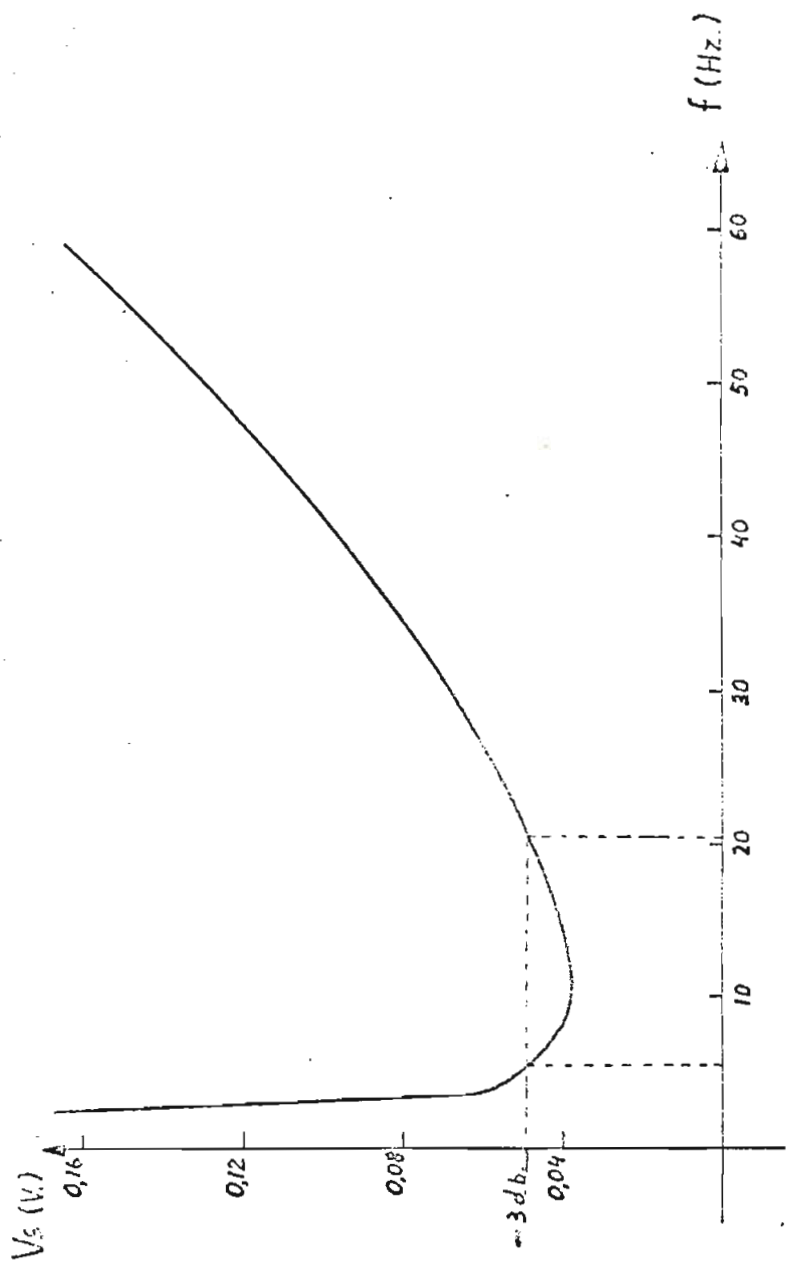


Figura 22 : Responde de Frecuencia del Detector de Flama

nor que 0,5 seg., pudiendo ser regulados hasta para periodos que son un 50% mayores que los deseados.

Cuando los relés eran excitados tenían un voltaje de 11,4 V. entre los terminales de sus bobinas, cerrándose sus contactos y produciendo vibraciones. El relé de control del ventilador de aire (Fig. 13) que permanece cerrado hasta un minuto después de que el ventilador apaga la caldera o se presenta una falla, permanecía con un voltaje de 11,4 V. entre sus bobinas durante 54 segundos, disminuyendo el voltaje durante los últimos 6 segundos.

3.2.3. Requisitos de control de funcionamiento.

El servomecanismo (Fig.14) funcionó tal como se había especificado en el diseño.

El motor que regula la válvula, del combustible principal y aire, podía mover la válvula desde la posición completamente abierta a casi completamente cerrada, en menos de 3 segundos.

El valor de las resistencias R_{21} y R_{23} fue calibrado para producir una óptima regulación de la posición de la válvula, de acuerdo a las condiciones del diseño.

Se comprobó que la válvula oscilaba cuando no se cambiaban los valores de D_2 y D_3 ; las oscilaciones disminuían al hacer más grande el valor de R_{17} .

3.2.4. Fuente de poder regulada.

Para carga variable, la fuente de 12 V. presentó las siguientes características de rizado:

Carga (A.)	0	0,01	0,4	1	2	3	4
Rizado (%)	0,004	0,004	0,006	0,010	0,017	0,028	0,036

El voltaje de la fuente comenzaba a disminuir para corrientes de carga mayores que 3,63A. Al alimentar los circuitos su carga máxima es de 1,5 A.

Los valores de rizado son muy pequeños lo que demuestra que la regulación de la fuente es muy satisfactoria.

La fuente de 3,6 V. daba una alimentación constante a los dos circuitos integrados, sin presentarse variaciones durante el funcionamiento.

La fuente de -12 V. presentó las siguientes características de rizado para cargas variables.

I_{carga} (A.)	0	20	40	80	120	255
Rizado (%)	0,012	0,012	0,013	0,015	0,115	0,75

Para corrientes de cargas mayores de 255 mA., el voltaje de la fuente disminuía, al alimentar los circuitos su carga máxima es de 250 mA.

El rizado en este caso es mayor que el de la fuente de 12V. pero es despreciable si se considera que esencialmente se utiliza este voltaje para mover un motor.

3.3. CONCLUSIONES

El presente trabajo muestra cómo se ha diseñado y construido un control electrónico para calderas que funcionan a presión, a base de elementos que existen en nuestro mercado y de acuerdo a las necesidades de la industria ecuatoriana.

Su costo es aproximadamente el 25% del precio de los equipos que realizan similares funciones y que actualmente se importan. Debe señalarse que los equipos importados controlan los periodos de tiempo por medio de sistemas mecánicos y no electrónicamente como en el presente diseño, por lo que su mantenimiento es más difícil y mayor la probabilidad de que sufran desperfectos por el uso continuo. Además en el mercado no existen repuestos para su reparación.

Es importante anotar que la instalación del equipo presentada de ninguna manera desplazará de su trabajo al operario que controla el funcionamiento de las calderas, ya que siempre se necesitará una persona que vigile las instalaciones. Para la industria el principal beneficio estará en el mayor rendimiento que se logrará con el uso del presente sistema: ahorro de combustible, regulación más exacta de la presión y seguridad para las instalaciones. A la vez, el obrero que va a operar el sistema deberá tener un mejor entrenamiento y capacitación, por lo que deberá ser mejor remunerado.

En base a lo señalado, creemos haber cumplido con el propósito que nos guió a realizar el presente trabajo: Dotar a los trabajadores latinoamericanos de nuevos recursos, para alcanzar un desarrollo industrial que esté acorde con nuestras necesidades.

4. GUIA DE MANTENIMIENTO

Localización de los controles

El control debe estar situado en un lugar bien iluminado, que asegure una clara visibilidad a los operadores y hombres de servicio que están junto a la caldera. Debe estar protegido en contra del polvo, suciedad y vibraciones.

Instalación

- Antes de comenzar la instalación asegúrese de que el voltaje de la línea que se utilizará es de 110 V. 60Hz, con un polo a tierra, y revise si los cables que llegan a los terminales corresponden a los respectivos motores o accionadores.

- Si los instrumentos que están conectados a los terminales son trifásicos o consumen más de 5 A. , deben conectarse mediante un cable de paso entre la salida del terminal y el instrumento correspondiente.

- Conecte los terminales como indica la Figura 23.

- Pruebe que los terminales estén bien conectados utilizando el tipo de funcionamiento manual.

- Pruebe el tipo de funcionamiento automático.

Encendido y apagado normal

Vea la Figura 18 : Tablero de Control.

Siga la siguiente secuencia de encendido:

- Coloque en la posición apagado (OFF) todos los interruptores manuales : I-2, I-6, I-7, I-8, I-9.

- Elija con el interruptor I-1 el tipo de combustible.

- Con el interruptor I-2 encienda el precalentamiento.

- Coloque en la posición ENCENDIDO el interruptor general I-3

- Con el interruptor I-4 elija el tipo de funcionamiento que va a utilizar.

		T-1														T-2						
1	+	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	
		Alimentación : 110 V. 60 Hz.																				
		Precalentamiento																				
		Alarmas																				
		Ventilador del Aire																				
		Electrodos de la Chispa																				
		Valvula del combustible Principal											Valvula del combustible Piloto									
		Fotoresistor																				
		Motor del Serramecanismo																				
		Reóstato de la Valvula de Modulación del Combustible Principal / Aire																				

Figura 23 : Conexiones de los Terminales

Si eligió el tipo de funcionamiento MANUAL puede encender o apagar, en el orden que desee, el ventilador de aire (I-6) y los electrodos de la chispa (I-8); abrir o cerrar las válvulas del combustible piloto (I-7) y del combustible principal (I-9); y regular manualmente el flujo del combustible principal/aire.

Si eligió el tipo de funcionamiento AUTOMÁTICO, seleccione con la perilla P-1 la presión que desea que tenga la caldera y luego coloque el interruptor I-5 en la posición ENCENDIDO. Para apagar el funcionamiento automático de la caldera, coloque el interruptor I-5 en la posición APAGADO.

Si la caldera va a permanecer apagada durante algunas horas, luego de que la postpurga haya terminado, puede apagar todo el sistema, colocando el interruptor general I-3 en la posición APAGADO.

Situaciones de peligro

Cuando exista una condición de emergencia, puede apagar inmediatamente toda la caldera, colocando el interruptor general I-3 en la posición APAGADO. Solamente quedará encendido el ventilador de aire para dar una adecuada postpurga.

Cuando el sistema de control automático detecta alguna falla, inmediatamente apaga el sistema y suenan las alarmas. Antes de comenzar a revisar las instalaciones, coloque el interruptor general en la posición APAGADO.

Reparaciones

Cuando se presente una falla deben realizarse las siguientes pruebas:

- Revise si el valor de la presión de la caldera está dentro de los límites de seguridad.
- Revise el nivel del agua, que las puertas estén bien cerradas.

ción, la temperatura del combustible, los electrodos de la cámara, todas las válvulas y alimentación de los motores.

- Si no encuentra ninguna falla externa, el operador debe bajar la presión al mínimo, enciende manualmente la caldera. Si el botón de señalización de fallas se enciende inmediatamente, quiere decir que existe una condición de peligro permanente en la caldera o que el control electrónico tiene una falla interna. Si el botón de señalización no se enciende, continúe con la secuencia de encendido para conocer en qué momento se presenta la falla.

Para saber si la falla está en el control o en la caldera, desconecte todas las salidas y entradas a los terminales, excepto la alimentación de 110 V., y luego encienda el funcionamiento. Si la falla subsiste, quiere decir que los circuitos de control están mal, y debe llamarse al técnico especializado para que los revise. Si desaparece, puede encenderse el sistema de funcionamiento automático para saber si la secuencia de encendido es correcta. Si tampoco se presenta una falla, quiere decir que los controles están bien, entonces deben revisarse nuevamente todas las conexiones externas existentes si no se encuentra ninguna falla en ellas, llamar al técnico mecánico para que revise la caldera.

Sólo personal especializado debe estar autorizado para abrir la caja que contiene los circuitos electrónicos del sistema, y en ningún caso deben realizarse las reparaciones con los terminales conectados a la caldera.

A P E N D I C E S

A P E N D I C E A

DIAGRAMAS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS

Fairchild μ A747 and μ A747C

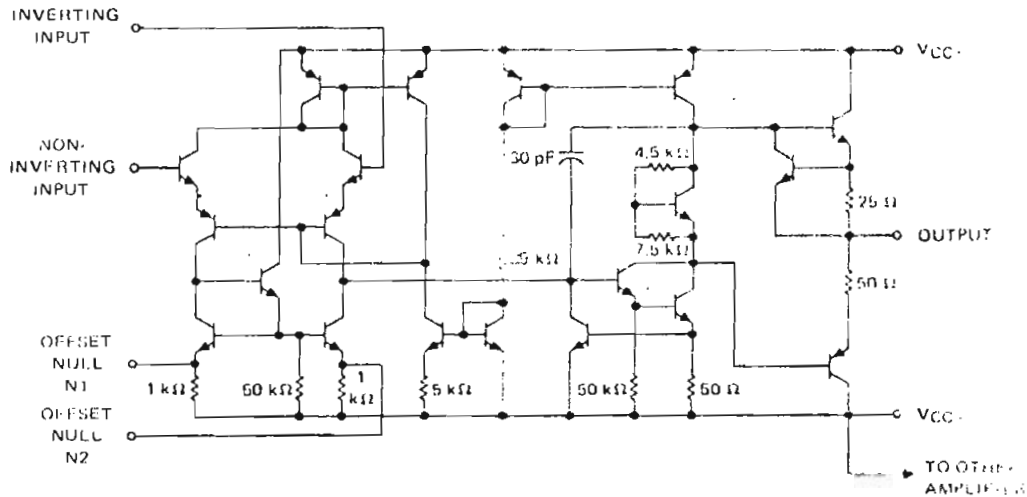
description

The SN52747 and SN72747 are dual high-performance operational amplifiers, featuring offset-voltage null capability. Each half is electrically similar to SN52741/SN72741.

The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifiers ideal for voltage-follower applications. The devices are short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low-value potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in Figure 3.

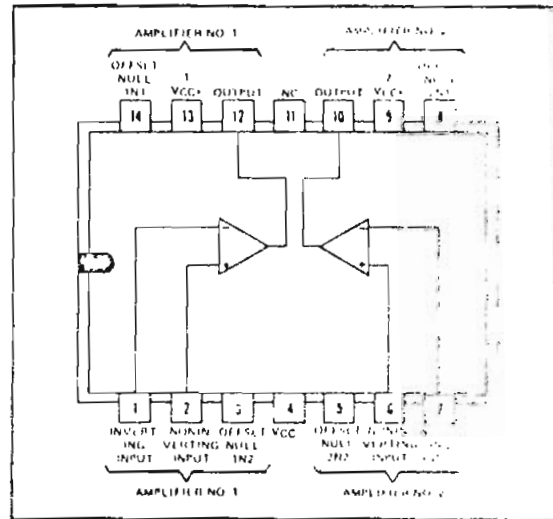
The SN52747 is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C ; the SN72747 is characterized for operation from 0°C to 70°C .

schematic (each amplifier)

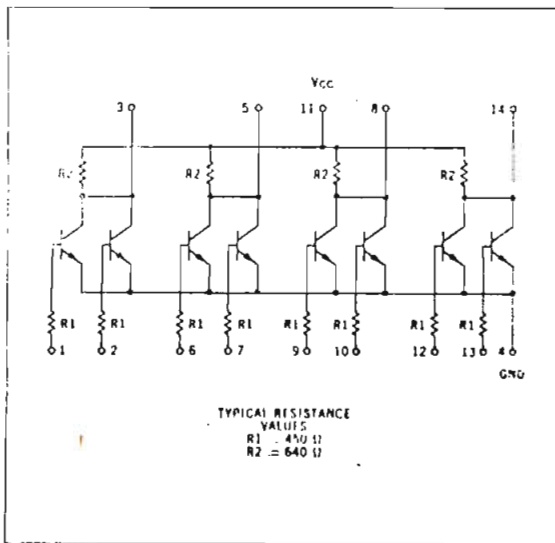


Component values shown are nominal.

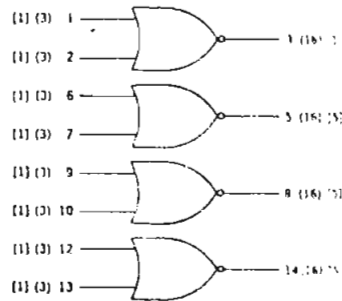
JORN DUAL IN-LINE PACKAGE (TOP VIEW)



MC724P • MC824P



Four 2-input positive logic NOR gates in a single package. Each may be used independently, paralleled for increasing the number of inputs (subject to loading rules), or cross-coupled to form bistable elements.



NUMBER IN PARENTHESIS INDICATES MC724P LOADING RULES
 NUMBER IN BRACKETS INDICATES MC824P LOADING RULES

$t_{pd} = 12$ ns
 $P_o = 100$ mW (Input High)
 30 mW (Input Low)

A P E N D I C E B

CARACTERISTICAS DE LOS SEMICONDUCTORES UTILIZADOS

Transistor HEP-51

Tipo: pnp, silicio

$$\beta = 80$$

P max. = 600 m W.

 V_{CE} max. = 25 V. I_C max. = 600 m A.Transistor SP-634

Tipo: pnp, germanio

$$\beta = 60$$

P max. = 90 a 100 mW.

 V_{CE} max. = 90 V. I_C max. = 7 A.Transistor 2N2102

Tipo: npn, silicio

$$\beta = 100$$

P max. = 1 W.

 V_{CE} max. = 80 V. I_C max. = 1 A.Transistor 2N2646Tipo: pn , silicio, transistor de juntura
única.

$$\eta = 0,56 \text{ a } 0,75$$

P max = 300 m W.

I de disparo = 8 m A.

Transistor 2N3702

Tipo: pnp, silicio

$$\beta = 200$$

P max. = 310 mW.

 V_{CE} max. = 40 V. I_C max. = 600 m A.

Transistor 2N3704

Tipo: npn, silicio

$$\beta = 100$$

P max. = 310 mW.

V_{CE} max. = 600 mA.

I_c max. = 600 mA.

Diodo R66-7978

Tipo: Rectificador

I max. = 1 A.

PIV = 200 V.

Diodo 1N-352

Tipo : Zener

V_Z = 10 V.

P max. = 10 W.

Diodo 1N4732

Tipo : Zener

V_Z = 4,7 V.

I max. = 193 mA.

I rev. max. = 10 MA.

B I B L I O G R A F I A

1. Bonilla, Raúl
"Equipo de Combustión y Controles para el Equipo de Combustión."
Edición mimeografiada por la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, 1.972
Quito.
2. CENDES (Centro de Desarrollo)
"Calderería"
CENDES. Serie Investigación de Mercados No. 17 , Diciembre de 1.968, Quito.
3. Chirlan, Paul M.
"Análisis y Diseño de Circuitos Electrónicos".
McGraw-Hill Book Company, 1.966, Madrid.
4. Dehnel, P.D.
"Fundamentals of Boiler House Techniquo".
Hutchinson Scientific and Technical, 1.959, London.
5. Federal Construction Council.
"Combustion Equipment and Related Facilities for Non-Residential Heating Boilers".
FCC Technical Report Number 51. 1.966, Whashington.
6. Millman-Taub
"Circuitos de Pulsos, Digitales y de Conmutación".
Libros McGraw-Hill, 1.971, México.
7. "BOILERS. Types, Characteristics, and Functions".
McGraw-Hill Inc. 1.961; New York.

8. Williams, John Norman
"Boiler house practice".
George Allen & Unwin Ltd., 1.960, London.

9. Woodruff, Everett B.
"Steam - Plant Operation"
McGraw Hill Book Company, Inc., 1.950, New York.