

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA



21² Ejercicios

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DISEÑO DE UN PROTECTOR ELECTRONICO PARA MOTORES
DE INDUCCION DE 75 H.P. A 300 H.P. POR SOBRE CARGA, CAIDA DE
FASE, ALTO VOLTAJE Y BAJO VOLTAJE

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

MANUEL GUILLERMO LOPEZ URIAS

GUADALAJARA, JAL., 1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCION | 2 |
| ANTECEDENTES | 4 |
| CAPITULO 1. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO ELECTRICO DONDE - SE APLICARA LA PROTECCION | 6 |
| 1.1. Diagrama de la instalación eléctrica que alimenta al motor | 6 |
| 1.2. Problemas que afectan al motor | 6 |
| 1.3. Datos de los tipos de arrancadores utilizados ... | 10 |
| 1.4. Datos de motores | 16 |
| CAPITULO 2. ANALISIS DEL SISTEMA ELECTRICO OPERANDO BAJO- CONDICIONES DE FALLA | 19 |
| 2.1. Sobrecarga | 19 |
| 2.2. Caída de fase | 20 |
| 2.3. Alto Voltaje y Bajo Voltaje | 28 |
| CAPITULO 3. DISEÑO DEL PROTECTOR ELECTRONICO | 30 |
| 3.1. Sensor de corriente | 31 |
| 3.2. Detector de Sobrecorriente | 34 |
| 3.3. Detector de corriente menor a 45 amperes | 39 |
| 3.4. Fuente de alimentación y sensores de voltaje ... | 42 |
| 3.5. Detector de alto voltaje y bajo voltaje | 44 |
| 3.6. Circuito de retardo y de disparo | 46 |
| CAPITULO 4. INSTRUCCIONES DE INSTALACION PARA PONERLO EN- OPERACION | 58 |
| CAPITULO 5. ESTUDIO ECONOMICO PARA SU CONSTRUCCION E INS- TALACION | 63 |
| CONCLUSIONES | 66 |
| BIBLIOGRAFIA | 68 |

INTRODUCCION

En la región agrícola ubicada en la costa de Sonora, el motor de inducción, jaula de ardilla, vertical, flecha hueca 60 Hz., 440 volts, en capacidades de 75 H.P. a 300 H.P., tiene una gran aplicación en los equipos de bombeo agrícola, para la extracción de agua en pozos profundos.

Estos motores acoplados a bombas tipo turbina y se instala una subestación, para alimentarlos de energía eléctrica.

En esta región, el índice de motores quemados es de un 35 % anual, por lo que es una cifra bastante elevada como para considerar las causas que provocan este siniestro, y proponer alguna solución.

Los problemas que afectan a estos motores son: Eléctricos, mecánicos, operación inadecuada, mal suministro de energía eléctrica, servicio preventivo deficiente, envejecimiento y alta temperatura ambiente.

Por otra parte, se han establecido casas comerciales, - las cuales ofrecen al agricultor un contrato, comprometiéndose a dar el servicio y efectuar las reparaciones que sean necesarias, sin que esto represente costo alguno para el agricultor, después de celebrar el contrato. Por lo que dado este sistema económico establecido, para la atención de los -- equipos, no existe interés por parte del agricultor, ni por parte de las casas comerciales, en invertir una cantidad considerable de dinero para dar solución a los problemas existentes.

Entonces, la conclusión es, que estos problemas seguirán latentes, por lo que la solución es dar protección a los

motores, para evitar que sufran daños.

En la operación de estos motores se utilizan arrancadores manuales a voltaje reducido, tipo autotransformador, los cuales están provistos de un relevador térmico que debe operar por sobrecarga o bajo voltaje. Pero es un sistema de protección deficiente, en lo que a estos equipos se refiere, y lo podemos comprobar observando el índice de motores quemados.

El objetivo de esta tesis, es diseñar un dispositivo electrónico. De acuerdo a las necesidades y características de los equipos eléctricos donde se pretende aplicar, que sea económico que sea de fácil instalación (con un mínimo de modificaciones en los equipos eléctricos donde se aplique), y que ofrezca una protección confiable. Logrando así, disminuir el índice de motores quemados y por consiguiente reducir las pérdidas económicas que este problema genera.

ANTECEDENTES

Actualmente existen en el mercado dispositivos térmicos, o electrónicos, para proteger motores sobre posibles fallas que se puedan presentar.

Los arrancadores manuales, tipo autotransformador, vienen equipados con un relevador térmico, que ofrece a los motores protección contra sobrecarga y bajo voltaje. Estos relevadores operan a base de transformadores de corriente (TC), que alimentan los elementos térmicos instalados en el relevador. Los elementos térmicos se seleccionan de acuerdo a la capacidad del motor. Estos relevadores consiguen dispararse en un tiempo de 10 segundos cuando la corriente nominal se incrementa al 600 % .

Los arrancadores únicamente ofrecen protección en dos fases, siendo la tercera fase opcional. Por lo que todo motor equipado con arrancador manual, tipo autotransformador, recibe la protección de un relevador térmico como el antes mencionado.

Existen otros relevadores adicionales de mayor precisión, que ofrecen al motor protección contra sobrecarga o bajo voltaje, pero también funcionan a base de transformadores de corriente (TC) y elementos térmicos. Como son construidos en una sola unidad que solo presentan tres conexiones de entrada y tres de salida, que deben conectarse en las líneas que alimentan al motor, entonces, cuando se incertan al sistema eléctrico, hay que abrir las líneas en alguna parte para su conexión, resultando problemática su instalación y adaptación al sistema. También su costos es una cantidad bas

tante considerable.

Los relevadores electrónicos que existen, únicamente ofrecen protección contra alto voltaje, bajo voltaje y caída de fase. Estos dispositivos operan detectando el nivel de voltaje existente en las tres líneas, por lo que si alguna fase se abre después de donde se encuentran conectados, no tienen la capacidad de detectar la falla.

Otros protectores electrónicos, son demasiado sensible a los desbalances de voltaje, resultando imposible aplicarlos a los equipos que ahora se pretende proteger.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO ELECTRICO DONDE SE APLICARA LA - PROTECCION.

En este capítulo se presenta el equipo eléctrico que se pretende proteger, para conocerlo en forma general en todos sus componentes y ampliarnos un poco más, en los elementos que son de interés a nuestro propósito. También indicaremos los problemas e irregularidades que se presentan.

I.1. DIAGRAMA DE LA INSTALACION ELECTRICA QUE ALIMENTA AL MO TOR.

Para cada motor se ha instalado una subestación eléctrica en particular, por lo que siempre encontraremos una subestación, teniendo como única carga un solo motor. Se utiliza el mismo modelo de instalación eléctrica para motores de 75-H.P. a 300 H.P. La figura I.1. muestra un diagrama unifilar de este tipo de instalaciones, indicando sus componentes.

La compañía de energía eléctrica proporciona un voltaje en red o línea de 13.2 KV para la alimentación de estas subestaciones.

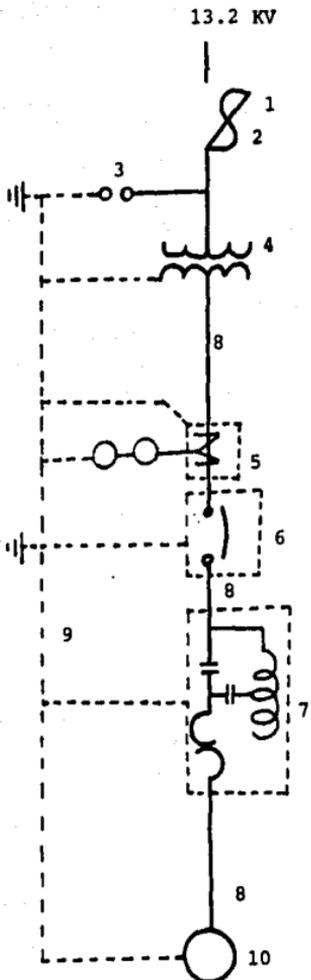
1.2. PROBLEMAS QUE EFECTAN AL MOTOR

A) ELECTRICOS

En los componentes eléctricos se presentan los siguientes problemas:

a) CORTACIRCUITO FUSIBLE. Deterioro o envejecimiento, - mala calidad de fabricación, vientos fuertes que las desconectan, cortacircuitos que se encuentran sin portafusible.

b) FUSIBLE. Aquí el principal problema es la instalación de fusibles inadecuados, y algunos fallan por mala cali



- 1.- Cortacircuito fusible de 15 KV tipo XS de 10 000 Amps. (rms) simétricos de capacidad interruptiva.
- 2.- Listón fusible tipo K.
- 3.- Apartarrayo de 12 KV tipo distribución.
- 4.- Transformador trifásico 13 200 /440-254 volts 2-(+2.5 %),2(-2.5%).
- 5.- Transformador de corriente que CFE instala.
- 6.- Interruptor termomagnético 3 polos 600 volts.
- 7.- Arrancador manual a tensión reducida tipo autotransformador.
- 8.- Conductor tipo THW.
- 9.- Alambre de cobre desnudo.
- 10.- Motor de inducción.

Figura 1.1 Diagrama unifilar

dad. o defectos de fabricación.

c) APARTARRAYOS. Existe una infinidad de subestaciones con sus apartarrayos incompletos, ya sea que les falte uno o dos y en ocasiones los tres. También es muy común encontrar apartarrayos mal conectados a tierra o con sistemas de tierra deficientes.

d) TRANSFORMADOR. Con frecuencia encontramos transformadores sobrecargados, por decir motores de 200 H.P. con transformador de 150 KVA. Otros transformadores al momento de ser reparados no se ha tenido cuidado en conservar sus características originales, sufriendo alteraciones en su relación de transformación y potencia, ofreciendo voltajes desbalanceados a los motores que alimentan.

e) INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO. Es muy común que opere la protección térmica sin que exista sobrecarga o bajo voltaje, por lo que los técnicos optan por bloquear la protección térmica. También por falsos contactos que se presentan entre los conductores y los conectores del interruptor, en ocasiones provocan la destrucción de este dispositivo. Una vez que se requiere retirar el interruptor por mal estado, es difícil que lo sustituyan por otro. Así que la instalación se queda sin interruptor.

f) ARRANCADOR MANUAL A TENSION REDUCIDA TIPO AUTO-TRANSFORMADOR. Los arrancadores presentan un alto índice de falsos contactos, por no sustituir los contactos periódicamente o cuando se encuentran en mal estado. Los contactos pueden sufrir deterioro prematuro porque el aceite aislante se contamine perdiendo sus propiedades dieléctricas o por mala operación del usuario, provocando arqueo eléctrico entre ellos.

g) CONDUCTORES. Las instalaciones cuentan con calibres menores que lo técnicamente recomendado para su óptima operación.

h) MOTOR. Cuando se reparan utilizan conductores de me-

nor calibre que el adecuado, para las terminales que sirven de conexión al motor, presentándose con frecuencia falsos contactos o cortos circuitos en la caja de conexiones del motor.

i) EN EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA. También hay -- que considerar las variaciones de voltaje que en las redes o líneas de C F E se presentan, alterando los parámetros de potencia en los motores.

j) FALSOS CONTACTOS. Es una falla típica en cualquier -- sistema eléctrico, pero independientemente de cuál sea la causa que los provoca, y en qué parte se presenten, afecten al motor.

B) MECANICOS

a) RODAMIENTOS EN MAL ESTADO. En estos motores el rodamiento superior o de carga se lubrica con aceite y el rodamiento inferior o de guía se lubrica con grasa. En ocasiones no se utilizan lubricantes adecuados o no se hace el cambio periódicamente de acuerdo a especificaciones ocasionando desgaste en los rodamientos, provocando que el motor se arrastre o se frene.

b) EN LAS BOMBAS QUE ESTOS MOTORES IMPULSAN. Hay temporadas en que el nivel dinámico de los pozos sube, por lo que el caudal de extracción de agua aumenta, provocando que el motor se sobrecarge. En ocasiones, los pozos sufren derrumbes por lo que las bombas empiezan a extraer arena sobrecargando al motor, y por último, que la bomba tienda a frenarse por efectos de fricción.

C) OPERACION INADECUADA DEL EQUIPO

Son de consideración los daños que sufren los equipos si no se operan de acuerdo a las instrucciones especificadas, -- siendo el arrancador, el dispositivo que más reciente estas irregularidades, y con frecuencia los operadores son personas sin experiencia.

D) SERVICIO PREVENTIVO DEFICIENTE

El servicio preventivo que se les da a los equipos no -- tiene la eficiencia necesaria, como para en realidad evitar -- fallas posteriores.

E) TEMPERATURA AMBIENTE

En esta región es muy común que la temperatura ambiente alcance los 45 °C o más, incrementando la temperatura de operación de los dispositivos eléctricos, y por consiguiente aumentan las posibilidades de fallas.

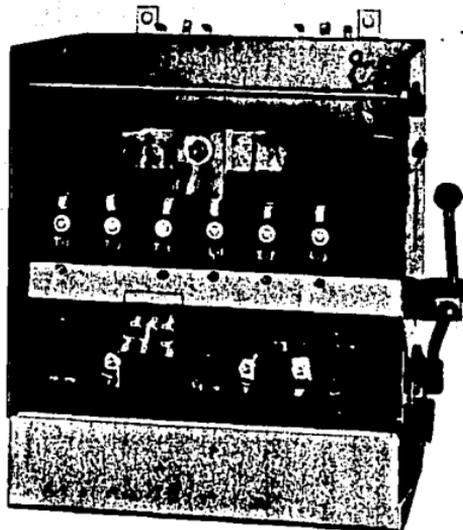
CONCLUSIONES

El diseño del protector electrónico, debe tener la capacidad de proteger contra sobrecarga, caída de fase, alto voltaje y bajo voltaje, porque independientemente de cuál sea la falla que se presente en el sistema eléctrico, son las cuatro formas principales en que el motor los detecta.

1.3 DATOS DE LOS TIPOS DE ARRANCADORES UTILIZADOS

Existen varios tipos diferentes de arrancadores para motores eléctricos, pero en estas instalaciones el único utilizado es el arrancador manual a tensión reducida, tipo auto-transformador, en las marcas: IEM, GE, y CH. La figura 1.2 -- corresponde al interior de un arrancador IEM.

El arrancador es un elemento que forma parte del sistema de control de la instalación eléctrica; por medio de este dispositivo el usuario ejecuta las operaciones de arranque y paro del motor. También viene equipado de fábrica con un relé vador térmico que ofrece protección contra sobrecarga y bajo voltaje al motor, pero es una protección poco satisfactoria. Por lo que el arrancador es donde se debe instalar al protector electrónico, pero de ninguna manera se eliminará la protección que ya tiene, únicamente hay que agregar el protector



92

Figura 1.2 Interior de un arrancador
I E M.

electrónico diseñado implicando un mínimo de modificaciones -
en el diagrama eléctrico original del arrancador.

A) PARTES PRINCIPALES DE UN ARRANCADOR MANUAL O VOLTAJE REDUCIDO

Cualquier arrancador manual a voltaje reducido sin impor-
tar la marca se compone de las siguientes partes principales:

Autotransformador.

Contactos móviles y fijos

Flechas con aislamiento portacontactos.

Mecanismos de operación .

Bobina de retención con su núcleo

Mango de la palanca de operación.

Botón de paro.

Tablero de conexiones.

B) INDICACIONES DE OPERACION

Al estar apagado el motor la palanca de operación permanece en la posición de reposo, al momento de arrancar el motor se mueve la palanca a la posición de arranque, es decir el motor está en ese momento conectado a través del autotransformador y debe permanecer en esta posición el tiempo necesario para que el motor acelere. Después se empuja la palanca a la posición de marcha, este movimiento desconecta el autotransformador y conecta el motor directamente a la línea, con las protecciones de sobrecarga y bajo voltaje.

C) BOBINA DE RETENCION

Al operar el arrancador y pasar la palanca a la posición de marcha se energiza la bobina de retención, sosteniendo la palanca en esa posición. La forma de parar el motor es desenergizando la bobina de retención, ya sea por medio del botón de paro o que el relevador de sobrecarga o bajo voltaje funcione. Dadas estas condiciones de operación, es obvio que el protector electrónico también debe desenergizar la bobina de retención en caso de falla para apagar el motor.

D) DIAGRAMA ELECTRICO Y CARACTERISTICAS DE BOBINA DE RETENCION EN. IEM, GE Y CH.

En el diagrama eléctrico se indica el circuito que debe abrir el protector electrónico cuando funcione, y se dan las

b) MARCA G E. La bobina de retención se conecta a 440 - volts y consume 0.5 amperes.

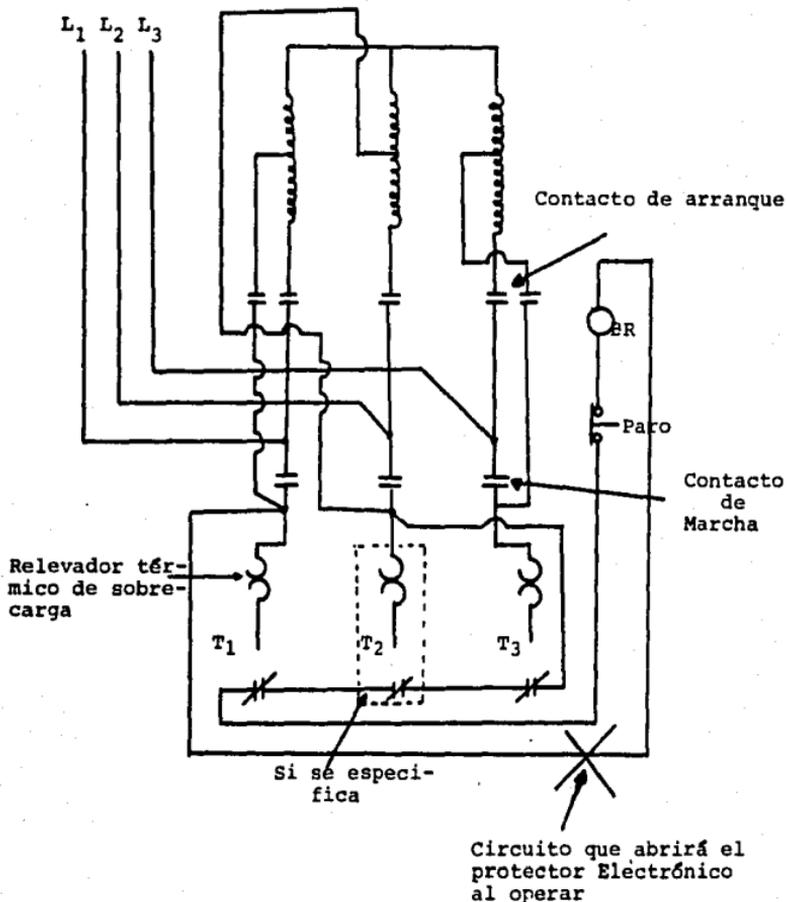
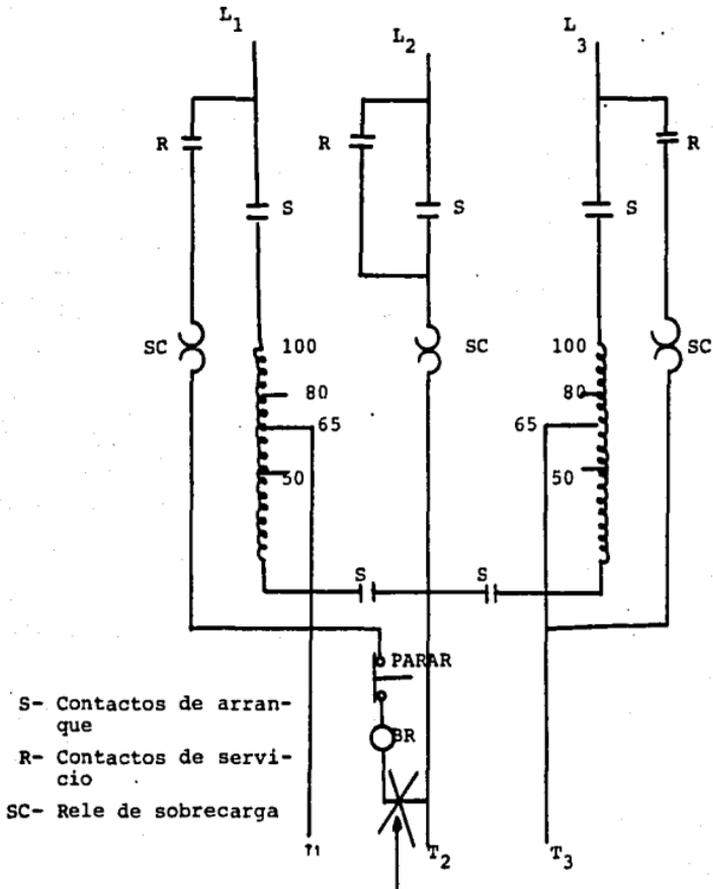


Figura 1.4. Diagrama eléctrico de un arrancador

G E

c) MARCA C H. La bobina de retención se conecta a 440 - volts y consume 0.5 amperes.



Circuito que abrirá el protector Electrónico al operar

Figura 1.5. Diagrama eléctrico de un arrancador C H

1.4. DATOS DE MOTORES

La protección se aplicará a motores de inducción, jaula-ardilla 60 Hz., volts, flecha hueca, verticales, en capacidades de 75 H.P. a 300 H.P.

Estos motores son de las marcas IEM, GE, FM, US, y todos son diseño nema B.

El diseño "B" corresponde a aquellos motores cuya corriente y par de arranque son normales, la figura 1.6 muestra entre 5 y 6 veces la corriente de plena carga.

El deslizamiento de estos motores a carga plena debe ser del 5 %

| Derivaciones | Par de arranque (% del par a plena tensión) | Corriente de arranque en la línea(% de la misma a plena tensión. |
|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 50 % | 25 | 28 |
| 65 % | 42 | 45 |
| 85 % | 64 | 67 |

La figura 1.7 muestra las características de arranque a tensión reducida.

La tabla 1.1 muestra los datos generales para éstos motores, y como nota adicional, mencionaremos que son manufacturados para operar correctamente a carga nominal bajo una variación de tensión de ± 10 %. El factor de servicio, el fabricante lo especifica en los datos de placa para cada motor, y puede tener un valor entre 1.0 y 1.15.

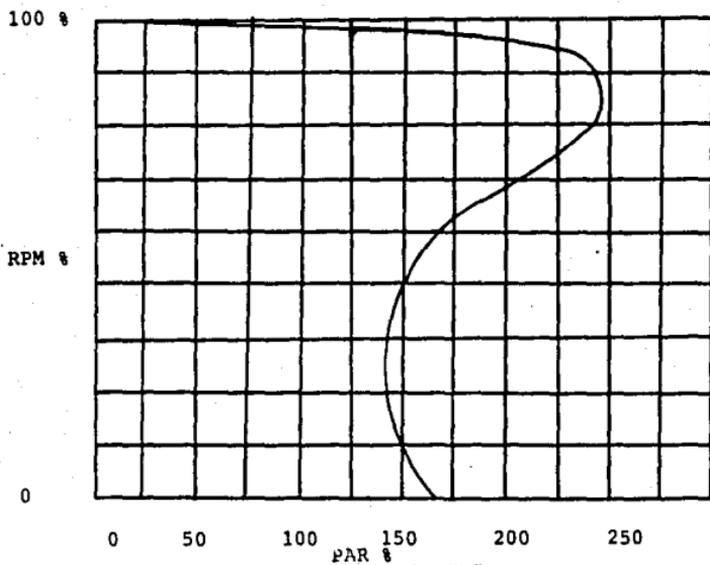
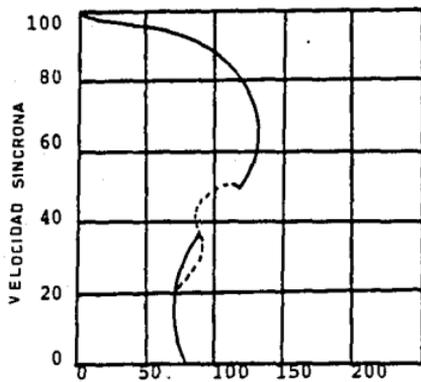


Figura 1.6 Diseño "B"



Par por ciento de plena carga

Figura 1.7. Características de arranque a tensión reducida con autotransformador

Tabla 1.1. Datos de motores

| H.P. | Volta- je V | Corri- ente a Plena carga A | Letra de Código | # po- los | Corriente de arranque nomi- nal a rotor bloqueado | Corrien- te a- rranque a ten- sión re- ducida 50 % | Corrien- te a- rranque a ten- sión re- ducida 65 % | Clase de Aislami- ento | Tipo rotor | # fases |
|------|-------------------|-----------------------------------------|-----------------------|--------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------|------------|
| 75 | 440 | 94 | B | 4 | 564 | 158 | 253 | B F H | jaula de A | 3 |
| 100 | 440 | 120 | B | 4 | 720 | 202 | 324 | B F H | jaula de A | 3 |
| 125 | 440 | 160 | B | 4 | 960 | 269 | 432 | B F H | jaula de A | 3 |
| 150 | 440 | 182 | B | 4 | 1092 | 306 | 491 | B F H | jaula de A | 3 |
| 200 | 440 | 238 | B | 4 | 1428 | 400 | 643 | B F H | jaula de A | 3 |
| 250 | 440 | 289 | B | 4 | 1734 | 486 | 780 | B F H | jaula de A | 3 |
| 300 | 440 | 330 | B | 4 | 1980 | 554 | 891 | B F H | jaula de A | 3 |

CAPITULO II

ANALISIS DEL SISTEMA ELECTRICO OPERANDO BAJO CONDICIONES DE FALLA Y FORMA DE DETECTARLAS.

En éste capítulo, por medio del análisis de las fallas - que se puedan presentar, indicaremos para cada caso, que tipo de detector permitirá la operación del dispositivo. Fundamentando así, las bases sobre las que se diseñará el protector electrónico. Una vez concluido el análisis tendremos una idea más clara de los componentes que formarán parte en el diseño del dispositivo, y el ¿ por qué ?.

La operación normal de un motor se puede alterar por -- cuatro fallas principales que son: Sobrecarga, caída de fase alto voltaje y bajo voltaje.

Para que el protector electrónico sea de fácil instalación y requiera un mínimo de elementos electrónicos para su construcción, diseñaremos un dispositivo capaz de detectar - cualquiera de las fallas antes mencionadas, sensando las condiciones de operación del motor (voltaje y corriente) en -- una de las tres fases que lo alimentan.

A continuación analizaremos una fase para determinar cómo se altera, al presentarse alguna falla en el sistema eléctrico.

2.1 SOBRECARGA

Cuando el motor se sobrecarga, la corriente se incrementa en las tres fases, ya que la potencia esta dada por . -- $P = \sqrt{3} V I$, donde V el voltaje de línea a línea e I es la corriente de línea, por lo que un detector de sobrecorriente - provocará el disparo del dispositivo.

2.2. CAIDA DE FASE

Pueden presentarse los siguientes casos:

- A) El sistema se queda en dos fases porque se abre una línea que alimenta al transformador como se muestra en la figura 2.1.

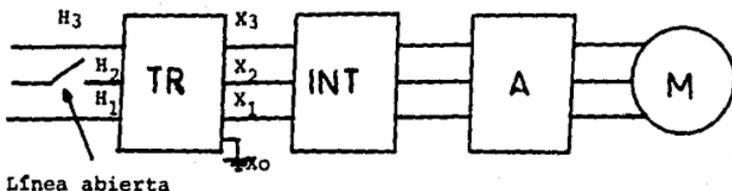


Figura 2.1.

UNA LINEA EN ALTA TENSION ABIERTA

En la figura 2.2 se muestra el diagrama de un transformador trifásico conectado en delta - estrella, con una línea en el primario abierta. Supongamos que tiene una relación de transformación igual a uno ($a = 1$) y su carga es un motor trifásico.

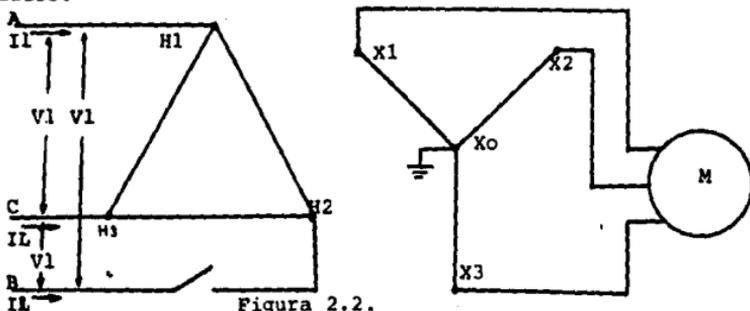


Figura 2.2.

CONEXION DELTA - ESTRELLA

El sistema deja de ser trifásico, quedando la fase H1 conectada directamente a las líneas A y C al igual que en condiciones normales de operación, pero las fases H2 y H3 quedan en serie a VL y en paralelo con la fase H1 como se muestra en la figura 2.3.

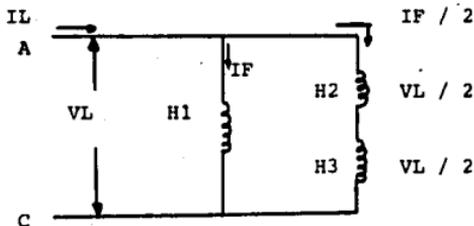


Figura 2.3.

CONEXION DELTA EN LA LINEA C ABIERTA

Las fases H2 y H3 forman un divisor de voltaje, por lo que a cada una le corresponde $1/2 VL$, mientras que el voltaje en H1 sigue siendo igual a VL.

La corriente en H1 es igual a I_f . Por otra parte como H2 y H3 se encuentra conectadas en serie al voltaje de línea VL, la impedancia entre éstas dos fases se duplica. Despejando de la ley de Ohm tenemos que $I = V/Z$, por lo que I es inversamente proporcional a Z. Entonces si Z se duplica el valor de la corriente será: $I/2$. por lo tanto la corriente que circule por H2 y H3 será igual a $I_f/2$.

En una conexión estrella, $V_f = VL/\sqrt{3}$ e $I_f = I_L$, pero si los resultados hasta ahora obtenidos, los referimos al secundario, los valores de corriente y voltaje serán como se muestra en la figura 2.4.

El análisis realizado es similar para cualquier línea que se abra por el primario del transformador.

La potencia que un transformador conectado en delta -estrella, entrega en condiciones normales de operación es: $P_T = 3 V_f I_L$ donde $V_f = VL/\sqrt{3}$, pero para los valores de I_L y V_f mos

trados en la figura 2.4, la potencia sera:

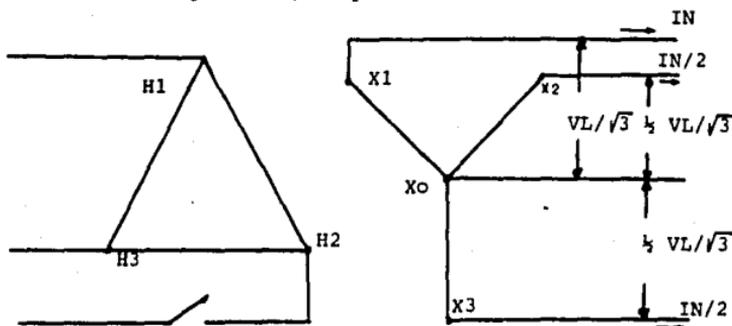


Figura 2.4.

VALORES DE CORRIENTE Y VOLTAJES EN EL SECUNDARIO
CUANDO SE ABRE UN LINEA EN EL PRIMARIO

$$P_T = V_f I_N + V_f/2 I_N/2 + V_f/2 I_N/2$$

$$P_T = 1.5 V_f I_N$$

Por lo que la potencia de tener un valor: $P_T = 3 V_f I_N$, cae a la mitad de su valor: $P_T = 1.5 V_f I_N$.

Ahora, si queremos que el sistema desarrolle la potencia nominal con una fase caída, la única forma es que la corriente se duplique de los valores mostrados en la figura 2.4, para tomar los valores ilustrados en la figura 2.5.

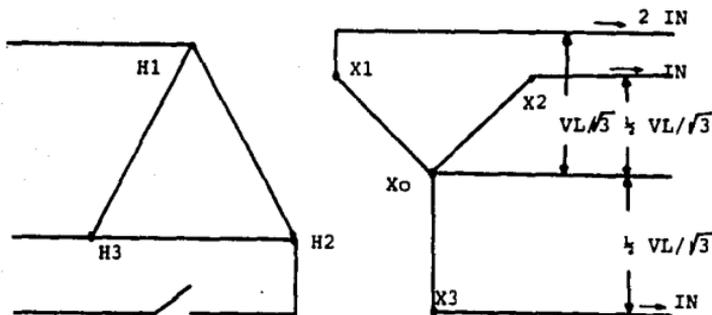


Figura 2.5.

CALCULANDO LA POTENCIA CON LOS VALORES DE LA FIGURA 2.5
TENEMOS:

$P_T = 2 I_N V_f + V_f/2 + I_N + V_f/2 I_N = 3 V_f I_N$, comprobando así que el valor de la potencia es igual que el calculado en condiciones normales de operación.

En la tabla 2.1, daremos los valores de corriente y voltaje en el secundario, cuando se abra alguna de las tres líneas que alimentan al primario del transformador. Para esto consideraremos que el motor debe sostener su carga nominal en esas condiciones de falla. También consideraremos que antes de la falla el motor operaba con un voltaje nominal de línea V_L y una corriente nominal de línea I_N . Estas consideraciones las seguiremos tomando en cuenta en análisis posteriores.

| LINEA ABIERTA | H1 | H2 | H3 |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Corriente X1 | I_N | I_N | $2I_N$ |
| Corriente X2 | $2I_N$ | I_N | I_N |
| Corriente X3 | I_N | $2I_N$ | I_N |
| Voltaje X0-X1 | $1/2 V_L/\sqrt{3}$ | $1/2 V_L/\sqrt{3}$ | $V_L/\sqrt{3}$ |
| Voltaje X0-X2 | $V_L/\sqrt{3}$ | $1/2 V_L/\sqrt{3}$ | $1/2 V_L/\sqrt{3}$ |
| Voltaje X0-X3 | $1/2 V_L/\sqrt{3}$ | $V_L/\sqrt{3}$ | $1/2 V_L/\sqrt{3}$ |

Tabla 2.1.

VALORES DE CORRIENTES Y VOLTAJES AL ABRIRSE ALGUNA LINEA QUE ALIMENTA AL PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR .

Arbitrariamente seleccionaremos la fase X1 para colocar el sensor de corriente y voltaje (X0 - X1). De acuerdo a los datos de la tabla 2.1 veremos que valores detectarán cuando se abra H1, H2, H3:

- a) LINEA H1 ABIERTA. La corriente en X1 tiende a ser la nominal, pero el voltaje (X0 - X1) cae a la mitad de su valor, por lo tanto con un detector de bajo voltaje operará el dispositivo.

- b) LINEA H2 ABIERTA. Sucede lo mismo que cuando se abre H1.
- c) LINEA H3 ABIERTA. En éste caso el voltaje nominal tiende a permanecer constante en X1, pero la corriente se incrementa al doble, por lo tanto el detector de sobrecorriente opera.

B) Siguiendo con el análisis de caída de fase, consideraremos dos regiones en el sistema eléctrico, divididas por el punto donde se instalan los sensores, tal como se ilustra en la figura 2.6.

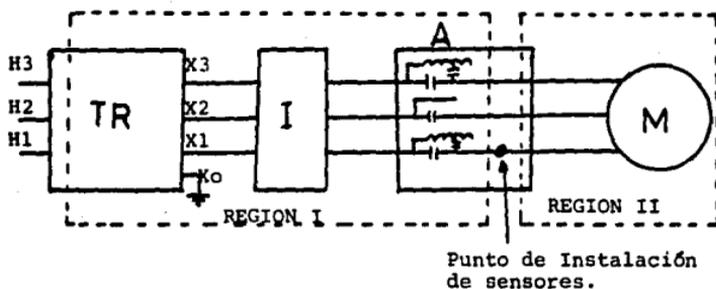


Figura 2.6.

SISTEMA ELECTRICO DIVIDIDO POR EL PUNTO DE INSTALACIÓN DE -- LOS SENSORES

a) Cuando la caída de fase se presenta en la región I), que corresponde a una parte de la instalación comprendida entre los devanados de alta tensión del transformador, hasta antes del punto que se ha elegido para conectar los sensores, el sistema queda como se muestra en la figura 2.7.

Un sistema operando como el mostrado en la figura 2.7, el motor se alimenta por X2 y X3, en las cuales la corriente se incrementa a un valor de $\sqrt{3}$ IN, mientras que en X1 la corriente es cero. Pero el voltaje medido del punto de colocación de los sensores al neutro (Xo - X1), tendrá un valor de $1/2 VL/\sqrt{3}$ por la conexión eléctrica que existe a través de la carga.

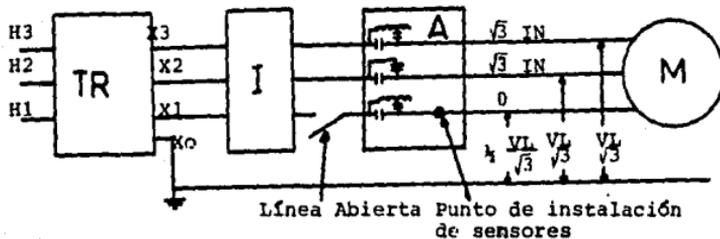


Figura 2.7.

SISTEMA ELECTRICO CON UNA LINEA ABIERTA

Si la fase que se cae es X2 o X3, el análisis es similar al realizado para la fase X1 caída. En la tabla 2.2 se resumen todos los resultados posibles.

| LINEA ABIERTA | X1 | X2 | X3 |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Corriente X1 | 0 | $\sqrt{3}$ IN | $\sqrt{3}$ IN |
| Corriente X2 | $\sqrt{3}$ IN | 0 | $\sqrt{3}$ IN |
| Corriente X3 | $\sqrt{3}$ IN | $\sqrt{3}$ IN | 0 |
| Voltaje Xo-X1 | $1/2 VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ |
| Voltaje Xo-X2 | $VL/\sqrt{3}$ | $1/2 VL/\sqrt{3}$ | $V1/\sqrt{3}$ |
| Voltaje Xo-X2 | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ | $1/2 VL/\sqrt{3}$ |

Tabla 2.2.

VALORES DE VOLTAJES Y CORRIENTE CUANDO UNA LINEA SE ABRE

Arbitrariamente seleccionaremos la fase X1, para colocar el sensor de corriente y voltaje (x0 -x1), como se hizo anteriormente. Por los datos mostrados en la tabla 2.2, veremos que valores detectan los sensores cuando se abra: X1, X2, X3.

1) LINEA X1 ABIERTA. La corriente en X1=0 y el voltaje Xo-X1-

cae a la mitad de su valor, por lo tanto opera el detector de bajo voltaje.

2) LINEA X2 ABIERTA. La corriente en X1 se incrementa mientras que el voltaje X0-X1 tiende a permanecer constante, por lo tanto opera el detector de sobrecorriente.

3) LINEA X3 ABIERTA. Es el mismo caso que cuando se abre X2.

b) Por último analizaremos el sistema cuando se abre una fase en la región II), mostrada en la figura 2.6 que corresponde a la parte de la instalación comprendida entre el punto donde se instalan los sensores, hasta el motor. El sistema queda operando como se muestra en la figura 2.8.

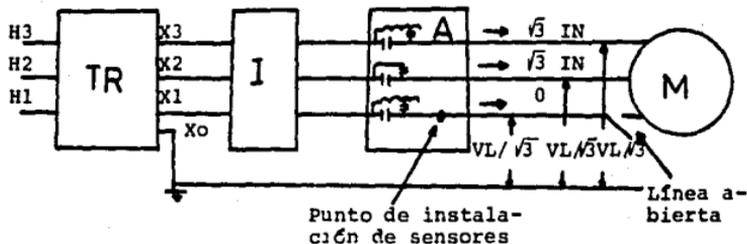


Figura 2.8.

LINEA ABIERTA EN CAJA DE CONEXIONES DEL MOTOR

La tabla 2.3 nos da los valores de corriente y voltaje los sensores detectan para este caso.

Observando los valores de la tabla 2.3, vemos que cuando la falla se presente en la región II), el voltaje que el sensor detecta no varían ya que la línea se abrió después de donde se encuentra conectado, pero las corrientes si sufren incrementos y decrementos. Por lo que será necesario que el protector cuente con un detector de corrientes mucho menores que la I_N . Para nuestro caso asignaremos un valor arbitrario de 45 amperes, que corresponde aproximadamente al 50 % de la

corriente nominal que consume el motor de menor capacidad -- que pretendemos proteger

| LINEA ABIERTA | X1 | X2 | X3 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Corriente X1 | 0 | $\sqrt{3}$ IN | $\sqrt{3}$ IN |
| Corriente X2 | $\sqrt{3}$ IN | 0 | $\sqrt{3}$ IN |
| Corriente X3 | $\sqrt{3}$ IN | $\sqrt{3}$ IN | 0 |
| Voltaje Xo-X1 | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ |
| Voltaje Xo-X2 | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ |
| Voltaje Xo-X3 | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ | $VL/\sqrt{3}$ |

Tabla 2.3

VALORES DE CORRIENTES Y VOLTAJES

(75 H.P.). Esto lo hacemos porque al abrirse la fase X1 en la caja de conexiones del motor como se ilustra en la figura 2.8, supuestamente la corriente que el sensor detecte será cero, pero si se da el caso de que en esa misma fase se encuentran conectados algunos dispositivos de control como: Bobina de retención, lámpara indicadora, reloj, protector electrónico, etc., la fase los podrá seguir alimentando porque se encuentra abierta después de donde éstos dispositivos están conectados. Por lo tanto sí fluirá una pequeña corriente en la fase, que no será mayor a 5 amperes, pero para evitar posibles errores, fijaremos el límite de la menor corriente permisible por el dispositivo detector en 45 amperes.

Como hasta ahora lo hemos hecho, supongamos que los sensores se colocan en X1 y se abre alguna línea:

- 1) LINEA X1 ABIERTA, La corriente en X1 = 0, por lo tanto opera el detector de corriente menor a 45 amperes.
- 2) LINEA X2 ABIERTA. La corriente en X1 se incrementa y opera el detector de sobrecorriente.
- 3) LINEA X3 ABIERTA. Sucede lo mismo que cuando se abre X2.

2. 3. ALTO VOLTAJE Y BAJO VOLTAJE

Limitaremos el protector electrónico a detectar alto -- voltaje y bajo voltaje, en una sola fase para facilitar su - instalación y que su costo de fabricación sea menor. Los de- tectores serán ajustados para operar a un $\pm 10 \%$ del voltaje nominal, ya que es lo permisible para estos motores, según - lo especificado por los fabricantes en los manuales de apli- cación y mantenimiento.

NOTA:

En todos los casos, el análisis se efectuó suponiendo - que los sensores se colocaron en X1, pero si se colocan en - X2 o X3 su funcionamiento será similar que el analizado para X1, por lo tanto se podrá elegir cualquier fase para insta- larlos.

CONCLUSIONES

Para detectar las fallas antes mencionadas en un motor- a través de una sola fase, es necesario sensar corriente y - voltaje en la misma fase y que el dispositivo electrónico -- tenga la capacidad de determinar si la corriente y voltaje - sensados, son normales para la operación óptima del motor, - o de lo contrario que lo desconecte del sistema para evitar- que sufra daños. También se deduce en el análisis de éste ca- pítulo, que el protector electrónico, para cumplir con su -- función, debe componerse de 5 partes principales que son:

- 1.- Sensores de corriente y voltaje.
- 2.- Detector de sobrecorriente
- 3.- Detector de corriente menor a 45 amperes.
- 4.- Detector de alto voltaje

5.- Detector de bajo voltaje.

CAPITULO III

DISEÑO DEL PROTECTOR ELECTRONICO

En el análisis de fallas realizado en el capítulo II, deducimos los componentes principales de deben formar parte en el diseño del protector electrónico. En el diagrama de bloqueo de la figura 3.1, se representa como será la operación y diseño del dispositivo.

El desarrollo de éste capítulo, consiste en calcular y seleccionar los elementos electrónicos necesarios para la construcción de cada bloque mostrado en la figura 3.1, que en conjunto complementan el protector electrónico.

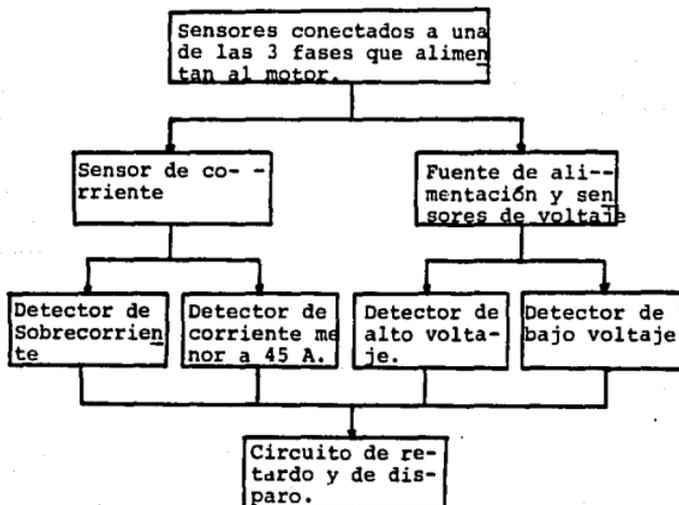


Figura 3.1.

DIAGRAMA DE BLOQUEO PARA EL DISEÑO DEL PROTECTOR.

3.1. SENSOR DE CORRIENTE

Para sensar corriente hemos seleccionado un sensor de Efecto Hall, el cual es un transductor que por principio de funcionamiento, convierte la señal de corriente detectada en una señal de voltaje.

Este dispositivo es un circuito integrado UGN 350 1M in crustado en el entrehierro de un toroide como se muestra en la figura 3.2.

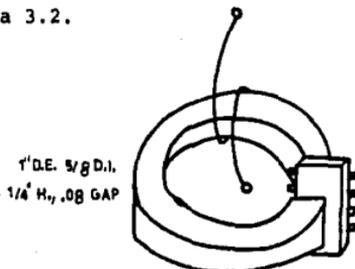


Figura 3. 2

SENSOR DE CORRIENTE

Los datos que el fabricante especifica son: La salida de voltaje es función de la inducción magnética que se genera en el toroide, por la corriente que circula por el conductor, siendo 5.6 Gauss por amper-vuelta. La figura 3.3 es una gráfica que nos muestra la salida de voltaje en función de B. Como podemos observar, es una función completamente lineal para un amplio margen de valores de B, y por consiguiente es lineal para un amplio margen de corriente detectadas, que es como se requiere en nuestro diseño.

El voltaje de alimentación para el C.I. puede ser de 8- a 16 Vcc, la corriente de salida máxima son 2MA, el rango de frecuencia es de 0 a 25 KHz y opera a una temperatura ambiente de 0 a 70 °C .

Para la aplicación que ahora le daremos al C.I., el fabricante nos proporciona la forma de realizar las conexiones y se muestra en la figura 3.4.

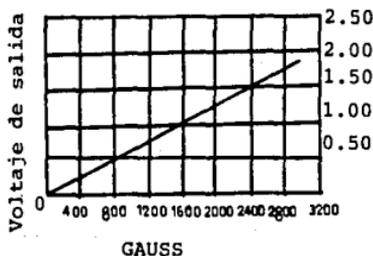


Figura 3.3

GRAFICA DEL VOLTAJE DE SALIDA EN FUNCION DE LOS GAUSS GENERADOS.

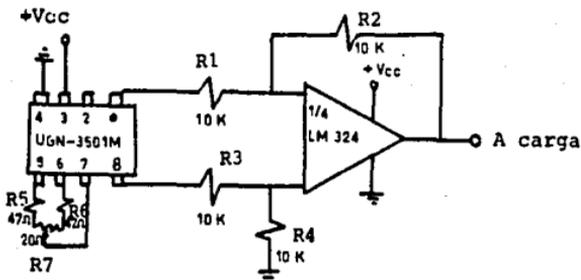


Figura 3.4.

CIRCUITO ELECTRONICO DEL SENSOR DE CORRIENTE.

Como el diseño del protector electrónico, requiere que el sensor sea un elemento independiente de los otros componentes del dispositivo, para que al momento de aplicarlo a los sistemas eléctricos sea de fácil instalación evitando -- problemas de espacio, realizaremos la conexión como se muestra en la figura 3.5. Utilizaremos un cable multiconductor -- con una longitud de un metro y 9 puntas disponible. Los cables rojo y blanco posteriormente discutiremos su aplicación

El op-amp 1 utilizado como un amplificador inversor, -- tiene la función de proporcionar nos una sola salida de señal con referencia a tierra, para manejar la carga. Como $R1 = R2$ $V_{ent} = V_{sal}$, con una forma de media onda.

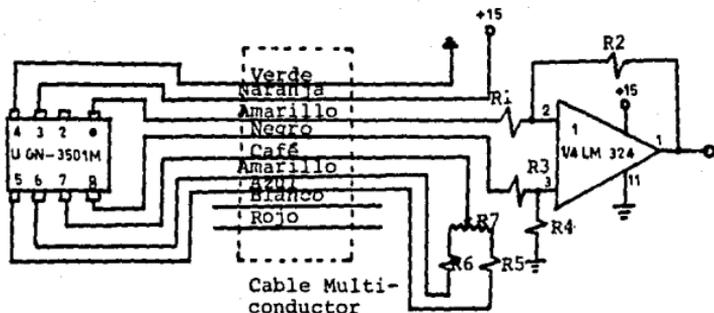


Figura 3.5.

CIRCUITO ELECTRONICO DEL SENSOR DE CORRIENTE

En la tabla 3.1 resumiremos los valores de voltaje que el C.I. proporciona para los diferentes valores de corriente detectadas. La tabla se compone de las siguientes columnas:

COLUMNA I. Capacidad del motor (H.P.).

COLUMNA II. Corriente nominal a plena carga (amperes).

COLUMNA III. Corriente nominal incrementada en un 2 %.

1. Corriente (amperes)
 2. Gauss detectados por el C.I. para éstas corrientes (gauss)
 3. Voltaje de salida que el C.I. proporciona por los gauss detectados (volts)
- * Valores calculados cuando la corriente es -- igual a 45 A.

COLUMNA IV. Valores del 13 % de la corriente nominal

1. Corriente (amperes)
2. Gauss detectados por el C.I. para éstas corrientes (gauss)
3. Voltaje de salida que el C.I. proporciona por los gauss detectados (volts).

NOTA:

Posteriormente veremos la aplicación de los datos de estas columnas.

| COLUMNAS | | | | | | | |
|----------|-----|-----|--------|-------|-------|--------|-------|
| I | II | III | | | IV | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 75 | 94 | 96 | 537.6 | 0.336 | 12.22 | 68.432 | .0427 |
| 100 | 120 | 123 | 688.8 | 0.430 | 15.6 | 87.36 | .0546 |
| 125 | 160 | 163 | 912.8 | 0.570 | 20.8 | 116.48 | .0728 |
| 150 | 182 | 186 | 1041.6 | 0.651 | 23.66 | 132.49 | .0828 |
| 200 | 240 | 245 | 1372 | 0.857 | 31.2 | 174.72 | .1092 |
| 250 | 280 | 285 | 1601.6 | 1.001 | 36.4 | 203.84 | .1274 |
| 300 | 330 | 337 | 1887.2 | 1.179 | 42.9 | 240.24 | .1501 |
| | | 45 | 252 | 0.157 | | | |

Tabla 3.1.

VOLTAJES QUE EL SENSOR DE CORRIENTE PROPORCIONA

3.2. DETECTOR DE SOBRECORRIENTE

Todos los detectores se construirán a base de ops-amps-BIFET, cuyas etapas de entrada son de JFET y las siguientes de transistores bipolares. Con los JFET de entrada, las corrientes de polarización son tan pequeñas que no se necesita compensación resistiva, además son de bajo costo. Para nuestro caso utilizaremos 2 circuitos integrados TLO 84 CN que se componen de 4 ops-amps cada uno como se muestra en la figura 3.6, para distinguirlos en el circuito les daremos la numeración mostrada en la figura.

Para que el detector de sobrecorriente opere adecuadamente, utilizaremos el op-amp 2 funcionando como comparador.

El ajuste de este detector será de tal forma que opere cuando en los motores exista un incremento del 2 % de la corriente nominal, asegurando así que el motor podrá trabajar consumiendo su corriente nominal. El dispositivo contará con un ajuste adicional para que permita al motor trabajar con un incremento máximo del 15 % de su corriente nominal, para que el usuario tenga la opción de trabajar su motor un poco sobrecargado o si el factor de servicio especificado en los datos de placa del motor lo permite.

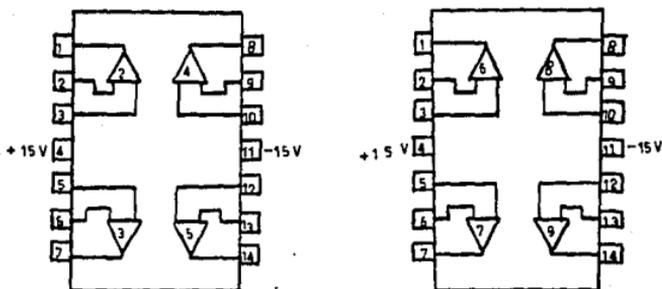


Figura 3.6.

CIRCUITOS INTEGRADOS TLO 84 CN

Como el sensor de corriente manda señal de voltaje al comparador, por medio de divisores de voltajes fijaremos los voltajes de referencia en el comparador para cada caso. Por ejemplo, fijando un voltaje de referencia en el comparador como se muestra en la figura 3.7, tendremos un voltaje de salida (V_{sal}), cuando el detector de sobrecorriente manda un voltaje mayor que el de referencia. El voltaje de referencia esta dado por:

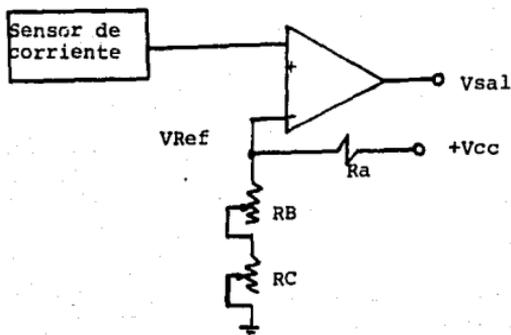


Figura 3.7.

OP - AMP UTILIZADO COMO COMPARADOR

$$V_{REF} = \frac{R_B + R_C}{R_A + R_B + R_C} V_{CC}$$

Para R_A asignaremos un valor arbitrario de 2 K . Con R_B ajustaremos el voltaje de referencia al voltaje que el detector de sobrecorriente manda cuando el motor se sobrecarga en un 2 %, éstos valores de voltaje se muestran en la columna III.3 de la tabla 3.1. Con R_C se podrá incrementar el voltaje de referencia en los valores mostrados en la columna IV.3 de la tabla 3.1. Por medio de R_C el usuario podrá ajustar el detector para que permita trabajar al motor hasta un máximo del 15 % de sobrecarga. Por lo que el dispositivo presentará 7 resistencias variables, indicando en cada una la capacidad de motor a la que corresponde.

En la tabla 3.2, ilustraremos los valores que debe tener R_B y R_C para las diferentes capacidades de motores, con

base en los valores de voltajes que nos da la tabla 3.1.

La tabla 3.2 está compuesta de las siguientes columnas:

COLUMNA I. Capacidad de motores (H.P.)

COLUMNA II. Voltajes que el sensor de corriente manda al op-amp 2 cuando los motores se sobrecargan al 2 % -- (volts)

COLUMNA III. Valores que debe tener R_B para fijar el voltaje de referencia que nos da la columna II (Ohms).

COLUMNA IV. Incremento en el voltaje de referencia para que el op-amp 2 permita que los motores trabajen a un 15 % de sobrecarga (volts).

COLUMNA V. Valores que debe tomar R_C para conseguir el incremento de voltaje mostrado en la columna IV -- (ohms).

| COLUMNAS | | | | |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| I | II | III | IV | V |
| 75 | 0.336 | 45.8 | 0.0427 | 5.8866 |
| 100 | 0.430 | 59.06 | 0.0546 | 7.417 |
| 125 | 0.570 | 79.05 | 0.0728 | 9.986 |
| 150 | 0.651 | 90.79 | 0.0828 | 11.436 |
| 200 | 0.857 | 121.21 | 0.1092 | 15.417 |
| 250 | 1.001 | 145.07 | 0.1274 | 18.405 |
| 300 | 1.179 | 170.86 | 0.1501 | 21.594 |

Tabla 3.2.

VALORES DE R_B Y R_C

Con los valores de R_B y R_C que nos dan las columnas - III y V de la tabla 3.2, para las diferentes capacidades de motores, y con un valor constante de $R_A = 2\text{ K}$ para todos los casos, construiremos 7 divisores de voltajes. Los 7 divisores quedarán conectados a un interruptor cambiador de 7 posiciones, que tendrá la función de conectar a tierra a cada uno de los divisores por separado. En el interruptor de 7 posiciones o selector, se indicará la capacidad del motor correspondiente a cada posición. Así que por medio del interruptor cambiador el usuario ajustará el protector electrónico de acuerdo a la capacidad de su motor. Con éste conseguiremos que un mismo dispositivo tenga aplicación en todas las capacidades de motores ya mencionadas. En la figura 3.8 se muestra el circuito.

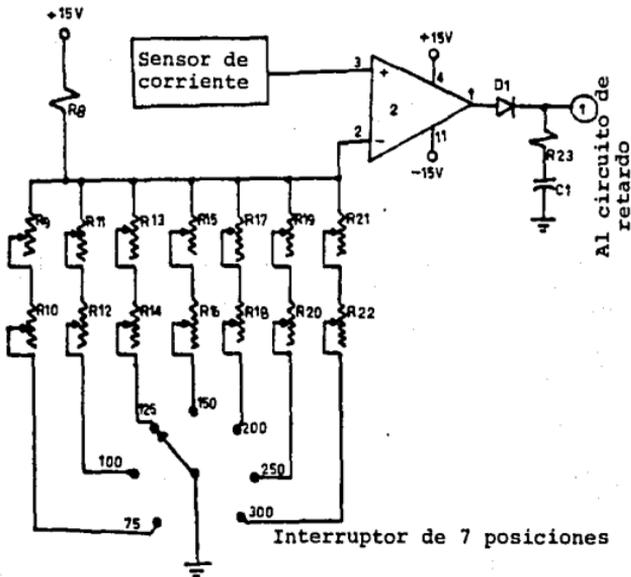


Figura 3.8.

CIRCUITO DETECTOR DE SOBRECARGA.

R8 corresponde a R_A de la figura 3.7 y como ya mencionamos tiene un valor de 2 K.

R9, R11, R13, R15, R17, R19, R21, corresponden a los valores de R_B obtenidos en la columna III de la tabla 3.2.

R10, R12, R14, R16, R28, R20, R22, corresponden a los valores de R_C obtenidos en la columna V de la tabla 3.2 .

Con $R23 = 280\Omega$ limitamos la corriente del op-amp en el momento que C1 se carga, la máxima corriente será: $15/280 = .05$ A. y por lo tanto no afecta al op-amp.

Por medio de D1, R23, y C1 presentaremos un voltaje constante de aproximadamente 14 V al circuito de retardo.

El circuito de retardo que posteriormente lo veremos ,-- presentará una carga mínima de 150 K al op-amp 2. Como tenemos una salida de media onda en el op-amp 2 el período se define

$$T = \frac{1}{60} = 16.66 \text{ m s}$$

Para que el rizado sea despreciable necesitamos una constante de tiempo grande, se recomienda al menos 10 veces más, es decir

$$\begin{aligned} 150 \times 10^3 C1 &= 166.6 \text{ m s} \\ C1 &= 1.1 \text{ MF} \end{aligned}$$

El diodo rectificador aplicado es el ECG 177 que tiene un VR 200 V y una $I_0 = 160$ mA.

3.3. DETECTOR DE CORRIENTE MENOR A 45 AMPERES

Para detectar cuando el valor de la corriente sea menor a 45 amperes, y que opere el dispositivo, utilizaremos un circuito compuesto por 2 op-amp (3 y 4) como se muestra en la figura 3.9

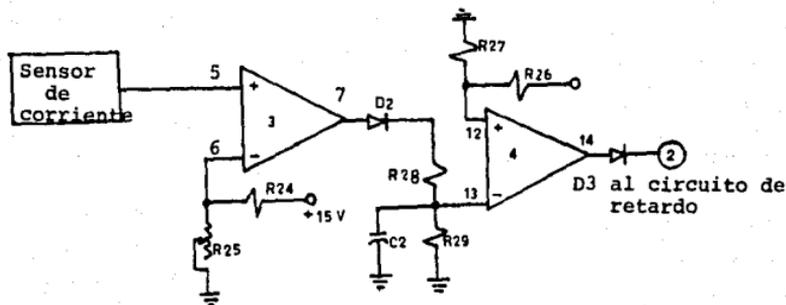


Figura 3.9.
CIRCUITO DETECTOR DE CORRIENTE MENOR A 45
AMPERES

Con el divisor de voltaje formado por R24 y R25 fijamos un voltaje de referencia de 0.15 V. Cuando el sensor de corriente envía una señal de voltaje con este valor, significa que la corriente sensada es de 45 amperes según lo visto en la tabla 3.1.

Con los valores de R26 y R27 también formamos un divisor de voltaje con el cuál fijamos un voltaje de referencia de 8 V en la entrada (+) del op-amp 4.

Con R28 y R29 formaremos un divisor de voltaje para fijar un voltaje de 12 V en la entrada inversora del op-amp 4 cuando el op-amp 3 está encendido.

C2 es para mantener un voltaje constante en la entrada inversora del op-amp 4, y por medio de R29 nos aseguramos que se descargara cuando el op-amp 3 se apague.

VALORES DE CADA ELEMENTO

R24 y R26, tendrán un valor arbitrario de 2 K . Para -- que R25 genere una caída de 0.15 V debe ajustarse a un valor de 20.20 Ω . Por otra parte para que en R27 la caída de volta je sea de 8 V debe tener un valor de 2.3K Ω . R28 tendrá el -- mismo valor de R23 mostrado en la figura 3.8, para limitar - la corriente del op-amp. Fijando el valor de R28 = 280 Ω , el valor de R29 tiene que ser de 1.68 K, para que genere una -- caída de voltaje de 12 V.

Como el op-amp 3 presenta un Vsal de media onda, el pe- ríodo se define:

$$T = \frac{1}{60} = 16.66 \text{ ms}$$

Para que el rizado sea despreciable necesitamos tener - una constante de tiempo grande, R29C2 debe ser mucho mayor - que 16.66 ms. al menos 10 veces más, es decir.

$$R_{29} C_2 = 166.6 \text{ ms}$$

$$\text{Como } R_{29} = 1680 \Omega$$

$$1680 C_2 = 166.6 \text{ ms}$$

$$C_2 = 99 \mu\text{F}$$

Utilizaremos un capacitor de 100 μf .

Para los diodos rectificadores D2 y D3 aplicaremos el - ECG 177 que en la sección 3.2 se dan sus características.

El circuito de la figura 3.9 opera de la siguiente mane- ra: Cuando la corriente en el sensor es mayor a 45 A, éste - manda una señal de voltaje mayor s 0.15 V, por consiguiente- el op-amp 3 tendrá un voltaje de salida con una forma de me- dia onda cuadrada, que por medio de R28, R29, y C2 podremos - presentar un voltaje constante de 12 V en la entrada inverso ra del op-amp 4, puesto que por la entrada (+) el op-amp 4 -

tiene un voltaje de referencia de 8 V, entonces permanecerá apagado. Si por el contrario la corriente en el sensor es menor de 45 A, mandará una señal menor a 0.15 provocando -- que el op-amp 3 se apague. Entonces en cuanto se descargue C2, la entrada inversora del op-amp 4 quedará referida a tierra, por lo que el voltaje mayor será en la entrada (+) del op-amp 4 y éste se encenderá mandando un voltaje constante - de aproximadamente 14 V al circuito de retardo .

3.4 FUENTE DE ALIMENTACION Y SENSORES DE VOLTAJE

Los detectores de alto voltaje (A.V.) y bajo voltaje - - (B.V), se conectarán a la fuente de voltaje que alimentará - al circuito en general ya que el voltaje en la fuente antes de regularlo, es proporcional al voltaje que alimenta al motor.

FUENTE DE ALIMENTACION

La fuente de alimentación se compone de tres partes - - principales: Transformador, circuito rectificador, y circuito regulador.

La fuente seleccionada debe entregar un voltaje de salida de + 15 V regulados, para un amplio margen de variación - en el voltaje de entrada.

Como los motores para su operación permiten una variación de + 10 % en el voltaje de alimentación, para la fuente seleccionaremos un regulador de voltaje que permita una - una variación en el voltaje de entrada de + 33 %, que esta encima de la variación de voltaje al que el motor puede operar . La figura 3.10, corresponde al circuito de la fuente - de alimentación que aplicaremos.

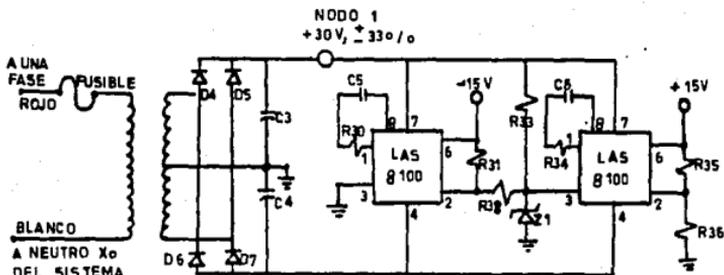


Figura 3.10.
FUENTE DE ALIMENTACION

En la figura 3.5 dejamos 2 cables pendientes (rojo y -- blanco), pues bien, el cable rojo conectará una salida del transformador de la fuente de alimentación, a una fase que alimenta al motor, y el cable blanco conectará la otra punta a Xo o neutro del sistema eléctrico, tal como se muestra en la figura 3.10. Con este arreglo el primario de transformador recibe un voltaje de $440/\sqrt{3} = 254$ V. El voltaje en el secundario será de 60 V con derivación central y una capacidad de corriente de un amper, el fusible en la entrada es de 250 V, 2 A.

Los diodos rectificadores D4, D5, D6, D7, puede ser cualquier diodo que soporte una corriente de 1 A y un VR de por lo menos 100 V. Utilizaremos el 1N4003 que soporta un $V_r=200$ V y una $I_o = 1$ A.

Los capacitores C3 y C4 tienen la función de atenuar el rizado del voltaje rectificado los valores de estos capacitores son de 1000 uf, 50 V.

Los reguladores LAS 8100 con el arreglo mostrado en la figura 3.10, es una aplicación típica que el fabricante especifica, C5 y C6 = 10 F, R30 y R34 = 220Ω, R31 = 9.1 K, R32 = 3.7 K, R33 = 1 KΩ, R36 = 6.2 K, el diodo zener Z1 es el 1N 753 A, y los reguladores LAS 8100 proporcionan un voltaje de salida de ± 15 V con capacidad de entregar a la carga hasta 3 A.

3.5 DETECTORES DE ALTO VOLTAJE Y BAJO VOLTAJE

En la fuente de alimentación distinguiremos 2 valores de voltaje positivos diferentes:

1). El voltaje que nos proporciona la fuente en el NODO 1 mostrado en la figura 3.10, que es un voltaje rectificado no regulado con un valor nominal de 30 V.

2). El voltaje regulado de + 15 V que el regulador nos proporciona. el circuito de la figura 3.11 corresponde a los detectores de A. V. y B.V. Los op-amp 5 y 6 comparan el voltaje No regulado para detectar A.V. y B.V. respectivamente.

DETECTOR DE ALTO VOLTAJE

Con R37 y R38 = 2 K, fijamos un voltaje de 7.5 V en la entrada (-) del op-amp 5. Cuando el voltaje de línea que alimenta al motor se incrementa en un 10 %, el voltaje en el NODO I de la fuente tomará un valor de 33 V. Entonces con R39 y R40 alimentados con un voltaje de 33 V, fijamos un voltaje de 7.5 V en la entrada (+) del op-amp 5. A R39 le dare-

No Regulados

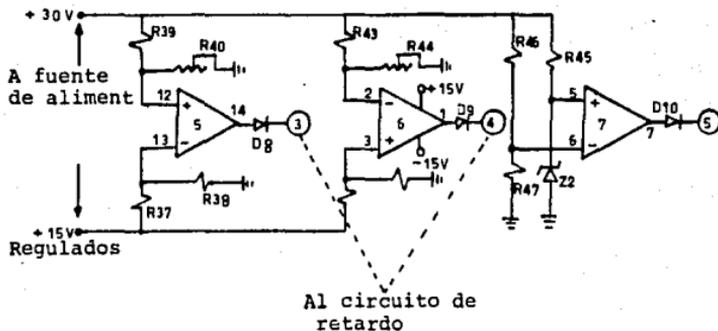


Figura 3.11

DETECTOR DE ALTO VOLTAJE Y BAJO VOLTAJE

remos un valor arbitrario de 4 K y R40 debe tomar un valor de 1176.4Ω . Con los valores obtenidos, cuando el voltaje se incremente por encima del 10 %, el voltaje en la entrada (+) del op-amp 5 será mayor, y éste se encenderá mandando un voltaje de aproximadamente 14 V al circuito de retardo.

DETECTOR DE BAJO VOLTAJE

Dándole un valor a R41 y R42 de 2 K fijamos un voltaje de 7.5 V en la entrada (+) del op-amp 6. Cuando el voltaje de línea que alimenta al motor sufre un decremento del 10%, el voltaje en el NODO 1 de la fuente es igual a 27 V. Con R43 y R44 alimentados con un voltaje de 27 V fijaremos un voltaje de 7.5 V en la entrada (-) del op-amp 6. A R43 le damos un valor arbitrario de 4 K y R44 debe tomar un valor de 1538.4Ω . cuando el voltaje sufra un decremento por debajo del 10 %

el voltaje en la entrada (-) del op-amp 6 será menor que el voltaje de referencia de la entrada (+), por lo tanto el op-amp 6 se encenderá mandando un voltaje de aproximadamente 14 V al circuito de retardo

Con el op-amp 7 proporcionaremos un disparo instantáneo cuando el voltaje de línea sea menor al 30 % por ser un voltaje en el cual los reguladores de voltaje no sostienen el voltaje regulado de ± 15 V. Por medio de R45 y Z2 fijamos un voltaje de referencia de 6.2 V en la entrada (+) del op-amp 7 y con R46 y R47 formamos un divisor de voltaje para fijar un voltaje en la entrada (-). R45 limita la corriente por Z2 y tendrá un valor de 10 K , Z2 es el 1N573 A, que tiene un voltaje zener $V_z = 6.2$ V y una potencia de .5 W. Cuando el voltaje en la línea sufra un decremento del 30 %, el voltaje en el NODO 1 de la figura 3.11 será de 21 V. Entonces con R46 y R47 alimentados con un voltaje de 21 V, fijaremos un voltaje de 6.2 V en la entrada (-) del op-amp 7. A R46 le daremos un valor de 4 K y R47 debe tomar un valor de 1675.6 .

Por los valores obtenidos para R45, R46, R47 y Z2, cuando el voltaje en la línea sea menor al 30 % de su valor nominal el op-amp 7 se encenderá mandando su voltaje de salida al divisor formado por R54 y R55, que posteriormente lo discutiremos.

Los diodos rectificadores D8, D9 y D10 son el ECG 177 que en la sección 3.2 se dan sus características.

3.6 CIRCUITO DE RETARDO Y DE DISPARO

El objetivo de utilizar un circuito de retardo, es evitar que el dispositivo se dispare por la presencia de régimen transitorio en el sistema. También evitaremos que el protector electrónico vea el arranque del motor como una condición de falla. Asignaremos un tiempo de retardo para el dis-

paro entre 10 y 12 segundos, que está por encima del tiempo que el motor toma en arrancar y por ser un tiempo en el cuál el motor no alcanza a dañarse por alguna de las fallas que éste protector detecta. Otro fundamento es la respuesta que dan los relevadores térmicos a la corriente de rotor bloqueado.

El retardo de tiempo lo conseguiremos por medio de un circuito RC, que recibe un voltaje de aproximadamente 14 V, que cualquiera de los detectores antes mencionados puede proporcionarle al operar. El diagrama del circuito se ilustra en la figura 3.12.

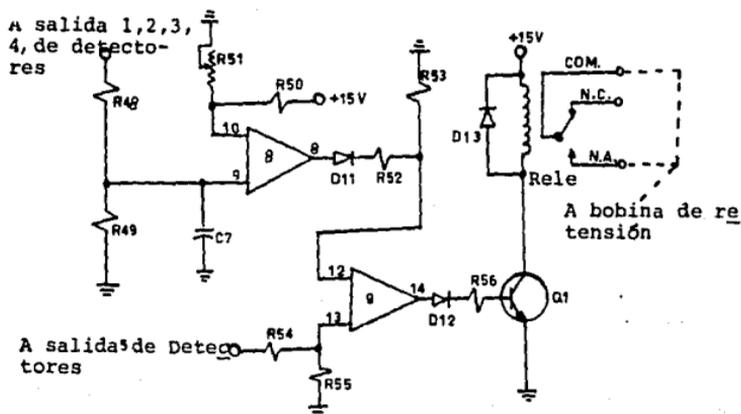


Figura 3.12.

CIRCUITO DE RETARDO Y DE DISPARO

Con R48, R49 y C7 formamos un circuito de 2 mallas como el de la figura 3.12. R48 y R49 forman un divisor de voltaje al cargarse el condensador C7, como les daremos el mismo valor, C7 recibirá la mitad del voltaje que alimenta al divi--

sor.

La gráfica de la figura 3.14 corresponde a la curva exponencial como un capacitor se carga. El tiempo de retardo debe transcurrir para cuando el capacitor se cargue al 80 %, ya que es un punto de la curva donde se distinguen muy bien el incremento de voltaje en el capacitor con respecto al - tiempo.

Asignaremos un valor de 100 uf a C7. Para que se cargue en 12 segundos al 80 %, debe transcurrir el tiempo en $1.6T$, como se observa en la gráfica de la figura 3.14.

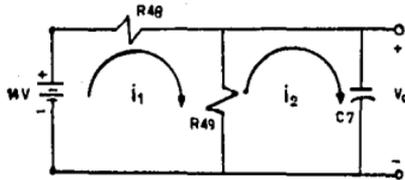


Figura 3.13
CIRCUITO RC.

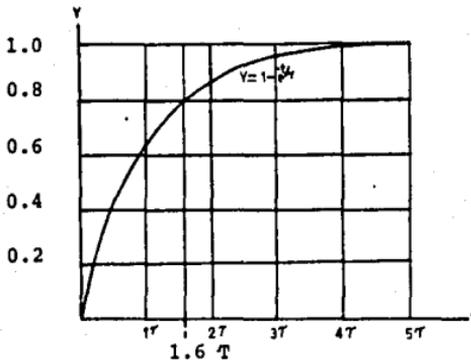


Figura 3.14
CURVA EXPONENCIAL COMO UN CAPACITOR SE CARGA.

$$1.6 T = 12 \text{ seg.}$$

$$T = 7.5$$

Como $T = RC$ y tenemos un valor establecido para C , despejamos a R .

$$R = \frac{T}{C} = \frac{7.5}{100 \times 10^{-6}} = 75 \text{ K}\Omega$$

Con la configuración del circuito RC de la figura 3.13, R_{48} y R_{49} teniendo el mismo valor cada una y combinadas en paralelo deben ser igual a $75 \text{ K}\Omega$:

$$75 \text{ K} = \frac{R_{48} R_{49}}{R_{48} + R_{49}}$$

$$\text{COMO } R_{48} = R_{49}$$

$$75 \text{ K} = \frac{R_{48}^2}{2 R_{48}} \Rightarrow \begin{aligned} R_{48} &= 150 \text{ K}\Omega \\ R_{49} &= 150 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

Con los valores obtenidos para R_{48} , R_{49} y C_7 , calcularemos a cuanto se carga C_7 en 12 segundos.

Del análisis de las mallas 1 y 2 del circuito de la figura 3.13 tenemos:

$$3 \times 10^5 i_1 - 1.5 \times 10^5 i_2 = 14$$

$$2i_1 - i_2 = 933 \times 10^{-7}$$

$$2D i_1 - D i_2 = 0$$

$$2D i_1 = D i_2 \quad (1)$$

$$-1.5 \times 10^5 i_1 + 1.5 i_2 + \frac{1}{100 \times 10^{-6}} \int i_2 dt = 0$$

$$-i_1 + i_2 + .0666 \int i_2 dt = 0$$

$$-D i_1 + D i_2 + .0666 = 0$$

$$-D i_1 + (D + .0666) i_2 = 0 \quad (2)$$

De Ec. (1) $D i_1 = \frac{1}{2} D i_2$ Sust. en (2)

$$-(\frac{1}{2} D i_2) + (D + .0666) i_2 = 0$$

$$-\frac{1}{2} D i_2 + D i_2 + .0666 i_2 = 0$$

$$\frac{1}{2} D i_2 + .0666 i_2 = 0$$

$$D i_2 + 0.1333 i_2 = 0$$

$$(D + 0.1333) i_2 = 0 \quad (3)$$

La solución de EC. (3) contiene solamente una función complementaria, ya que la ecuación es homogénea. Por tanto.

$$i_2 = C e^{-333t} \quad (4)$$

Poniendo $t=0$ en (2)

$$\begin{aligned} -1.5 \times 10^5 i_1 + 1.5 \times 10^5 i_2 &= 0 \\ i_1 &= i_2 \end{aligned}$$

Poniendo $t=0$ en (1)

$$\begin{aligned} 3 \times 10^5 i_2 - 1.5 \times 10^5 i_1 &= 14 \\ \text{de donde } i_1 = i_2 &= 933 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

Sustituyendo este valor de i_2 en (4) se obtiene

$$C = 933 \times 10^{-7}$$

$$i_2 = 933 \times 10^{-7} e^{-333t}$$

$$V_C = \frac{1}{C} \int i_2 dt$$

$$V_C = \frac{1}{100 \times 10^{-6}} \int 933 \times 10^{-7} e^{-333t} dt$$

$$V_C = 7(1 - e^{-333t})$$

Poniendo a $t=12$ seg. tenemos

$$V_C = 7(1 - e^{-333(12)}) = 5.58V$$

Como podemos observar, el capacitor se carga a 5.58 V - en 12 segundos. La función de R49 es descargar el capacitor- C7 cuando desaparece el voltaje que lo alimenta.

Continuando con el cálculo de los elementos de la figura 3.12, por medio de R50 y R51 fijaremos un voltaje de 5.5V en la entrada (+) del op-amp 8. A R50 le daremos un valor arbitrario de 2 K y R51 debe tomar un valor de 1157.9Ω .

Con los valores obtenidos, cuando C7 se encuentra descargando, el op-amp 8 recibe un voltaje mayor por la entrada -- (+) manteniéndose encendido, pero cuando C7 empieza a cargarse y alcanza un voltaje mayor a 5.5, el op-amp 8 se apaga.

El divisor de voltaje formado por R52 y R53 fijan un -- voltaje de 6 V en la entrada (+) del op-amp 9 para que éste se encienda cuando no recibe voltaje por entrada (-), a R52- le daremos un valor de 2 K y R53 debe tener un valor de $1.5 K\Omega$.

Por otra parte cuando el op-amp 7 se encienda, por medio de R54 y R55 fija un voltaje de 9 V en la entrada (-) -- del op-amp 9, para esto a R54 le daremos un valor de 2 K- y R55 debe tener un valor de $3.6 K\Omega$.

Los diodos D11 y D12 son el ECG 177, el diodo D13 es el 1N 4001 y sirve para proteger al transistor Q1 contra las - puntas de tensión inductiva de la bobina del relé.

Los datos de la bobina del relé son: 15 V, 180 y la potencia nominal de conexión en los contactos es de 5700 VA.

Considerando los datos de la bobina del relé, el transistor Q1 que lo enciende y lo apague, debe tener una capacidad de I_{CE} de por lo menos 100 ma, un V_{CEO} de 15 V, y V_{BEO} de 15 V. Con R56 limitamos la corriente de base transistor.

Para nuestro caso aplicaremos el ECG 101 que tiene un - $V_{CBO} = 25 V$, $V_{CEO} = 20 V$, $V_{EBO} = 20 V$, $I_C = .3 A$, $h_{FE} = 40$. Debido a que el transistor funciona como interruptor, encendido

o apagado, lo trabajaremos en el punto de saturación, la corriente de colector en saturación es:

$$I_{c(sat)} = \frac{V_{cc}}{R_{relé}} = \frac{15V}{180\Omega} = .083A$$

y la corriente de base que produce la saturación es

$$I_b(sat) = \frac{I_{c(sat)}}{\beta_{cc}} = \frac{.083}{40} = .002A$$

Para proporcionar esta corriente de base al transistor, el valor máximo de R_{55} es

$$R = \frac{14V}{.002} = 7\text{ k}\Omega$$

Utilizaremos una de $6\text{ k}\Omega$ para asegurar que el transistor este saturado.

En condiciones normales de operación el op-amp 9 permanece encendido manteniendo energizado al relé por medio de Q1, pero al presentarse alguna falla el op-amp 9 se apaga y por consiguiente desenergiza al relé, éste a su vez, desenergiza la bobina de retención en los arrancadores para apagar el motor.

Hemos concluido el diseño del protector electrónico. En la figura 3.15 se tiene el circuito electrónico completo con el listado de sus componentes.

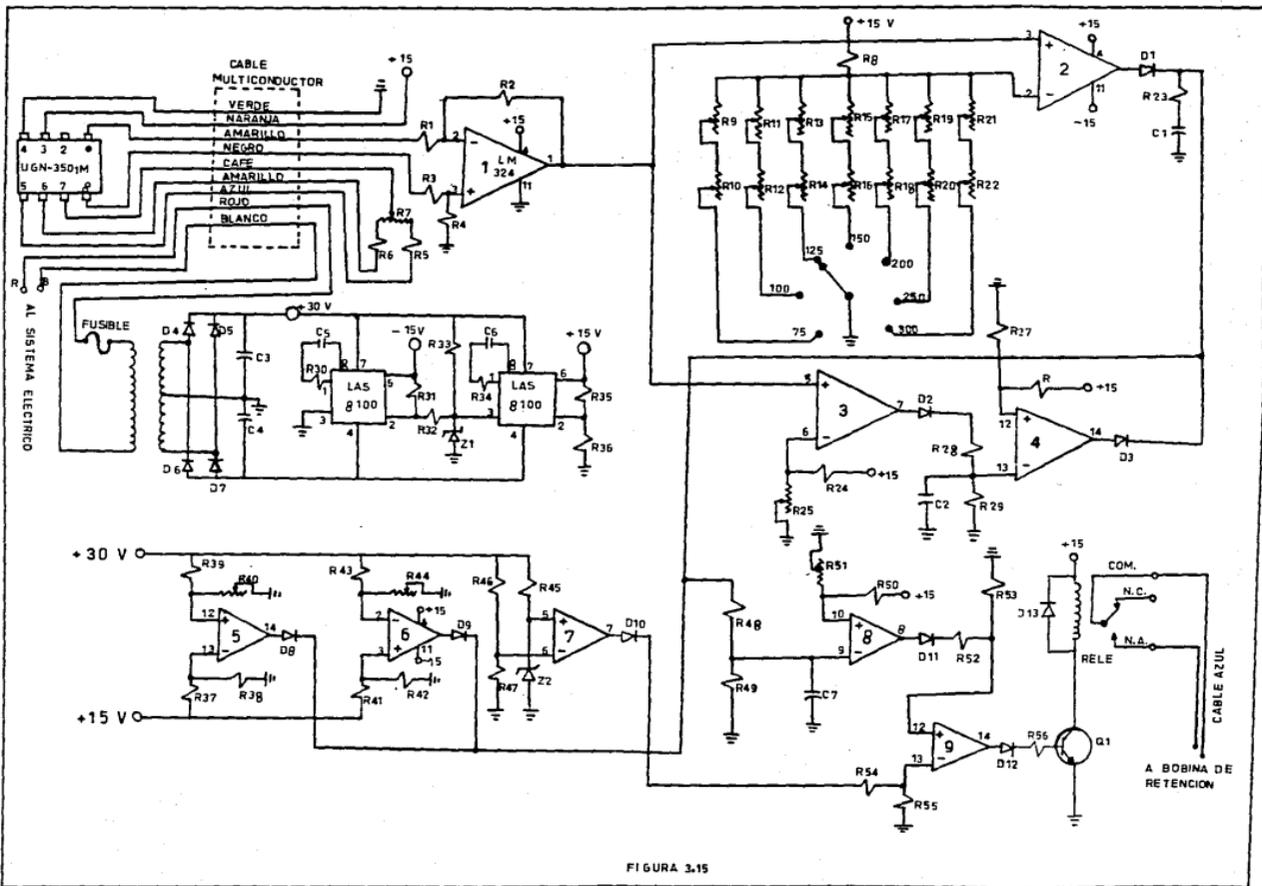


FIGURA 3.15

LISTA DE COMPONENTES

| | | |
|----------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| UGN - 3501M | D6 - 1N4003 | R15 - 90.79 |
| op-amp 1 - 1/4 LM-324 | D7 - 1N4003 | R26 - 11.43 |
| op-amp 2 - TLO84CN (1) | D8 - ECG 177 | R17 - 121.21 |
| op-amp 3 - " | D9 - ECG 177 | R18 - 15.41 |
| op-amp 4 - " | D10- ECG 177 | R19 - 145.07 |
| op-amp 5 - " | D11- ECG 177 | R20 - 18.40 |
| op-amp 6 - TLO84CN (2) | D12- ECG 177 | R21 - 170.86 |
| op-amp 7 - " | D13 - 1N4001 | R22 - 21.59 |
| op-amp 8 - " | Int. cambiador de 7 posiciones | R23 - 280 |
| op-amp 9 - " | | R24 - 2 K |
| | Q1 - ECG 101 | |
| REG. (2) - LAS-8100 | | R25 - 20.2 |
| | RELE RM 2 P | |
| Cable AWG 16/2, 1 MT. | | R26 - 2 K |
| | R1 - 10 K | |
| Cable múlticonductor 12 vfas, 1 Mt. | R2 - 10 K | R27 - 2.3 K |
| | | R28 - 280 |
| C1 - 1.1 uf | R3 - 10 K | |

| | | |
|--------------|--------------|-------------|
| C2 - 100 uf | R4 - 10 K | R36 - 6.2 K |
| C3 - 1000 uf | R5 - 47 | R37 - 2 K |
| C4 - 1000 uf | R6 - 47 | R38 - 2 K |
| C5 - 10 nF | R7 - 20 | R39 - 4 K |
| C6 - 10 nF | R8 - 2 K | R45 - 10 K |
| C7 - 100 uf | R9 - 45.8 | R46 - 4 K |
| D1 - ECG 177 | R10 - 5.86 | R47 - 1675 |
| D2 - ECG 177 | R11 - 59.06 | R48 - 150 K |
| D3 - ECG 177 | R12 - 7.41 | R49 - 150 K |
| D4 - 1N4003 | R13 - 7905 | R50 - 2 K |
| D5 - 1N4003 | R14 - 9.98 | R51 - 1158 |
| R40 - 1176 | R29 - 1.68 K | R52 - 2 K |
| R41 - 2 K | R30 - 220 | R53 - 1.5 K |
| R42 - 2 K | R31 - 9.1 K | R54 - 2 K |
| R43 - 4 K | R32 - 3.7 K | R55 - 3.6 K |
| R44 - 1538 | R33 - 1 K | R56 - 6 K |
| R34 - 220 | R35 - 9.1 K | |

Transformador
254/60 V, 1 A.

Z1 - 1N573A

Z2 - 1N573A

NOTA 1. Los números con que se identifica las puntas de conexión de los ops- amps: 2,3,4,5,6,7,8,9, en el diagrama, se ha asignado de acuerdo a la figura 3.6.

NOTA 2. Todas las resistencias son de 1/2 W .

CAPITULO IV

INSTRUCCIONES DE INSTALACION PARA PONERLO EN OPERACION

El protector electrónico debe ir acompañado de un instructivo de instalación y operación, para que el usuario le de una aplicación correcta.

Como en el diseño se consideró que fuera de fácil instalación, tenemos que éstas instrucciones son muy simples y entendibles. A continuación se da textualmente como debe ser el instructivo.

INSTRUCTIVO

PROTECTOR ELECTRONICO PARA MOTORES DE INDUCCION DE 75 H.P. a 300 H.P. POR SOBRECARGA, CAIDA DE FASE, ALTO VOLTAJE Y BAJO VOLTAJE.

INSTRUCCIONES DE INSTALACION Y OPERACION.

El protector electrónico detecta las fallas que se presentan en un motor, sensando corriente y voltaje en una de las líneas de alimentación. En la figura (1) se muestra el sensor de corriente, su instalación consiste en una línea pa se por el centro del sensor, en la misma forma que se encuentran instalados los transformadores de corriente, para protección térmica en los arrancadores. El voltaje lo sensa a través del cable rojo y blanco, el cable rojo se conecta a una fase, pero debe conectarse a la terminal del arrancador donde se conecta la línea que sale del motor, para que el protector se energize cuando el motor esta trabajando y que

de desenergizado al apagar el motor.

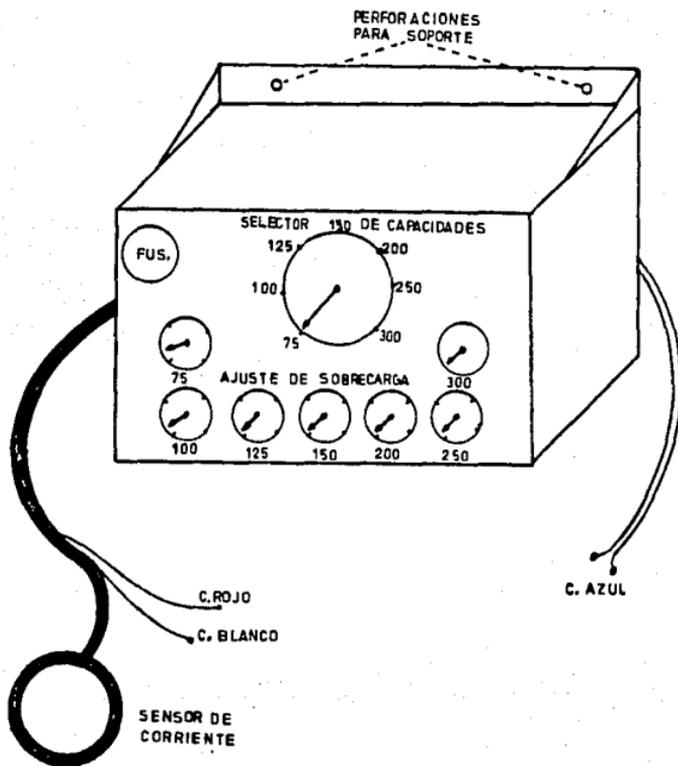


Figura 1.

PROTOTIPO DEL PROTECTOR ELECTRONICO

El cable blanco debe quedar conectado al neutro o tierra del sistema eléctrico y como la cubierta del arrancador esta conectado al sistema de tierra por lo tanto el cable blanco se puede conectar a cualquier parte de la cubierta del --

ESTA TESTS NO DEBE
SAR DE LA BIBLIOTECA

arrancador. Los cables azules se conectan al circuito que alimenta a la bobina de retención en los arrancadores, para que el protector electrónico pueda desenergizarla al detectar alguna falla.

Para ajustar el dispositivo a la capacidad del motor -- que se pretende proteger, únicamente hay que mover el selector de capacidades a la posición donde se indique la capacidad deseada.

A través de los ajustes de sobrecarga, se tiene la opción de permitir al motor trabajar sobrecarga hasta un máximo del 15 %.

El protector electrónico se puede sujetar en cualquier lugar donde haya espacio suficiente para su colocación.

Para que el dispositivo opere perfectamente se debe tener especial cuidado en instalar el sensor de corriente y el cable rojo en la MISMA LINEA, sin importar cuál de las 3 sea la eliga para realizar la instalación.

En la figura 2 tenemos un ejemplo de como puede quedar instalado el protector electrónico en un arrancador C.H. La figura 3 corresponde a una instalación en un arrancador I E M y la figura 4 corresponde a un arrancador G E.

Una vez instalado el protector electrónico, asegúrese de ajustarlo a la capacidad de su motor por medio del selector de capacidades y también ajuste a que porcentaje de sobrecarga desea que su motor trabaje, a través de la perilla de ajuste de sobrecarga correspondiente a la capacidad de su motor.

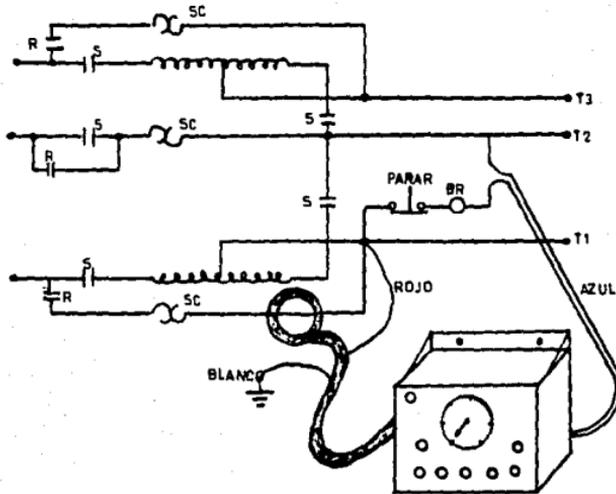


Figura 2.

PROTECTOR INSTALADO EN UN ARRANCADOR C.H.

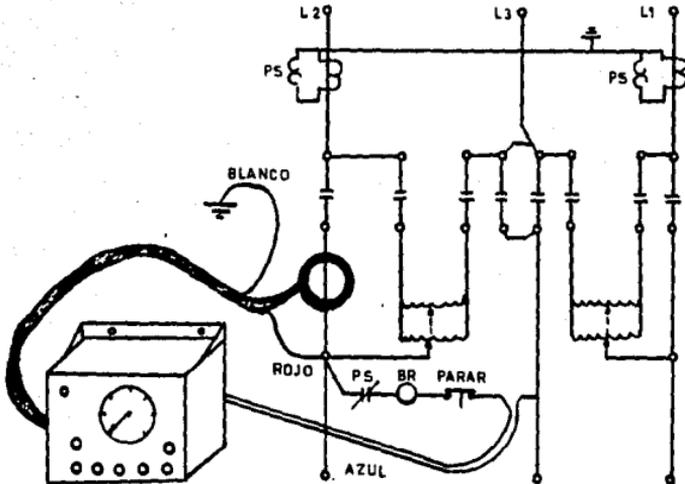


Figura 3.

PROTECTOR INSTALADO EN UN ARRANCADOR I.E.M.

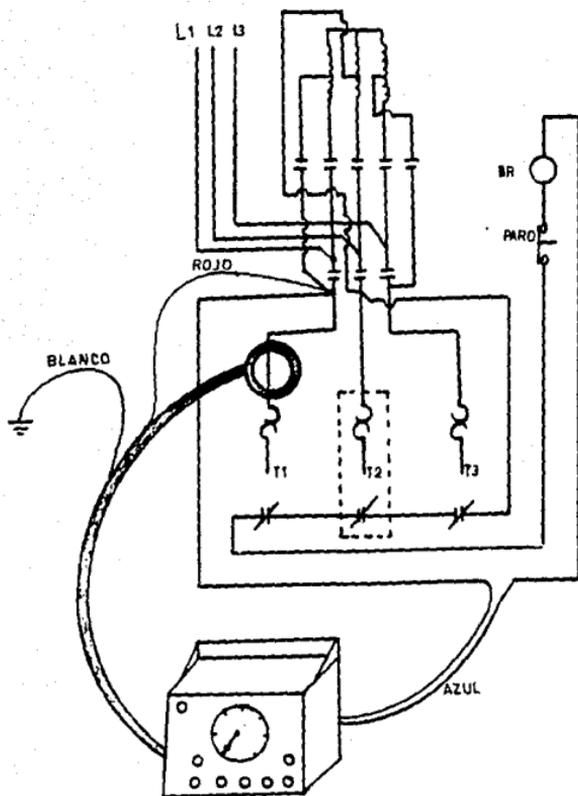


Figura 4.
PROTECTOR INSTALADO EN UN ARRANCADOR G.E.

CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO PARA SU CONSTRUCCION E INSTALACION

En éste capítulo se hará un estudio de costo del diseño y del gasto que implica instalarlo.

Los precios están basados en un estudio económico realizado en la ciudad de Guadalajara, el día 18 de diciembre de 1987. A continuación se da una lista de los componentes con sus respectivos precios.

Tabla 5.1
COSTOS DEL DISEÑO

| Cantidad | Concepto | Dispositivo | Valor Unitario | Importe |
|----------|-------------------|-------------|----------------|----------|
| 1 | Amp.Operacional | IM -324 | \$ 2,855 | \$ 2,855 |
| 2 | Amp.Operacional | TLO84CN | \$ 3,185 | \$ 6,370 |
| 1 Mt. | C. Multiconductor | 12 Vias | \$ 2,875 | \$ 2,875 |
| 1 Mt. | C. Color Azul | AWG 16/2 | \$ 570 | \$ 570 |
| 1 | Capacitor | 1.1 uf | \$ 100 | \$ 100 |
| 2 | Capacitor | 100 uf | \$ 100 | \$ 200 |
| 2 | Capacitor | 100 uf | \$ 650 | \$ 650 |
| 2 | Capacitor | 10 nF | \$ 100 | \$ 200 |
| 8 | Diodo Rectif. | ECG 177 | \$ 177 | \$ 960 |
| 4 | Diodo Rectif. | 1N4003 | \$ 138 | \$ 552 |

| | | | | |
|----|----------------|-------------|----------|----------|
| 1 | Diodo Rectif. | 1N4001 | \$ 120 | \$ 120 |
| 1 | Int. Cambiador | De 7 Pos. | \$ 1,550 | \$ 1,550 |
| 1 | Transistor NPN | ECG 101 | \$ 1,875 | \$ 1,875 |
| 1 | Relé | RM 2P | \$21,330 | \$21,330 |
| 37 | Resistencia | | \$ 87 | \$ 3,219 |
| 19 | R. Variable | | \$ 242 | \$ 242 |
| 1 | Transformador | 254/60V,1A. | \$ 6,750 | \$ 5,750 |
| 2 | D. Zener | 1N573A | \$ 325 | \$ 325 |
| 1 | S.Efecto Hall | UGN-3501M | \$22,600 | \$22,600 |
| 1 | Porta Fusible | 250 V | \$ 1,500 | \$ 1,500 |
| 1 | Fusible | 2 A | \$ 270 | \$ 270 |
| 1 | Chasis | Mediano | \$ 3,100 | \$ 3,100 |
| 1 | Impreso | 8 x 8 CM | \$ 816 | \$ 816 |

TOTAL

\$89,086

En relación con el análisis económico, se tiene que el -- costo total de los elementos involucrados en el diseño es de -- \$ 89,086. La protección térmica con que cuentan los arrancadores manuales a tensión reducida compuesta por: 2 TC, un relevador clase a 200 y 2 elementos térmicos tipo H, tiene un costo de \$ 418,000, según precios de lista de IEM el día 18 de diciembre de 1987. Lo que significa que es 4.69 veces mayor que el costo del diseño, por lo que éste proyecto puede llegar a ser costeable.

Con lo que respecta al mercado del producto, se puede utilizar en

cualquier tipo o marca de arrancador que opere bajo el mismo principio que los arrancadores IEM, GE y CH, que se considera ron para el diseño. También se podría aplicar a motores de ca pacidades menores a 75 H.P. o que operen a un voltaje de 220-V, haciendo modificaciones simples en el circuito.

Al instalarlo únicamente se requiere de 2 tornillos o al gún elemento que sirva para sujetarlo, por lo que prácticamen te se puede considerar nulo el costo de instalación.

CONCLUSIONES

El motor de inducción, forma parte de una instalación -- electromecánica, que como vimos, su función consiste en impulsar tipo turbina.

En el capítulo I, se realizó un análisis de dichas instalaciones, el cuál nos permite observar las posibles fallas -- que se pueden presentar y que afectan al motor. También concluimos que sin importar el número de fallas que se pueden -- presentar o cuál sea su origen, el motor las detecta de 4 formas principales que son: Sobrecarga, caída de fase, alto voltaje y bajo voltaje. Una vez establecidas estas fallas, como siguiente paso, fue necesario observar cómo se afectan los parámetros de potencia que alimentan al motor (voltaje y corriente), cuando se presentan las fallas antes mencionadas y como resultado de este análisis se establecieron los componentes principales que formaron parte en el diseño del protector electrónico.

Contando con la información técnica necesaria para el diseño de éste dispositivo, también se tuvieron que considerar otros factores, como el económico y su fácil aplicación, ya que son factores de interés para el usuario. También se consiguió que un mismo dispositivo se pudiera aplicar a diferentes capacidades de motores, para ofrecer al usuario la posibilidad de seguirlo aplicando en caso de que se vea en la necesidad de cambiar de capacidad el motor de su instalación. Otra ventaja que ofrece al usuario este protector, este protector, es que no requiere de servicio y mantenimiento para su operación ya que es electrónico.

Un motor que es equipado con éste protector electrónico, únicamente se puede quemar por 3 causas que son : Alteración en la frecuencia del sistema eléctrico, que reciba un voltaje muy elevado como por ejemplo el producido por una descarga -

atmósferica , y por último, por fallas internas que el motor-
sufra ya sea en el circuito eléctrico o en el magnético.

La tesis cumple con los objetivos fijados al inicio de -
éste diseño, ya que se ha conseguido ofrecer a los motores la
protección deseada, que un mismo dispositivo sea aplicado a -
diferentes capacidades de motores, y es de fácil instalación.
Por otra parte como se puede ver en el capítulo anterior, el
precio de éste producto es muy inferior a la protección térmi-
ca con que cuentan los arrancadores, por lo que tiene un pre-
cio atractivo para el consumidor.

BIBLIOGRAFIA

- Seguier, G. Electrónica de Potencia. Barcelona: Gustavo Gili, 1982.
- Vives, M.C. Realizaciones Electrónicas Industriales. Barcelona: Cedel 1974.
- Sugandhi, R.K. y Sugandhi, K.K. Tiristores, Componentes y Aplicación. México: Limusa, 1980.
- Hayt, W.H. Teoría Electromagnética. México: McGraw-Hill, 1981
- Equipos, IEM. Equipos de Control y Baja Tensión. Cuernavaca, Morelos, México.
- Industrias, IEM. Motores Eléctricos, Dimensiones y Características. Edo. de México
- Edminister, J.A. Circuitos Eléctricos. México: McGraw-Hill, -- 1982.
- Malvino, A.P. Principios de Electrónica. México: McGraw-Hill, 1982.
- Halliday, D. y Resnick, R. Física Parte II. México: C. E. C. S. A., 1981.
- Harper, G. E. Curso de Transformadores y Motores Trifásicos de Inducción. México: Limusa, 1982.

Schrack de México. Catálogo S 409. México: 1978.

Markus, J. Manual de Circuitos Eléctricos. Barcelona. Marcom-
bo, 1979.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA