

**82  
2 EJEM.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA UTILIZADOS EN  
EL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA :**

**HERNANDEZ SOTO, ESTEBAN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**1997**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



**A MIS PADRES:**

**Josefina y Silvestre**

A quienes con su amor y apoyo he  
realizado esta etapa demasiado  
importante en mi vida.

---

**A MIS HERMANOS:**

**Vicente.  
Miguel.  
Livia.  
Felipe.  
Teresa.  
Sabino.  
y  
Jesús**

Como un orgullo de ellos por su apoyo y deseando que mi hermano Miguel tenga los mejores momentos de su vida, ya que agradezco infinitamente su apoyo incondicional.

**A MI ESPOSA E HIJAS:**

**Norma Silvia.  
Norma Yadira.  
Stefanie Karla.**

Con agradecimiento de su cariño y apoyo.

**A MIS COLABORADORES:**

**Gregorio  
Alberto**

Con agradecimiento por su apoyo.

---

ÍNDICE

	Página.
Introducción .....	I
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>Principios de funcionamiento del motor de corriente directa.</b>	
1.1. Conceptos fundamentales .....	2
1.1.1. Campo magnético líneas de fuerza magnética .....	2
1.1.2. Líneas de inducción. Flujo y densidad del flujo .....	5
1.1.3. Ley de ampere .....	6
1.1.4. Ley de la inducción electromagnética .....	9
1.1.5. Relaciones vectoriales entre parámetros del motor y del generador fleming .....	12
1.2. Fuerza contraelectromotriz del motor de corriente directa .....	15
1.3. Par desarrollado por un motor de corriente directa .....	16
1.4. Velocidad del motor de corriente directa .....	17
1.5. Potencia mecánica del motor de corriente directa .....	18
1.6. Tipos de conexión del motor de corriente directa .....	18
1.6.1. Motor de derivación .....	18
1.6.2. Motor serie .....	21
1.6.3. Motor compuesto .....	24
1.7. Componentes principales de un motor de corriente directa .....	26

ÍNDICE

**CAPITULO 2**

**IEEE modelo clave de pruebas para maquinas de corriente-directa.**

2.1. Pruebas normalizadas .....	31
2.1.1. Campo de acción .....	31
2.1.2. Pruebas .....	33
2.1.3. Método alternativo .....	34
2.2. Mediciones eléctricas y fuentes de energía para todos los procedimientos de prueba .....	35
2.2.1. Selección de los instrumentos .....	35
2.2.2. Voltaje .....	36
2.2.3. Corriente .....	37
2.2.4. Potencia .....	37
2.2.5. Fuentes de potencia .....	38
2.3. Pruebas preliminares .....	40
2.3.1. Referencia de condiciones .....	40
2.3.2. Mediciones de la resistencia de los devanados .....	40
2.3.3. Medidas del intervalo del aire .....	44
2.3.4. Caída de potencia y polaridad de bobinas del campo .....	45
2.3.5. Vibración .....	46
2.3.6. Colocación del cepillo .....	48
2.3.7. Resistencia de aislamiento .....	51
2.3.8. Pruebas de alto potencial .....	52
2.4. Determinación del rendimiento .....	53
2.4.1. Saturación magnética .....	53
2.4.2. Conmutación .....	54
2.4.3. Regulación .....	55
2.4.4. Eficiencia o rendimiento .....	58
2.4.5. Descripción de pérdidas .....	65

2.4.5.1. Pérdida de $I^2R$ en la armadura .....	65
2.4.5.2. Pérdida $I^2R$ en los devanados conectados en series .....	66
2.4.5.3. Pérdida de contacto de escobilla o cepillo .....	66
2.4.5.4. Pérdida de la carga perdida .....	66
2.4.5.5. Pérdida $I^2R$ del campo de derivación .....	68
2.4.5.6. Pérdida del reostato .....	68
2.4.5.7. Pérdida excitadora .....	68
2.4.5.8. Pérdida rotacional del núcleo magnético .....	69
2.4.5.9. Pérdida de la escobilla-fricción .....	69
2.4.5.10. Pérdida de la fricción y fricción de aire .....	71
2.4.5.11. Pérdidas del ventilado .....	71
2.4.6. Medición de pérdidas de rotación .....	73
2.4.6.1. Método de entrada de electricidad .....	73
2.4.6.2. Método de entrada de energía mecánica .....	74
2.4.6.3. Método de retardo .....	74
2.4.6.4. Método calorímetro .....	75
2.4.7. Prueba de carga de motores de caballos de fuerza fraccionales .....	75
2.4.8. Prueba de carga de motores de caballos de fuerza-integral .....	76
2.4.8.1. Carga .....	76
2.4.8.2. Procedimiento de la prueba .....	76
2.4.8.3. Lecturas .....	77
2.5. Pruebas de temperaturas .....	77
2.5.1. Propósito .....	77
2.5.2. Instrucciones generales .....	77
2.5.2.1. Instrumentación .....	78
2.5.2.2. Partes inaccesibles .....	79
2.5.3. Métodos de medición de temperatura .....	79
2.5.3.1. Método del termómetro .....	80
2.5.3.2. Método de aplicación de termo-pares .....	80
2.5.3.3. Método de resistencia .....	80

2.5.4. Medición de la temperatura de los componentes .....	83
2.5.4.1. Bobinados (estacionarios) .....	83
2.5.4.2. Bobinados (rotantes) .....	84
2.5.4.3. Conmutador .....	84
2.5.4.4. Soportes (bearing) .....	85
2.5.4.5. Medición de temperaturas ambiente .....	85
2.5.5. Procedimiento de la prueba .....	86
2.5.6. Incremento de temperatura .....	87
2.6. Pruebas varias .....	88
2.6.1. Prueba de audio-ruido .....	88
2.6.2. Prueba de interferencia electromagnética .....	88
2.6.3. Forma de la onda del voltaje .....	88
2.6.3.1. Método del osciloscopio de rayos catódicos (preferido) .....	89
2.6.3.2. Método de lectura de tubo al vacío .....	89
2.6.4. Respuesta .....	90
2.6.4.1. Respuesta nominal del agitador .....	90
2.6.5. Medición de la inductancia del bobinado .....	91
2.6.5.1. Prueba de inductancia del circuito de la armadura .....	91
2.6.5.2. Prueba de inductancia del campo de la resistencia en derivación .....	92
2.6.6. Corrientes relámpago .....	94
2.6.6.1. Causas de las corrientes relámpago .....	94
2.6.6.2. Prueba para corrientes relámpago .....	95

ÍNDICE

Página.

**CAPÍTULO 3**

**Diseño Eléctrico, Componentes y Estructura Mecánica del Equipo.**

3.1. Generalidades y especificaciones .....	98
3.1.1. Características generales .....	99
3.1.2. Diagrama de flujo .....	99
3.2. Estudio ergonómico y antropométrico para el diseño del banco .....	100
3.3. Diseño electrónico y eléctrico .....	107
3.3.1. Cálculo de un voltaje de corriente directa variable .....	107
3.3.2. Cálculo del puente rectificador trifásico .....	107
3.3.3. Cálculo del transformador trifásico (TR1) .....	112
3.3.4. Cálculo del transformador variable .....	113
3.3.5. Cálculo del reductor de velocidad para el motor piloto .....	114
3.3.6. Diseño del circuito para la regulación automática del voltaje de salida .....	116
3.3.7. Diseño de circuito para seleccionar el número de motores a probar .....	119
3.3.8. Diseño del circuito para seleccionar el sentido de giro del motor .....	120
3.3.9. Diseño del circuito de señalización de tiempo de espera .....	121
3.3.10. Diseño del circuito de señalización de preparación .....	123
3.3.11. Diseño del circuito de número de motores funcionando .....	125
3.3.12. Diseño del circuito de señalización del número de motores funcionando .....	127
3.3.13. Diseño de los circuitos detectores de sobre corriente, conexión errónea y alarma .....	128
3.4. Componentes .....	132
3.4.1. Glosario de términos empleados para el diseño .....	132
3.4.2. Componentes eléctricos .....	135
3.5. Estructura y Mediciones Mecánicas del Banco .....	138
Bibliografía .....	A

## INTRODUCCIÓN.

No es nuestra ciudad la única agobiada por el problema del transporte urbano. Un número creciente de gentes afanadas reclama en todas partes los medios para desplazarse con rapidez, seguridad, economía, y un mínimo decoroso de comodidad. Lo generalizado del problema permite al observador, interesado en encontrar soluciones, estudiar los remedios aplicados en otras ciudades, tanto para copiar lo bueno, adoptándolo en las peculiares condiciones propias, como para huir de soluciones inadecuadas. Despreciar las enseñanzas de tan amplio laboratorio de pruebas nos aboca a un merecido fracaso.

El problema es muy conocido, crecimiento del número global de habitantes y su concentración, cada vez más intensa, en las ciudades, aumenta el número de vehículos a un ritmo aún más elevado que el de las personas.

Así planteada la cuestión salta a la vista que las soluciones aplicables no son sólo de índole técnica sino de profunda significación política, empleando esta maltratada palabra en dos de sus más elevados sentidos: El de servir al pueblo, y el prever el futuro. Políticos y técnicos se enfrentan a muy serias responsabilidades al intentar solucionar el problema del transporte urbano.

El metro, no es más que un medio para servir a nuestros ciudadanos en una de sus apremiantes necesidades cotidianas: la del transporte. Dentro de dicha actividad ocupa un lugar preponderante. Hemos llegado al uso de los transportes subterráneos en un determinado momento del desarrollo mundial de los mismos. No valdría la pena, ni sería justo, hablar de retrasos. Antes al contrario; cuando se llegó a la conclusión de que el metro era técnicamente posible en nuestra ciudad, y es bien cierto que los problemas que eran consecuencia de las condiciones peculiares de ésta justificaban de construir y el primer golpe de pico con que se iniciaron los trabajos. París perdió en la adopción de una decisión análoga cerca de 50 años, y Milán casi un siglo.

Cuando México inauguraba su primera línea del metro, entre Chapultepec y Zaragoza, el 4 de septiembre de 1969, otros sistemas habían cumplido 80, 100 ó más años de trabajo. Esta apreciable diferencia había de servir para que en nuestro metro pudieran aplicarse métodos desconocidos en aquellos remotos tiempos, y por otra parte brindaba, una oportunidad que ahora trataremos de aprovechar de hacer un examen del problema con una base de que antes se carecía, obteniendo lecciones de los errores de que otros cometieron.

La evolución de los medios puestos en práctica para el transporte de pasajeros no es menos interesantes que los túneles por los que habrían de circular, evolución que abarca no sólo la de los vehículos en sí; sino la de la energía utilizada para moverlos.

Cuando se proyectaban el primer metro, en los años anteriores a 1863, sólo habían transcurrido unos años desde la puesta en servicio del primer ferrocarril para pasajeros en el mundo, la línea Stockton E Darlinton, seguida un poco más tarde por la Liverpool E Manchester en 1830, fecha universalmente aceptada como la iniciación de la era de los ferrocarriles.

Era lógico que para mover los carros de pasajeros del nuevo metro se pensara en utilizar la locomotora de vapor, aunque las circunstancias de su empleo requerían la adopción de precauciones que evitaran el riesgo de asfixia para los viajeros dentro de los túneles.

El primer intento consistió en una locomotora diseñada por ROBERT STEVENSON AND CO, en 1861 (dos años antes de ser inaugurada la línea ). Según la terminología utilizada para clasificar las locomotoras desde el punto de vista de sus ruedas, era modelo 2-2-2. La innovación introducida para su uso en los túneles consistía en una envoltura de ladrillos, calentados al rojo por el fuego del hogar mientras la máquina se encontraba al aire libre antes de entrar al túnel para iniciar su viaje de 12 kilómetros, entre Paddington y Edgware Road ó viceversa. Se contaba por otra parte con elementos, situados al aire libre en ambas terminales, para calentar el agua con que sería llenada la caldera en cada extremo de la línea. De esta manera se evitaba que la locomotora

utilizase su hogar de combustión dentro del túnel, y se esperaba que la presión del agua de la caldera, ayudada por el calor de los ladrillos, fuera suficiente para completar cada viaje. La consecuencia de la incomodidad para los participantes en la prueba fue desechada después de nuevas pruebas.

La segunda locomotora especialmente diseñada para el metro fue la ideada por el Sr. Daniel Gooch, modelo 2-4-0, con cilindros extintores, ruedas motrices de 1.83 m. (6 pies), peso de 38 toneladas y preparada para quemar carbón de coque.

La evolución de las locomotoras de vapor destinadas a las líneas del metro siguió en curso. La 2-2-2 de Sharp Brothers se vio seguida por la 4-4-0 de Beyer, Peacock E Co., que pasó a ser el tipo generalizado en las líneas del metro de Londres hasta la paulatina sustitución del vapor por la electricidad como fuerza motriz. La segunda ciudad del Reino Unido que contó con metro fue Glasgow, este metro prescindió de la tracción de vapor, entre otras razones por la índole totalmente subterránea de sus líneas, optando por la tracción por cable.

El buen resultado obtenido se demuestra por lo prolongado de su uso, ya que el sistema original estuvo en servicio durante 38 años, desde 1896 hasta 1934.

La era de la tracción por la electricidad en los metros se inició en Londres el 18 de Diciembre de 1890; en la línea " City and south London ", la afluencia limitada a todas luces insuficiente para asegurar el éxito económico de la empresa pero la falta de tal éxito no opaca el mérito de un intento que a pesar de sus errores mostró el camino correcto a seguir en la propulsión de trenes subterráneos.

Una prolongada disputa técnica acerca de los méritos relativos de dos sistemas: el húngaro Ganz, a base de corriente alterna a 3,000 volts, y el americano con corriente directa a 500 volts, se resolvió finalmente a favor de ésta última. Las locomotoras de corriente directa denominadas lomo de camello, contaban con dos bogies de 4 ruedas de 1.07 m. de diámetro (3'6") y base de 2.07 m (5'8"), siendo su peso total de 45 toneladas.

En el Sistema de Transporte Colectivo ( S.T.C.), son utilizados varios tipos de motores de corriente directa para la tracción, esto debido a que existen varios modelos de material rodante como se muestra a continuación.

MODELO	TECNOLOGÍA	ARMADO
MP- 68	Francesa	Francia
NM- 73	Francesa	México
NM- 79	Japonesa, Mexicana	México
NC- 82	Japonesa	Canadá
MP- 82	Francesa	Francia
NM- 83A	Japonesa, Mexicana	México
NM-83B	Japonesa, Mexicana	México
FM-86	Japonesa, Mexicana, Alemana y francesa	México
NE-92	Japonesa, Mexicana y Española.	España y México

Para el mantenimiento preventivo y correctivo del material rodante, el S.T.C., cuenta con dos tipos de talleres:

- Taller de Mantenimiento Menor.
- Taller de Mantenimiento Mayor.

#### TALLER DE MANTENIMIENTO MENOR.

En las instalaciones de estos talleres se proporciona al material rodante el mantenimiento preventivo y correctivo (menor).

El mantenimiento menor de los trenes se describen como los trabajos de conservación en un tiempo corto (sistemático), para que las partes componentes puedan cumplir sus recorridos con toda seguridad de funcionamiento, sin necesidad de requerir servicios durante este período, que corresponde a un mes aproximadamente ó 12000 kilómetros recorridos como máximo y en algunos casos mantenimiento preventivo cíclicos (3,6,9,12, y hasta 24 meses).

El mantenimiento correctivo es el área que mantiene el polígono de trenes en explotación reparando los posibles daños que sufre un tren por los recorridos establecidos en la circulación de trenes.

### TALLER DE MANTENIMIENTO MAYOR

Este tipo de mantenimiento también recibe el nombre de REVISIÓN GENERAL y se entiende como los trabajos de reemplazo de partes y órganos que por llegar al fin de su vida útil requiere sustituirse y consiste en el desensamble, limpieza y ensamble de todos los equipos que pertenecen a un tren, éste debe efectuarse en un intervalo de por lo menos 500, 000 kilómetros.

Los manuales de mantenimiento de cada uno de los equipos establecen las políticas para su atención, asimismo la experiencia adquirida permite definir las periodicidades y actividades para su óptima operación. Existiendo también el mantenimiento correctivo.

Después de haber cumplido con los requisitos de funcionamiento de las partes cambiadas se arman nuevamente los equipos de los carros, probándolos uno por uno y en conjunto en cada uno de los bancos de pruebas que existen para este fin, por último se hacen pruebas estáticas y dinámicas a cada carro que se haya aplicado este tipo de mantenimiento.

En mantenimiento mayor, el motor de tracción es de gran importancia. para los vagones (carros motrices), poseen 4 motores de tracción dispuestos de dos en dos en las carretillas, acoplándose directamente al puente diferencial ó reductor de velocidad.

La alcanzada velocidad por el tren en línea, está condicionada de 80km/hr a 100 km/hr, intervalo en el cual el motor alcanza una velocidad de 3,000 Revoluciones por minuto (RPM), que es el encargado de transmitir el movimiento a las ruedas.

Al realizarles su mantenimiento mayor se le verifican sus partes que constituyen del motor de tracción de corriente directa y al finalizar se requiere el mayor número de pruebas para tener una mejor eficiencia de este órgano para su explotación (circulación del tren en líneas del sistema de transporte colectivo).

# CAPITULO 1

## PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA

---

### **1.1. Conceptos fundamentales.**

- 1.1.1. Campo magnético líneas de fuerza magnética.
- 1.1.2. Líneas de inducción. Flujo y densidad del flujo.
- 1.1.3. Ley de ampere.
- 1.1.4. Ley de la inducción electromagnética.
- 1.1.5. Relaciones vectoriales entre parámetros del motor y del generador fleming.

### **1.2. Fuerza contraelectromotriz del motor de corriente directa.**

### **1.3. Par desarrollado por un motor de corriente directa.**

### **1.4. Velocidad del motor de corriente directa.**

### **1.5. Potencia mecánica del motor de corriente directa.**

### **1.6. Tipos de conexión del motor de corriente directa.**

- 1.6.1. Motor de derivación.
- 1.6.2. Motor serie.
- 1.6.3. Motor compuesto.

### **1.7. Componentes principales de un motor de corriente directa.**

## 1.1. Conceptos fundamentales.

### 1.1.1. Campo magnético. Líneas de fuerza magnética.

Se dice que existe un campo magnético en un punto si (además de la fuerza electrostática), se ejerce una fuerza sobre una carga móvil que pase por dicho punto.

Existen dos aspectos en el problema de calcular las fuerzas magnéticas ejercidas entre cargas móviles.

El primero consiste en determinar el valor y dirección del campo magnético en un punto, tomando como datos los correspondientes a la carga móvil que crea el campo y el segundo, el calcular el valor y dirección de la fuerza ejercida sobre una carga móvil, esto es, aceptaremos por ahora de las cargas móviles y las corrientes crean campos magnéticos.

$$f = \frac{m_1 \cdot m_2}{\mu a \cdot r^2} \quad (1)$$

La balanza de torsión utilizada por coulomb, para establecer la ecuación 1, consistía en dos barras magnéticas, largas y delgadas (como agujas de hacer punto), dispuestos como se indica en la figura 1

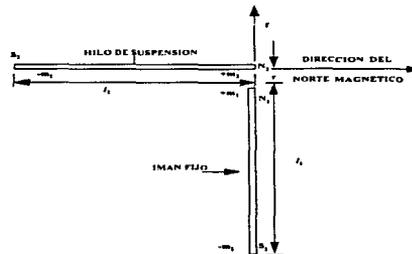


Figura 1. Disposición de los imanes en el experimento de coulomb

Un imán N2 S2 de longitud  $l_2$ , fue suspendido en posición horizontal por medio de un hilo prendido en su centro, de tal manera que, en ausencia del imán N1 S1, estaría en equilibrio cuando se encontrase alineado con el meridiano magnético; el otro imán N1 S1 de longitud  $l_1$ , en posición fija, pero ajustable, se colocó perpendicular al meridiano magnético, de modo que dos polos de la misma polaridad, como N1 y N2, se encontrasen separados por la distancia  $r$ , cuando los ejes de los dos imanes fuesen mutuamente perpendiculares. Las longitudes  $l_1$  y  $l_2$  eran lo suficientemente grandes en comparación con  $r$ , para justificar la suposición de las fuerzas ejercidas por N1 y S1, sobre el polo más alejado S2, eran despreciables en comparación con la repulsión entre los polos adyacentes N1 y N2. Por lo tanto, el imán N2 S2, tendía a girar en sentido opuesto al movimiento de las agujas de un reloj, pero torciendo el eje de suspensión en el sentido de las agujas del reloj, hasta que la distancia entre N1 y N2 llegase a ser igual a  $r$ . Se puede concluir que las reacciones mutuas entre imanes y corrientes eléctricas, deberán atribuirse a las propiedades adquiridas por el espacio en que se sitúan, más que a la existencia de los polos magnéticos concentrados en determinados puntos. Así, si los dos miembros de la Ecuación 1, se multiplican por un  $\frac{1}{2} \ell_2$ , se tendrá:

$$\frac{\frac{1}{2} \mu_2 \mu_0 I_2}{\frac{1}{2} m_2 l_2} = \frac{m_1}{\mu_a r^2} \quad (2)$$

Y si al término  $\frac{m_1}{\mu_a r^2}$ , se sustituyen por el símbolo H1, la ecuación 2 tomará la forma:

$$H_1 = \frac{\frac{1}{2} \mu_2 \mu_0 I_2}{\frac{1}{2} m_2 l_2} \quad (3)$$

La cantidad  $H_1$ , llamada campo magnético en el punto ocupado por el polo  $m_2$ , del imán N2 S2, pueden considerarse como una propiedad del espacio en aquel punto, cuya propiedad se atribuye a la presencia del imán N1 S1. Se ve que ecuación 3, define a H1 en función del par de torsión sobre el imán N2 S2; así como del momento magnético ( $m_2 l_2$ ). Mediante así mismo, del imán N2 S2. El campo de fuerzas así definido es claramente vectorial, puesto que posee una propiedad directiva, además de su magnitud.

De la ecuación 3 obtenemos:

$$fl = H(ml) \quad (4)$$

$$H = \frac{fl}{ml} \quad (5)$$

En donde:

$fl$  = Momento de las fuerzas exteriores sobre el dipolo,  
cuando es perpendicular a una línea de fuerza.

$ml$  = Momento magnético del dipolo.

De la ecuación 5 obtenemos:

$$H = \frac{f}{m} \quad (6)$$

La definición de línea de fuerza implica que, en un campo de dimensiones finitas, el número de las líneas de fuerza que podrían trazarse es infinito, pero, por conveniencia, es costumbre definir al campo de fuerzas en función de un número finito de líneas, elegido de tal forma, que si al campo en un punto dado es  $H$ , el número de líneas de fuerza por unidad de superficie en dicho punto (formando la superficie ángulo recto con la dirección  $H$ ), sea igual a  $H$ .

### 1.1.2. Líneas de inducción. Flujo y densidad de flujo.

La expresión dada por  $H$ , por las ecuaciones. 2 y 3 o sea:

$$H = \frac{m}{\mu a r^2} \text{ Puede escribirse}$$

$$H = \frac{1}{\mu a} \left( \frac{m}{r^2} \right) = \frac{1}{\mu a} B$$

Donde:

$$B = \frac{m}{r^2} = \mu a H = \mu \mu_0 H \quad (7)$$

La permeabilidad  $\mu a = \mu \mu_0$  toma diferentes valores en medios distintos, que en las sustancias ferromagnéticas puede ser varios miles de veces mayor que en el aire (o en el vacío); pero si el medio es isótropo,  $\mu a$  es independiente de la dirección y, con la restricción, puede considerarse como una cantidad escalar. Se deduce que, puesto que  $H$  es un vector, la cantidad  $B = \mu a H$ , será igualmente un vector, que podrá representarse por líneas análogas a las de fuerza, pero distinguiéndolas de ellas dándoles el nombre de líneas de inducción.

Las líneas de inducción pueden imaginarse de la misma forma que las líneas de fuerza; esto es, si el valor de la función  $B$  se especifica en un punto dado de un campo magnético, tal hecho se expresa diciendo que el número de líneas de inducción en dicho punto, por unidad de superficie normal a la dirección  $B$ , será igual a  $B$ ; entonces, se dice que este número es la densidad de flujo en dicho punto.

El empleo de la palabra “flujo” en esta definición, surge del hecho de que los dibujos formados por las limaduras de hierro de un campo magnético son similares a las líneas de corriente cuando fluyen los líquidos y los gases, dando, así, lugar a la idea sencilla de que “algo” fluye en un campo magnético.

A este hipotético fluir le fue asignado el nombre de flujo magnético, generalmente representado por el símbolo  $\phi$  ó  $\varphi$

En general, si la densidad de flujo es igual a  $B$ , donde las líneas de inducción atraviesan una superficie elemental  $dA$  formando un ángulo  $\alpha$  con la normal a  $dA$ , se tendrá:

$$\phi = \int B \cos\alpha dA \quad (8)$$

Se deduce, que si un polo magnético de magnitud  $m$  unidades c.g.s. se halla en el centro de una esfera de radio  $r$ , la densidad de flujo normal a la superficie esférica en cualquiera de sus puntos valdrá  $m/r^2$  y, por lo tanto, el flujo total que emana del polo  $m$ , será:

$$\phi = \frac{m}{r^2} (4\pi r^2) = 4\pi m \text{ Maxwellios} \quad (9)$$

### 1.1.3. Ley de ampare.

Uno de los primeros resultados que siguieron a la publicación del descubrimiento de Oersted, fue el establecimiento por Ampere de una regla para determinar el sentido de la desviación de una aguja imantada situada en la proximidad de un conductor. Las dificultades de nomenclatura de que un observador se imagina situado en el circuito eléctrico con el flujo de corriente en el sentido de sus pies a su cabeza, haciendo frente a la aguja imantada su polo norte se desviara hacia la izquierda, condujeron a la adopción general de la regla de la mano derecha.

Si imaginamos que el conductor se sostiene en la mano derecha con el pulgar señalando el sentido de la corriente los demás dedos rodearan el conductor en la dirección positiva del campo magnético, siendo esta la dirección hacia la que el polo norte de una brújula tendera a moverse.

Mucho mas importante que la regla que fijaba la dirección de las fuerzas sobre los polos de una brújula, fue la ley de Ampere definiendo la magnitud de las fuerzas sobre el imán en función del efecto total producido por las corrientes elementales del conductor próximo.

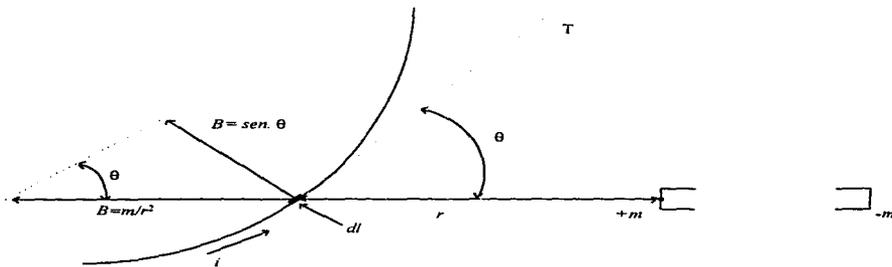


Fig. 2. Fuerza debida a la corriente en un campo magnético.

En aquella época (1820), se daba como seguro que un polo magnético poseía realidad física medible, lo que explica el hecho de que, al resumir los resultados de un experimento, Ampere formulase la ecuación siguiente.

$$df = \frac{m}{r^2} i dl \text{ Sen } \theta \quad (10)$$

De fig.2 la fuerza  $df$  debida al elemento  $idl$  de corriente que actúa sobre el polo  $m$  es proporcional a  $m$  y a la corriente  $i$  e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $r$  entre el polo y el elemento  $dl$ . El término  $\text{Sen } \theta$  interviene para explicar el hecho empírico, descubierto por Ampere, de que el efecto magnetizante de una corriente elemental es máximo en la dirección normal a la de dicho elemento y nulo en su propia dirección.

De acuerdo con la regla de la mano derecha, la fuerza  $df$ , que actúa sobre el polo  $m$ , se dirige hacia el interior del plano del dibujo de la fig.2. es decir, en ángulo recto con el plano definido por  $r$  y  $T$ ; por lo tanto, una fuerza igual y opuesta deberá actuar sobre el elemento de corriente hacia el exterior del plano del dibujo.

De ecuación 10, conduce directamente a dos importantes relaciones:

- Si dividimos los dos miembros de la Ecuación. 10 por  $m$ . La expresión  $df/m$  en el primer miembro es la fuerza elemental por la unidad de polo y, de acuerdo con la ecuación 6, resulta ser el campo  $dH$  a la distancia  $r$  del elemento de corriente  $idl$ . Por lo tanto,

$$dH = \frac{idl}{r^2} \text{Sen}\theta \tag{11}$$

- En la Ecuación. 10, el término  $m/r^2$ , es el vector  $B$  de la Ecuación. 7; de aquí que:

$$df = Bi \, dl \, \text{Sen}\theta \tag{12}$$

Sea la fuerza ejercida sobre el elemento de corriente  $idl$  cuando se encuentra en el campo caracterizado por la densidad de flujo  $B$ , siendo dicho campo debido a una causa ajena al propio elemento de corriente.

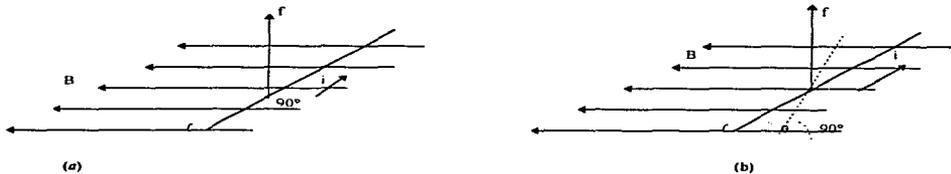


Fig. 3. Fuerza debida a la corriente en un campo magnético (acción motriz).

Las ecuaciones 11 y 12, aunque deducidas de la ecuación 10, poseen la gran ventaja eliminan el artificioso y físicamente inexistente polo puntual, sustituyéndolo y colocando en su lugar los parámetros  $H$  y  $B$ , que representan fructíferos aspectos de la teoría de campos vectoriales considerada actualmente como básicas.

La fig. 3, ilustra el caso especial de un hilo conductor recto de longitud  $l$ , en un campo magnético, distribuido de tal forma que la densidad de flujo  $B$ , es constante a lo largo del hilo, siendo perpendicular en todo punto a  $l$ . Si la corriente en el conductor es  $i$ , la fuerza sobre éste será.

$$f = Bil \quad (13)$$

Pero si el ángulo entre el hilo y el sentido de  $B$ , según se ve en la fig. 3.b, es  $\theta$ , la fuerza será:

$$f = Bil \text{ Sen}\theta \quad (14)$$

Las ecuaciones 13 y 14 representan en forma analítica, el principio básico del motor eléctrico.

#### 1.1.4. Ley de la inducción electromagnética.

En el año de 1831, se realizó el experimento que dejó establecido el principio de inducción electromagnética, este principio señala que si una fuerza electromotriz es inducida en un circuito (y la corriente correspondiente, si el circuito es cerrado), puede suceder:

- Que el circuito forme parte de un campo magnético variable, ó
- Que exista movimiento relativo entre el circuito y el campo magnético, de tal forma que los conductores que comprenden el circuito corten las líneas de inducción del campo magnético.

La primera de las dos alternativas señaladas anteriormente, constituyen el principio básico de la bobina de inducción, así como el transformador de corriente alterna. La segunda es el principio básico del generador eléctrico, que puede definirse como un ingenio para convertir la energía mecánica en energía eléctrica. En cualquiera de los dos casos, la fuerza electromotriz, inducida en cada espira, del circuito se considera que es proporcional a la variación de flujo magnético con respecto al tiempo, es decir,

$$|e| = kN \frac{d\phi}{dt}$$

y También

$$|e| = N \frac{d\phi}{dt} \quad (15)$$

Donde  $|e|$  es la magnitud de la *f.e.m.* en abvoltios (sin tener en cuenta su signo), inducida en un circuito de  $N$  espiras, ligado a un flujo magnético se varía a razón de  $\phi$  maxwelios por segundo.

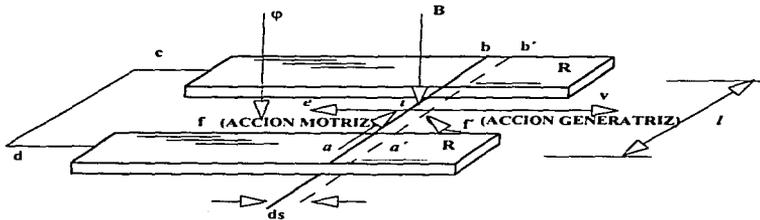


Fig. 4. Conductor móvil en un campo magnético.

De la figura 4, en donde  $ab$ , es un hilo de longitud  $l$ , que se desliza hacia la derecha sobre los rales metálicos  $R$ , con una velocidad  $v$ , a través del flujo  $\phi$ , de forma que, en un tiempo  $dt$ , recorra la distancia  $ds$ . Se supone que la densidad de flujo en la posición ocupada por el hilo es  $B$ . Cuando el circuito queda cerrado al conectar el hilo  $cd$ , se puede comprobar experimentalmente que la corriente inducida  $i$ , fluirá en el sentido  $abcd$  de acuerdo con la ley Ampere, ecuación 13, la fuerza que actúa sobre el hilo será.

$$f = Bil$$

Y tendrá sentido hacia la izquierda, de acuerdo con las relaciones entre los sentidos especiales de  $fB$  y  $li$ , como el de la figura 1.3a

Para que el hilo puede continuar moviéndose hacia la derecha con velocidad uniforme  $v$ , la fuerza  $f$ , debe quedar compensada por la fuerza  $f$  igual y opuesta; por lo tanto, será necesario proporcionar una energía mecánica durante el tiempo  $dt$  de valor

$$dW = f ds = Bil ds \quad (16)$$

Durante el mismo intervalo de tiempo, se desarrollarán en el circuito una energía eléctrica de valor  $eidt$  y, por el principio de la conservación de la energía,

$$ei dt = Bil ds$$

o bien

$$e = Bl \frac{ds}{dt} = Blv \quad (17)$$

Puesto que la corriente inducida en la fig. 4, fluye en el sentido  $abcd$ , se deduce, de acuerdo con la regla de la mano derecha, que producirá un efecto magnético contrario al flujo  $\phi$ . En otras palabras: la corriente inducida se opone a la causa que la produce, expresión conocida con el nombre de ley de Lenz. Además, la fig. 4, demuestra que, en el intervalo de tiempo  $dt$ , aumenta el flujo que pasa a través del circuito, de lo que se deduce que, en la ecuación, 15 la expresión  $N d\phi/dt$  es esencialmente positiva; pero, al propio tiempo, hay que tener en cuenta que el sentido de la corriente es tal, que produce un flujo decreciente, y, en consecuencia, tanto la corriente como la fuerza electromotriz origen de aquélla deberán considerarse negativas. Por lo tanto, es necesario transformar la ecuación 15, del modo siguiente:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (18)$$

Las ecuaciones 17 y 18 están expresadas en unidades c.g.s., es decir, que la *f.e.m.* está en abvoltios; *B*, en gaussios; *l*, en centímetros; *v*, en centímetros por segundo y  $\phi$ , en maxwelios. Si la *f.e.m.* ha de expresarse en voltios, será necesario introducir el factor  $10^{-8}$  teniéndose así:

$$e = Blv \times 10^{-8} \text{ voltios} \quad (17)\text{a}$$

y

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ voltios} \quad (18)\text{a}$$

### 1.1.5. Relaciones vectoriales entre los parámetros del Motor y del generador. Reglas de fleming.

Las anteriores consideraciones revelan el hecho de que la fuerza que impele al hilo hacia la derecha en la fig. 4 desarrolla en el circuito cerrado *abcd* una corriente dirigida de tal forma, que la reacción entre la corriente y el campo magnético tiende a impulsar el hilo hacia la izquierda, en oposición al movimiento real. En otras palabras, la acción generatriz causante de la corriente se resuelve automáticamente en una acción motriz contraria. Del mismo modo, si una corriente igual fuese introducida en el circuito por una batería conectada entre los puntos *c* y *d*, el hilo actuaría como un motor, moviéndose hacia la izquierda, en cuyo caso la expresión  $ds/dt$  en la ecuación 17, cambiaría de signo, lo que significa que la *f.e.m.* inducida en el circuito invierte su sentido primitivo, actuando en oposición a la corriente. Estas deducciones indican que un motor tiende a actuar como un generador y un generador como un motor, ilustrado de esta forma la razón por la cual las funciones del generador y del motor pueden ser recíprocas.

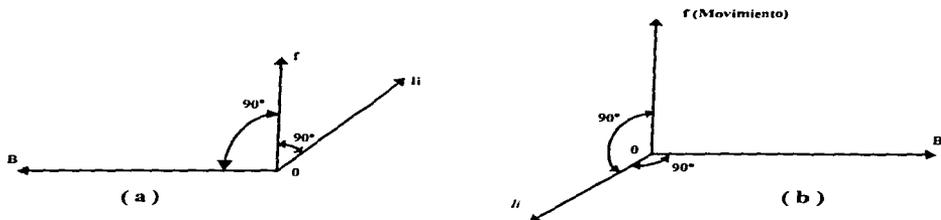


Fig. 5. Relaciones especiales entre los vectores *f*, *B* y *li* (acción motriz).

La regla Fleming, de la mano izquierda para predecir el sentido del movimiento de un conductor que atraviesa un campo magnético queda ilustrada en la fig. 6 que deberá compararse con la fig. 5b.

La regla puede definirse de la siguiente manera: manténgase el pulgar, índice y corazón de la mano izquierda mutuamente perpendiculares, de la misma forma que los tres ejes principales coordinados. Cuando el índice señale el sentido del flujo atravesado por el conductor, y el corazón el sentido de la corriente, el pulgar señalará el sentido de la fuerza sobre el conductor o el de su movimiento, si tiene libertad para ello.

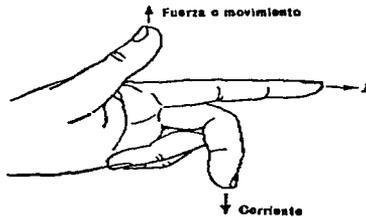


Fig. 6. Regla de Fleming de la mano izquierda para la acción motriz.

La regla de Fleming de la mano derecha para la acción generatriz: podemos deducir de la siguiente manera: manténgase los dedos pulgar, índice y corazón de la mano derecha mutuamente perpendiculares, como en la fig. 7, con el índice señalando en el sentido del flujo y el pulgar en el del movimiento del conductor; el dedo corazón señalará entonces el sentido de la *f.e.m.* inducida ( y el de la corriente resultante si el circuito es cerrado).

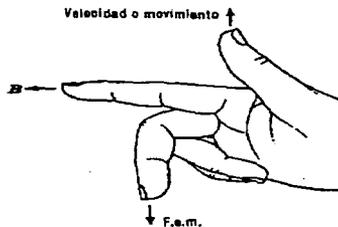


Fig. 7. Regla de Fleming de la mano derecha para la acción generatriz.

Una nueva regla simplificada que requiere solamente el uso de la mano derecha, aplicable igualmente a las acciones motriz y generatriz. Tiene el mérito distintivo de que confiere categoría matemática a la naturaleza vectorial de la densidad de flujo  $B$ , al elemento de la corriente  $li$  y a la fuerza  $f$ , tal como estas magnitudes aparecen en la ecuación. 13; y análogamente, a la densidad de flujo  $B$ , a la velocidad  $v$ , y a la fuerza electromotriz  $e$  de la Ecuación. 17. En notación vectorial estas dos ecuaciones toman la forma:

$$y \quad (li)(B) = f \quad (19)$$

$$(v)(B) = e, \quad (20)$$

Donde  $e_i$  es la *f.e.m.* inducida por unidad de longitud de conductor.

Lo anterior se concluye con las dos figuras 8 y 9.

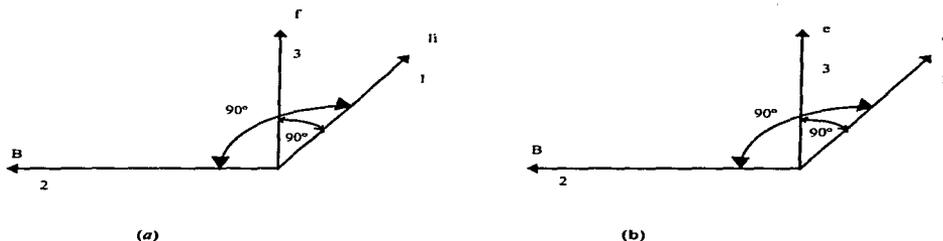


Fig. 8. relaciones vectoriales (acción motriz y acción generatriz).

Vector	Acción motor	Acción generatriz
1	Flujo de corriente	Movto. del conductor
2	Densidad de flujo	Densidad de flujo
3	Fuerza	<i>f.e.m.</i>

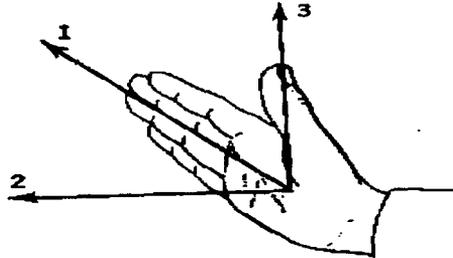


Fig. 9. Orientación en la mano derecha de los vectores 1, 2, 3.

## 1.2. Fuerza contraelectromotriz del motor de corriente directa.

La *f.c.e.m* juega un papel muy importante en el modo de operar de un motor. Para explicarlo se considerará el rotor de un motor cuyas bobinas tengan una resistencia pequeña. Si se conecta a las bobinas una fuente de energía, circulará por ella una gran corriente, limitada tan solo por la poca resistencia de las mismas; esto mientras el rotor este en reposo. Tan pronto como el rotor inicia su giro dentro del campo magnético estático producido por las bobinas inductoras del motor, se induce una *f.c.e.m* que se opone a la tensión externa aplicada. Si el motor gira en vacío, la *f.c.e.m* reduce la corriente a un valor menor, justo para suministrar la energía consumida por las pérdidas de rozamiento y resistencia eléctrica. Si el motor arrastra una carga, tiende a disminuir su velocidad produciéndose la consiguiente reducción en la *f.c.e.m* lo que permite que el motor tome mas energía eléctrica que le permita arrastrar dicha carga mecánica. Considerando esto ultimo, es fácil explicarse que al arrancar un motor se tenga una gran demanda de energía eléctrica. El valor de la *f.c.e.m* esta dado por la siguiente relación:

$$E = \frac{\phi NPZ}{60P \cdot 10^8} (\text{Volts}) \quad (21)$$

Donde:

$\varphi$  = Flujo total que penetra en el inducido desde un polo norte (Maxwell).

$N$  = Velocidad (r.p.m.)

$P$  = Número de polos

$Z$  = Número de conductores dispuestos en la superficie del inducido.

$P'$  = Número de circuitos en paralelo de paso de la corriente a través del inducido.

Como  $Z$ ,  $P$  y  $P'$ , son constantes para un motor determinado la *f.c.e.m* será:

$$E = K_1 \phi N \quad (21)a$$

### 1.3. Par desarrollado de corriente directa.

De acuerdo a lo descrito en los conceptos fundamentales, una espira por la que circula una corriente y está en presencia de un campo magnético, experimenta un par cuya magnitud varía en función de la posición de la misma y que la hace girar. Para que la dirección del par sea siempre la misma se requiere invertir la dirección de la corriente en los puntos en que el par se anula, para lograr la inversión del sentido de la corriente en los motores de corriente directa se utiliza un conmutador o colector.

Para desarrollar un par que actúe continuamente en una dirección es necesario aumentar el número de espiras y conectarlas una al lado de la otra, constituyendo lo que en lo sucesivo llamaremos inducido, el par desarrollado en estas condiciones se mantiene prácticamente constante para valores constantes tanto de la intensidad de corriente en las bobinas como el flujo principal.

El par desarrollado por un motor de corriente directa se rige por la siguiente fórmula.

$$T = K I \phi \quad (22)$$

En donde:

$K$ = Constante que depende del numero de polos, de los circuitos de paso de corriente, del numero de espiras o bobinas.

$I$ = Corriente del inducido en amperes.

$\phi$ = Flujo que atraviesa el inducido y, es generado por electroimanes ó imanes permanentes, denominados polos.

$T$ = Par.

### 1.4. Velocidad del motor de corriente directa

Si es  $V$  la tensión de la línea y  $E$  la *f.c.e.m.*, la tensión  $V_i$ , que actúa en el circuito del inducido es:

$$V_i = V - E \quad (23)$$

La intensidad de la corriente en el inducido viene dada por la ley de Ohm y es:

$$I_a = \frac{V - E}{R_a} \quad (23a)$$

Donde:

$R_a$  = Resistencia del inducido

De la ecuación 23a, obtenemos y se puede escribir en la siguiente forma:

$$E = V - I_a R_a \quad (23b)$$

Sustituyendo  $E$ , por su valor y despejando la velocidad, tenemos:

$$N = \frac{V - I_a R_a}{K\phi} = \frac{E}{K\phi} \quad (24)$$

De lo anterior, se puede concluir que la velocidad de un motor es directamente proporcional a la fuerza contraelectromotriz e inversamente proporcional al flujo.

## 1.5. Potencia mecánica del motor de corriente directa

Se tiene que  $vIa$  es la potencia suministrada al inducido de un motor, una parte de esta potencia,  $Pa$ , se invierte en calentar el inducido, su valor está dado por:

$$Pa = Ia^2 Ra \quad (25)$$

El resto de la potencia debe manifestarse como potencia mecánica,  $Pm$ , de acuerdo a la ley de conservación de la energía. Es decir que:

$$Pm - VIa - Ia^2 R = (V - Ia Ra) Ia \text{ (watts)} \quad (26)$$

Pero  $V - Ia Ra = E$  es la *f.c.e.m* del motor, según la ecuación (23b); entonces

$$Pm = E Ia \text{ (watts)} \quad (27)$$

Por lo tanto, la potencia mecánica desarrollada en el inducido de un motor es igual al producto de la fuerza contraelectromotriz generada en el mismo por la intensidad de la corriente que por él circula.

## 1.6. Tipos de conexión del motor de corriente directa.

### 1.6.1. Motor de derivación.

El circuito inductor del motor en derivación se conecta directamente a la línea de alimentación, en derivación con el inducido, como se observa en la fig. 10.

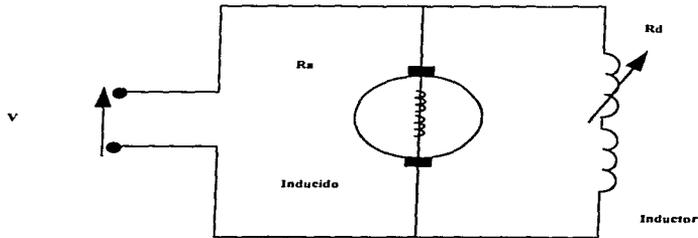


Fig. 10. Conexión del motor en derivación.

Cuando se aplica una carga al motor, éste tiende inmediatamente a moderar su marcha. El flujo inductor permanece prácticamente constante y, si la *F.c.e.m* decrece, la corriente de armadura  $I_a$ , aumenta hasta un valor que produzca un par suficiente para equilibrar la demanda correspondiente al aumento de carga. Por lo tanto, el motor en derivación está siempre en condiciones de equilibrio estable, puesto que, ante las variaciones de la carga, reacciona siempre adaptando la potencia consumida a dichas variaciones. La adaptación de un motor a una utilización definida la determinan casi exclusivamente dos factores: La variación de par con la carga y la variación de la velocidad con la carga.

Como en el motor en derivación el flujo inductor es prácticamente constante, el par electromagnético variará casi en proporción directa con la intensidad de la corriente en el inducido, como se observa en la gráfica siguiente:

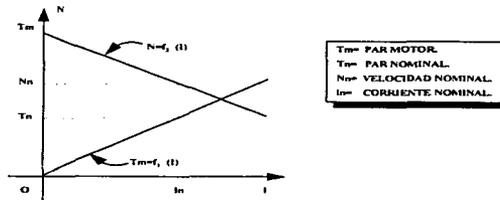


Fig. 11. Características par-corriente y velocidad corriente.

Otra curva importante, que se deriva de las anteriores, es la que muestra la característica par-velocidad; se ilustra en la gráfica siguiente:

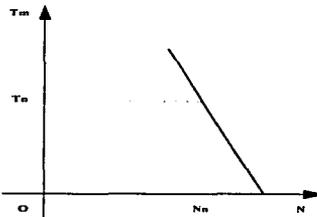


Fig. 12. Característica par-velocidad de un motor con excitación en derivación.

En los motores de corriente directa, especialmente los de velocidad prácticamente constante (como los de conexión en derivación), la diferencia de velocidad que se tiene cuando trabajan con carga, en relación de cuando lo hacen en vacío, ayuda a determinar las características de su funcionamiento. La regulación de la velocidad es la medida de la capacidad que tiene el motor para mantener su velocidad cuando se le aplica una carga. Esta se obtiene reduciendo la carga desde el valor nominal hasta cero, y se expresa en tanto por ciento de la velocidad nominal.

Dicha regulación se refiere a la variación de la velocidad obtenida en vacío con respecto a la obtenida con carga invariable, y no al caso de los periodos transitorios en los que se producen amplias fluctuaciones de velocidad para rápidos cambios de carga.

En la fig. 13, se muestran las características típicas de un motor en derivación; en ella, con la ayuda de la curva velocidad-potencia, obtendremos la relación de la regulación de la velocidad.

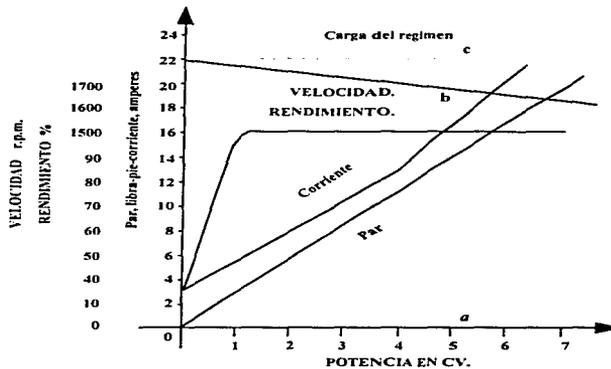


Fig. 13. Características típicas de un motor en derivación.

De lo anterior se obtiene de la fig. 13, la regulación de velocidad:

$$\frac{ca-ba}{ba} = \frac{cb}{ba}$$

Los motores en derivación se emplean cuando se requiere una velocidad prácticamente constante. Además, no hay ningún otro motor que se acomode mejor a la variación regulada de velocidad. Por consiguiente, se emplea también en los casos en que se requiere una velocidad variable a voluntad. Si se requiere ajustar la velocidad, se le puede llevar al valor que se desee y mantenerla invariable aún cuando varíe la carga.

### 1.6.2. Motor serie.

En los motores con excitación en serie, el inductor está conectado en serie con el inducido, como se muestra en la fig. Siguiente:

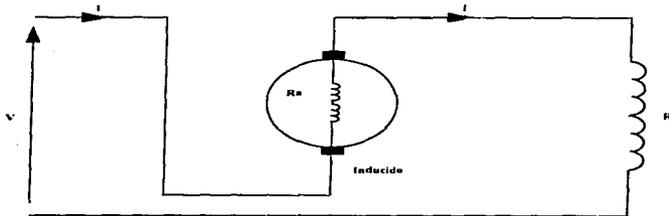


Fig. 14. Conexión de un motor en serie.

Por lo tanto, las corrientes de excitación y de armadura son iguales.

Esto es:

$$I = I_e = I_a$$

Si suponemos, para simplificar, que el circuito magnético no se satura, el flujo será proporcional a la corriente de excitación.

Es decir:

$$\varphi \propto I_a$$

Por lo tanto:

$$T = K \varphi I_a = K_1 I_a^2 \quad (28)$$

El par es, entonces, proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente en el inducido, como se muestra en la fig. 15.

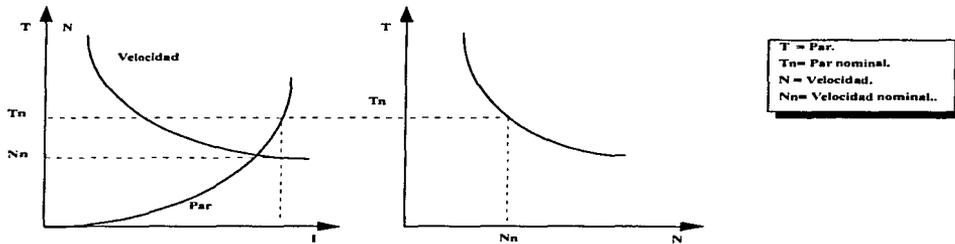


Fig. 15. Características par-corriente, velocidad corriente y par-velocidad de un motor tipo serie.

La velocidad para un motor serie, está dada por:

$$N = \frac{V - I_a (R_a + R_s)}{K\varphi} \quad (29)$$

En donde:

$R_s$  = Resistencia serie del inducido.

De expresiones 28 y 29, se deduce que la velocidad de un motor serie disminuye conforme aumenta el par. Al hacer crecer la corriente, las caídas de tensión en el inducido y en el inductor aumentan; esto provoca que la *f.c.e.m* disminuya y, como consecuencia, se reduce la velocidad. Además, el aumento de la corriente produce un incremento casi directamente proporcional del flujo  $\phi$ , resultando también con ello una reducción importante en la velocidad. Cuando el par resistente aumenta la velocidad disminuye, puesto que el par electromagnético se ve superado momentáneamente. Al disminuirse la velocidad, la *f.c.e.m* se reduce también, con lo que la diferencia de potencial con la fuente de alimentación aumenta, incrementándose como consecuencia la corriente. Esto último provoca que el flujo  $\phi$  y el par electromagnético se incrementen; los valores de velocidad y de corriente se reajustarán por sí mismos hasta que el para electromagnético se iguale al par resistente. Si el par resistente decrece, el motor aumenta su velocidad momentáneamente, incrementándose la *f.c.e.m*, como consecuencia, la corriente, el flujo y el par electromagnético decrecerán. Por lo tanto, la velocidad y la corriente se corrigen por ellos mismos hasta alcanzar el equilibrio. Si se suprime totalmente la carga, el flujo  $\phi$  se reduce extremadamente, con lo que la velocidad se hace muy grande. Es peligroso dejar sin carga los motores serie, ya que podrían alcanzar velocidades para las cuales la fuerza centrífuga puede destruirlos. Por esto, el motor-serie debe estar conectado siempre a su carga por su mecanismo directo, como ejemplo engranajes.

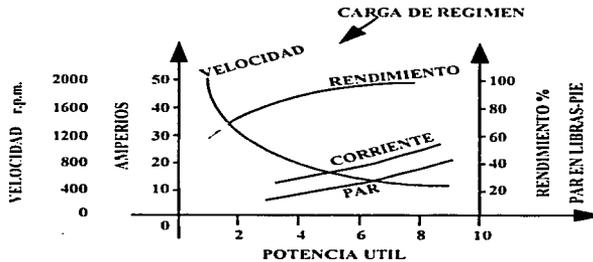


Fig., 16. Características típicas de un motor serie.

En la fig. 16, se observa que la velocidad varía prácticamente en sentido inverso al de la intensidad de la corriente. A intensidades de corriente elevadas, la velocidad es pequeña y para intensidades pequeñas la velocidad es grande, los motores serie se emplean en actividades en las que se requieren arranques frecuentes bajo un par elevado, así como para buscar variaciones de carga.

### 1.6.3. Motor compuesto.

Una combinación de los sistemas derivación y serie es el sistema compuesto; es este sistema compuesto; es este sistema se agrega el motor en derivación un arrollamiento inductor en serie. Este arrollamiento puede conectarse de tal forma que sume su acción a la del arrollamiento en derivación, en cuyo caso se dice que el motor es compuesto acumulativo; o bien, pueden las acciones de los dos arrollamientos estar en oposición, en cuyo caso se dice que el motor es compuesto diferencial.

#### ➤ Motor Compuesto Acumulativo.

Cuando se aplica la carga, las espiras serie producen un aumento del flujo que da lugar a que el par, para una intensidad de corriente dada, sea mayor que el que correspondería a un motor de derivación. Estas características se representan en la fig. 17, en donde se indican los valores del par electromagnético o par desarrollado por el inducido y la velocidad de los motores serie, derivación compuesto acumulativo y compuesto diferencial.

El motor compuesto acumulativo desarrolla un par elevado cuando se aumenta súbitamente la carga. Tiene también una velocidad definida cuando funciona en vacío y no hay peligro de que ésta se dispare cuando se suprime la carga.

La aplicación del motor compuesto acumulativo se encuentra principalmente en el accionamiento de máquinas destinadas a soportar súbitamente cargas intensas, como sucede con las laminadores, las cizallas o las punzonadoras. Este tipo de motor se emplea también cuando se requiere un par de arranque elevado.

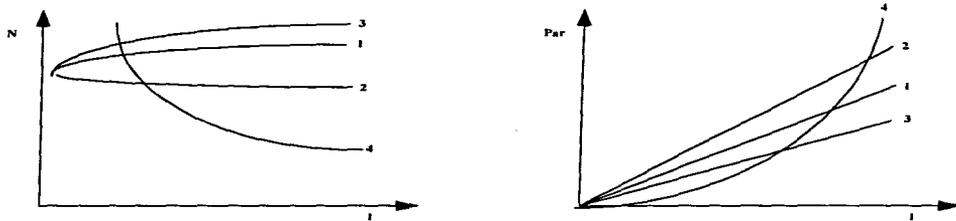


Fig. 17. Características de velocidad y par de los motores.  
 1)Derivación. 2)Compound acumulativa. 3)Compound diferencial. 4)Serie.

### ➤ Motor Compuesto Diferencial.

En este tipo de motor el arrollamiento en serie del inductor genera un campo opuesto al producido en el arrollamiento en derivación, de manera que el flujo decrece al aumentar la carga, dando como resultado que la velocidad se mantenga prácticamente constante, o con la tendencia de aumentar cuando la carga se incrementa. El motor diferencial tiende hacia la inestabilidad, particularmente al arrancar y en las sobrecargas; por eso, al ponerlo en marcha, se debe poner en corto circuito el arrollamiento serie, porque la corriente, intensa en este circuito, puede ser suficiente para equilibrar los amperes-vuelta del derivación y provocar el arranque del motor en la dirección contraria a la normal.

Por estas razones es que este tipo de motor no es prácticamente utilizado.

### **1.7. Componentes principales de un motor de corriente directa.**

Un motor de corriente directa, está compuesto de dos partes principales:

- Una parte fija destinada a producir un flujo magnético principal llamado estator o Carcaza y consta de:
  - ⇒ Polos principales, éstos son destinados a producir el flujo magnético principal.
  - ⇒ Polos auxiliares, son destinados a eliminar las chispas producidas en las escobillas, y están instalados entre los polos principales.
  
- Una parte móvil llamada inducido o armadura, que es la parte donde se efectúa la transformación de la energía mecánica a energía eléctrica, como en el caso de un generador, o inversamente, de energía eléctrica a energía mecánica en el caso de un motor. Es un cuerpo cilíndrico giratorio situado en el interior del estator entre los polos y comprende de:
  - ⇒ Una laminación o cuerpo macizo, dentado.
  - ⇒ Un devanado colocado sobre la laminación o el cuerpo macizo.
  - ⇒ Un colector o conmutador.

También dispone de un porta-escobillas, escobillas, rodamientos y una flecha

## **CAPITULO 2**

### **IEEE MODELO CLAVE DE PRUEBAS PARA MAQUINAS DE CORRIENTE-DIRECTA.**

---

#### **2.1. Pruebas normalizadas**

- 2.1.1. Campo de acción.
- 2.1.2. Pruebas.
- 2.1.3. Método alternativo.

#### **2.2. Mediciones eléctricas y fuentes de energía para todos los procedimientos de prueba.**

- 2.2.1. Selección de los instrumentos.
- 2.2.2. Voltaje.
- 2.2.3. Corriente.
- 2.2.4. Potencia.
- 2.2.5. Fuentes de potencia.

#### **2.3. Pruebas preliminares.**

- 2.3.1. Referencia de condiciones.
- 2.3.2. Mediciones de la resistencia de los devanados.
- 2.3.3. Medidas del intervalo del aire.
- 2.3.4. Caída de potencia y polaridad de bobinas del campo.
- 2.3.5. Vibración.
- 2.3.6. Colocación del cepillo.
- 2.3.7. Resistencia de aislamiento.
- 2.3.8. Pruebas de alto potencial.

## 2.4. Determinación del rendimiento.

- 2.4.1. Saturación magnética.
- 2.4.2. Conmutación.
- 2.4.3. Regulación.
- 2.4.4. Eficiencia o rendimiento.
- 2.4.5. Descripción de pérdidas.
  - 2.4.5.1. Pérdida de  $I^2R$  en la armadura.
  - 2.4.5.2. Pérdida  $I^2R$  en los devanados conectados en series.
  - 2.4.5.3. Pérdida de contacto de escobilla o cepillo.
  - 2.4.5.4. Pérdida de la carga perdida..
  - 2.4.5.5. Pérdida  $I^2R$  del campo de derivación.
  - 2.4.5.6. Pérdida del reostato.
  - 2.4.5.7. Pérdida excitadora.
  - 2.4.5.8. Pérdida rotacional del núcleo magnético.
  - 2.4.5.9. Pérdida de la escobilla-fricción.
  - 2.4.5.10. Pérdida de la fricción y fricción de aire.
  - 2.4.5.11. Pérdidas del ventilado.
- 2.4.6. Medición de pérdidas de rotación.
  - 2.4.6.1. Método de entrada de electricidad.
  - 2.4.6.2. Método de entrada de energía mecánica.
  - 2.4.6.3. Método de retardo.
  - 2.4.6.4. Método calorímetro.

2.4.7. Prueba de carga de motores de caballos de fuerza fraccionales.

2.4.8. Prueba de carga de motores de caballos de fuerza-integral.

2.4.8.1. Carga.

2.4.8.2. Procedimiento de la prueba.

2.4.8.3. Lecturas.

## **2.5. Pruebas de temperaturas.**

2.5.1. Propósito.

2.5.2. Instrucciones generales.

2.5.2.1. Instrumentación.

2.5.2.2. Partes inaccesibles.

2.5.3. Métodos de medición de temperatura.

2.5.3.1. Método del termómetro.

2.5.3.2. Método de aplicación de termo-pares.

2.5.3.3. Método de resistencia.

2.5.4. Medición de la temperatura de los componentes.

2.5.4.1. Bobinados (estacionarios).

2.5.4.2. Bobinados (rotantes).

2.5.4.3. Conmutador.

2.5.4.4. Soportes (bearing).

2.5.4.5. Medición de temperaturas ambiente.

2.5.5. Procedimiento de la prueba.

2.5.6. Incremento de temperatura.

## **2.6. Pruebas varias.**

2.6.1. Prueba de audio-ruido.

2.6.2. Prueba de interferencia electromagnética.

2.6.3. Forma de la onda del voltaje.

2.6.3.1. Método del osciloscopio de rayos catódicos (preferido).

2.6.3.2. Método de lectura de tubo al vacío.

2.6.4. Respuesta.

2.6.4.1. Respuesta nominal del agitador.

2.6.5. Medición de la inductancia del bobinado.

2.6.5.1. Prueba de inductancia del circuito de la armadura.

2.6.5.2. Prueba de inductancia del campo de la resistencia en derivación.

2.6.6. Corrientes relámpago.

2.6.6.1. Causas de las corrientes relámpago.

2.6.6.2. Prueba para corrientes relámpago

## **2.1. Pruebas normalizadas**

### **2.1.1. Campo de acción.**

El módulo clave de pruebas IEEE de máquinas de corriente directa incluye recomendaciones para dirigir e informar generalmente exámenes aceptables para determinar las características de realización del tipo industrial de máquinas de corriente directa convenida. Estas pruebas estarán descritas en tres categorías.

#### **Pruebas de motores y generadores de corriente-directa.**

Diseñados para ser operados esencialmente en un rizo libre de suministro de fuerza está definido como uno en el cual el valor de vértice a vértice del componente alternado de la corriente no exceda del 6% de la corriente nominal de la máquina probada en cualquiera de las condiciones de la prueba con tal que la frecuencia alternante componente de la corriente esté a 50 hertz o mayor.

#### **Pruebas de motores de corriente-directa.**

(Nominal 200 caballos de fuerza y menos).

Diseñados para ser operados sobre un suministro de fuerza rectificada.

#### **Otros procedimientos de prueba.**

Está reconocido que puede haber otros procedimientos de pruebas que los aquí descritos. Cuando se puedan utilizar más de un procedimiento, las condiciones locales y el grado de precisión deseados estos determinarán el procedimiento a seguir. Esta clave de prueba no deberá interpretarse o analizarse como requiriendo el cumplimiento de alguna o todas las pruebas en este asunto y en cualquier transacción dada.

### **Normas a que se refieren en la prueba.**

Las siguientes normas a que se refiere esta clave de prueba son las siguientes:

- IEEE Std 120-1955, clave maestra de prueba para mediciones eléctricas en circuito de energía.
- IEEE Std 119-1973, Práctica recomendada para mediciones de temperatura como aplicada a los aparatos eléctricos.
- NEMA Pub No. MGI-1967, normas para motores y generadores.
- ASTM Norma B236-68, especificación para varillas de aluminio para fines eléctricos (varillas de autobús).
- IEEE Std 118-1949, clave maestra de pruebas para medición de la resistencia.
- IEEE Std 43-1961, guía para examinar la aislación de la resistencia de maquinaria rotativa.
- (ANSI C50.22-1972).
- IEEE Std 4-1968, técnicas para pruebas dieléctricas (ANSI C68.1-1968).
- IEEE Std 85-1973, procedimiento de la prueba para mediciones del sonido llevado por aire en maquinaria eléctrica de rotación.
- American national standard C63.4-1963 (R1969) métodos de medición del ruido del voltaje del radio y la intensidad del campo de perturbaciones del radio, 0,015 a 25 megaciclos segundo. Bajo voltaje en equipo eléctrico.

## 2.1.2. Pruebas.

### Generalidades.

Las pruebas en esta clave son usadas para comprobar la realización o rendimiento de las máquinas de corriente directa están divididas en cuatro categorías generales. Prueba preliminar, prueba de la determinación del rendimiento, prueba de la temperatura y pruebas misceláneas. Las máquinas de corriente directa generalmente son examinadas en el punto de manufactura. Ciertas pruebas de cada una de las cuatro categorías, frecuentemente son incorporadas dentro de tres grupos de pruebas como se describen abajo para servir como una guía, pero estos tres grupos no necesariamente constituyen un modelo para pruebas.

### Pruebas estáticas.

La prueba estática generalmente incluyen.

- Resistencia o impedancia de medición del (bobinado o devanadas) o de ambos.
- Caída del potencial y polaridad de las bobinas del campo.
- Mediciones de Intervalo del Aire.
- Verificación de conexiones.
- Resistencia de Aislamiento (fría)
- Prueba de Alto Potencial.

### Pruebas completas.

La prueba completa generalmente incluye la prueba estática y las siguientes pruebas adicionales.

- Vibración.
- Saturación Magnética.
- Conmutación.

- Regulación.
- Antecedentes de entrada en vacío.
- Prueba de carga.
- Eficiencia.
- Subida nominal y temperatura sobrecargada.

#### **Prueba de rutina.**

Las pruebas de rutina son frecuentemente listadas en una específica aplicación normal a un tipo y medida particular de la máquina de corriente directa.

#### **Otras pruebas.**

Las pruebas preliminares incluyen no solamente a esas pruebas incorporadas en el grupo de pruebas estáticas, pero en suma, esas pruebas generalmente rindieron antes de la prueba de determinación del rendimiento pudiera o debiera ser intentado. Las pruebas de determinación del rendimiento y las pruebas de temperatura son esas generalmente hechas para determinar el rendimiento de una máquina de corriente directa. Las pruebas misceláneas son intentadas frecuentemente para proporcionar información adicional perteneciente al rendimiento de una máquina específica.

#### **2.1.3. Método alternativo.**

Por muchas de las pruebas listadas en esta clave, los métodos alternativos son descritos que son apropiados para los diferentes tamaños y tipos de máquinas de corriente directa y para las diferentes condiciones encontradas durante la prueba. En algunos casos está indicada la prueba del método preferido.

Después de que un método específico de prueba o examen ha sido seleccionado, todos los procedimientos necesarios para la prueba pueden obtenerse utilizando las direcciones y precauciones descritas en esos párrafos que contienen en su encabezado una letra designando el método de la prueba seleccionada. Por ejemplo, si la prueba del método "B" ha sido seleccionada, la referencia que se necesita solamente es hacerla a esos párrafos identificados con la letra "B" además de esos párrafos marcados "TODO", que proporcionan procedimientos de pruebas comunes a todos los métodos de pruebas.

## **2.2. Mediciones eléctricas y fuentes de energía para todos los procedimientos de prueba.**

### **2.2.1. Selección de los instrumentos.**

Los instrumentos utilizados en mediciones eléctricas deberán ser seleccionadas para que den buenas indicaciones en la escala; eso es, donde una fracción o división es estimada fácilmente y donde tal fracción es un pequeño porcentaje del valor leído. Información más nueva con respecto al uso de instrumentos pueden obtenerse por referencia a IEEE Std 120-1955.

- Sobre energía rectificada, el promedio o los valores de la armadura y campo de los voltajes y corrientes pueden ser medidas usando imán permanente de bobina móvil (d' Arsonval) tipo de instrumentos u otros instrumentos con tal que al promedio de lecturas sea verdad. La raíz cuadrada de la media de los cuadrados pueden medirse con electrodinómetro-patrón de hierro tipo aleta, u otros tipos de instrumentos siempre que sea verdad la lectura de los rms. Alternando la corriente de los instrumentos del tipo utilizando rectificadores para el sentido de solamente una porción del voltaje o señal de la corriente que no es adecuado para la medición del promedio o los valores rms. de cantidades antisimétricas. También observaciones en osciloscopio del voltaje y señales de la corriente son recomendadas para asegurar que las formas de onda están convenientemente balanceadas y que son de las formas esperadas. Las bajas derivaciones de inductancia adecuadas y cables conductores protegidos deberán usarse para empujear la señal de distorsión y eliminar extraños voltajes.

- El componente *ac* de la armadura y campo de voltajes y corrientes pueden medirse separadamente usando un instrumento de verdadera lectura-rms bloqueando el componente de la señal usando un capacitor o transformador u otros medios. Si se usa un capacitor, deberá ser de tamaño suficiente para que el voltaje *ac* caiga transversalmente, el capacitor debe ser menos del dos por ciento del componente *ac* del voltaje medido. Si un transformador de corriente es usado para bloquear el componente *dc* de la corriente, deberá ser de suficiente tamaño para evitar saturación magnética que resulta de la corriente que pasa por el devanado primario. Si un devanado vías es usado para evitar la saturación magnética del transformador, deberán tomarse medidas para restringir que el ampere *ac* gire dentro del devanado vías a menos del dos por ciento del ampere *ac* que gire en los devanados primarios. La magnitud de la onda perfilada y la fase relacionada de la corriente secundaria deberán observarse en el osciloscopio y compararlo con la corriente primaria. Los componentes de los valores de la corriente de la armadura, por ejemplo, están interrelacionadas:

$$I_{rms} = \sqrt{I_{dc}^2 + I_{ac}^2}$$

Dónde:

*I<sub>rms</sub>* = *rms* valor de la corriente.

*I<sub>dc</sub>* = valor promedio de la corriente.

*I<sub>ac</sub>* = *rms* valor del componente *ac* de la corriente.

### 2.2.2. Voltaje.

Las medidas del voltaje de la máquina deberán tomarse en las terminales de la máquina. Si las condiciones locales no permitirán tales conexiones, el error introducido deberá ser evaluado y las lecturas corregidas.

Las pruebas deberán hacerse tan cerca de la tensión nominal como sea práctico. Si la terminal del voltaje es ligeramente diferente de la tensión nominal, esta diferencia deberá tomarse en cuenta haciendo las correcciones en las características de cálculo de la máquina.

### **2.2.3. Corriente.**

Las mediciones de instrumentos deberán tomarse del promedio de los valores de las corrientes de la derivación del campo y de la armadura. La resistencia del instrumento y su derivación, si se usó no afectará apreciablemente las características de la máquina.

La corriente requerida por todos los dispositivos protectores utilizados durante la prueba no afectarán apreciablemente los resultados de la prueba. Esta clave recomienda que estos dispositivos estén tan conectados que una mínima corrección se haga si es necesaria.

En potencia rectificada, el valor rms de la corriente de la armadura o el componente ac de la corriente de la armadura o ambos deberán ser medidos.

### **2.2.4. Potencia.**

La potencia o energía motriz en watts es generalmente computada como el producto del voltaje y la corriente. Debe usarse un voltímetro de lectura-directa. Si es requerida de una precisión muy superior, todas las correcciones deberán hacerse por la pérdida de potencia en los instrumentos, prueba de conexiones, y dispositivos protectores.

El calibrado del manejo del motor o dinamómetro utilizado en la pérdida de mediciones deberá ser de tales medidas que está cargado cuando menos un tercio de su clasificación o potencia indicada cuando las pérdidas para la carga nominal están medidas.

Armadura de entrada circuito de potencia.

En la potencia rectificada, la entrada de la armadura del circuito de potencia puede ser medida directamente utilizando una lectura verdadera u otros medios de medidas donde el producto instantáneo del voltaje y la corriente esta promediado. Alternativamente los componentes de potencia *dc* y *ac* pueden ser medidos separadamente (los que se describen a continuación) y sumar las juntas.

- El componente  $dc$  de la entrada de la armadura al circuito de potencia en el producto del promedio entrada de la armadura al circuito del voltaje y corriente  $ac$  como medido con instrumentos de lectura promedio.
  
- El componente  $ac$  de la entrada de la armadura de la entrada del circuito de potencia es el valor promedio del producto de los componentes instantáneos  $ac$  de la armadura del voltaje y de corriente. Puede ser medido bloqueando el componente  $dc$  de cualquiera de las señales de voltaje o corriente pasando a los medios de medida de potencia.

Si la relación de la fase de las señales de voltaje y corriente a la medición de los dispositivos de potencia son incorrectos, pueden corregirse intercambiando las guías o cables conductores hasta que se obtenga la relación correcta.

Derivación a la entrada del campo de potencia.

La derivación de entrada al campo de potencia generalmente puede ser tomada con suficiente precisión como un producto del promedio de la derivación del campo de voltaje y corriente. La exactitud de esta medición puede ser comprobada usando un vatímetro u otros medios de medición de potencia si se requiere de mayor precisión.

### **2.2.5. Fuentes de potencia.**

Suministro de corriente directa.

El Suministro de potencia deberá ser tal que un mínimo de ajuste es necesario durante el tiempo en que se tomen las lecturas de la prueba. En general, el suministro de potencia deberá ser de suficiente tamaño y en tal condición que su operación no influya en la máquina bajo prueba. El suministro de potencia deberá ser esencialmente de ondulado libre.

### Rectificado alternado suministro de corriente.

Los exámenes o pruebas de rendimiento y conformidad en los motores de intentando para servicio con rectificadores deberá ser conducido usando un suministro de potencia del tipo que haya resultado en la cantidad de corriente rizada o de fluctuaciones para la cual el motor está diseñado. El voltaje y la corriente en cuanto a sus formas de onda deberán ser balanceadas y libres de disturbios e inestabilidades. Los rectificadores de los parámetros importantes respecto a la corriente directa con fluctuaciones en la armadura son: número de fases y sistemas de circuitos, entrada  $ac$  de voltaje, frecuencia, circuito de inductancia de la armadura y resistencia. Cuando el rectificador carezca de estos medios para encontrar estos requerimientos, y cuando se noten en el registro de antecedentes de la prueba un circuito de potencia suministrada en la armadura condicionando la misma frecuencia pero con más corriente ondulante que la esperada en el servicio puede ser utilizada y la ondulante restringida al valor asignado o nominal usando un regulador de alisadura.

Cuando se note en el registro de antecedentes de la prueba, una corriente directa suministro de potencia teniendo un voltaje ondulante bajo en contenido, tal como el generador dc puede usarse para suministrar al campo de derivación potencia del circuito durante las pruebas del motor rectificado.

Una indicación de calentamiento del motor puede obtenerse de pruebas usando la potencia de la armadura teniendo un bajo contenido ondulante, tal como el generador dc, manteniendo la corriente de la armadura en los valores rms anticipados en servicio rectificado. Sin embargo, debe reconocerse que las temperaturas de las máquinas pueden ser más altas en un verdadero servicio rectificador, particularmente en el caso de las máquinas encerradas o acorazadas. Tales pruebas no miden el rendimiento de conmutación. Un suministro ondulante-bajo dc puede también usarse conduciendo las pérdidas en pruebas separadas y tomando pruebas comparativas de calentamiento y conmutación.

## **2.3. Pruebas preliminares.**

### **2.3.1. Referencia de condiciones.**

- Localización para las pruebas. Las pruebas generalmente son hechas en la planta del fabricante, a menos que haya otro mutuo acuerdo sobre el sitio establecido.
  
- Aire ambiente. A menos que haya otro acuerdo sobre, el aire de la temperatura circundante deberá ser dentro de 10° C a 40° C, y la altitud no excederá 3300 pies (1000 m). El procedimiento a seguir en la medición de la temperatura del ambiente es dado en IEEE Std 119-1966.
  
- Marcas terminales. Las marcas terminales deberán hacerse de acuerdo con NEMA Pub No MGI-1967. Sin embargo, el diagrama de conexiones del fabricante deberá ser la autoridad para verificación de las marcas terminales.
  
- Dirección de la rotación. Cuando la dirección de la rotación no está especificada, los motores deben ser probados con movimiento siniestrógiro y los generadores con movimiento destrógiro, cuando se vea desde el extremo opuesto la extensión del eje normal.

### **2.3.2. Mediciones de la resistencia de los devanados.**

Los devanados de la resistencia de la máquina a fin de comprobar el devanéo completo de la conexión, para calcular el  $I^2R$  perdido y para establecer una referencia en la resistencia en una temperatura de referencia para usarse en la determinación de la temperatura promedio del devanado.

Las mediciones de la Resistencia se hará como en esquema IEEE Std 118--1949. Toda precaución posible deberá tomarse para obtener la verdadera temperatura del devanado cuando se mida la resistencia fría. La temperatura del aire circundante no debe ser considerada como la temperatura de los devanados, a menos que la máquina haya estado parada ociosamente bajo las constantes condiciones de la temperatura por un considerable período de tiempo. Deberá tomarse extremado cuidado para asegurar mediciones exactas en la resistencia puesto que un pequeño error midiendo la resistencia causará comparativamente un gran error determinando la temperatura.

➤ Corrección de la temperatura de las resistencias de devanados.

La fórmula usadas para corregir la resistencia fría medida a una temperatura normal tal como es 25° C; debe ser:

$$R_1 = R_2 \frac{(K + T_1)}{(K + T_2)}$$

Donde:

$R_1$  = Resistencia de devanados en ohms a temperatura normal fría,  $T_1$

$R_2$  = Resistencia de devanados en medida ohms a temperatura  $T_2$

$K$  = 234.5 para cobre

$K$  = 225 para aluminio (grado EC, ver ASTM Standar B 236-68)

➤ Método de medición de la resistencia.

Es preferible el método de puente. El método caída de tensión puede usarse como método alterno.

Circuito de los devanados del campo de derivación. La resistencia del campo de derivación deberá ser determinada en las terminales del campo de derivación con conexiones adecuadas excluyendo todas las resistencias externas. La temperatura del devanado al tiempo que se está midiendo la resistencia deberá registrarse con la medida de la resistencia.

Circuito de la armadura de la resistencia del devanado. El circuito de la armadura de la resistencia del devanado deberá determinarse midiendo la resistencia de varios componentes.

Estos componentes se medirán como abajo indican los 7 aspectos de la prueba. (Siempre registre la temperatura del devanado que se midió).

(1) Armadura (Sólo Devanado Rotor).

Método A (de preferencia). Una consecuencia de la baja resistencia del arnés deberá conectarse al devanado rotor ya sea en las tuberías verticales o en las abrazaderas extremas o también a los segmentos del conmutador para que así se conecten todos los del circuito del devanado rotor de una manera similar a la que proporcionan los cepillos de aparejos. La resistencia medida conectando el puente entre las piernas de este arnés que corresponde a los cepillos positivo y negativo es considerada como la resistencia de la armadura. Deberá tenerse cuidado al reducir el contacto de la resistencia a un valor negligentemente bajo.

Método B (Variante). Esta es la caída de tensión el método para medir la resistencia de la armadura. El cepillo de aparejo deberá estar debidamente armado. El ajuste del cepillo deberá estar bien. El rotor deberá estar debidamente bloqueado o cerrado para impedir la rotación. Use el cepillo de aparejo como conexión corriente y mida la caída de potencial como sigue: Las dos guías del potencial deberán aplicarse a los segmentos del colector aproximadamente un paso polar aparte. Estas guías deberán colocarse en los segmentos tan cerca del centro del contacto superficial del cepillo como sea posible, las guías potenciales cambiadas y registradas sus lecturas por cada paso polar. La corriente deberá mantenerse constante para todas estas mediciones. La resistencia se computará del promedio de toda la caída de potencia leídas y de la corriente circulante.

(2) Campo de conmutación del devanado.

Sobre máquinas no compensadas, la resistencia de este devanado puede medirse directamente en sus terminales. Si un extremo del devanado está permanentemente conectado al cepillo de aparejos, la resistencia del campo de conmutación deberá medirse entre este punto y la terminal exterior. En las máquinas que están compensadas, de este devanado puede ser entrelaminado con el devanado del campo compensado (devanado del polo-frontal). En tales diseños la resistencia combinada de estos dos devanados deberán ser medidos en la terminal.

(3) Devanados en el campo de compensación.

Si están separados del campo de conmutación, la resistencia deberá medirse en la terminal de este devanado.

(4) Devanados en campos series.

La resistencia deberá medirse en las terminales de todos los distintos devanados. Si el devanado está conectado permanentemente a uno de los otros devanados estacionarios y con solamente una conexión con banda de acero distinta entre los dos devanados, la resistencia del campo de series deberá ser medida entre la terminal y esta distinta conexión con banda de acero. Si el devanado del campo de series está entrelaminado, o no tiene una conexión distinta entre los devanados, entonces su resistencia deberá ser medida en combinación con el otro estator de los devanados al cual está interconectado.

(5) Derivaciones.

La resistencia de todas las derivaciones deberán ser medidas en las terminales del cable de las derivaciones. Las derivaciones deben ser desconectadas de los devanados cuando se está midiendo la resistencia. Los derivados por estos varios resistores deberán ser identificados con la resistencia del derivado.

(6) Devanados auxiliares y sus series de resistores.

La resistencia de todos los devanados auxiliares deberán ser medidos en sus terminales, la resistencia de todo el ajustaje de todo el devanado auxiliar deberá ser medio en las terminales de los cables que juntan estos resistores al devanado. Además a la resistencia, las conexiones de todo el ajustaje de los resistores deberán registrarse.

(7) Resistencia del circuito de la armadura.

La resistencia del circuito de la armadura abarca la suma de todos los componentes antes dichos en series propias y conexiones paralelas de acuerdo con el diagrama del devanado de la máquina. Esta adición o total agregado deberá tomarse solamente después de que cada resistencias del devanado van a usarse en diferentes temperaturas y este total agregado no puede hacerse, cada devanado deberá ser considerado separadamente.

### 2.3.3. Medidas del intervalo del aire.

La medición de los intervalos del aire incluye una verificación de una correcta instalación de los polos principales, prueba de posible deformación del cojinete o cojinete de apoyo y efectuar una inspección para que haya un espacio suficientemente libre antes de correr la prueba, y un adecuado ensamblaje del rotor con respecto al estator. La disimetría en el polo principal del campo de conmutación de los intervalos de aire pueden causar dificultades tales como un ondeo o rizo en el voltaje o un recalentamiento de los compensadores.

Mida un mínimo de intervalo de aire debajo del centro de cada polo principal (aproximadamente) y de cada polo del campo de conmutación utilizando un calibrador de cinta adecuado o calibrador de ahusamiento para determinar el intervalo cuando menos lo más cercano a 0.100 mm (0.005 pulgadas) para motores de caballo de fuerza integral. El intervalo de aire generalmente está ajustado tan prácticamente cerca a la avería particular o simple proporcionada por una laminita de acero mínima atrás de cada tipo de polo. Precaución: Todas las mediciones deberán hacerse entre las superficies o recubrimientos de hierro de las piezas del polo y el rotor. Dentro de la práctica normal, un punto común es seleccionado y el punto se girará hacia cada polo en turno conforme se hagan las mediciones. Cuando las aberturas u orificios no están condicionados, la uniformidad del intervalo de aire puede determinarse mirando que el rotor gire libremente en la máquina armada cuando se devane con un alambre ensamblado en espiral alrededor de la periferia del rotor. Para esta prueba el diámetro del alambre deberá ser cuando menos el 70% de la mitad de la diferencia entre la distancia diamétrica de las caras o frentes del polo mayor y el diámetro exterior del rotor.

- **Registro de antecedentes.** Esta clave recomienda uniformidad en la identificación del polo. El polo principal número 1 y el polo del campo de conmutación número 1 será el primer polo de cada clase en dirección del sentido de rotación de las manecillas del reloj desde la línea central vertical arriba de la línea central horizontal cuando la máquina es vista desde el extremo del conmutador. Cada polo principal será numerado consecutivamente en una dirección que se mueve a la derecha. Asimismo, los polos del campo de conmutación serán numerados empezando con el polo número 1 y procediendo consecutivamente en dirección del sentido de las agujas del reloj.

Para una máquina con un eje vertical, el polo número 1 es el primero en dirección a las agujas del reloj como visto desde el extremo del conmutador de la máquina desde algún punto designado tales como placa-marca del fabricante o dirección de rotación marcada. Este punto deberá ser identificado en el registro de antecedentes.

### **2.3.4. Caída de potencia y polaridad de bobinas del campo.**

El propósito de esta prueba es para determinar que las bobinas están devanadas y conectadas para la correcta polaridad relativa y que las bobinas contienen aproximadamente el mismo número de vueltas del mismo tamaño de alambre y que las vueltas no están haciendo corto circuito.

- **Polaridad.** La polaridad de los varios campos de devanado pueden ser determinados por cualquiera de los métodos abajo indicados. Cada polaridad de campo de devanado deberá ser investigada independientemente.

La polaridad puede verificarse por los medios de un compás mientras que pasa la corriente a través de todos los campos de un tipo de bobinas conectadas en series u observando la atracción o repulsión entre los extremos de dos cortos, puente de barras de hierro blando entre las puntas adyacentes del polo.

Las bobinas del campo que son construidas de conductores de gran tamaño que pueden ser fácilmente trazados por todas partes el devanado puede verificar su polaridad trazando el devanado y aplicando la regla de la mano derecha.

➤ **Caída de potencial.** La resistencia relativa de cada bobina puede ser indicada leyendo la caída de potencial a través de cada bobina separadamente, mientras que va pasando una pequeña corriente directa constante por las bobinas dentro del devanado conectado en series. Una variación en la caída de potencial de más del 5% del promedio de la caída de potencial es una indicación de que ahí puede haber vueltas que están haciendo corto circuito variación en el número de vueltas, o error en el tamaño del alambre.

Nota: Si el campo de devanado tienen múltiples circuitos, la corriente de cada circuito deberá medirse independientemente para obtener resultados positivos, o las bobinas deberán conectarse en series donde sean aplicables.

La presencia de vueltas con corto circuito en una bobina del campo puede determinarse pasando una corriente alternada por el campo. La bobina que tenga las vueltas con corto será indicada por una baja impedancia cuando sea comparada con esa de las otras bobinas. La bobina con una vuelta con corto circuito tiene una impedancia menor a las de las otras bobinas.

### **2.3.5. Vibración.**

La vibración del motor causada por la disimetría mecánica o electromagnética deberá medirse usando una fuente baja de corriente de fluctuación directa, tales como un generador. Estas mediciones generalmente son hechas sin carga y a una velocidad de régimen. La frecuencia de la vibración está relacionada a la velocidad de la rotación.

En potencia rectificada, en suma a la vibración causada por la disimetría mecánica o electromagnética, los motores operados de rectificadores pueden experimentar vibraciones relacionadas con la amplitud y frecuencia del rizo componentes de la armadura y el campo de la corriente. La potencia o fuerza suministrada para usarse deberá estar de acuerdo con la sección 2.2.5.

Las pruebas deberán ser conducidas a las velocidades y cargas resultantes en el componente del rizo máximo de la corriente dentro de la potencia indicada de la máquina. Para diferenciar entre la vibración causada por rotación y la vibración causada por la corriente del rizo o corriente directa de fluctuación, las mediciones deberán hacerse con grados variables de la corriente del rizo como realizado por el uso de un reactor de alisadura o utilizando un suministro bajo de potencia en el rizo, tal como un generador de.

Ambas mediciones de vibración vertical y horizontal deberá hacerse a la máquina en el alojamiento del cojinete. Si los alojamientos de los cojinetes no son accesibles las lecturas deberán tomarse del soporte de la envoltura tan cerca de la misma envoltura como sea posible. El fabricante y el comprador pueden seleccionar localizaciones adicionales o alternativas para mediciones de la vibración.

Las condiciones del montaje afectarán la vibración de la máquina. Las máquinas condicionadas con bases de sostén propio, o del tipo de construcción de blindaje, pueden ser montados de tal manera como para hacerlos independientes de las condiciones del montaje. En máquinas grandes esto no resulta práctico y la experiencia ha demostrado que es innecesario. Para obtener mediciones que estén lo más posible independientes de las condiciones del montaje, la máquina deberá ser colocada sobre cojinetes o muelles flexibles. Estas se comprimirán por el peso de la máquina misma, en cantidades no menores que los valores abajo indicados.

Velocidad (r/min)	Compresión mínima	
	Centímetros	Pulgadas
7200	0.04	1/64
3600	0.16	1/16
1800	0.63	1/4
1200	1.43	9/16
900	2.54	1
720	4.0	1 2/16
600	5.7	2 1/4

El valor para la compresión mínima en otras velocidades puede ser determinada por:

$$C = \left( \frac{k}{v} \right)^2$$

Donde:

$k = 1430$  para compresión,  $c$  en centímetros.

$k = 900$  para compresión  $c$  en pulgadas.

$v =$  velocidad en r/min.

Los cojinetes o muelles deberán ser seleccionados a fin de que la compresión no sea más de la mitad del grosor descargado.

### 2.3.6. Colocación del cepillo.

La mejor posición del cepillo para una buena conmutación y para obtener el voltaje o las características de velocidad deseadas de los generadores o motores respectivamente, finalmente deben ser determinados por medio de observación de las máquinas de carga baja. El fabricante de máquinas de corriente-directa determina la posición del cepillo que dará una exitosa conmutación y proporción de marcas de referencia y direcciones las cuales permiten que esta posición sea relocalizada. En algunas máquinas, los aparejos del cepillo son fijos y no se pueden mover. Cuando se hace la estipulación para mover los aparejos del cepillo, uno de los métodos en los párrafos siguientes puede usarse para determinar la eléctrica neutral.

- Definición de un buen ajuste del cepillo. Esta clave define el buen ajuste del cepillo para significar que cuando menos el 75% del área de la cara del cepillo está en aparente contacto con el conmutador.

- Método de inversión de rotación. Los motores reversibles o inversibles pueden tener localizado el neutral por éste método. Opere el motor en un constante voltaje, constante campo de corriente, y constante carga. El ajuste entre la cara de cepillo y el conmutador debe ser bueno. Mídase la velocidad rotacional por ambas direcciones de rotación. Cuando los cepillos son localizados en el neutral, la velocidad rotacional deberá ser casi la misma en cualquier dirección. La máquina deberá correrse cerca de la carga nominal y cerca de la velocidad superior en la que está operando.
  
- Moviendo la armadura por el pequeño ángulo (Método Kich). El neutral funcionamiento de una maquina puede ser localizado observando el voltaje inducido dentro del devanado estacionario de la armadura estableciendo alternativamente y destruyendo un flujo en los polos mayores. El procedimiento acostumbrado es como sigue: Eleve los cepillos. Seleccione dos segmentos del conmutador aparte espaciadamente un paso polar (el total de los segmentos divididos entre el número de polos). En caso de que las barras por paso polar no sean un número integral, dos juegos de lectura deberán tomarse; uno con el paso polar del siguiente número integral. Abajo del paso completo y otro con el siguiente más alto. Un promedio entre los dos representará la lectura buscada. Conecte a estos segmentos un voltímetro de baja lectura y de potencial directa. Los contactos de plomo del voltímetro con el conmutador siempre deberán estar un paso polar aparte y deberán permanecer en los mismos segmentos del conmutador. Empleé un interruptor instantáneo que sea un interruptor auxiliar de cuchilla dentada para asegurar un tipo más uniforme en la interrupción de la corriente. Arregle para excitar el campo principal de una fuente de corriente directa con no más del 20% de la corriente normal la cual puede ser establecida e interrumpida por medio del instantáneo encendido del interruptor.

En la abertura del encendido el "carcomido" campo de flujo inducirá un voltaje en las bobinas de la armadura entre los segmentos seleccionados y esta clave de trabazón puede leerse en voltímetro.

La armadura deberá ser girada a pocos grados a un tiempo con el voltímetro siempre conectado a los mismos segmentos y repítase la observación hasta que se encuentre una posición donde un cambio en el campo de la corriente no produzca indicación en el voltímetro. Cuando esto ocurra la porción del devanado entre los plomos del voltímetro estas igualmente o simétricamente localizados bajo los polos y el centro de las caras del cepillo deberán colocarse en estos puntos.

Nota: Un voltímetro de lectura baja o un milivoltímetro deberá usarse para asegurar la localización de un punto nulo discreto.

- Armadura estacionaria (Método Kich). Si la armadura no puede ser girada fácilmente, los emplomados del voltímetro pueden ser movidos alrededor del conmutador manteniendo un paso de polo o paso polar entre los emplomados.

El punto neutral en el conmutador está entonces en los dos segmentos donde la indicación mínima del voltímetro es obtenido cuando el campo de corriente es enchufado. Los centros de los cepillos deberán ser colocados en estos puntos. En casos donde las barras por paso polar no es un número integral, los emplomados del voltímetro deberán aún permanecer un paso polar aparte y un número de lecturas deberán tomarse en cualquier lado del punto donde la clave de trabazón se invierte. El punto en el cual una curva trazada de estas lecturas pasan por cero, indicarán la posición de neutral en vacío.

- Método torque-cero (Neutral sin carga o en vacío). Este método está basado en el hecho de que el torque-cero será generado cuando los cepillos son localizados en la neutral sin carga y la corriente es pasada a través de la armadura y el campo de conmutación con el campo principal sin excitar y el magnetismo remanente reducido a cero. El magnetismo remanente puede ser reducido a cero aplicando baja frecuencia de corriente alternada al campo de devanado y gradualmente reduciendo la magnitud del campo de la corriente desde nominal a cero. La baja frecuencia de corriente alternada puede obtenerse de un suministro de potencia a la corriente directa operando manualmente un tipo potenciómetro campo reóstato con un conmutador inversor. Un buen ajuste entre el conmutador y la cara de cepillo es esencial en este método.

El procedimiento es el siguiente: Desconecte las principales bobinas del campo, derivación y series. Coloque los cepillos inspeccionando ásperamente sobre el neutral que pase del 75% al 100% de la corriente nominal por la armadura y el campo de conmutación de bobinas. Si los cepillos están suficientemente fuera del neutral, la armadura girará en la misma dirección en cuanto los cepillos son desplazados del neutral. Cambie los cepillos o escobillas en dirección inversa hasta que la rotación cese y marque sus posiciones. Continúe moviendo los cepillos en la misma dirección hasta que la armadura gire en esta dirección inversa. Entonces mueva el cepillo a la inversa hasta que la rotación cese y marque esta nueva posición del cepillo. El neutral está a medio camino entre estas posiciones.

Precaución: La máquina tiene una característica en el motor serie durante esta prueba cuando los cepillos están fuera de neutral, por lo tanto, tome la precaución necesaria para impedir velocidad excesiva en la máquina.

### **2.3.7. Resistencia de aislamiento.**

La resistencia de aislamiento entre los devanados y el armazón o marco, raramente se miden en máquinas de pequeño o bajo voltaje, pero comúnmente se toman en las grandes (200 cf y más grandes) y más altos voltajes de (250 V y superiores) en las máquinas y sobre máquinas sujetas a aislamiento por daños de exposición o servicio severo.

La resistencia de aislamiento puesta a tierra es una indicación útil de si la máquina está o no en condición adecuada para la aplicación de una prueba de alta potencia o pruebas de funcionamiento. En esos casos donde las resistencias de aislamiento están siendo registradas, es importante obtener un buen juego de valores iniciales con propósitos de futuras comparaciones. Para métodos de prueba vea IEEE Std 43-1961.

### 2.3.8. Pruebas de alto potencial.

En los intereses de seguridad, deberán tomarse las precauciones debidas para impedir que alguien o algo se ponga en contacto con alguna parte del circuito o del aparato mientras las pruebas de dieléctrico están en progreso. Esta prueba deberá aplicarse solamente cuando, la máquina esté en buena condición y la resistencia de aislamiento no esté deteriorada debido a la suciedad o humedad. Los devanados probados deberán ser descargados cuidadosamente para evitar lesiones al personal que está en contacto.

- La prueba en voltaje de alto potencial deberá hacerse aplicándolo sucesivamente entre cada circuito eléctrico y el marco por el núcleo magnético en caso de rotor. Los devanados que no estén bajo prueba y todas las otras partes de metal deberán ser conectadas al marco o al (núcleo magnético) durante esta prueba. El marco (o el núcleo) deberá ser conectado adecuadamente a tierra durante esta prueba. Todos los accesorios tales como capacitadores, reactores, autotransformadores, y otros que pudieran estar dañados por el alto voltaje deberán ser desconectados durante esta prueba. Los accesorios deberán sujetarse a la prueba de alto potencial aplicable a la clase de aparato al cual el accesorio pertenece.

El valor de la prueba de alto potencial de voltaje y su frecuencia, perfilado de la onda, duración, y el valor máximo deberán ser de acuerdo con las más recientes normas aplicables.

- Nota: La aplicación repetida de la prueba de alto potencial degrada la calidad dieléctrica de los sistemas de aislamiento.
  - Ningún emplomado deberá dejarse sin conectar durante la prueba puesto que esto puede causar un esfuerzo extremadamente severo en algún punto del devanado. Al estar haciendo la prueba el voltaje deberá aumentarse gradualmente a su valor completo tan rápidamente como esté consistente con su valor que está siendo indicado correctamente por el medidor. Entonces deberá ser reducido a un coeficiente que lo traerá a un cuarto de valor o menos en no más de 15 segundos.
- Precaución. El voltaje nunca deberá ser desconectado del valor completo en un paso.

Para la medición de alto potencial en la prueba del voltaje vea IEEE Std 4-1961. El método de medición del transformador del voltímetro es comúnmente usado.

## **2.4. Determinación del rendimiento.**

### **2.4.1. Saturación magnética.**

La curva de saturación nula es una relación no lineal entre la terminal de la armadura del voltaje y el campo de corriente a base de velocidad de régimen y corriente de la armadura en cero.

El antecedente deberá tomarse debidamente en voltajes ensamblados para permitir un trazo exacto del campo de corriente cero hasta aproximadamente 125% de la tensión nominal.

- ✓ Manejado separadamente. La máquina deberá ser manejada a una velocidad nominal por cualquier medio adecuado. Sus cepillos deberán estar bien ajustados y localizados en el neutral sin carga o al final de la posición del cepillo. Si es posible la corriente de campo deberá ser suministrada de una fuente separada para estabilizar el voltaje y facilitar la toma de datos. Simultáneamente deberán tomarse las lecturas de la corriente de campo y del voltaje de la armadura.
- ✓ Curva en subida. Las lecturas deberán tomarse empezando con la corriente de campo cero y aumentándola hasta que se obtenga el máximo de voltaje. Tres lecturas deberán tomarse tan cerca del 90% como sea posible, 100% y 110% del voltaje nominal. El voltaje residual puede ser medido al empiezo y terminación de esta prueba.

Para evitar los efectos de histéresis, la terminal del inducido del voltaje nunca deberá ser conducido más alto que el punto prometido de la prueba y entonces disminuirse. Si esto ocurriera durante la prueba, la corriente de campo deberá ser reducida a cero y la terminal del inducido del voltaje aumentado al punto prometido o intencional de la prueba.

- Curva descendente. Otras lecturas pueden obtenerse empezando al máximo la terminal del inducido del voltaje y disminuyendo la corriente de campo a cero. Para evitar los efectos de histéresis, la terminal del inducido del voltaje nunca deberá conducirse más bajo del punto intencional de la prueba y entonces sea aumentado. Si esto ocurre durante la prueba, la corriente de campo deberá ser aumentada al máximo de su valor y la terminal del inducido del voltaje se disminuirá al punto intencional de la prueba.
  
- Manejo automático (Excepto Motor Series). Si está disponible un manejo separado que no es adecuado, el dato para una aproximada saturación nula de la curva puede tomarse operando la máquina como un motor desacoplado de una fuente separada de potencia de corriente directa. Esta fuente deberá ser ajustable desde aproximadamente 25% a 125% de la tensión o voltaje nominal. Se requiere un campo de corrientes para obtener una velocidad nominal en los diferentes voltajes que difieren de la saturación nula de la curva según antecedentes de los efectos de las corrientes del inducido que se requieren para operar la máquina como un motor desacoplado. La máquina se hará inestable en bajo voltaje y deberán tomarse precauciones en contra de la velocidad excesiva que deberá observarse.

#### 2.4.2. Conmutación.

Una acertada conmutación en la máquina es lograda si ni los cepillos o el conmutador están quemados o dañados en la prueba de conformidad o dentro del servicio normal a la extensión que sea requerida en el mantenimiento anormal. La presencia de algún chispeo visible no es necesariamente una evidencia de una conmutación fracasada.

Sobre potencia rectificada, la conmutación del motor será afectada por la línea *ac* de reactancia, la línea *dc* de reactores o impedancias y la relación del voltaje *ac* al del voltaje *dc* es importante, por tanto, cuando se esté juzgando la conmutación usar un suministro de potencia que tenga características similares o lo más similares que sea posible al suministro de potencia intencional (Véase también la Sección 2.2.5). La aparente visible conmutación generalmente parecerá más severa en el suministro de potencia rectificada. Por causa de la persistencia del ojo, muy poco chispeo aparece como un prolongado o continuo chispeo. La conmutación deberá ser observada sobre un largo período de tiempo al evaluar exactamente si el chispeo que está ocurriendo es o no dañino.

### 2.4.3. Regulación.

Velocidad. El propósito de esta prueba es la de determinar el cambio en la velocidad cuando la carga es reducida uniformemente desde nominal a cero con constante voltaje aplicado y constante campo de corriente. La regulación de la velocidad está expresada en por ciento de velocidad nominal. La fórmula para esta expresión es:

$$\text{Por ciento de regulación de velocidad} = 100 \frac{(\text{En velocidad sin carga} - \text{En velocidad con carga nominal})}{(\text{Velocidad con carga nominal})}$$

El procedimiento de la prueba es como sigue:

- Esta prueba deberá tomarse después de que el motor ha alcanzado una temperatura estabilizada como resultado de operaciones continuas en carga nominal. Los puntos de la prueba deberán tomarse rápidamente para que la temperatura de los devanados no cambien considerablemente.
- Opere el motor, manteniendo nominal el voltaje del inducido o de la armadura y campo de corriente nominal. Si el motor usa para su servicio un regulador de campo reóstato, ajuste el reóstato para obtener una velocidad nominal en corriente nominal de la armadura y voltaje. Quite y aplique la carga gradualmente varias veces hasta que las lecturas consistentes sean obtenidas.
- Método A. Empezando con la carga nominal y la velocidad, gradualmente reducida la carga de corriente en la armadura (sin carga) y entonces aumente esta carga de corriente a las sobrecargas deseadas en pasos del 25% y regrese a la carga de corriente nominal. Observe y registre la velocidad en cada paso. Si después de completar la prueba, la velocidad no regresa a su valor inicial en carga nominal, la prueba deberá repetirse. Un trazo de este dato usando la carga de corriente como la abscisa y la velocidad como la ordenada deberá dar una curva lisa cuando sea trazada sobre una escala ordenada y expandida.

➤ Método B. Empezando con la carga nominal y la velocidad, gradualmente reducir la carga de corriente en la armadura hasta que no tenga carga, en pasos de 25%, entonces regrese a la carga de corriente nominal y aumente la carga de corriente, en pasos de 25% a las sobrecargas deseadas y regrese a la carga nominal. Observe y registre la velocidad en cada paso. Si después de completar la prueba, la velocidad no regresa a su valor inicial en carga nominal, la prueba deberá repetirse. Trace este dato de una manera similar a esa descrita en el Método A.

➤ Regulación de voltaje en generadores de dos alambres o bifilar.

El propósito de esta prueba es para determinar el cambio de la tensión en los bornes que acompaña la remoción gradual de la corriente nominal en la armadura con el ajuste del campo principal para carga de tensión nominal sin descomponer.

La regulación del voltaje es expresada en por ciento de tensión nominal. La expresión matemática es:

$$\text{Por ciento de la regulación del voltaje} = 100 \frac{\text{Voltaje sin carga} - \text{Voltaje con carga nominal}}{(\text{Voltaje con carga nominal})}$$

El procedimiento de la prueba es como sigue:

➤ Si el generador está autoexcitado, la colocación del reóstato deberá permanecer fija durante la prueba de cambios de carga. Si el generador está separadamente excitado, el campo con carga de corriente nominal deberá mantenerse durante las pruebas. El generador deberá ser operado en velocidad nominal.

➤ Esta prueba deberá tomarse después de que el generador ha logrado una temperatura estabilizada como resultado de operaciones continuas a velocidad y carga nominales. Gradualmente remueva y aplique la carga varias veces hasta que las lecturas consistentes sean obtenidas. Los puntos de la prueba deberán tomarse lo bastante rápidamente para que la temperatura de los devanados no cambie sensiblemente.

- Método A. Empezando con carga nominal, gradualmente disminuya la carga de corriente hasta no tener carga entonces aumente la carga de corriente a la sobrecarga deseada, en pasos de 25% y regrese a carga nominal. Observe el voltaje en cada paso. Si el voltaje en carga nominal regresa a su valor inicial, la prueba deberá repetirse.
  
- Método B. Empezando con carga nominal, gradualmente disminuya la carga de corriente hasta no tener carga, en pasos de 25%, entonces regrese a carga nominal y aumente la corriente de la carga, en pasos de 25% a la sobrecarga deseada y regrese a la carga nominal. Observe y registre el voltaje en cada paso. Si el voltaje en carga nominal no regresa a su valor inicial, la prueba deberá repetirse.
  
- Trazar este dato usando carga de corriente como la abscisa y una ordenada como tensión en los bornes sobre una expandida escala en forma ordenada deberá dar una curva lisa.
  
- Regulación combinada del voltaje. El procedimiento de prueba dado en los párrafos anteriores de este tema, es para la regulación inherente del voltaje. La regulación combinada del voltaje está tomada por el mismo procedimiento dado en la sección de arriba, excepto la carga de velocidad característica del generador que es introducida en la generadora de energía. El generador deberá ser manejado a una velocidad y carga nominales. La velocidad en todos los otros puntos deberá ser de la carga de velocidad con características inherentes a la generadora de energía del generador. Si la característica exacta de la carga de velocidad se desconoce, deberá ser prevista la función de una línea derecha por todas partes de los límites de la carga.

#### 2.4.4. Eficiencia o rendimiento.

Eficiencia es la relación de la potencia de salida al total de la potencia de entrada. La potencia de salida es igual a la potencia de entrada menos las pérdidas. Por lo tanto, si dos de las tres variables se conocen (salida, entrada y pérdidas) nosotros podemos determinar la eficiencia por una de las siguientes fórmulas:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

(Se conocen las potencias de salida y entrada)

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de salida} + \text{pérdidas}}$$

(Se conocen la potencia de salida y las pérdidas)

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de entrada} - \text{pérdidas}}{\text{Potencia de entrada}}$$

(Se conocen la potencia de entrada y la pérdidas)

La potencia de entrada puede ser determinada midiendo la armadura y la potencia en el campo de derivación como se describe en la sección 2.2.4.

La potencia de salida puede ser medida determinando la salida mecánica usando un medidor de torsión o dinamómetro y un tacómetro como se describe a continuación..

Las pérdidas pueden ser determinadas como se describe en esta sección .

➤ **Condiciones de referencia.**

A menos de que se especifique de otra manera, la eficiencia deberá ser determinada por el voltaje o tensión nominal y la velocidad. En el caso de motores de velocidad ajustable. La velocidad de base deberá ser usada a menos de que se especifique de otra manera.

Al determinar pérdidas individuales  $I^2 R$  por cálculos de eficiencia, la resistencia de los devanados deberá ser corregida a una temperatura igual a un ambiente de 25° C más la temperatura observada en la carga nominal elevada por la resistencia. Donde la temperatura de la carga nominal elevada no es medida, la resistencia deberá ser corregida a una temperatura igual a 25° C ambiental más la temperatura garantizada de los devanados elevada por el método resistencia.

Si las pruebas de entrada y salida son usadas para determinar la eficiencia, ellas deberán hacerse tan cerca como sea posible en la temperatura final alcanzado en la operación durante el tiempo especificado en la clasificación bajo las condiciones antes dichas.

Otras pérdidas que  $I^2 R$  no deben ser corregidas por la temperatura si los datos están tomados bajo condiciones normales. (Vea la Sección 2.3.1).

- Las mediciones directas de la entrada y salida siempre son hechas sobre máquinas de potencia fraccionada y generalmente sobre máquinas pequeñas, pero ellas se ponen cada vez más difíciles con la prueba del equipo generalmente disponible a medida que el tamaño de la máquina aumenta.
- Métodos en general, para el tamaño de los motores indicados, los siguientes métodos deberán usarse para lo cual las precauciones listadas en la sección 2.2 de esta clave deberán ser observadas:

Tamaño del Motor	Método
Potencia fraccionada	Freno, Dinamómetro o medidor de torsión.
Potencia integral	Dinamómetro, medidor de torsión, pérdida segregada, freno o bomba trasera.

➤ Métodos de medida-directa.

En todas las pruebas del método de medida directa, la potencia eléctrica y mecánica son medidas directamente. La diferencia entre los varios métodos predomina en la manera de medir la potencia mecánica.

➤ Lecturas.

Lecturas de corriente y entrada y salida de voltaje, velocidad, entrada o salida del momento torsional, temperatura ambiental, temperatura de la armadura o resistencia y las temperaturas o resistencias de la bobina del campo, deberán obtenerse por seis puntos carga substancial e igualmente espaciados por un cuarto a una y media veces la carga nominal. Para lecturas que se usen en determinaciones de rendimiento, la elevada temperatura de la máquina deberá ser de algún valor entre el 50% y 100% de la temperatura nominal elevada.

Sobre potencia rectificada, las siguientes lecturas deberán tomarse en cada uno de los seis puntos de carga:

Lectura	Rms Valor	Valor Promedio
Entrada del Voltaje al suministro de potencia, todas sus fases.	X	—
Entrada del Voltaje al circuito de la armadura.	•	X
Entrada de la corriente al circuito de la armadura.	•	X
Componente ac al circuito de corriente en la armadura.	X	—
Entrada de potencia al circuito de la armadura.	—	•
Componente ac de entrada de potencia al circuito de la armadura	—	•
Entrada de potencia al circuito del campo de derivación.	—	•
Entrada de voltaje al circuito del campo de derivación.	X	X
Entrada de corriente al circuito del campo de derivación	•	X
Velocidad	—	X
Un momento torsional.	—	X
Temperatura de la armadura o de la resistencia	—	X
Temperatura de la bobina del campo o de las resistencias.	—	X
Temperatura ambiental	—	X
+Opcional		

Método del freno. Deberá ejercitarse el cuidado en la construcción y uso del freno y de la poléa del freno. La "tara" si se presenta, deberá determinarse cuidadosamente y compensarse. El rendimiento de una máquina deberá calcularse como se muestra en la forma B. (ver anexos)

Método del dinamómetro o del medidor de torsión. Cuando se usa el método del dinamómetro o el del medidor de torsión, la potencia es obtenida de la siguiente fórmula:

$$P = K \times T \times N$$

Dónde:

$P$  = Potencia en wats o vatios.

$T$  = Momento torsional.

$N$  = Velocidad en r/min.

$K$  = Constante relación con las unidades usadas:

$T$	$K$
Metros Newton	0.1047
Kilogramo-metros de fuerza	1.0271
Libra-pies de fuerza	0.1420
Onza-fuerza en pulgadas	0.000740

Para obtener resultados exactos el dinamómetro nominal no deberá exceder tres veces la prueba de la máquina clasificada y deberá ser sensible a un momento torsional de 0.25% de su torsión nominal. La corrección del dinamómetro deberá hacerse como se explica en el método del dinamómetro.

El soporte de la fricción del cojinete en el dinamómetro puede resultar en lectura en escala que difiere, por el mismo valor de la potencia eléctrica, dependiendo sobre si la carga está aumentada o disminuida antes de la lectura. En ese caso, un promedio de dos juegos de lecturas deberán tomarse. El primer juego deberá tomarse mientras gradualmente aumenta la carga; el segundo juego mientras disminuye la carga. Deberá tenerse cuidado en cada caso de que no excedan a los puntos que se lean. Las curvas de torsión contra la potencia eléctrica deberán trazarse por cada juego de lecturas y el promedio de las curvas deberá usarse.

En casos especiales, o donde se desee comprobar, será deseable hacer una prueba de comprobación, operando la máquina como un generador y el dinamómetro como una conducción de motor. La prueba se hace exactamente de la misma manera que la que se hace al motor usual de entrada y salida, pero en este caso el total de la pérdida será igual a la entrada mecánica menos la salida eléctrica, en lugar de ser igual a la entrada eléctrica menos la salida mecánica. Algunos errores en cualquiera de las escalas sobre flexómetros ocurrirán en direcciones opuestas en las dos pruebas, y el promedio de las pérdidas de la carga perdida dadas por las dos pruebas serán, por consiguiente casi correctas, aún cuando grandes errores han ocurrido relativamente en las calibraciones.

Se recomienda que la prueba operando la máquina como un generador se haga a velocidad y voltaje nominal y con la misma torsión mecánica sobre el dinamómetro como en la prueba de la máquina como un motor. Las pérdidas de la carga perdida encontradas en las pruebas del generador y motor deberán ser determinadas separadamente en cada caso restando de la pérdida total medida la pérdida  $I^2 R$  del circuito de la armadura en la temperatura de la prueba, la pérdida del núcleo magnético y fricción y devanados. El juicio deberá ejercitarse interpretando la carga perdida para obtener la pérdida, puesto que las temperaturas de los devanados no pueden conocerse con exactitud. Además, pueden ocurrir grandes errores cuando dos números grandes se restan uno del otro. Varios puntos de carga deberán tomarse para cada prueba y el resultante de la carga perdida o sea el trazo de las pérdidas se hará en contra de la corriente de la armadura. Una curva simple tirada a través del promedio de los resultados del motor y generador dá el valor final de la carga extraviada por pérdida. Agregando ésta a las otras pérdidas dará el total de pérdidas y por consiguiente el rendimiento. La forma E puede usarse para este cálculo.

Método de bombeo posterior. Este método puede usarse cuando se dupliquen las máquinas con polos simétricos y que los devanados están disponibles. Las dos máquinas están juntas y conectadas eléctricamente como se muestran en el Diagrama de Conexión Esquemática para la prueba de Bombeo Posterior, Fig. 1. Una máquina es operada como un motor y la otra como un generador. La potencia principal es bombeada posteriormente y solamente las pérdidas se suministran. El "generador elevador del potencial" suministra aproximadamente las pérdidas de la carga. El "suministro perdido", aproximadamente suministra la pérdida sin carga.

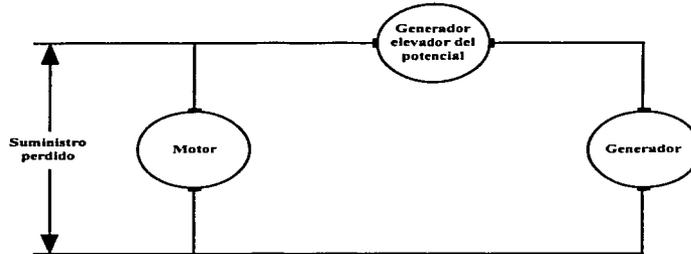


Fig. 1. Diagrama de Conexión Esquemática para la Prueba de Bombeo posterior.

El motor y el generador deberán ser operados con la intensidad del campo requerida para producir el voltaje interno calculado correspondiendo a la carga que está siendo probada.

La pérdida total de las dos máquinas es igual a la potencia suministrada por el "generador elevador del potencial" más la potencia suministrada por la "perdida del suministro" más pérdidas en cualquiera de los campos excitados separadamente que sean usados, menos las pérdidas en los cables, barras ómnibus, "interruptores", "interruptores automáticos" y otros usados para conectar las máquinas.

El rendimiento de la máquina deberá determinarse como se resumió en la forma C.

$$\text{Por ciento del rendimiento del motor} = \frac{(\text{Entrada eléctrica} - \text{Pérdidas totales del motor})}{\text{Entrada Eléctrica}} 100$$

Por ciento del rendimiento del

$$\text{generador} = \frac{(\text{Salida eléctrica})}{\text{Salida Eléctrica} + \text{Pérdidas totales del generador}} 100$$

Método de pérdida segregada. Cuando el rendimiento del motor es determinado por el método de pérdida segregada, las siguientes pérdidas deberán usarse:

Tipo de Pérdida	Descripción de la Prueba (Vea las Secciones listadas abajo)
Armadura $I^2 R$	2.4.5.1.
Devanados conectados en Series $I^2 R$	2.4.5.2
Contacto de escobilla o cepillo	2.4.5.3.
Carga perdida o extraviada	2.4.5.4.
Campo de derivación $I^2 R$	2.4.5.5.
Reóstato	2.4.5.6
Excitador o encendedor	2.4.5.7.
Núcleo magnético rotacional	2.4.5.8.
Fricción de escobilla	2.4.5.9.
Fricción y fricción del aire	2.4.5.10.
Ventilador	2.4.5.11.

## 2.4.5. Descripción de pérdidas.

### 2.4.5.1. Pérdida de $I^2R$ en la armadura.

La pérdida de  $I^2R$  en la armadura es el cuadrado de la corriente de la armadura en la carga que está siendo considerada. Multiplicada por la resistencia de la armadura como medida por corriente directa y corregida a una temperatura adecuada. Vea la sección 2.4.4.

En potencia rectificada, la pérdida de la armadura  $I^2R$  deberá calcularse desde el cuadrado del valor rms de la corriente de la armadura.

### 2.4.5.2. Pérdida $I^2R$ en los devanados conectados en series.

Devanados en series  $I^2R$  (Incluye interpolo o devanados de compensación cuando se usaron).

La pérdida  $I^2R$  es el producto de la corriente conectada en las series del campo de los devanados cuadrados, y la medida corregida de la resistencia a la temperatura adecuada. Vea la sección 2.4.4.

En caso de que las derivaciones o campo auxiliar de los devanados se usen transversalmente en cualquiera de estos campos, la resistencia múltiple deberá usarse.

En potencia rectificada la pérdida  $I^2R$  en las series conectadas en los devanados deberá calcularse desde el cuadrado del valor rms de la corriente de la armadura.

### 2.4.5.3. Pérdida de contacto de escobilla o cepillo.

La pérdida de contacto de escobilla puede ser determinada por el producto de la corriente de la armadura y una caída de tensión. La caída total de la tensión (que es, para ambas polaridades) que se usarán determinando esta pérdida como sigue:

Escobillas de carbono y grafiticas, con derivaciones ligadas	2Volts
Escobillas de carbono y grafiticas sin derivaciones	3 Volts
Escobillas grafiticas de metal con derivaciones ligadas	0.5 Volts

Esta caída de tensión asumirá el mismo valor para todas las cargas.

### 2.4.5.4. Pérdida de la carga perdida.

Es la pérdida adicional en la máquina debido a la carga que no está incluida en alguna de las otras pérdidas. Estas pérdidas no incluidas en este tema son de dos tipos.

- Pérdidas de la carga perdida resultante del componente dc del componente de la armadura.
- En potencia rectificadora, pérdidas en la carga perdida resultante de la operación rectificadora.
- (a) La pérdida de la carga perdida o sea el componente de la misma deberá tomarse como el uno por ciento de la potencia de salida.

Dos métodos para determinar el componente dc de la pérdida de la carga perdida se dan en las secciones siguientes (b y c), si se necesitaran.

- (b) El componente dc de la pérdida de la carga perdida podrá determinarse de la prueba de bombeo posterior. Sección d, restando todas las otras pérdidas aplicables de la pérdida total suministrada a la máquina que está siendo probada. La forma D puede usarse para calcular la pérdida de la carga perdida.
- (c) La pérdida de la carga perdida puede ser determinada por la prueba del dinamómetro.
- (d) En potencia rectificadora, la pérdida adicional de la carga perdida puede ser medida restando las pérdidas  $I^2R$  del componente ac en los devanados del circuito de la armadura del componente ac de la potencia de entrada al circuito de la armadura. Para medición del componente ac de la corriente de la armadura y de la entrada de potencia del circuito de la armadura, vea la sección 2.4.4.

#### **2.4.5.5. Pérdida $I^2R$ del campo de derivación.**

La pérdida del  $I^2R$  del campo de derivación es el producto de la corriente del campo al cuadrado y la medición de la resistencia del campo de los devanados, corregidos a la temperatura adecuada. El campo de corriente es la corriente requerida por el campo para la carga en la cual la carga está computada.

En potencia rectificadora, la pérdida  $I^2R$  del campo de derivación deberá calcularse usando el valor rms de la corriente del campo.

#### **2.4.5.6. Pérdida del reóstato.**

A menos que se esté de acuerdo de otra manera, todas las pérdidas debido al campo reóstato deberán ser cargadas contra la planta de la cual la máquina es una parte y no en contra de la máquina. Si esta pérdida está a ser incluida, entonces esta pérdida puede ser computada tomando el producto del sistema de excitación del voltaje y de la corriente del campo para carga en la cual la carga es computada y restando la pérdida del campo de derivación  $I^2R$ . En el control especial de circuitos, tales como un puente de Wheatstone usado en el control de la corriente del campo de derivación, las pérdidas adicionales superior a la cantidad computada por el método antedicho será cargado en contra de la planta.

En potencia rectificadora, la pérdida del reóstato será calculada usando el valor rms de la corriente.

#### **2.4.5.7. Pérdida excitadora.**

A menos que de otra manera se acuerde sobre ello, todas las pérdidas de todos los excitadores deberán cargarse contra la planta de la cual la máquina es una parte y no en contra de la máquina. Si esta pérdida está incluida, entonces deberá ser computada en la corriente del campo y voltaje especificados de acuerdo con esta clave, solamente cuando:

- (a) El excitador es manejado mecánicamente del eje de la máquina ya sea directamente o por engranaje o correa, u otros.
- (b) El excitador es usado únicamente para la excitación de la máquina.

En todos los otros casos las pérdidas del excitador deberán ser cargadas en contra de la planta.

#### **2.4.5.8. Pérdida rotacional del núcleo magnético.**

La pérdida rotacional del núcleo magnético deberá ser tomada como la diferencia dentro de la potencia requerida para conducir la máquina en la velocidad dada cuando está excitada para producir un voltaje de circuito abierto en las terminales correspondiendo al voltaje interno calculado y a la potencia requerida para conducir una máquina no excitada a la misma velocidad. El voltaje interno deberá determinarse corrigiendo la terminal del voltaje nominal para la caída de tensión por resistencia en el circuito de la armadura incluyendo la caída de escobillas frotadoras de ambas polaridades.

#### **2.4.5.9. Pérdida de la escobilla-fricción.**

La experiencia ha demostrado que amplias variaciones son obtenidas en pruebas de la escobilla fricción hecha en la fábrica antes de que el conmutador y las escobillas han desarrollado las superficies lisas que vienen después de una operación continuada.

Valores convencionales del escobillado-fricción, representando valores promedio de muchas pruebas, deberán por tanto, usarse como sigue:

$$F = Kva$$

Dónde:

$F$  = Escobilla fricción en watts o voltios

$v$  = Velocidad superficial

$a$  = Área de escobilla de contacto

$K$  = Relación constante al tipo de escobilla y variables de unidades como están tabuladas abajo.

Tipo de escobilla	Unidades de Velocidad	Unidades de Área	$K$
Carbón electrográfico Grafito	Metros por minuto	Centímetros Cuadrados	0.004
	Pies por minuto	Pulgadas Cuadradas	0.008
Metalgrafito	Metros por minuto	Centímetros Cuadrados	0.0025
		Pulgadas Cuadradas	0.005
	Pies por minuto	Pulgadas Cuadradas	0.005

En caso de que los valores convencionales de la sección 2.4.5 sean preguntados, la escobilla de fricción deberá medirse tomando la diferencia entre la potencia requerida para conducir la máquina con sus escobillas quitadas y con la potencia requerida para conducir la máquina con sus escobillas en contacto en la presión de la escobilla prescrita. Las superficies del conmutador y las escobillas deben ser alisadas y pulidas de la marcha cuando se haga esta prueba y la prueba deberá tomarse siguiendo las operaciones por varias horas a velocidad y carga nominal o asignada.

Nota: la escobilla de fricción en cargas ligeras puede ser superior que los valores de carga completa.

### 2.4.5.10. Pérdida de la fricción y fricción de aire.

La pérdida de la fricción y fricción de aire, excluyendo la escobilla fricción, es la potencia requerida para conducir la máquina no excitada a una velocidad nominal con sus escobillas levantadas.

- (a) En el caso de una máquina equipada con cojinetes incompletos, las pérdidas de la fricción y la fricción del aire no deberán incluirse en la determinación del rendimiento. Sin embargo, cuando sea solicitado por el comprador, el fabricante dará las pérdidas de la fricción y de la fricción del aire separadamente del rendimiento.
- (b) Las pérdidas adicionales debido a los volantes conectados directamente, u otros aparatos conectados en directo, deberán ser cargados contra la planta y no en contra de la máquina.

### 2.4.5.11. Pérdidas del ventilado.

La potencia requerida para que el gas circule por la máquina y el sistema de ventilado, si uno está condicionado, ya sea por completo o por ventiladores externos, deberán cargarse en contra de la máquina, excepto como está abajo especificado.

- (a) Si la potencia requerida al forzar el gas a través de las partes del sistema de ventilado externo a la máquina y al enfriador, entonces ésta pérdida deberá ser cargada en contra de la planta.

La potencia requerida para la ventilación de aire puede ser encontrada convenientemente por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{K \cdot (\text{presion}) \cdot (\text{Volumen del tipo de gasto})}{\text{rendimiento del ventilador}}$$

Dónde:

$P$  = Potencia de entrada en watts

$K$  = Relacionado constante a las unidades usadas como sigue:

Unidades de Presión	Unidades de Caudal	K
Pascals (newtons por metro cuadrado)	Metros por segundos	1.0
Centímetros de agua	Litros por minuto	0.00163
Pulgadas de agua	Pies cúbicos por minuto	0.117

- (b) En los casos en los cuales se emplea un ventilador externo para complementar el efecto de ventilación, el efecto de la ventilación incorporado en la estructura de la máquina con el propósito de compensar las caídas de presión en ductos largos o cortos, la entrada de energía del ventilador externo deberá ser tomada de la planta.
- (c) En casos tales como un ventilador externo sencillo para varias máquinas o un sistema de ducto común para una cantidad de máquinas, el procedimiento deberá estar sujeto a un acuerdo especial.
- (d) Pruebas de pérdida de ventilación. A opción del constructor, las máquinas deberán ser probadas en la fábrica sin un sistema de ducto de enfriamiento externo, pero con el ventilador funcionando como si estuviera en servicio, y las pérdidas medidas así, deberán ser usadas para calcular la eficiencia de la máquina. Esta práctica es permisible porque, en la mayoría de casos prácticos, la diferencia entre las pérdidas de ventilación con entrada libre y descarga, y las pérdidas de ventilación con entrada o descarga normalmente restringidas, o ambas, serán relativamente pequeñas.

En general este procedimiento de prueba deberá seguirse donde las pérdidas en los ductos externos y sistemas de enfriamiento son relativamente pequeñas comparadas con las pérdidas en la máquina.

## 2.4.6. Medición de pérdidas de rotación.

En general, las pérdidas individuales, con excepción de la  $I^2R$  y pérdidas de carga, se determinan midiendo la energía requerida para manejar la máquina bajo condiciones específicas, ya sea por la entrada de energía eléctrica, la potencia mecánica absorbida, el retardo, o el método de calorímetro.

### 2.4.6.1. Método de entrada de electricidad.

El método de entrada de electricidad consiste en conectar la máquina a una fuente directa de energía eléctrica, como un motor de generación. No deberá utilizarse corriente alterna. La entrada de energía deberá medirse con instrumentos eléctricos. Opere el motor sin carga (running light) a régimen de velocidad, y a un voltaje predeterminado el cual, es el voltaje interno inducido en la máquina al régimen de carga.

- (a) El voltaje interno en un motor es menor que el régimen de voltaje en una cantidad igual a la baja de la resistencia a el régimen de carga en la armadura, el conmutante y la serie de bobinas, más la punta (chispa) de contacto de los cepillos de ambas polaridades. La chispa de contacto del cepillo deberá ser tomada como se describe en la sección 2.4.5.2. La resistencia que se utilizará deberá ser regulada a una temperatura propia, y la corriente deberá tener el mismo valor de régimen que el de la corriente de la armadura.
- (b) La máquina deberá ser operada hasta que la temperatura tolerable se estabilice, y entonces las entradas de energía a la armadura y al campo principal de circuitos deberán determinarse separadamente, manteniendo constante la velocidad de la máquina.

Esta prueba usualmente se lleva a cabo con una cantidad mínima de cepillos en el conmutador para minimizar la fricción de los cepillos.

- (c) La entrada de energía al motor funcionando a la velocidad régimen en r/min. el régimen de voltaje interno incluye la pérdida rotacional del eje, la fricción del motor y las pérdidas de fricción del viento, la pérdida de la armadura  $I^2R$ , y la pérdida de la chispa del cepillo y pérdida del campo  $I^2R$ , si el motor es excitado usando energía de la misma fuente.

Para poder determinar la cantidad de pérdida de la fricción y de la fricción del viento y la pérdida rotacional del eje, es necesario sustraer (restar) la pérdida de la armadura y del campo  $I^2R$  y la pérdida de la chispa del cepillo, de la energía de entrada.

#### 2.4.6.2. Método de entrada de energía mecánica.

El método de entrada de energía mecánica consiste en manejar las máquinas bajo pruebas con un motor o dinamómetro cuya potencia generada pueda determinarse adecuadamente. La energía generada del motor funcionando o del dinamómetro es la energía requerida para complementar las pérdidas de la máquina bajo condición de prueba.

#### 2.4.6.3. Método de retardo.

El método de retardo se usa cuando la medida de la entrada de energía es inconveniente y comúnmente se emplea para pruebas llevadas a cabo después de una instalación. Es especialmente adaptable a máquinas de gran inercia. El método consiste en llevar la máquina hasta una velocidad que rebase ligeramente la velocidad régimen, pero bajo (menos de) su máxima velocidad considerada para mantener su seguridad, se corta la corriente de energía y se toman medidas simultáneas de velocidad y tiempo conforme disminuye la velocidad de la máquina. Con estas relaciones y calculando el momento de inercia de las masas rotantes, la pérdida total puede calcularse por medio de la siguiente fórmula:

$$P = K \cdot wk^2 \cdot n \cdot \frac{dn}{dt}$$

Donde:

$P$  = Pérdida de energía en watts a velocidad  $n$

$n$  = Velocidad en r/min.

$\frac{dn}{dt}$  = Tasa de deceleración en r/min. por segundo.

$wk^2$  = Momento de inercia de las partes rotantes

$K$  = Constante relacionada a las unidades usadas

$w$	$k$	$K$
Kilogramos - fuerza	metros	$109 \times 10^{-4}$
Libra - fuerza	pies	$4622 \times 10^{-7}$

Si las terminales de la armadura tienen circuito abierto, la pérdida total incluye la fricción y la fricción del viento de todos los aparatos conectados mecánicamente junto con la pérdida del eje del circuito abierto correspondiente al valor de la energía del campo mantenida. La curva de la pérdida del eje del circuito abierto puede ser segregada de las pérdidas de la fricción y de la fricción del viento, tomando lecturas a varios valores del campo de energía y restando la pérdida cuando el campo de energía sea de cero.

#### 2.4.6.4. Método calorimétrico.

El método calorimétrico consiste en encerrar adecuadamente la máquina si ésta no es de ese tipo, y medir los aumentos de temperatura y los volúmenes del sistema de enfriamiento ó comparando el aumento de temperatura del sistema de enfriamiento debido a las pérdidas desconocidas con aquellas causadas por una pérdida de energía conocida.

#### 2.4.7. Prueba de carga de motores de caballos de fuerza fraccionales.

La carga para los motores de caballos de fuerza - fraccional, deberá ser medida por medio de un dinamómetro, torsiómetro ó freno.

En motores de regulación continua, la máquina deberá ser operada a la carga régimen, hasta que la temperatura constante sea alcanzada antes de la prueba. En motores de régimen de corto tiempo, la carga régimen deberá llevarse por el periodo de tiempo por el cual está regimientada antes de hacer la prueba de carga. Se comienza la prueba de carga a  $2\frac{1}{2}$  ó 3 veces la carga regulada y se toman lecturas disminuyendo la carga a 25%, ó en el caso de un motor de serie. al máximo de la seguridad de la velocidad. Las lecturas deberán tomarse en cada carga de la línea del voltaje, línea de entrada de corriente, del campo de derivación ( siempre que las terminales estén provistas) velocidad y momento de torsión.

#### **2.4.8. Prueba de carga de motores de caballos de fuerza-integral.**

##### **2.4.8.1.Carga.**

La medición directa de la energía producida del momento de torsión por el dinamómetro del freno en declive, deberá ser usada para pequeños motores de caballos de fuerza - integral. En motores grandes de caballos de fuerza - integral, los medios para la medición directa de la energía producida del momento de torsión es usualmente no disponible. Puede usarse el método de bombeo posterior omitiendo la parte sobre los generadores de inyección de refuerzo, siempre que haya dos máquinas del mismo tipo y regulación disponibles para la prueba. La prueba de carga puede llevarse a cabo haciendo funcionar un generador de energía directa calibrada para proporcionar la carga.

##### **2.4.8.2. Procedimiento de la prueba.**

El motor deberá ser operado a carga regulada durante no menos de 4 horas antes de la prueba en motores de regulación continua. En motores de regulación de tiempo corto, el régimen de carga deberá ser conducido durante el periodo de tiempo por el que está regimientado antes de hacer la prueba de carga.

- (a) Para motores sin alcance de velocidad por un campo de debilitamiento, se comienza la prueba de carga a  $1 \frac{1}{2}$  veces la carga regulada y se toman lecturas disminuyendo aproximadamente la carga a 25%. En el caso de un motor devanado en serie, la carga deberá disminuirse en fases de 25% hasta alcanzar el máximo de la velocidad considerada como segura.
  
- (b) En motores destinados para un ajuste de velocidad por debilitamiento de campo, la prueba de carga deberá llevarse a cabo en ambas, velocidad base (campo lleno) y régimen máximo de velocidad (campo frágil). Se procede como se indica en (a) pero anotando la estabilidad de la velocidad del motor a una velocidad máxima de operación.

#### **2.4.8.3. Lecturas.**

Deberán hacerse las mismas lecturas como se indica en la sección.

### **2.5. Pruebas de temperaturas.**

#### **2.5.1. Propósito.**

Las pruebas de temperatura deben hacerse para determinar el aumento de temperatura de partes específicas de la máquina directa. arriba de la temperatura ambiente, se encuentre sometida a cargas reguladas o carga. Las siguientes secciones son guías para los procedimientos de prueba y el tratamiento de datos.

#### **2.5.2. Instrucciones generales.**

La máquina en cuestión de prueba deberá estar ensamblada con todas las partes, cubiertas, y accesorios que afectarán el incremento de temperatura. El cercado deberá estar de acuerdo con la garantía.

La máquina bajo prueba deberá estar protegida de corrientes de aire emitidas por máquinas adyacentes o cercanas y otras fuentes que puedan afectar la temperatura ambiente y el aumento de temperatura de la máquina en prueba. En el piso, se deberá proporcionar un espacio amplio para la libre circulación de aire. Pequeños cambios en la ventilación natural pueden afectar en gran proporción el aumento de temperatura.

La máquina deberá estar correctamente ajustada para el cambio de corriente y regulación antes de que se lleven a cabo las pruebas de calentamiento u otras pruebas. Los motores destinados a ser utilizados con suministros de energía de generadores dc, deberán ser probados con energía de generadores dc.

Con energía rectificada (corriente alterna) las pruebas de temperatura del motor deberán conducirse utilizando el tipo de energía rectificada (corriente alterna) la cual el motor está destinado a usar, o aquella en la que el régimen se base. Sin embargo, para motores abiertos destinados a ser usados con energía de una sola fase, se puede obtener una exactitud aceptable si el motor tiene una fuente de suministro de un generador dc y la corriente de la armadura sea ajustada a un valor igual a la carga de energía completa en régimen, multiplicado por el factor en régimen del motor.

Si no se dispone de una fuente de energía rectificada apropiada, se puede obtener una indicación de calentamiento de motor, usando la energía de la armadura de corriente directa y manteniendo la corriente de la armadura al valor rms anticipado en el servicio rectificado. Deberá notarse, sin embargo, que las temperaturas de la máquina en un servicio rectificado verdadero, serán mas altas que los valores de la prueba, particularmente en el caso de máquinas cerradas (adjuntas).

#### **2.5.2.1. Instrumentación.**

Los instrumentos de medición de temperatura deberán estar en concordancia con el IEEE Standar 119-1966. Antes de comenzar cualquier prueba de calentamiento, deberán checarsse todos los instrumentos para asegurarse de que no haya errores o pérdida de efectos en el campo.

Los termómetros deberán estar libres de interrupciones en la columna de líquido. Los termómetros deberán colocarse siempre con los bulbos más abajo que las varillas. Al leer los termómetros, deberán evitarse errores debido al paralaje.

El elemento sensitivo a la temperatura utilizado en el método del termómetro deberá estar en contacto íntimo con la máquina y adecuadamente cubierto para evitar que tenga contacto con el aire de la ventilación. La cubierta puede estar hecha de estopa de fieltro o algodón, pegada a la máquina, de mastique, o de otros materiales adecuados para este propósito, aplicados de tal manera que no interfieran con la ventilación normal ni con la transferencia de calor de la máquina. Las dimensiones de dichos materiales de cubierta, para su uso en máquinas grandes, deberán ser de por lo menos 3.8 cm (1.5 pulgadas) cuadradas de diámetro, y 0.32 cm (0.126 pulgadas) de grueso. Para máquinas pequeñas es permisible el uso de cojinetes más pequeños.

Para las técnicas de instrumentación asociadas con la medición de parámetros en sistemas de energía rectificadas, ver la sección 2.2.

#### 2.5.2.2. Partes inaccesibles.

**ESTA TESIS  
SALIR DE LA  
NO DEBE  
BIBLIOTECA**

Deberá obtenerse la temperatura de las piezas giratorias de todas las máquinas, después de la detención de éstas, aplicando los termómetros en las diversas partes tan rápidamente como sea posible. La temperatura de las partes de una máquina totalmente encerrada para la cual se utiliza el método del termómetro, deberá obtenerse después de la detención aplicando los termómetros a las partes más calientes, lo cual puede hacerse rápidamente retirando las cubiertas. Otro método es usar termo-pares, resistencia, y otros instrumentos de indicación-remota para medir la temperatura de las partes fijas durante la prueba.

#### 2.5.3. Métodos de medición de temperatura.

Los métodos que comúnmente se utilizan en la determinación de temperatura en máquinas de corriente directa son los siguientes:

### 2.5.3.1. Método del termómetro.

Este método consiste en determinar la temperatura con termómetros de mercurio o alcohol, termómetros de resistencia, o con termo-pares; aplicando cualquiera de estos instrumentos a las partes más calientes accesibles a los termómetros de mercurio ordinarios sin alteración de la estructura.

### 2.5.3.2. Método de aplicación de termo-pares.

Este método consiste en determinar la temperatura aplicando termo-pares a las partes más calientes accesibles a ellos (en zonas normalmente inaccesibles a termómetros de líquido en vidrio).

### 2.5.3.3. Método de resistencia.

Este método consiste en determinar la temperatura comparando la resistencia del bobinado a la temperatura a determinarse con la resistencia a una temperatura conocida. Para determinar lo anterior se usará la siguiente fórmula:

$$T_h = \left( \frac{R_h}{R_c} (K + T_c) \right) - K$$

Dónde:

$T_h$  = Temperatura total del bobinado en grados Celsius

$R_h$  = Resistencia caliente.

$R_c$  = Resistencia fría.

$T_c$  = Temperatura del bobinado cuando fue medida la resistencia fría  $R_c$ .

$K$  = 234.5 para cobre.

$K$  = 225 para aluminio (grado EC, ver ASTM Standard B 236-68)

- (a) En lo que se refiere a los bobinados del campo de resistencia de derivación, no hay dificultad en obtener resultados satisfactorios utilizando métodos directos como se indica en la sección

2.3.2. usualmente el método de descenso de voltaje dará mejores resultados. Es recomendable que se utilicen los mismos instrumentos para la medición de ambas resistencias, caliente y fría. Esto minimizará errores de instrumentación.

- (b) En los bobinados de las armaduras, se puede usar cualquier método descenso de voltaje o doble paralelo para la medición de resistencia caliente y fría, la máquina deberá haber estado en descanso un lapso de tiempo suficiente para que el rotor completo haya igualado su temperatura. Esta temperatura deberá medirse con el método de termómetro en el momento en que se haya la medición de la resistencia fría.

Con el método de descenso de voltaje, es recomendable suministrar corriente directa a los cepillos de corriente directa, en no más del 10 por ciento del valor regimentado. El descenso potencial se mide por medio de un milivoltímetro cuyas terminales están conectadas a dos segmentos del conmutador separados por casi la mitad del espacio entre los pernos adyacentes del cepillo, colocados de manera que los circuitos del bobinado incluidos entre estos segmentos no incluyan algún carrete que esté puesto en corto circuito en los cepillos. La mejor forma de hacer la conexión a los segmentos es por medio de puntas afiladas de metal sobre las terminales del voltímetro, las cuales son presionadas dentro de los segmentos del conmutador o los extremos expuestos de los segmentos para que penetren bajo cualquier película de óxido que pudiera encontrarse en la superficie. Estos segmentos en particular, deberán marcarse.

En el método de doble-paralelo, las terminales del paralelo deberán estar conectadas a dos segmentos del conmutador de manera similar a las terminales del milivoltímetro descritas en el párrafo anterior. Se deberá tener cuidado en reducir la resistencia del contacto a un valor insignificamente bajo. Dichos segmentos utilizados deberán marcarse.

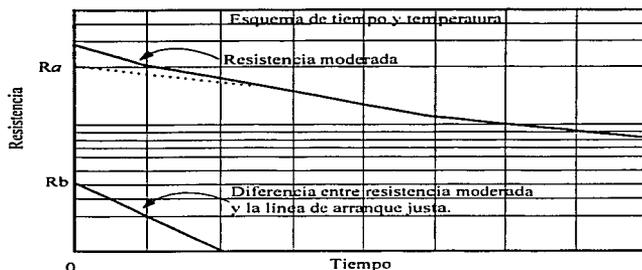
En máquinas grandes donde es difícil la colocación del rotor, deberán estar disponibles varias posiciones para utilizarlas al hacer las mediciones anteriormente señaladas. Esto permitirá asegurar que al menos un par de los segmentos marcados estén localizados entre los pernos de los cepillos adyacentes, cuando el rotor se detenga al final del período de calentamiento.

Después de haber determinado la resistencia fría, la armadura deberá rotarse al menos una revolución y regresarla a casi su posición original. Se deberá medir la resistencia fría otra vez. Si ésta no concuerda con la lectura inicial, en la exactitud de la medición, se deberá encontrar la causa de la discrepancia, corregirla, y obtener una nueva medición. Para mejores resultados, las resistencias fría y caliente deberán medirse entre el mismo juego de segmentos marcados en el conmutador.

Con una exactitud reducida, no es necesario usar el método de la barra-marcada mencionada arriba, siempre que la resistencia sea repetible con cualquier posición del rotor, además de que se emplea el mismo segmento de espaciado.

Las primeras lecturas de la resistencia caliente deberán tomarse en un lapso mínimo de tiempo. Las lecturas deberán tomarse tan frecuentemente como sea posible. Estas se tomarán durante un período de no menos de 10 minutos después del paro de la máquina. El tiempo deberá medirse desde el instante en que ocurra el paro.

La resistencia caliente deberá considerarse como el valor de la resistencia de la armadura determinada por la extrapolación al instante del paro. La extrapolación deberá hacerse graficando los valores de la resistencia caliente contra el tiempo en papel (semilog) con la resistencia en la escala del registro de rendimiento (log). Esto está demostrado en la siguiente figura.



- El método utilizado en la determinación de la temperatura deberá estar especificado en la garantía del aumento de temperatura, en todos los casos. Se puede utilizar el método de termo-pares aplicados en lugar del método del termómetro en máquinas cerradas, para medir temperaturas de superficie de bobinados que normalmente se miden en máquinas abiertas de diseño similar. Las lecturas pueden tomarse durante la prueba de calentamiento y después del paro y así minimizar el desmantelamiento de la máquina para tomar las temperaturas del paro.

Usualmente es conveniente usar más de un método de medición de temperatura para checar uno con otro.

#### 2.5.4. Medición de la temperatura de los componentes.

Se puede requerir las siguientes lecturas de temperatura, mismas que deberán tomarse como sigue:

##### 2.5.4.1. Bobinados (estacionarios).

En máquinas de caballos de fuerza-integrales, los termómetros deberán colocarse en al menos un campo-principal y un carrete del campo-conmutante en cada lado de la máquina. Se deben colocar tres termómetros en cada carrete. Uno en la parte de enfrente, uno en la parte de atrás y uno, hasta donde sea accesible, entre los polos. Donde el tamaño y el acceso de la máquina no lo hacen práctico, se puede reducir el número de termómetros.

En máquinas de caballos de fuerza-fraccionales, se deberán seguir el mismo procedimiento con excepción de usar un termómetro por carrete entre los polos hasta donde ésto sea posible.

Utilice los carretes localizados cerca de la parte superior de la máquina. Se deberá tener cuidado al colocar los termómetros para que el efecto que se reciba de la corriente del aire sea mínimo y también cause el mínimo efecto a la corriente de aire. También, para estas máquinas, se deberá colocar un termómetro en la parte superior del marco ya que esta lectura se requiere a menudo para protegerse contra riesgos personales.

Deben colocarse al menos dos termómetros en los extremos de los polos del campo principal, si el espacio lo permite, para asegurarse de que ésta estructura de soporte del bobinado no exceda al aumento correcto de temperatura en ésta parte.

Con energía alterna, se deberá medir la temperatura de los polos conmutantes.

#### **2.5.4.2. Bobinados (rotantes).**

Inmediatamente al momento del paro, se deben colocar los termómetros de la siguiente manera: cuatro en el carrete de la armadura, arriba de los dientes; cuatro en los conductores, en el final de los bobinados, donde éstos no están cubiertos con cinta contentiva; y cuatro en las cintas contentivas. Estos termómetros deberán dividirse igualmente entre el final del conmutador y el final de la propulsión de la máquina, siempre que sea posible. En casos en que el tamaño y el acceso a la máquina lo hacen poco práctico, se pueden reducir el número de termómetro.

#### **2.5.4.3. Conmutador.**

Inmediatamente después del paro, se deben colocar seis termómetros en el conmutador, tres de cada lado. Uno en el final externo, uno en el centro y uno al final del conductor vertical. En máquinas con conmutadores tanden o conmutadores múltiples, cada sección del conmutador deberá tratarse como un conmutador simple. Se puede reducir el número de termómetros cuando no es práctico su uso debido al tamaño y acceso a la máquina. En motores de caballos de fuerza-fraccionales, es suficiente medir la temperatura en un lugar del conmutador, cerca de la conexión.

#### **2.5.4.4. Soportes (bearing).**

- (a) Tipo manguillo. Las lecturas de temperatura deberán tomarse tan cerca de la superficie del soporte como sea posible.
- (b) Tipo balón o rodillo (roller). Las lecturas de la temperatura deberán tomarse en el anillo guía estacionario, si es posible. Si no, deberán tomarse las lecturas de la envoltura.
- (c) Lubricante. Se acostumbra a medir la temperatura de los aceites lubricantes. La lectura debe tomarse en el depósito.

En montajes con lubricación reforzada, se deberán tomar lecturas de las temperaturas entrantes y salientes.

#### **2.5.4.5. Medición de temperaturas ambiente.**

El procedimiento a seguir para medir las temperaturas ambiente esta dado en el IEEE Std. 119-1973.

En máquinas abiertas, se medirá la temperatura del aire de enfriamiento por medio de varios termómetros colocados en diferentes puntos alrededor y a la mitad hacia arriba de la máquina, arriba de la base. Estos termómetros deberán estar protegidos de corrientes y de radiación de color fuera de la normal. Los termómetros deberán colocarse en la ruta del aire de enfriamiento. Cuando la circulación del aire de enfriamiento esté restringida por contornos, la temperatura del rotor deberá estar relacionada con el valor intermedio de todas las temperaturas del aire de enfriamiento.

Las partes del estator que se encuentran constantemente en la región de circulación restringida deberán relacionarse con las temperaturas del aire enfriante en esta región. En casos en los que las máquinas se encuentren parcialmente en partes más hondas, la porción esté relacionada a la temperatura del aire enfriante (en la parte más honda) deberá estar bajo la superficie de la base en la placa de la planta.

Para máquinas encerradas, ventiladas separadamente, el aire enfriante deberá medirse con termómetros o termo-pares colocados en los ductos del aire enfriante en la entrada (bocatoma) de la máquina.

El valor que se adoptará para la temperatura del aire enfriante durante una prueba, es el promedio de todas las mediciones de temperatura de este aire tomadas a intervalos iguales de tiempo durante la última hora de la prueba o, para la prueba de tiempo limitado durante el último cuarto de la duración de la prueba.

### **2.5.5. Procedimiento de la prueba.**

La máquina puede cargarse usando uno de los métodos indicados en la sección 2.4. Determinación del Rendimiento. La prueba deberá hacerse con voltaje restringido y a velocidad base. La carga puede determinarse midiendo directamente la potencia generada o la energía consumida. Una máquina que tenga más de un régimen deberá probarse con el régimen que produzca el máximo aumento de temperatura. En casos en los que esto no pueda predeterminarse, la máquina deberá probarse separadamente con cada régimen.

- a) La prueba deberá continuar durante el tiempo especificado (para máquinas sin régimen continuo) o hasta que se hayan alcanzado las temperaturas constantes. A menos de que se especifique de otra manera, una prueba de tiempo corto deberá comenzar solo cuando las partes de la máquina se encuentren dentro de 5° C de la temperatura ambiente.
- b) Para máquinas de régimen-continuo, cuando se requiere de mucho tiempo para conseguir temperaturas estables, se pueden permitir sobrecargas moderadas durante el período preliminar de calentamiento, con el fin de reducir el tiempo de la prueba.
- c) En pruebas de carga-continua, las lecturas deberán tomarse por lo menos una cada 30 minutos hasta que los aumentos de temperatura sean substancialmente invariables, por lo menos durante una hora. En pruebas de carga con límites de tiempo, las lecturas deberán tomarse tan frecuentemente como sea posible y a intervalos que sean consistentes con el régimen de tiempo.

- d) Se deberán tomar precauciones para minimizar el período de detención, por ejemplo, manteniendo la corriente de la armadura. Se recomienda que se usen recursos para limitar el período de detención a un valor que no exceda el especificado para el régimen dado, como se indica a continuación:

Régimen	Tiempo
50 Kw	1 min.
50 Kw hasta 200 Kw	2 min.
arriba de 200 Kw	3 min.

En caso de que la máquina no pueda detenerse en el lapso de tiempo requerido, ésta deberá ser detenida tan pronto como sea posible y las observaciones de temperatura se tomarán a intervalos de aproximadamente 1 minuto. Se trazará una curva en diagrama con la función del tiempo y la extrapolación al tiempo de paro. Obtenido así el valor de la temperatura, éste será considerado como la temperatura de paro. Si las mediciones sucesivas muestran temperaturas en incremento después del paro, se tomará el valor más alto.

### 2.5.6. Incremento de temperatura.

Cuando la máquina está ventilada por el aire inmediato circundante, el aumento de temperatura es la temperatura de la máquina observada menos la temperatura del aire ambiente. Cuando la máquina está ventilada por el aire obtenido de una fuente remota o un intercambiante de calor, el aumento de temperatura es la temperatura de la máquina observada menos la temperatura promedio del aire en marcha. La temperatura de la máquina observada deberá ser la máxima lectura obtenida antes o después del paro.

Se deberán hacer pruebas de calentamiento a las máquinas, bajo condiciones estandard, como se indica en la sección 2.3.1.

## **2.6. Pruebas varias.**

### **2.6.1. Prueba de audio-ruido.**

Ver la sección IEE Std. 85-1973. Con corriente alterna, los motores muestran energía dc. Por esta razón, si el ruido se considera importante, se deberá hacer una medición considerando lo siguiente:

- (a) La amplitud del ruido y las frecuencias producidas se determinarán por las características de la fuente de energía alterna, incluyendo el punto de operación de la fase de retroceso del voltaje y la corriente de carga. Este ruido está además de ruido asociado con la operación con energía dc.
- (b) El nivel máximo de ruido que resulta de la energía alterna generalmente ocurrirá cuando la onda de la corriente alterna sea la máxima.
- (c) El aspecto a objetar del ruido puede depender más de las frecuencias que de la magnitud.
- (d) El balance de la fase del suministro de energía afecta el ruido y deberá estar de acuerdo con la sección 2.2.5.

### **2.6.2. Prueba de interferencia electromagnética.**

(Esta prueba normalmente no se requiere para motores industriales.)

Ver el American National Standard C63.4-1963. Se deberán usar los métodos descritos en este standard. No se aplicarán los límites.

### **2.6.3. Forma de la onda del voltaje.**

Esta prueba es para determinar la variación en el voltaje terminal de un potencial generado con pura corriente directa, en una máquina dc, pero excluyendo todos los voltajes de alta frecuencia generados por las chispas de las escobillas (visibles e invisibles). El equipo de

medición deberá tener una característica en la respuesta de la frecuencia que sea plana (horizontal) dentro de 3dB a una frecuencia igual a tres veces la frecuencia del segmento del conmutador. La onda de voltaje expresada como porcentaje deberá ser igual a 100 veces la máxima variación de voltaje de cresta a cresta dividido entre dos veces el promedio de la prueba de voltaje.

Esta prueba deberá tomarse a velocidad y voltaje reglamentado y sin carga. Si se especifica, esta prueba puede tomarse también con cargas específicas, pero se deben tomar medidas para asegurarse de que el dispositivo de carga no contribuya a que haya algún contenido armónico.

La variación del voltaje de cresta a cresta puede medirse por el método del osciloscopio de rayos catódicos o por el del voltímetro de tubo al vacío.

#### **2.6.3.1. Método del osciloscopio de rayos catódicos (preferido).**

Se deberán medir las lecturas de las variaciones del voltaje máximo de cresta a cresta con el osciloscopio conectado a través de las terminales de la máquina por medio de un filtro de paso-bajo adecuado. El filtro deberá tener una frecuencia crítica de no menos del 125% de la frecuencia del segmento del conmutador. (Se sugiere una frecuencia crítica de 16 000 Hz). Este filtro deberá tener una leve atenuación de hasta 80 % de la frecuencia crítica. Para facilitar la exactitud de la lectura, puede tomarse una fotografía de la forma de la onda del voltaje. Para calibrar el osciloscopio se usará voltaje de corriente directa de una fuente calibrada apropiada.

#### **2.6.3.2. Método de lectura de tubo al vacío.**

Las lecturas de las crestas del voltaje deberán tomarse con las lecturas de la cresta del voltímetro del tubo al vacío en serie con un capacitador adecuado (por lo menos 4.0 microfaradios) conectado a través de las terminales de la máquina. Las lecturas deberán tomarse con el voltímetro conectado sucesivamente para cada una de las dos polaridades. Se utilizará la más alta de las 2 lecturas.

Precaución: Deberá evitarse cualquier resonancia del circuito que se mide.

#### **2.6.4. Respuesta.**

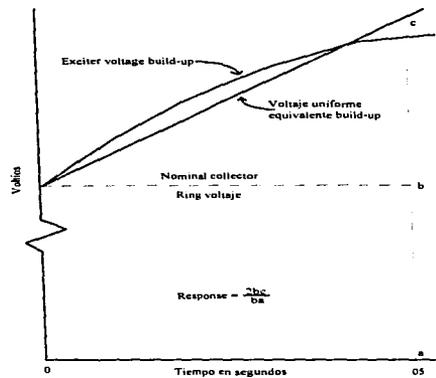
##### **2.6.4.1. Respuesta nominal del agitador.**

Las secciones 10.36.035 y 10.36.040 del American National Standard Definitions of Electrical Terms, Rotating Machinery. C42.10-1957, define la “Respuesta del agitador” y “Radio de la respuesta Principal del agitador”. Este último se refiere al “campo de voltaje de carga regimentada” y sobre éste se basará la prueba.

La prueba deberá tomarse con un dispositivo de grabación de registros permanente y a una velocidad régimen y sin carga en el agitador. El dispositivo de grabación deberá tener una respuesta de diez o más veces la respuesta del agitador. Si el dispositivo de grabación no tiene un instrumento de tiempo interno, se deberá conectar un elemento a un oscilador adecuado u otro dispositivo de tiempo, de una frecuencia conocida, para que haya una onda de tiempo en el oscilograma. El otro canal de grabación deberá estar conectado a través de las terminales de la armadura del agitador.

Si el voltaje del techo del agitador, como se define en el American National Standard C42.10-1957, sección 10.36.030, está limitado por una resistencia de circuito de campo externo, entonces establezca este voltaje ajustando esta resistencia con el reóstato del campo del agitador, puesto en corto circuito. El voltaje de la armadura del agitador deberá establecerse en el “campo de voltaje de carga regimentada” ajustando el reóstato del campo. Comience la grabación del mecanismo de transporte medio y ponga el reóstato del campo en corto circuito. El registro deberá tomarse durante por lo menos el primer segundo del aumento del voltaje.

Los resultados deberán registrarse como se muestra en la siguiente figura. El tiempo se mide desde el punto en que el voltaje comienza a aumentar. Mida el área de la figura de tres lados, tomando como base el “campo de voltaje de carga regimentada”, un lado vertical sobre la línea  $\frac{1}{2}$  segundo, y el tercer lado formado por la curva del voltaje. Esta área puede medirse con un planímetro. Construya un triángulo de la misma área y tomando la misma base. Dos veces la altitud de este triángulo, expresada en volts, dividida entre el “campo de voltaje de carga regimentada” es el “radio de la respuesta principal del agitador.”



## 2.6.5. Medición de la inductancia del bobinado.

### 2.6.5.1. Prueba de inductancia del circuito de la armadura.

Esta prueba debe tomarse aplicando corriente alterna de 60 Hz de una sola fase a las terminales de la máquina y leyendo el voltaje a través de la armadura, el bobinado conmutante, y las terminales de la máquina. El campo en serie deberá estar afuera del circuito para evitar que la máquina actúe como un motor devanado en serie. No deberá acortarse el campo en serie.

Es aconsejable que las conexiones a la armadura estén hechas con bloques de cobre reemplazando las escobillas. Se toma esta precaución para evitar el sobrecalentamiento de las escobillas y de las cuñas del conmutador, bajo las escobillas. Estos bloques de cobre tienen aproximadamente la forma y el tamaño de las escobillas excepto donde el bloque de cobre contacta con la cuña del conmutador. Un bloque de cobre deberá contactar cada cuña del conmutador, que será contactado por las escobillas. Cada bloque de cobre deberá estar conectado a cada sostenedor de las escobillas o a los puntales de los sostenedores o a los pernos por medio de una resistencia (en derivación), lo mismo con la escobilla. En máquinas pequeñas se pueden usar escobillas de carbón normal, si se tiene cuidado de no sobrecalentarlas, tampoco a las cuñas del conmutador.

Un método alternativo para la conexión a la armadura es hacer conexiones directas a los conductores verticales de las cuñas del conmutador que serán contactadas por las escobillas. Estas conexiones ponen en corto circuito el mismo número de cuñas como lo haría una escobilla. Las escobillas deberán retirarse del conmutador. (ver el EWING, J.S. Lumped Circuit Impedance Representation para DC Machines. IEEE transactions (Power Apparatus and Systems), vol 87, abril 1968, pp 1106-1110 para una derivación de la impedancia en circuitos sobrecargados.

(a) Inductancia no saturada.

La armadura, el campo conmutante, y el potencial y corriente terminal alternante, deberán registrarse para cada punto en la inductancia no saturada. El voltaje a través del campo de resistencia en derivación de circuito abierto deberá observarse con un voltímetro de potencial alternante para asegurar que el voltaje en el campo de la resistencia en derivación no sea excesivo. Las lecturas deberán tomarse aproximadamente en 10 % etapas de 10 % a 60 % de corriente regimantada.

(b) Inductancia saturada.

La inductancia se determina de la inclinación de la curva registrada en los datos anteriores. Los volts por amperio en la inclinación de la curva cerca del origen (ohms) se usa en la siguiente ecuación para obtener la inductancia en henrys:

$$1H = \frac{1\Omega}{2\pi f}$$

La impedancia de la corriente alternante puede ser asumida enteramente como reactancia, pero se deberán tomar precauciones para verificar esto, midiendo la resistencia de la corriente alternante del circuito para probar que ésta es mínima.

#### **2.6.5.2. Prueba de inductancia del campo de la resistencia en derivación.**

La máquina deberá manejarse a velocidad regimantada. Si es una máquina de multi-velocidad regimantada, ésta deberá manejarse a la mínima velocidad regimantada. La prueba se toma con un oscilógrafo. Los elementos del oscilógrafo deberán estar conectados para registrarse como sigue:

- Onda de tiempo.
- Voltaje terminal de la armadura.
- Corriente del campo de la resistencia en derivación.
- Voltaje del campo de la resistencia en derivación.

La prueba deberá tomarse sin carga con el campo de la resistencia conectado a un agitador que tenga una capacidad de corriente de varias veces la corriente regimentada del campo de resistencia. Todos los otros bobinados en los ejes directos deberán estar en circuito-abierto.

Ajuste el agitador para dar a la máquina el voltaje regimentado. Mida el voltaje del campo de resistencia. Reduzca la corriente del campo a cero y abra el switch del campo. Ajuste el voltaje del agitador al valor arriba mencionado (del voltaje del campo de resistencia). Active el aparato de grabación y rápidamente cierre el switch del campo.

La inclinación inicial  $\left(\frac{dI_{fo}}{dt}\right)$  de la onda de la corriente del campo de resistencia deberá determinarse con el film revelado. La inductancia propia no saturada del circuito del campo de resistencia se calcula así:

$$L_{fo} = \frac{E_{fo}}{\left(\frac{dI_{fo}}{dt}\right)} (H)$$

Donde:

$L_{fo}$  = Inductancia propia del circuito del campo de resistencia (no saturada), en henrys.

$E_{fo}$  = Voltaje del agitador, en volts.

$\left(\frac{dI_{fo}}{dt}\right)$  = Inclinación inicial de la corriente de campo del oscilograma, en amperes por segundo

Un método alternativo de cálculo es usar la inclinación inicial de la pista del voltaje de la armadura. Se deberá tener cuidado de no incluir los efectos de voltaje residual. La inductancia propia puede computarse de esta manera:

$$Lfo = \frac{Efo}{\left(\frac{IfI}{VtI}\right) \left(\frac{dVto}{dt}\right)}$$

Dónde:

$\frac{IfI}{VtI}$  = Radio de la corriente de campo al voltaje terminal como se obtiene de la parte no saturada de la curva de saturación correspondiente a la velocidad a la cual fue hecha esta prueba.

$\frac{dVto}{dt}$  = Inclinación inicial del voltaje de la armadura del oscilograma, en volts por segundo.

Se usará la inductancia más alta de estos dos métodos.

### 2.6.6. Corrientes relámpago.

Las corrientes relámpago pueden causar problemas con los soportes de los motores o en equipos conectados. Los soportes o muñones relámpago, o ambos, que son dañados por corrientes relámpago, tendrán una apariencia escarchada o manchada. El aceite o grasa lubricante contendrá contaminación y color a una fina partícula metálica.

Con energía alterna, los motores pueden estar sujetos a corrientes relámpago, dependiendo en las características y conexión con tierra del suministro de energía de que se trate, así como del diseño electromagnético y mecánico del motor.

#### 2.6.6.1. Causas de las corrientes relámpago.

Las corrientes relámpago son producidas por tres diferentes causas:

- (a) La corriente circulante debido a una fuerza electromotiva relámpago. Esta fuerza electromotiva es generada por una distribución asimétrica del flujo magnético entre polos en las conexiones estacionarios o rotantes, lo que origina una red de flujo que rodea el

relámpago y es de magnitud alternante. Este flujo alternante genera una fuerza electromotiva entre las terminaciones del relámpago. Si esta fuerza electromotiva es suficiente para romper la fuerza dieléctrica de la capa de aceite, las corrientes relámpago fluirán si un circuito eléctrico externo está colocado entre los soportes.

- (b) Corrientes locales debidas a una fuerza electromotiva relámpago . Esta fuerza electromotiva es producida por una corriente que rodea al relámpago. Esta magnetizará el relámpago y causará que se establezcan líneas de flujo a través de los soportes y la estructura de soporte externa de la máquina. La rotación del relámpago convierte el muñón en un generador de corriente directa homopolar. Si la fuerza electromotiva es suficiente para romper la fuerza dieléctrica de la capa de aceite, una corriente directa local fluirá entre el muñón y el soporte. Debido a la saturación del relámpago , o circuito magnético asociado, y ya que la velocidad del muñón está limitada por una buena operación del soporte, el voltaje directo muy rara vez puede exceder una pequeña fracción de un volt.
- (c) Con energía alterna, acoplamiento de capacidad entre el bobinado y la estructura magnética. El voltaje generado es una función de la capacidad del motor y de las características del circuito de energía, tales como la frecuencia, conexión, y conexión con la tierra del suministro de energía.

#### 2.6.6.2. Prueba para corrientes relámpago

- (a) Corriente circulante debida la fuerza electromotiva relámpago.  
Esta prueba deberá tomarse a la máquina sin carga, con voltaje regimentado y a ambas velocidades básica y máxima. El circuito eléctrico externo formado por la estructura soporte de los soportes, y el relámpago, deben estar en circuito-abierto.
  - En cada una de las condiciones anteriores, mida la fuerza electromotiva generada entre las terminaciones del relámpago con un milivoltímetro ac. Usualmente es adecuado un instrumento de 100 mV escala-completa. Un instrumento electrónico o de tipo termal es satisfactorio para esta prueba.

**Precaución:** Los caladores o escobillas contactantes deberán garantizar un buen contacto de metal a metal y deberán obtenerse resultados repetidamente.

- En cada una de las condiciones anteriores mida la corriente con un amperímetro de corriente alterante más grande, con cada conductor de 3 m (19 ft) de largo, alambre del número 4 ó más grande, conectada entre las terminaciones del relámpago.

**Precaución:** Los caladores contactantes y el relámpago deben tener un empalme de resistencia muy bajo. La magnitud de la corriente frecuentemente estará en el punto bajo de la escala del instrumento. Deberá registrarse la lectura de la escala. La magnitud exacta se determinará por calibración. Un instrumento de lectura más bajo tendrá una impedancia muy alta para dar buenos resultados.

- (b) Corrientes locales debidas a fuerza magnetomotiva de relámpago.

La prueba deberá tomarse a la máquina con carga regimentada, voltaje regimentado, y máxima velocidad regimentada. El circuito magnético formado por la estructura de soporte, los soportes y el relámpago deberán simular la aplicación tan cerca como sea practicable. Mida el voltaje residual bajo la condición anterior con un milivoltímetro de corriente directa. Usualmente es adecuado un instrumento de 100 mV escala-completa. Los conductores del instrumento deberán contactar la superficie del relámpago con caladores de baja resistencia en cada lado del espacio de los soportes.

- (c) Corrientes en los soportes debido a la capacitancia del bobinado a la tierra.

Con corriente alterna, se pueden medir posibles corrientes en los soportes, aislando el motor y relámpago del piso. Los puntos de contacto en prueba conectados al amperímetro deberán contactar el relámpago del motor en una superficie bien definida (esto es, despachador neutral o llave de agua). Se deberá usar un amperímetro ac que lea valores de rms, como un instrumento de termo-pares. Las condiciones de la prueba deberán incluir la onda de la corriente más alta anticipada en servicio.

## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO ELECTRICO, COMPONENTES Y ESTRUCTURA MECANICA DEL EQUIPO**

---

#### **3.1. Generalidades y especificaciones.**

3.1.1. Características generales.

3.1.2. Diagrama de flujo.

#### **3.2. Estudio ergonomico y antropometrico para el diseño del banco.**

#### **3.3. Diseño electrónico y eléctrico.**

3.3.1. Calculo de un voltaje de corriente directa variable.

3.3.2. Calculo del puente rectificador trifasico.

3.3.3. Calculo del transformador trifasico (TR1).

3.3.4. Calculo del transformador variable.

3.3.5. Calculo del reductor de velocidad para el motor piloto.

3.3.6. Diseño del circuito para la regulación automática del voltaje de salida.

3.3.7. Diseño de circuito para seleccionar el numero de motores a probar.

3.3.8. Diseño del circuito para seleccionar el sentido de giro del motor.

3.3.9. Diseño del circuito de señalización de tiempo de espera.

3.3.10. Diseño del circuito de señalización de preparación.

3.3.11. Diseño del circuito de numero de motores funcionando.

3.3.12. Diseño del circuito de señalización del numero de motores funcionando.

3.3.13. Diseño de los circuitos detectores de sobre corriente, conexión errónea y alarma.

#### **3.4. Componentes.**

3.4.1.- Glosario de términos empleados para el diseño.

3.4.2.- Componentes eléctricos.

#### **3.5. Estructura y mediciones mecánicas del banco.**

### 3.1. Generalidades y especificaciones.

Se diseñará el banco para la prueba simultánea de hasta 4 motores de tracción, efectuándose ésta en vacío (sin carga), con el propósito de lograr un asentamiento de las diversas partes que de antemano fueron cambiadas o rectificadas, después de haber sometido dicho motor o motores a un mantenimiento mayor.

Deberá contar con las protecciones necesarias contra errores de operación, sobre carga, corto circuito, falta de alguna fase y error de conexión, además de contar con el equipo e instrumentos necesarios para probar los motores en una forma eficaz y segura, el banco tendrá capacidad de probar el o los motores, tanto en un sentido como en otro variando el voltaje de salida desde cero hasta 340 volts, corriente directa en forma automática o manual.

Considerando los posibles errores de operación, en el centro de trabajo, el banco será diseñado también para evitar las siguientes operaciones:

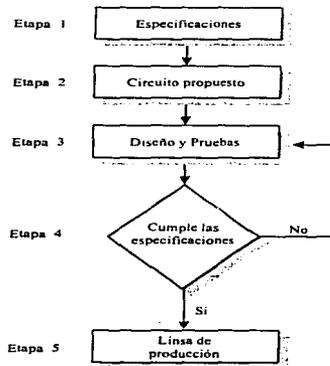
- El funcionamiento, a menos que el regulador de voltaje se encuentre inicialmente en cero volts de salida. Esto evitará que exista voltaje de corriente directa en la salida al inicio del funcionamiento.
- El funcionamiento, cuando no se ha elegido o seleccionado el sentido de giro.
- El funcionamiento, cuando no se ha elegido o seleccionado el número de motores a probar.
- El cambio de sentido de rotación instantáneo.
- Cuenta además con controles, instrumentos de medición y lámparas indicadoras, las que nos señalarán en que paso de operación se encuentra el banco de pruebas del motor de tracción.
- El banco puede medir las revoluciones por minuto del motor de tracción o los motores por medio de un tacómetro y una sonda fotoeléctrica.

### 3.1.1. Características generales.

- Alimentación trifásica con 220 volts corriente alterna y tierra.
- Frecuencia de 60 hertz.
- Capacidad máxima 25 kva.
- Enfriamiento natural.
- Potencia máxima de salida de 23.8 kilowatts.
- Corriente máxima de entrada 68 amperes corriente alterna.
- Corriente máxima de salida 70 amperes.
- Voltaje máximo de salida igual a 340 Volts corriente alterna.
- Corriente directa con regulación manual y automática.
- Medición de las revoluciones por minuto por medio de un tacómetro y una sonda fotoeléctrica.
- Peso 1340 kg.

### 3.1.2. Diagrama de flujo.

El procedimiento del diseño es importante para obtener los buenos resultados. En el diseño de cualquier sistema es necesario seguir el siguiente diagrama.



Las etapas 3 y 4 son fundamentales, ya que de esta parte del proceso depende la fiabilidad y la calidad del producto.

### **3.2. Estudio ergonomico y antropometrico para el diseño del banco.**

Proporciones corporales promedio:

Debido a las variaciones significantes de las dimensiones corporales. Los promedios dimensionales son de poca utilidad para el diseñador, y es necesario trabajar con rangos. Estos rangos deben abarcar entre el 90 y 95% de los usuarios para quienes se diseña. Tomando en cuanto lo anterior se divide la población total en 100 partes teóricamente iguales, a estas partes se les conoce como percentiles. Por lo tanto para diseñar se elimina los extremos tomando la parte media de la población. Para diseñar el 95% de la población, se elimina el 2.5% inferior de la población y el 2.5% superior de la misma; ó sea se toma como limite inferior al 2.5 percentil, y al limite superior el 97.5 percentil. Es entre estas dos medidas que debe dar cabida el diseño.

Al carecer de las medidas antropometricas de los operarios de una taquilla del sistema de transporte colectivo dedicada a la venta de boletos, se toma también como referencia un estudio de población del IMSS de 1979, del cual se estimo las proporciones corporales de mexicanos del valle de México. Las mismas fueron adaptadas al promedio de las medidas de los operarios, y de allí se procedió a calcular los percentiles correspondientes.

Los percentiles aquí presentados son estimaciones provisionales, sujetas a cambios cuando se dispone de las medidas antropometricas de una muestra representativa de la población de trabajadores del metro.

A continuación se da una descripción de las medidas tomadas como referencia .

Medidas Antropometricas (con el sujeto de pie).

- **Peso.-** Fuerza en kilogramos con que el cuerpo es atraído por la masa terrestre.
- **Estatura total.-** Medida que se toma del piso a la parte mas superior del cráneo (vertex).
- **Altura del tragion.-** Distancia del piso al borde superior del trago donde se une con el elix (oído).

- **Altura al acromion.-** Distancia directa del piso al borde mas lateral y superior de la apofisis acromial (hombro).
- **Altura del radial.-** Medida que se toma del piso al borde mas proximal y externo de la cabeza del radio (codo).
- **Altura al estilion.-** Distancia del piso al borde mas distal de la yema del dedo medio de la mano.
- **Altura a la espina iliaca.-** Distancia del piso al punto de la espina iliaca anterosuperior (altura de los miembros inferiores).
- **Altura al tibial.-** Distancia del suela al punto mas proximal del borde interno del platillo tibial interno (rodilla).
- **Altura al maleolo interno.-** Distancia entre el piso y el maleolo tibial (tobillo).
- **Anchura biacromial.-** Distancia máxima entre ambos puntos acromiales (anchura de hombros).
- **Anchura del tórax.-** Anchura máxima del tórax al nivel mesoesternal (cuarta costilla).
- **Anchura bicrestailiaca.-** Distancia máxima entre ambos puntos iliocrestales (anchura cadera).
- **Profundidad del tórax.-** Distancia máxima perpendicular al eje del tórax entre el mesoesternal y la columna vertebral (a la altura de la cuarta costilla).
- **Diámetro anteroposterior del muslo.-** Distancia máxima entre la parte anterior y posterior del muslo.

Con el sujeto sentado.

- **Estatura sentado.-** Distancia entre el vertex y el plano horizontal del asiento, con el tronco erecto y los muslos en posición horizontal.
- **Altura al vértice inferior del omoplato.-** Distancia que va desde el vértice inferior del omoplato al plano horizontal del asiento.
- **Longitud del brazo.-** Distancia entre el acromion y el olecranon. (se toma con el brazo pendiente lateralmente y haciendo ángulo recto con el antebrazo).
- **Longitud olecranon-dactilion.-** Distancia entre el olecranon (codo) y el dactilion (dedo medio)

- Alcance funcional del miembro superior.- Es la distancia máxima entre el dactilion (dedo medio) y la parte mas posterior del hombro (se toma con el miembro superior extendido horizontalmente hacia adelante).
- Distancia gluteo-hueco popliteo.- Es la longitud máxima entre el hueco-popliteo (atrás de la rodilla) y el punto mas distante que se localiza en la parte posterior de la región glutea, siguiendo el eje longitudinal del muslo.
- Distancia gluteo-rotula.- Es la longitud máxima tomada de la parte anterior de la rotula (rodilla) y la parte posterior de la región glutea.
- Anchura bitrocantérica.- Distancia máxima entre ambos trocanteres mayores de los fémures (anchura máxima de los muslos).

Medidas antropométricas según cálculos indirectos para mujeres en taquilla del sistema de transporte colectivo.

Medida = Estatura por el porcentaje de la medida

Medias Antropométricas	Promedio EE.UU.	Promedio IMSS 1979	Percentiles 2.5% - 97.5%	Promedio Metro 90
Peso corporal	65.9	60.2	38.753 - 81.731	56.6
Estatura (H)	161.5	153.3	141.53 - 165.04	153.78
Estatura sentada	.52		75.2 - 87.77	82.4
Altura tragon o visual	.936		133.97 - 151.68	
Altura acromion	.818		111.94 - 140.17	
Altura radial	.630		82.65 - 108.8	
Altura estilion	.485		65.89 - 84.22	
Altura dactilion	.377		56.81 - 58.64	
Altura espina iliaca	.53		75.84 - 96.81	
Altura tibial	.285		35.74 - 46.17	
Altura maleolar	.039		5.31 - 8.41	
Anchura bicromial	.259		27.2 - 36.35	
Anchura torácica	.174		23.07 - 32.6	
Profundidad torácica			11.67 - 37.79	
Anchura bicrestal	.191		24.67 - 36.14	
Diámetro antero-post. muslo			16.62 - 18.81	
Altura inferior omoplato			36.57 - 47.08	
Alcance espalda-dactilion			67.57 - 87.6	
Longitud olecranon-dactilion			33.91 - 45.28	

Distancia gluteo-popliteo			40.4 - 51.33	
Distancia gluteo-rotula			48.04 - 59.43	
Anchura bitrocantérica			27.8 - 39.91	
Longitud brazo	.186		27.28 - 36.61	
Longitud antebrazo	.146			
Longitud mano	.108			
Longitud muslo		.2619		
Longitud pierna		.2273		
Longitud pie	.152	promedio	23.3*	
Anchura pie	.055	promedio	8.43*	

Videovigilancia línea 5 del sistema de transporte colectivo.

Proporciones corporales promedio para videovigilancia (hombres).

Medida = Estatura por el porcentaje de la medida

Medidas Antropométricas	EE.UU.	IMSS 1979	Metro * IMSS	Percentiles 2.5% - 97.5%
Peso corporal	78.0	68.107	78.6	48.2 - 87.9
Estatura (H)	174.8	165.45	169.5	152.4 - 178.4
Estatura sentada	.52	.5207	88.25	78.8 - 93.5
Altura tragion o visual	.936	.9185	155.68	138.8 - 164.9
Altura acromion	.818	.8290	140.51	123.7 - 150.5
Altura radial	.630	.6315	107.04	90.8 - 118
Altura estilion	.485	.4887	82.83	71.5 - 90.2
Altura dactilion	.377	.3758	63.69	52.7 - 71.5
Altura espina iliaca	.53	.5463	92.59	77.9 - 102.8
Altura tibial	.285	.2722	46.13	37.7 - 52.3
Altura maleolar	.039	.0448	7.59	5.7 - 9.1
Anchura bicromial	.259	.2123	35.98	30.7 - 39.5
Anchura torácica	.174	.1877	31.81	27.8 - 34.2
Profundidad torácica		.13	22.03	18.8 - 24.2
Anchura bicrestal	.191	.1842	31.22	25.5 - 35.4
Diámetro antero-post. muslo		.0876	14.84	11 - 17.9
Altura inferior omoplato		.2646	44.84	38.1 - 49.4
Alcance espalda-dactilion		.51	86.44	72.1 - 96.6
Longitud olecranon-dactilion		.2638	44.71	38 - 49.2
Distancia gluteo-popliteo		.2848	48.27	41.2 - 53
distancia gluteo-rotula		.3389	57.44	50.6 - 61.5
Anchura bitrocantérica		.2012	34.1	27.5 - 38.9
Longitud brazo	.186	.1976	33.49	

Longitud antebrazo	.146	.1427	24.18	
Longitud mano	.108	.1129	19.13	
Longitud muslo		.2619	44.39	
Longitud pierna		.2273	38.52	
Longitud pie	.152		25.76*	
Anchura pie	.055		9.32*	

Se pueden observar diferencias claras entre peso y talla de la población de estados unidos y del valle de México. Estas medidas y percentiles esta traducido a las normas y cuadros presentados en este estudio.

**Presión arterial:**

La presión arterial nos permite medir la intensidad del trabajo, o anomalías en la condición de salud del trabajador, en reposo y durante la jornada de trabajo. Los resultados permiten señalar que en ningún momento se presento hipertensión arterial (presión alta) durante la jornada de trabajo. Aunque hubo un caso de hipotensión arterial (presión baja), no patológica. Las variaciones durante las se pueden considerar no significativas.

Horas de trabajo	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	quinta	sexta
Indios Verdes	128/70	124/78	122/80	128/70	120/68	118/80
Potrero	120/78	116/70	110/68	108/70	110/72	106/72
Inst. del petróleo	110/74	108/78	Sin variaciones .....			
Revolución	130/78	130/84	120/76	122/78	124/80	130/80
Jamaica	110/82	117/82	124/82	120/78	Sin variación	
Observatorio	100/60	98/62	104/58	100/58	89/54	92/55

**Pulso arterial:**

La evaluación de trabajos se realiza por tres métodos: La primera es el uso de tablas que comparan los trabajos y su dificultad; la segunda mide el consumo directo de oxigeno (incomodo); y la tercera consiste en medir el pulso arterial durante la jornada de trabajo por telemetria cardiovascular. El trabajo se clasifica según la intensidad del pulso en el siguiente cuadro:





### 3.3. Diseño Electrónico y Eléctrico.

#### 3.3.1. Cálculo de un voltaje de corriente directa variable.

Para lograr un voltaje variable de corriente directa, existen diversos métodos. En este diseño y para esta aplicación se eligió el sistema de variación con autotransformador de aislamiento y puente rectificador trifásico. Ver figura numero 1.

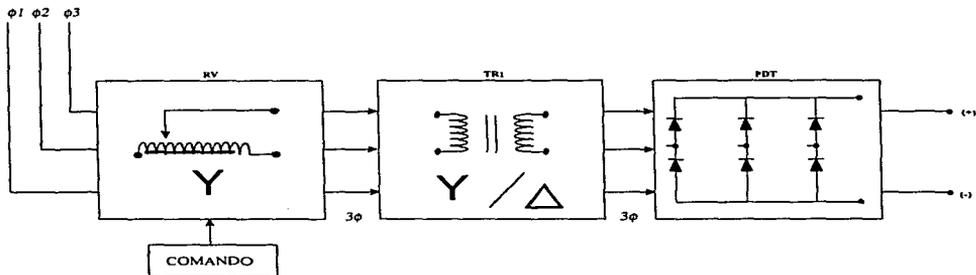


Fig. 1 Conexión para lograr voltaje variable de C.D.

#### 3.3.2. Cálculo del puente rectificador trifásico.

Para diseñar el rectificador precisamos determinar de las exigencias del banco de pruebas y del circuito de la figura 2, también debemos considerar que para obtener el mejor puente rectificador debemos tomar en cuenta los datos de salida siguientes.

Voltaje de salida,  $V_{CD} = 340$ .

Corriente de salida,  $I_{CD} = 70$ .

Para el cálculo de la resistencia aplicamos la ley de ohm.

$$R_c = \frac{V_{CD}}{I_{CD}} = \frac{340}{70} = 4.85 \text{ OHMS (Equivalente)}$$

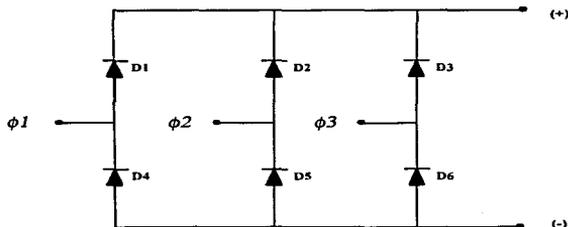


Fig. 2 Puente rectificador trifásico.

El voltaje directo rectificado está determinado por la expresión siguiente:

$$V_{CD} = \frac{6}{\pi} V_{MAX} \text{Sen} \frac{180^\circ}{6}$$

$$V_{CD} = \frac{3}{\pi} V_{MAX}$$

$$V_{CD} = 0.954 V_{MAX}$$

$$V_{MAX} = \frac{V_{CD}}{0.954}$$

Sustituyendo el valor de  $V_{CD} = 340$

Obteniendo:

$$V_{MAX} = \frac{340}{0.954}$$

$$V_{MAX} = 356.39 \text{ Volts.}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_{MAX}}{\sqrt{2}} = \frac{356.39}{1.41}$$

$$V_{RMS} = 252.75 \text{ Volts.}$$

Por tanto, el transformador TR1, deberá ser 220 Volts. / 300 Volts. Trifásico.

Continuando con el diseño del puente rectificador se establecen los conceptos de corriente.

La corriente continua rectificada está determinada por la expresión siguiente:

$$I_{CD} = \frac{6}{\pi} I_{MAX} \text{ Sen } \frac{180^\circ}{6}$$

$$I_{CD} = \frac{6}{3.1416} I_{MAX} \text{ Sen } 30^\circ$$

$$I_{CD} = \frac{6}{3.1416} I_{MAX} \frac{1}{2}$$

$$I_{CD} = \frac{3}{\pi} I_{MAX} ; I_{CD} = \frac{3}{3.1416} I_{MAX}$$

Despejando  $I_{MAX}$  se obtiene lo siguiente:

$$I_{MAX} = \frac{I_{CD}}{0.954}$$

sustituyendo  $I_{CD} = 70$  Amperes.

$$I_{MAX} = \frac{70}{0.954} = 73.37 \text{ Amperes.}$$

La corriente y tensión eficaz que cada elemento rectificador aporte se calcula de la siguiente manera:

$V_F = V_D =$  Voltaje eficaz del elemento

$I_F = I_D =$  Corriente eficaz del elemento

$$I_D = I_{MAX} \sqrt{\frac{1}{2(6)} + \frac{1}{4\pi} \text{ Sen } \frac{2(180^\circ)}{6}}$$

$$V_D = V_{MAX} \sqrt{\frac{1}{2(6)} + \frac{1}{4\pi} \text{ Sen } \frac{2(180^\circ)}{6}}$$

$$I_D = I_{MAX} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4(3.1416)} \text{ Sen } 60^\circ}$$

$$V_D = V_{MAX} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4(3.1416)} \text{ Sen } 60^\circ}$$

$$I_D = I_{MAX} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4(3.1416)} \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}$$

$$V_D = V_{MAX} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4(3.1416)} \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}$$

$$I_D = 0.38 I_{MAX}$$

$$V_D = 0.38 V_{MAX}$$

Sustituyendo valores de corriente y voltajes máximos se obtiene lo siguiente:

$$I_D = 0.38(73.37)$$

$$V_D = 0.38(356.39)$$

$$I_D = 27.88 \text{ Amperes}$$

$$V_D = 135.42 \text{ Volts}$$

Por otra parte el factor de forma adopta el valor siguiente:

$$\text{Factor de forma} = F_f = \frac{V_D}{V_{CD}}$$

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$F_f = \frac{V_{MAX} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4\pi} \text{Sen} \frac{2(180^\circ)}{6}}}{\frac{6}{\pi} V_{MAX} \text{Sen} \frac{180^\circ}{6}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4(3.1416)} \text{Sen} 60^\circ}}{\frac{6}{\pi} \text{Sen} 30^\circ}$$

$$F_f = 1.002$$

Si calculamos el índice de ondulación, a partir del factor de forma tenemos:

$$\gamma = \sqrt{F_f^2 - 1} = \sqrt{(1.002)^2 - 1} = 0.042$$

La tensión inversa que cada elemento rectificador soporta en el rectificador trifásico de onda completa es:

$$V_{INV} = V_{MAX} = \frac{V_{CD}}{\frac{6}{\pi} \text{Sen} \frac{180^\circ}{6}} = \left(\frac{6}{\pi}\right) \frac{1}{2}$$

$$V_{INV} = \frac{V_{CD}}{3} \text{ por tanto } V_{INV} = \frac{\pi V_{CD}}{3}$$

$$V_{INV} = \frac{3.1416(340)}{3}$$

$$V_{INV} = 356.39 \text{ Volts.}$$

Para calcular el rendimiento que tiene el rectificador trifásico de onda completa. Se procede a obtener primero los valores de la potencia de corriente directa que suministra el rectificador y de la corriente alterna que por él circula.

$$P_{CD} = I_{CD}^2 R_{CD} = \left( \frac{3}{\pi} I_{MAX} \right)^2 R_{CD}$$

$$P_{CD} = \left( \frac{3 \left( \frac{V_{MAX}}{R_{CD} + 2R_D} \right)}{\pi} \right)^2 R_{CD} = \frac{9}{\pi^2} \left( \frac{V_{MAX}^2}{(R_{CD} + 2R_D)^2} \right) R_{CD}$$

Los valores eficaces de la corriente y tensión rectificadas son:

$$I = I_{MAX} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4\pi} \text{Sen} \frac{2(180^\circ)}{6}}$$

$$I = I_{MAX} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4\pi} \text{Sen} 60^\circ}$$

$$I = I_{MAX} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4(3.1416)} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)}$$

$$I = 0.95 I_{MAX}$$

$$P_{CA} = I^2 (R_{CD} + 2R_D) = \left( I_{MAX} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}} \right)^2 (R_{CD} + 2R_D)$$

Como sabemos la corriente de pico rectificada se encuentra siempre expresada por:

$$I_{MAX} = \frac{V_{MAX}}{R_{CD} + 2R_D}$$

Por tanto:

$$P_{CA} = \left( \frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \right) \left( \frac{V_{MAX}}{R_{CD} + 2R_D} \right)^2 (R_{CD} + 2R_D)$$

$$P_{CA} = \left( \frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \right) \left( \frac{V_{MAX}^2}{(R_{CD} + 2R_D)^2} \right) (R_{CD} + 2R_D)$$

Para el calculo de la eficiencia tendremos:

$$\eta = \frac{P_{CD}}{P_{CA}} = \frac{\frac{9}{\pi^2} \left( \frac{V^2_{MAX}}{(R_{CD} + 2R_D)^2} \right) R_{CD}}{\left( \frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \right) \left( \frac{V^2_{MAX}}{(R_{CD} + 2R_D)^2} \right) (R_{CD} + 2R_D)}$$

$$\eta = \frac{9}{\pi^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \right) \left( 1 + \frac{2R_D}{R_{CD}} \right)}$$

$$\eta = 0.998 \frac{1}{1 + \frac{2R_D}{R_{CD}}}$$

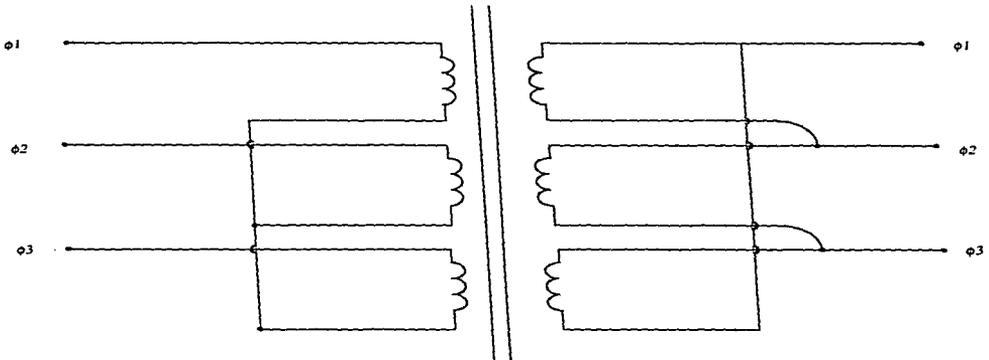
$$\eta = 0.998 \text{ si tenemos } R_{CD} \gg R_D$$

Por lo anterior escogemos los diodos semikron tipo SKN 130/08 de polaridad directa y el tipo SKR 130/08 de polaridad invertida, cuyas características son:

130 amperes, 800 volts.

Formando dos triadas montados en dos disipadores de aluminio cada uno para formar el puente trifásico.

### 3.3.3. Calculo del transformador trifasico (TR1).



Se debe considerar que la potencia  $P_{CA}$ , es igual a la potencia  $P_{CD}$ .

$$P_{CA} = P_{CD} = I^2_{CD} R_{CD}$$

$$P_{CA} = (70)^2 (4.85)$$

$$P_{AC} = 23,765 \text{ watts} = 23.76 \text{ kw}$$

La eficiencia del transformador en condiciones reales es considerada del 75%, por lo tanto, la potencia primaria es la siguiente:

Potencia secundaria =  $P_s$

Potencia primaria =  $P_p$

$\eta = \frac{P_s}{P_p}$ ; despejando potencia primaria se obtiene lo siguiente:

$$P_p = \frac{P_s}{\eta} = \frac{23.76}{0.75} = 29.7 \text{ Kw aproximadamente igual a } 30 \text{ KVA}$$

La corriente por línea de entrada será de la siguiente manera.

$$I_{IN} = \frac{\sqrt{2} \cdot (30)}{3(220)} = 63.45 \text{ Amperes}$$

Luego el transformador deberá ser de las siguientes características:

Entrada 220Volts  $\text{Y}$  (estrella) / salida 300 volts  $\Delta$  (delta) con 30 KVA

### 3.3.4. Calculo del transformador variable.

Para este caso se nos presenta relativamente fácil la selección y el calculo del transformador, ya que considerando los resultados anteriores. El transformador variable deberá ser de 220  $V_{CA}$ , 80 amperes corriente alterna, para este caso se usarán dos por fase de 220  $V_{CA}$  con 40 amperes y conectados en paralelo.

La variación simultánea del voltaje de salida en las tres ramas de autotransformadores se logra mediante una flecha común a los cursores de los tres grupos de elementos como lo muestra la figura numero 3.

### 3.3.5. Cálculo del reductor de velocidad para el motor piloto.

Considerando que se requiere que el voltaje de salida tenga variación de 0 a 340 volts en 10 segundos, cuando se mantenga oprimido el botón que denominaremos MX.

El valor de la tensión en el secundario de TR1, para lograr 340 volts corriente directa a la salida es la siguiente:

$$V = \frac{V_{CD}}{\sqrt{2(0.954)}} = \frac{340}{\sqrt{2(0.954)}} = 252.75 V_{CA} = V_{RMS}$$

Tomando en consideración la relación de transformación de TR1.

$V_s$  = Voltaje secundario

$V_p$  = Voltaje primario

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{300}{220} = 1.36$$

Para lograr 252.75  $V_{CA}$  en el secundario se debe obtener de la siguiente relación.

$$\frac{V_s}{V_p} = 1.36 \text{ por tanto } V_p = \frac{V_s}{1.36} = \frac{252.75}{1.36} = 185.29 V_{CA}$$

Consideramos la selección de "VARIAC" que se encuentra devanado sobre 330 grados eléctricos, por tanto la relación es la siguiente  $330^\circ \rightarrow 220\text{volts}$ .

Por tanto se toma en cuenta la siguiente ecuación.

$$\frac{330^\circ}{220\text{volts}} = \frac{X}{185.29\text{volts}}$$

Despejando la incógnita se obtiene lo siguiente:

$$X = \frac{(185.29\text{volts})(330^\circ)}{220\text{volts}}$$

$$X = 277.935 \text{ aproximadamente igual a } 278^\circ$$

También sabemos que una revolución es equivalente a 360 grados; Dando por resultado la siguiente ecuación:

$$\frac{1 \text{ Rev}}{360^\circ} = \frac{X}{278^\circ}$$

Despejando la incognita se obtiene lo siguiente:

$$X = \frac{(1 \text{ Rev})(278^\circ)}{360^\circ} = 0.77 \text{ Rev}$$

Entonces, 278 grados equivale a 0.77 de revolución, también debemos seleccionar el motor piloto y para este diseño consideramos un órgano de 900 revoluciones por minuto con 220 volts de corriente alterna.

La formula para determinar la reducción es la siguiente:

$$W_1 K = W_2$$

Donde:

$W_1$  = Velocidad numero 1

$W_2$  = Velocidad numero 2

En la velocidad numero 1 consideramos que un minuto tiene 60 segundos obteniendo:

$$W_1 = \frac{900 \text{ Rev.}}{60 \text{ Segundos}}$$

Para la velocidad numero 2 se obtiene lo siguiente:

$$W_2 = \frac{0.77 \text{ Rev.}}{10 \text{ Segundos}}$$

Despejando K de la formula y sustituyendo los valores de las velocidades se obtiene el siguiente resultado:

$$W_1 K = W_2$$

$$K = \frac{W_2}{W_1} = \frac{\frac{900 \text{ Rev.}}{60 \text{ Seg.}}}{\frac{0.77 \text{ Rev.}}{10 \text{ Seg.}}} = \frac{\frac{10 \text{ Seg.}}{900 \text{ Rev.}}}{\frac{60 \text{ Seg.}}{900 \text{ Rev.}}} = \frac{(0.77)(60) \text{ Rev.-Seg.}}{(900)(10) \text{ Rev.-Seg.}} = \frac{46.2}{9000} = 5.13 \times 10^{-3}$$

Aproximadamente:

$$K = 0.005$$

Por tanto si  $W_2$  es igual a 1 revolución se obtiene lo siguiente.

$$W_2 = W_1 K \text{ despejando } W_1$$

$$W_1 = \frac{W_2}{K} = \frac{1}{0.005} = 200 \text{ Rev.}$$

Por lo tanto la relación es de 200 : 1

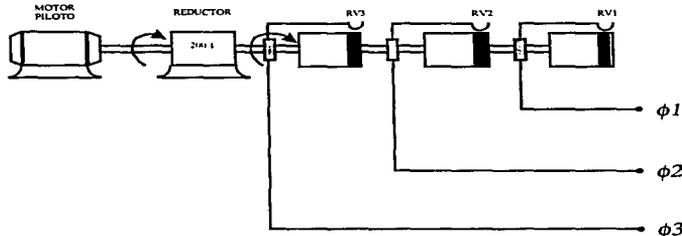


Fig. 3 Acoplamiento motor reductor para la variación simultánea del voltaje de salida

### 3.3.6. Diseño del circuito para la regulación automática del voltaje de salida.

Sean las señales MX y MN los comandos de incrementar y decrementar respectivamente el voltaje de salida.

Para efectuar el diseño partiremos de la aplicación de los circuitos lógicos, también se describen las funciones siguientes:

RVMAX = Voltaje de salida máximo.

RVMIN = Voltaje de salida mínimo.

BREG1 = Botón para incrementar voltaje de salida.

BREG2 = Botón para decrementar voltaje de salida.

También debemos considerar la alimentación en un sentido de las manecillas del reloj y otro para contra las manecillas del reloj.

En este diseño le asignamos las letras B y C como los relevadores de funcionamiento en giro en el sentido de las manecillas del reloj (MR) y giro en contra del sentido de las manecillas del reloj (CMR) respectivamente.

El circuito debe cumplir las siguientes tablas de verdad para el diseño del circuito.

Entradas			Salidas
RV MIN	BREG 2	MX	MN
1	1	0	1

Entradas					Salidas
MN	RVMAX	BREG 1	C 1	B1	MX
0	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1

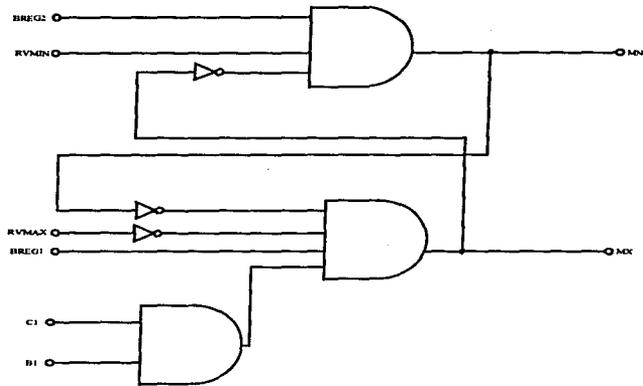
Para obtener el resultado todos los demás estados son cero:

Obteniéndose las ecuaciones resultantes.

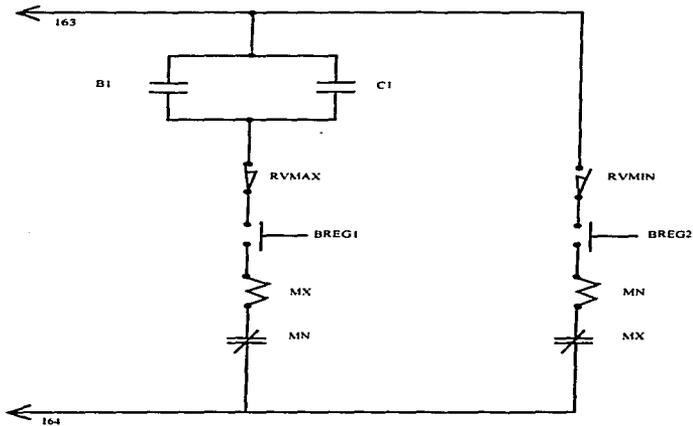
$$MN = \overline{MX} \cdot BREG2 \cdot RVMIN$$

$$MX = \overline{MN} \cdot BREG1 \cdot \overline{RVMAX} \cdot (C1 + B1)$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene el siguiente circuito lógico.



Del circuito lógico anterior se obtiene el circuito eléctrico.



### 3.3.7. Diseño de circuito para seleccionar el número de motores a probar.

Para obtener el circuito debemos considerar las señales SM1, SM2, SM3 y SM4, los comandos de salida del número de motores a probar de 1 hasta 4 respectivamente y las señales de comando de entrada del número de motores como BM1, BM2, BM3, y BM4.

El circuito deberá cumplir con la siguiente tabla de verdad.

Entrada				Salida			
BM4	BM3	BM2	BM1	SM4	SM3	SM2	SM1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0

En todos los demás estados SM1, SM2, SM3 Y SM4 son ceros.

Después de efectuar el análisis, las ecuaciones resultantes son las siguientes:

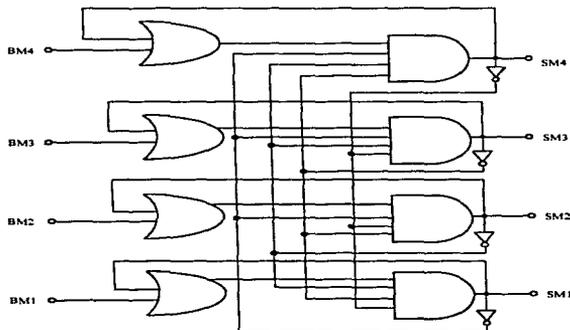
$$SM4 = (SM4 + BM4) \cdot \overline{SM3} \cdot (\overline{SM1} \cdot \overline{SM2})$$

$$SM3 = (SM3 + BM3) \cdot \overline{SM4} \cdot (\overline{SM1} \cdot \overline{SM2})$$

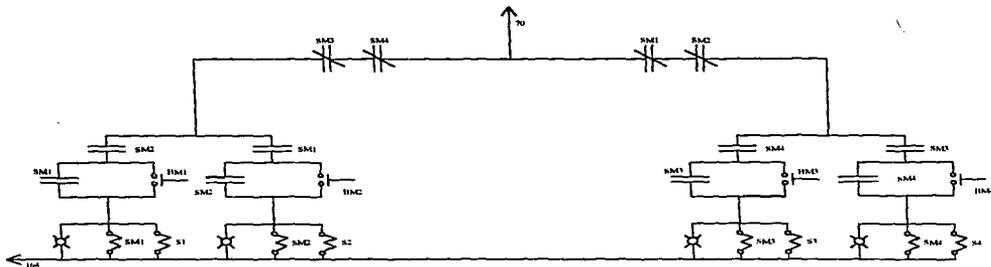
$$SM2 = (SM2 + BM2) \cdot \overline{SM1} \cdot (\overline{SM3} \cdot \overline{SM4})$$

$$SM1 = (SM1 + BM1) \cdot \overline{SM2} \cdot (\overline{SM3} \cdot \overline{SM4})$$

Considerando las ecuaciones anteriores podemos obtener el siguiente circuito lógico.



Del circuito lógico.



### 3.3.8. Diseño del circuito para seleccionar el sentido de giro del motor.

Considerando las señales MR, el comando de giro en el sentido de las manecillas del reloj y CMR el comando en contra de las manecillas del reloj, como lo mencionamos anteriormente. También designamos como GIRO 1 para seleccionar MR y GIRO 2 para seleccionar CMR, por tanto el circuito deberá cumplir con la siguiente tabla de verdad.

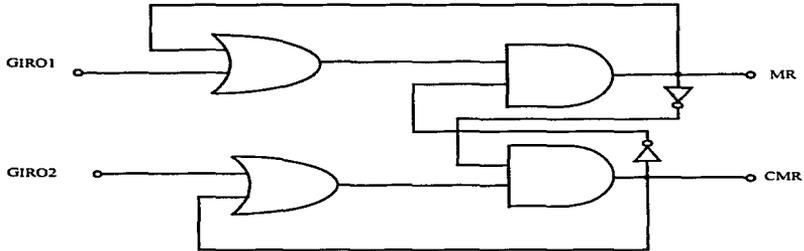
Entradas		Salidas	
GIRO 1	GIRO 2	MR	CMR
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Después de hacer el análisis, las ecuaciones resultantes son las siguientes:

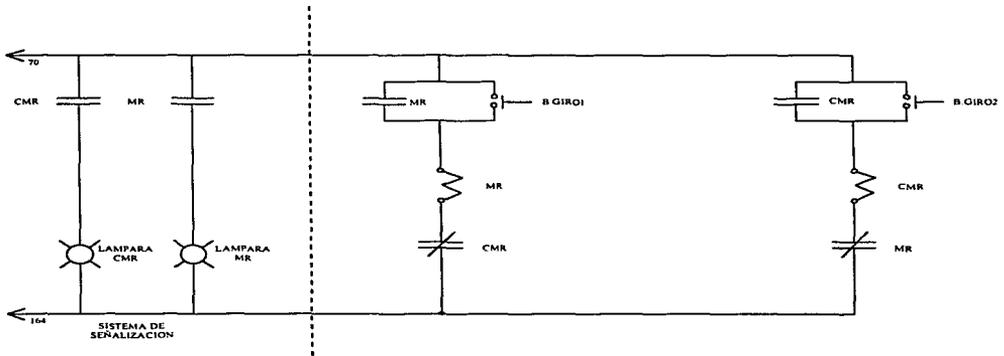
$$MR = \overline{CMR} \cdot (MR + GIRO1)$$

$$CMR = \overline{MR} \cdot (CMR + GIRO2)$$

Con las ecuaciones se obtiene el siguiente circuito lógico.



Finalmente se obtiene el circuito eléctrico.



### 3.3.9. Diseño del circuito de señalización de tiempo de espera.

La señal de tiempo de espera se le designará G1 y el circuito deberá cumplir con la siguiente tabla de verdad para el diseño del circuito.

Entradas		Salidas	
RT1	RT2	BFUNC	G1
0	0	0	0
0	0	1	0
1	0	1	1
0	1	1	1

Donde:

BFUNC. = Botón de funcionamiento.

RT 1 = Relevador de tiempo 1.

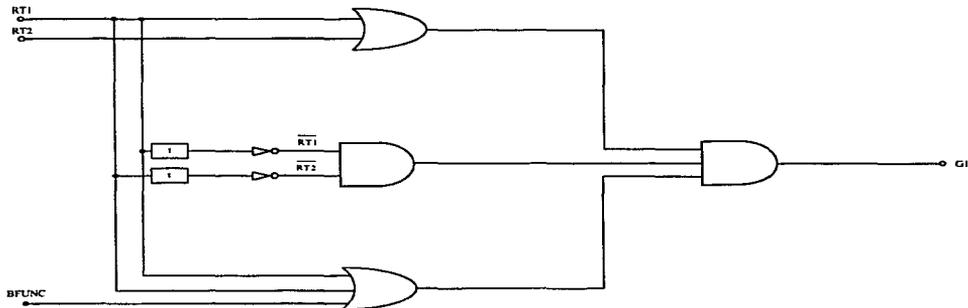
RT 2 = Relevador de tiempo 2.

Todos los demás estados son cero.

Después de hacer el análisis, la ecuación resultante es la siguiente:

$$G1 = (RT1 + RT2) (\overline{RT1} \cdot \overline{RT2}) (BFUNC + RT1 + RT2)$$

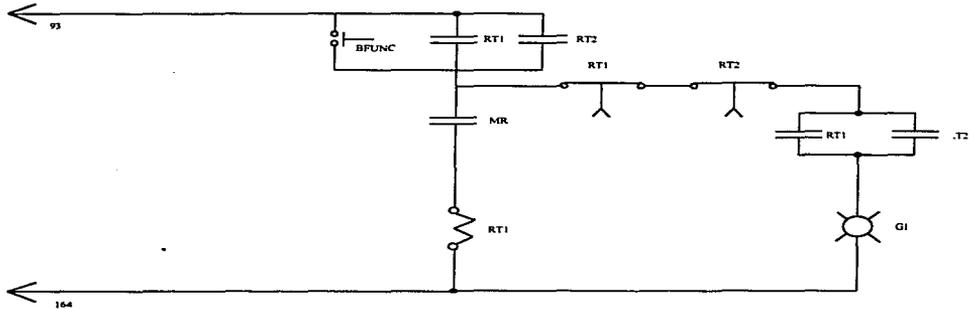
De la ecuación se obtiene el siguiente circuito lógico.



RT 1 Relevador temporizado a 120 segundos.

RT 2 Relevador temporizado a 120 segundos.

Finalmente se obtiene el circuito eléctrico.



### 3.3.10. Diseño del circuito de señalización de preparación.

Las señales de preparación serán designadas G2, G3, G4 y G5 de los motores M1, M2, M3 y M4 respectivamente.

El circuito deberá cumplir con la siguiente tabla de verdad.

Entrada					Salida			
B1	C1	S1	S2	S3	G2	G3	G4	G5
0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0	0

Donde:

B1 = Giro de las manecillas del reloj.

C1 = Giro contra las manecillas del reloj.

S1 = Preparación de 2 motores.

S2 = Preparación de 3 motores.

S3 = Preparación de 4 motores.

En todos los demás estados G2, G3, G4 y G5 son ceros.

Después de hacer el análisis, las ecuaciones resultantes son las siguientes:

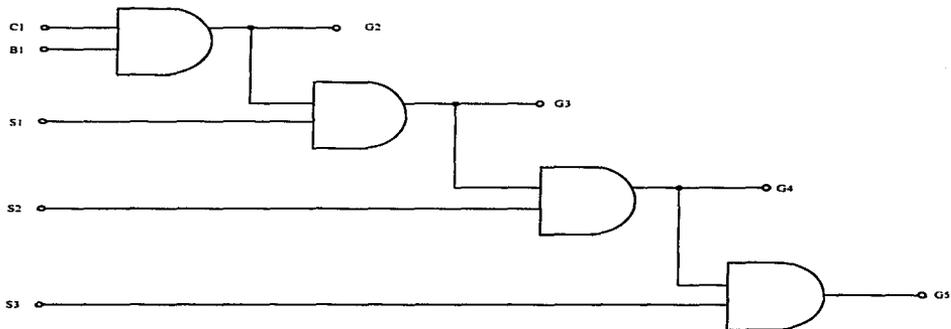
$$G2 = C1 \cdot B1$$

$$G3 = G2 \cdot S1$$

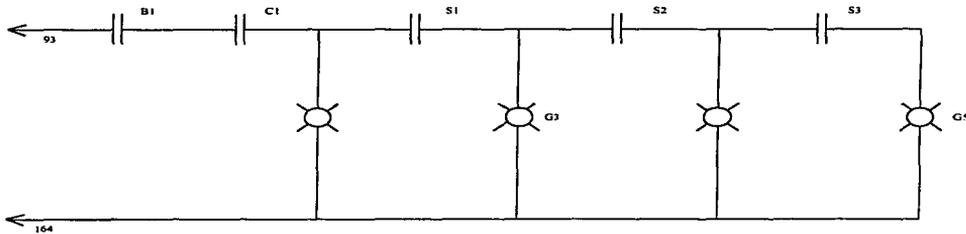
$$G4 = G3 \cdot S2$$

$$G5 = G4 \cdot S3$$

De estas ecuaciones se obtiene el siguiente circuito lógico.



Finalmente se tiene el circuito eléctrico.



### 3.3.11. Diseño del circuito de numero de motores funcionando.

Las señales B1, B2, B3 y B4 son los comandos para el número de motores funcionando al igual que las señales C1, C2, C3 y C4 pero éstas se darán cuando el comando CMR esté accionado.

Sin embargo se usa el mismo criterio, ya que son circuitos similares, solamente analizaremos uno de los circuitos.

El circuito deberá cumplir la siguiente tabla de verdad.

Entradas									Salidas			
R	RT1	S4	S3	S2	S1	RT2	RT1	FUNC	B1	B2	B3	B4
1	1	0	0	0	1	X	X	1	1	0	0	0
1	1	0	0	1	0	X	X	1	1	1	0	0
1	1	0	1	0	0	X	X	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0	X	X	1	1	1	1	1
X	0	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0

Las ecuaciones resultantes son las siguientes:

$$RT1 = MR \cdot (FUNC + RT2)$$

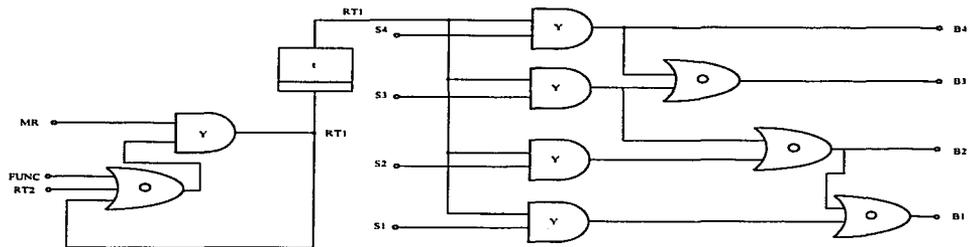
$$B4 = RT1 \cdot S4$$

$$B3 = RT1 \cdot S3 + B4$$

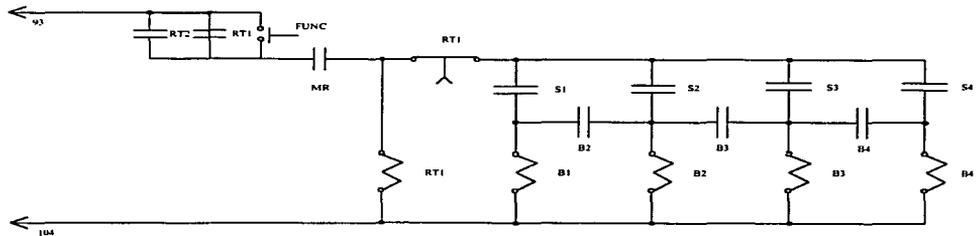
$$B2 = RT1 \cdot S2 + B3$$

$$B1 = RT1 \cdot S1 + B2$$

De las ecuaciones se obtiene el siguiente circuito lógico.



Finalmente se obtiene el circuito eléctrico.



### 3.3.12. Diseño del circuito de señalización del número de motores funcionando.

Las señales L4, L3, L2 y L1, son las de señalización del número de motores funcionando. El circuito deberá cumplir con la siguiente tabla de verdad.

Entradas		Salidas	
B <sub>n</sub>	C <sub>n</sub>	L <sub>n</sub>	
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	0	*

(\*) NOTA: Esta condición está dada por el circuito de cambio de giro en los motores.

Después de ciertos análisis, la ecuación resultante es la siguiente:

$$L_n = B_n + C_n$$

De la ecuación se obtuvo el siguiente circuito lógico.

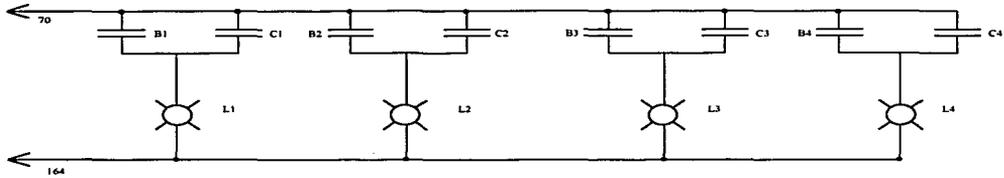


Donde:

n = De 1 hasta 4.

L = Motor funcionando.

Finalmente se tiene el circuito eléctrico.



### 3.3.13. Diseño de los circuitos detectores de sobre corriente, conexión errónea y alarma.

Continuando con el mismo procedimiento se describen las señales de la siguiente manera:

- RP1 = Comando del detector de sobre corriente.
- RP2 = Comando del detector de conexión errónea.
- AL = Comando de alarma.
- BREST = Botón de restablecimiento.

El circuito deberá cumplir con las siguientes tablas de verdad.

Entradas		Salidas	Entradas		Salidas	Entradas		Salidas
RP1	RP2	AL	RM1	BREST	RP1	RM2	BREST	RP2
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0	1	1	0

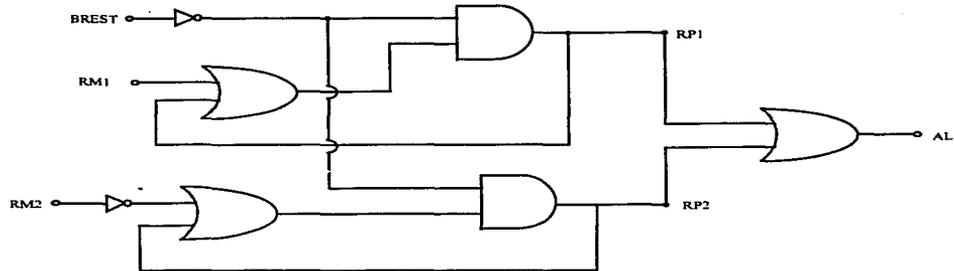
Las ecuaciones resultantes son las siguientes:

$$RP1 = \overline{BREST} \cdot (RM1 + RP1)$$

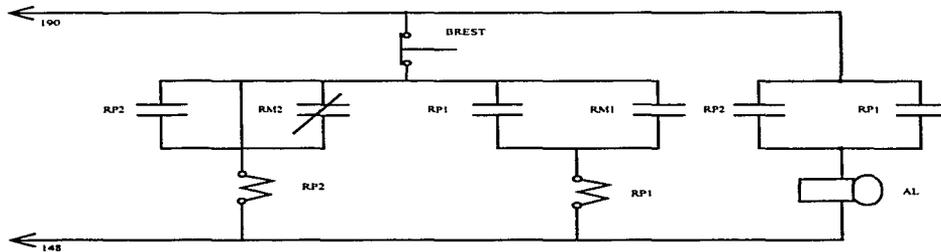
$$RP2 = \overline{BREST} \cdot (RM2 + RP2)$$

$$AL = (RP1 + RP2)$$

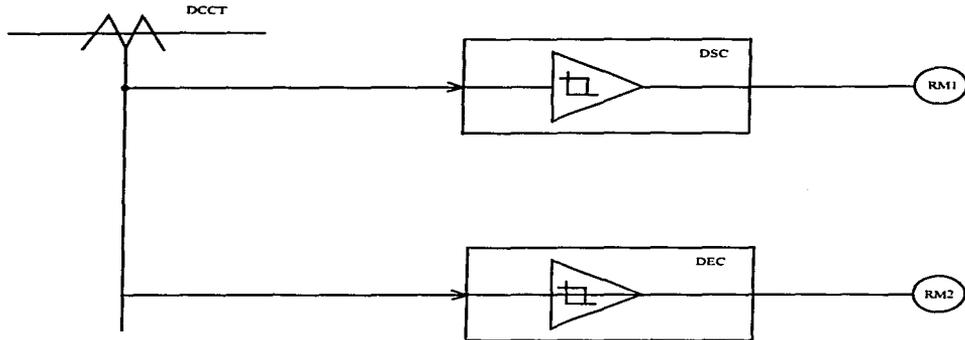
De las ecuaciones anteriores se obtiene el siguiente circuito lógico:



Finalmente del circuito lógico anterior se obtiene el circuito eléctrico.



El detector de sobrecorriente actuará si al estar probando motores repentinamente hubiera una sobrecorriente, el circuito detector actuará y abrirá el circuito de control.



DSC = Detector de sobrecorriente.

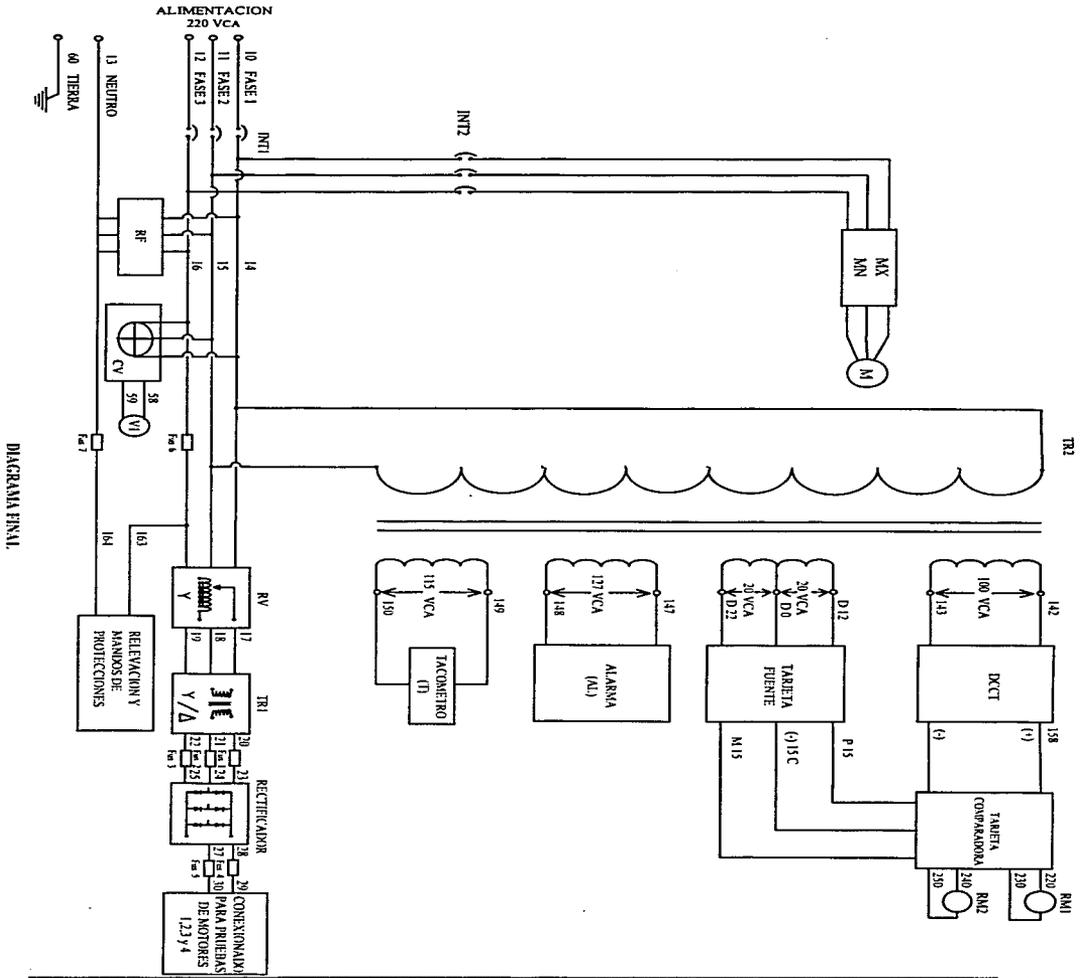
DEC = Detector de conexión errónea.

RM1,2 = Relevador de apertura.

El transformador de corriente de DC (DCCT), entregará 5 volts cuando sense 120 Amperes la salida del operacional cambiará de estado y energizará un relevador que abrirá un circuito de control y una lámpara roja de "Sobrecarga", se encenderá sonando una campana la cual dejará de hacerlo cuando se presione el botón de restablecer, al mismo tiempo se apagará la lámpara de "Sobrecarga".

El detector de conexión errónea actuará si al probar uno o más motores se le conectaran los cables que no le corresponden. Por tanto, no funcionará el motor quedando el circuito abierto y en consecuencia, al incrementar el voltaje de salida se accionará la protección. La cual continuamente estará sensando la corriente y en el caso de que no sense la corriente mandará abrir el circuito de control y una lámpara roja de "Error de conexión" se encenderá y también una lámpara sonora. la cual dejará de hacerlo cuando se presione un botón de "Restablecer", al mismo tiempo se apagará la lámpara.

Terminando de diseñar los circuitos anteriores procedemos a integrarlos formando el circuito final.



### 3.4. Componentes.

#### 3.4.1 Glosario de términos empleados para el diseño.

Símbolo	Circuito Eléctrico.
DCCT	Transformador de corriente directa.
RM 1	Relevador de apertura por sobre corriente
RM 2	Relevador de apertura por conexión errónea.
RP 1	Relevador de protección por sobre corriente.
RP 2	Relevador de protección por conexión errónea.
AL	Alarma.
T	Tacómetro.
RF 1	Relevador de fase 1.
RF 2	Relevador de fase 2.
RF 3	Relevador de fase 3.
V 1 - V 6	Voltímetro de 1 a 6.
RV 1 - RV 3	Transformador variable 1 a 3.
TR 1	Transformador 1.
TR 2	Transformador 2.
A	Amperímetro.
SH	Shunt.
OPA 1	Amplificador operacional para detectar de sobrecorriente.
OPA 2	Amplificador operacional para detectar de conexión errónea.
F 1 - F 7	Fusible 1 a 7.
B. REG 1	Botón para regulación automática (Incrementar).
B. REG 2	Botón para regulación automática (Decrementar).
MX	Relevador para incrementar voltaje de salida.
MN	Relevador para decrementar voltaje de salida.
B. GIRO 1	Botón para seleccionar giro M. de reloj.
D 1 - D 6	Diodo para puente rectificador.
MR	Relevador de giro en el sentido de las manecillas del reloj.

CMR	Relevador de giro en contra del sentido de las manecillas del reloj.
W 1	Lámpara de fase 1.
W 2	Lámpara de fase 2.
W 3	Lámpara de fase 3.
W 4	Lámpara de MR.
W 5	Lámpara de CMR.
W 6	Lámpara de SM 1.
W 7	Lámpara de SM 2.
W 8	Lámpara de SM 3.
W 9	Lámpara de SM 4.
SM 1	Relevador de 1 motor seleccionado.
SM 2	Relevador de 2 motores seleccionados.
SM 3	Relevador de 3 motores seleccionados.
SM 4	Relevador de 4 motores seleccionados.
S 1	Relevador auxiliar de 1 motor seleccionado.
S 2	Relevador auxiliar de 2 motores seleccionados.
S 3	Relevador auxiliar de 3 motores seleccionados.
S 4	Relevador auxiliar de 4 motores seleccionados.
RT 1	Relevador temporizado a 120 segundos.
RT 2	Relevador temporizado a 120 segundos.
BFUNC.	Botón de funcionamiento.
G 1	Lámpara de Espere.
G 2	Lámpara de 1 motor en preparación.
G 3	Lámpara de 2 motores en preparación.
G 4	Lámpara de 3 motores en preparación.
G 5	Lámpara de 4 motores en preparación.

En sentido de las manecillas del reloj (MR).

B 1	Relevador de funcionamiento de 1 motor.
B 2	Relevador de funcionamiento de 2 motores.
B 3	Relevador de funcionamiento de 3 motores.
B 4	Relevador de funcionamiento de 4 motores.

En contra del sentido de las manecillas del reloj (CMR).

C 1	Relevador de funcionamiento de 1 motor.
C 2	Relevador de funcionamiento de 2 motores.
C 3	Relevador de funcionamiento de 3 motores.
C 4	Relevador de funcionamiento de 4 motores.
L 1	Lámpara de funcionamiento de 1 motor.
L 2	Lámpara de funcionamiento de 2 motores.
L 3	Lámpara de funcionamiento de 3 motores.
L 4	Lámpara de funcionamiento de 4 motores.
1 - 4 A 1	Terminal de conexión a motor en armadura 1 de 1 - 4 motores.
1 - 4 A 2	Terminal de conexión a motor en armadura 2 de 1 - 4 motores.
1 - 4 F 1	Terminal de conexión a motor en campo 1 de 1 - 4 motores.
1 - 4 F 2	Terminal de conexión a motor en campo 2 de 1 - 4 motores.
1 - 4 F 3	Terminal de conexión a motor en campo 3 de 1 - 4 motores.
1 - 4 F 4	Terminal de conexión a motor en campo 4 de 1 - 4 motores.
B. EMERG. 1	Botón de emergencia 1.
B. PARO	Botón de paro.
B. EMERG. 2	Botón de emergencia 2.
B. REST.	Botón de restablecimiento.
SL 1	Switch límite del mínimo.
SL 2	Switch límite del máximo.
SL 3	Switch límite.
B. GIRO 2	Botón para seleccionar giro CMR.

### 3.4.2.- Componentes eléctricos.

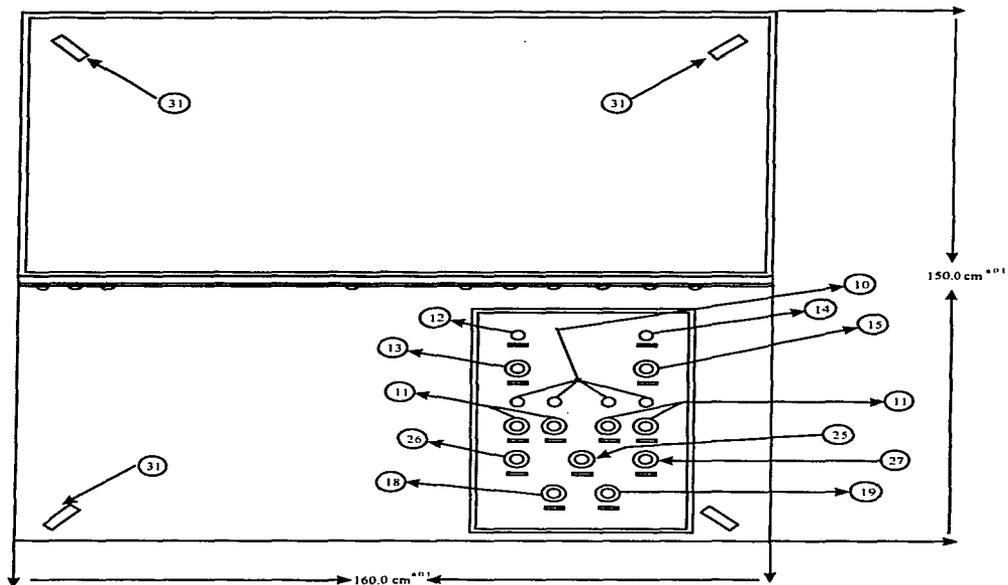
Los componentes necesarios para equipar el banco se describen a continuación:

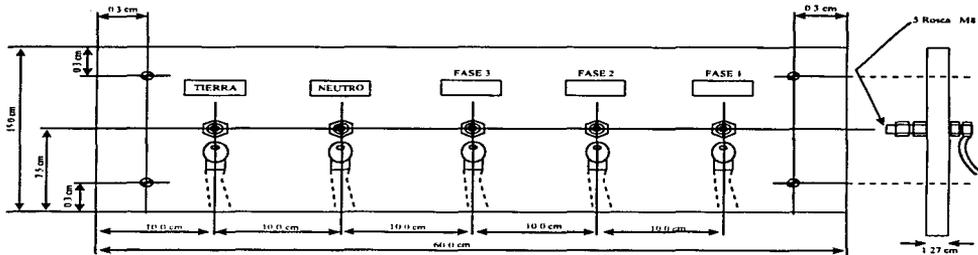
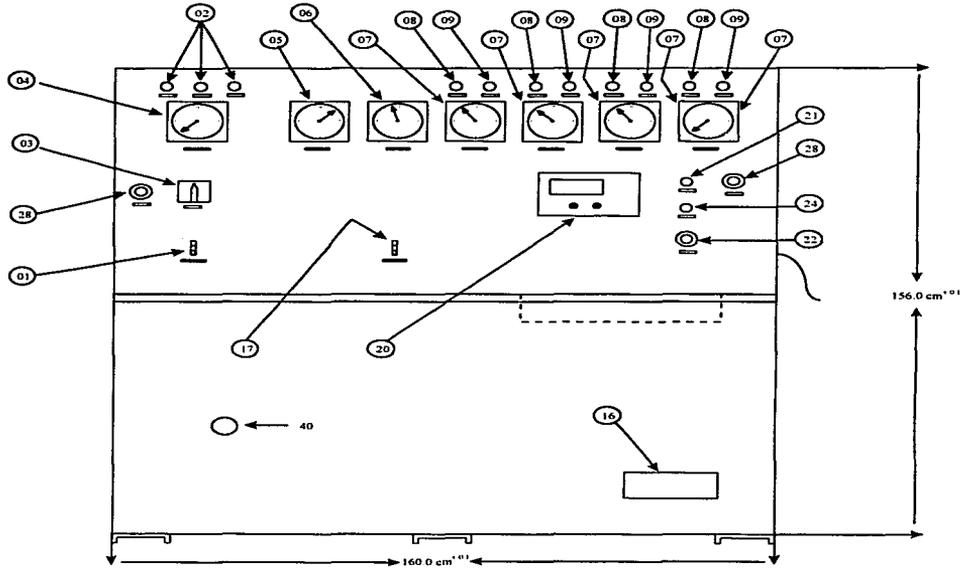
Código Mecánico	Código Eléctrico	Símbolo	Descripción
01	01	INT.1	Interruptor termomagnético de 240 volts. corriente alterna de tres polos.
	02	RF1,2,3,4	Contacto auxiliar con 4 contactores 2NA + 2NC con bobina para 115volts. 60 hertz.
02	07	W1,2,3,4,5, 6,7,8,9	Lampara color blanco para indicar la alimentación de cada fase para servicio pesado.
03	09	Cv	Conmutador para voltímetro para medición entre fases y desconectado, cuatro posiciones con capacidad de 10 amperes.
04	10	V1	Voltímetro de corriente alterna para 60 hertz con escala de 0 a 300volts, escala circular serie Z, para medición de voltaje de alimentación.
05	14	V2	Voltímetro de corriente directa escala de 0 a 500volts, escala circular serie Z, para medición de voltaje de salida de flexión de la aguja 250 grados.
06	12	A	Amperímetro de corriente directa escala de 0 a 150 amperes, escala circular serie Z, para medición de corriente de salida de flexión de la aguja 250 grados.
07	17	V2,3,4,5,6	Voltímetro de corriente directa con escala de 0 a 300volts escala circular serie Z, para medición de voltaje en cada motor de flexión de la aguja 250 grados.
08	36	G1,2,3,4,5,6	Lampara indicadora para servicio pesado a prueba de aceite con lente de plástico en color verde. Para indicar la preparación en cada motor que se vaya a probar.
09	35	L1,2,3,4,5,6	Lampara indicadora para servicio pesado a prueba de aceite con lente de plástico en color rojo. Para indicar que motores están en condiciones de probar (funcionamiento).
10	07	W1,2,3,4,5, 6,7,8,9	Lampara indicadora de color blanco para servicio pesado a prueba de aceite. Para indicar el numero de motores a probar.
11	26	B.MOT.1, 2,3,4	Botón de control para servicio pesado a prueba de aceite color amarillo de contacto momentáneo tipo corto para seleccionar el numero de motores a prueba.

12	07	W1.2,3,4,5. 6,7,8,9	Lampara indicadora de color blanco para servicio pesado a prueba de aceite. Para indicar el sentido de giro "MR" (manecillas del reloj).
13	27	B.Giro1.2	Botón de control para servicio pesado a prueba de aceite color amarillo de contacto momentáneo tipo corto para seleccionar el sentido de giro "MR" (manecillas del reloj).
14	07	W1.2,3,4,5. 6,7,8,9	Lampara indicadora de color blanco para servicio pesado a prueba de aceite. Para indicar el sentido de giro "CMR" (contra manecillas del reloj).
15	27	B.Giro1.2	Botón de control para servicio pesado a prueba de aceite color amarillo de contacto momentáneo tipo corto para seleccionar el sentido de giro "CMR" (contra manecillas del reloj).
16		Placa nombre técnico	Placa para indicar el nombre del fabricante y características principales del banco.
17	18	INT.2	Interruptor termomagnetico 240volts de corriente alterna con tres polos de 15amperes marco NE. Sin caja con palanca fija para uso de la regulación automática del voltaje de salida.
18	24	B.REG1	Botón de control para servicio pesado a prueba de aceite color rojo de contacto momentáneo tipo corto para incrementar el voltaje de salida.
19	23	B.REG2	Botón de control para servicio pesado a prueba de aceite color verde de contacto momentáneo tipo corto para disminuir el voltaje de salida.
20	41	T	Tacometro universal y accesorios auxiliares con sonda fotoeléctrica y tripie para indicar las revoluciones por minuto que detecta la sonda fotoeléctrica.
21	35	L1.2,3,4,5,6	Lampara indicadora para servicio pesado a prueba de aceite con lente de plástico en color rojo. Para indicar el paro por error de conexión
22	21	B.REST	Botón de control para servicio a prueba de aceite color negro de contacto momentáneo tipo corto para restablecer en casos de sobrecarga o error de conexión.
23	41	T	Sonda fotoeléctrica con tripie para detectar las revoluciones por minuto.

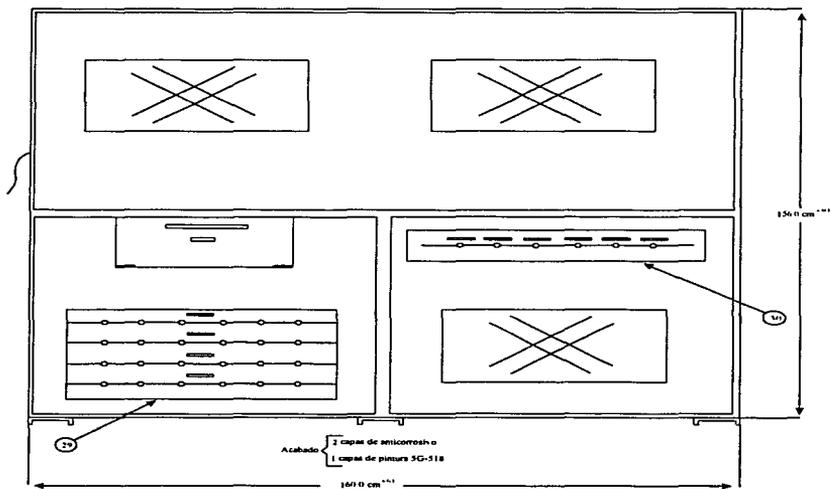
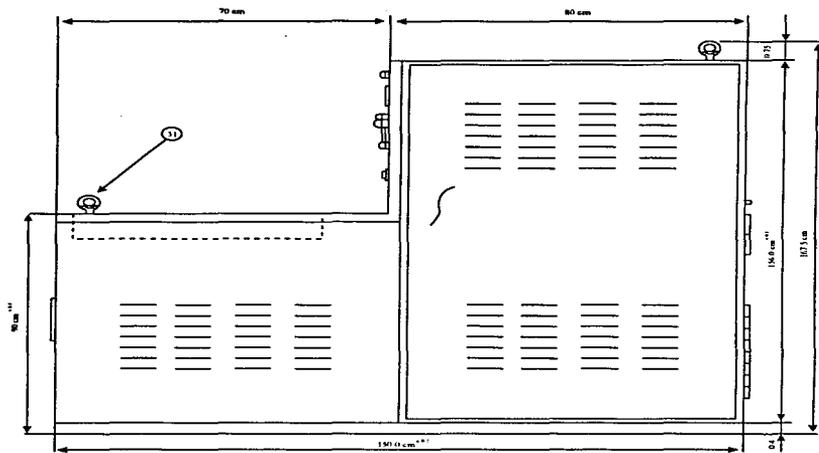
24	35	L1.2,3,4,5,6	Lampara indicadora para servicio pesado a prueba de aceite con lente de plástico en color rojo. Para indicar el paro por error de conexión
25	36	G1.2,3,4,5,6	Lampara indicadora para servicio pesado a prueba de aceite con lente de plástico en color verde. Para indicar el funcionamiento con tiempo de espera.
26	25	B.FUNC	Botón de control para servicio pesado a prueba de aceite color verde para funcionamiento del banco. De contacto momentáneo tipo corto.
27	20	B.PARO	Botón de control para servicio a prueba de aceite color rojo para paro del control eléctrico del banco de contacto momentáneo tipo corto.
28	22	B.EMER G1.2	Botón de control para servicio a prueba de aceite color rojo de contacto momentáneo tipo hongo para el paro de emergencia del control eléctrico del banco.
29			Placa aislante para salida de cables hacia los motores.
30			Placa aislante para entrada de los cables de acometida.
31			Perno de argolla con rosca M20 x 25 con diámetro interior de la argolla de 40 milímetros
40			Tapa del sistema de regulación manual.

### 3.5. Estructura y Mediciones Mecánicas del Banco.





Detalle de tablilla de terminales para conexión de cables de acometida



## BIBLIOGRAFIA

- ✓ Fundamentos de física II.  
Electricidad y magnetismo.  
Francisco W. Sears.  
Versión española.  
Albino Yusta al Marza
  
  - ✓ Electrónica para electricistas.  
II.- Rectificadores ondulatorios.  
Enrique Oñon Prados.  
Francisco Ruiz Vasallo.
  
  - ✓ Tesis. La electrónica de potencia aplicada  
a la tracción eléctrica.
  
  - ✓ Principios de las maquinas de corriente continua.  
Alexander S. Langsdort.  
Traducido por Rafael Gomez de Ureta y  
revisado por Doroteo San guino Muñoz.
  
  - ✓ IEEE Standart Test Code for  
Direct Current Machines.
-