

46  
2ij



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA  
Y EN COMPUTACION.

READAPTACION DEL TABLERO DE CONTROL  
PARA EL ELECTRODINAMOMETRO  
DE 75 C.P.

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: ELECTRICA - ELECTRONICA

P R E S E N T A N

JOAQUIN CHAVEZ CUCUE

HUGO BENJAMIN LUNA REYES

EMILIO SANCHEZ PEREZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. HUGO ALFREDO GRAJALES ROMAN

MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

En memoria de mi madre,  
que siempre veló mis trabajos escolares.

A mi padre que sembró en mi  
el interés por el estudio.

A mi esposa , Xochitl , que animó  
las esperanzas de concluir los estudios ,  
gracias por su paciencia .

A mis hijos , Quetzalli, Itzel y Omar  
que sin saberlo fueron pilares que  
sostuvieron mi carrera.

A mis hermanos ,  
siempre atentos y solidarios.

Horacio, Carlos, Vicente .  
gracias por la ayuda prestada .  
por el tiempo obsequiado  
para realizar nuestra tesis .

JOAQUÍN CHAVEZ CUCUE.

Dedico esta tesis con mucho Amor a:

Mis padres . Hermanos . en especial a Nico,  
Cuñados . Sobrinos , Tíos y Tías .

Quienes tuvieron comprensión, paciencia y  
cariño. para que saliera adelante como persona,  
así como para concluir mis estudios.

A mis Amigos .  
que me ayudaron a concluir esta tesis con esfuerzo y apoyo.

HUGO BENJAMÍN LUNA REYES

A Félix mi padre,  
quien ha marcado el gran ejemplo a seguir.

A mi madre de quien  
admiro su brillante inteligencia  
e inquebrantable tenacidad.

A César por su basta  
gratitud y afecto.

A mis amigos y compañeros  
que siempre me han apoyado  
incondicionalmente.

A Horacio y Carlos por sus  
aportaciones a este trabajo.

Al Ing. Hugo Grajales por su  
valiosa guía en la conclusión de  
de esta tesis.

EMILIO SÁNCHEZ PÉREZ

READAPTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL  
PARA EL ELECTRODINAMÓMETRO DE 75 C.P.

## INDICE

OBJETIVO	4
----------	---

### INTRODUCCION

El Electrodinamómetro	5
Aplicación	5
Tipos de electrodinamómetros	9
Electrodinamómetro de corriente directa	11
Tablero de control	14

### CAPITULO 1

1.- ARRANCADORES DE CORRIENTE DIRECTA	17
1.1. Control de arranque	17
1.2. Clasificación arrancadores	19
1.3. Arrancadores manuales	20
1.4. Arrancador de dos puntos	21
1.5. Arrancador de tres puntos	22
1.6. Arrancador de cuatro puntos	24
1.7. Combinadores	27
1.8. Arrancadores magnéticos Semiautomáticos y automáticos	28
1.9. Arranque a límite de tiempo	29
1.10 Arranque a límite de intensidad de corriente	32
1.11 Control de velocidad	35
1.12. Método de control de campo	37
1.13. Método de control de armadura	38
1.14 Control de voltaje en la armadura	40
1.15. Inversión de rotación	41
1.16. Frenado	45
1.17. Protección de los motores de C.D.	49

## CAPITULO 2

2.- ADAPTACION Y PRUEBA DE OPERACION AL TABLERO DE CONTROL DEL ELECTRODINAMOMETRO	52
2.1. Obtención del diagrama lineal	54
2.2. Descripción del funcionamiento del electrodinamómetro como motor.	54
2.3. Descripción del funcionamiento y operación de control del electrodinamómetro actuando como generador.	59
2.4. Instructivo de operación del electrodinamómetro como motor.	63
2.5. Instructivo de operación del electrodinamómetro como generador.	65
2.6. Banco de resistencias.	68
2.7. Reóstatos de campo	71
2.8. Resistencias de carga.	71
2.9. Bobina de protección contra sobrecorriente.	71
2.10. Selectores de operación.	72
2.11. Instrumentos de medición.	74

## CAPITULO 3

3.- PRUEBAS A UN MOTOR DE INDUCCION DE 40 C.P.	76
3.1. <u>Inspección visual</u>	76
Introducción.	77
Desarrollo.	79
Reporte.	81
3.2. <u>Prueba en vacío.</u>	83
Introducción.	84
Desarrollo.	85
Cálculos.	86
Reporte.	87

3.3. <u>Resistencia de aislamiento.</u>	88
Introducción.	89
Desarrollo.	90
Reporte.	91
3.4. <u>Determinación del par y corriente de arranque</u>	92
Introducción.	93
Desarrollo.	94
Reporte.	95
3.5. <u>Determinación de par máximo.</u>	96
Introducción.	97
Desarrollo.	98
Reporte.	99
3.6. <u>Potencia nominal y corriente a plena carga.</u>	101
Introducción.	102
Desarrollo.	103
Reporte.	104

## CAPITULO 4

4.- COMPARACION DE RESULTADOS CON LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS.	107
4.1. Inspección visual.	108
4.2. Prueba en vacío.	112
4.3. Resistencia de aislamiento.	113
4.4. Determinación del par y corriente de arranque.	116
4.5. Determinación del par máximo.	118
4.6. Potencia nominal y corriente a plena carga.	121
CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFIA	125

## OBJETIVO

- Poner en funcionamiento el Electrodinamómetro de 75 C.P. con que cuenta el laboratorio de Equipo Eléctrico de la Facultad de Ingeniería.
- Elaboración de un manual de operación del Electrodinamómetro que permita su uso para prácticas de laboratorio.
- Pruebas a un motor de inducción trifásico de 40 C.P. conforme a las Normas Oficiales Mexicanas.
  - El ensayo de las máquinas presenta una doble finalidad:
    - I. Comprobar la capacidad de la máquina para soportar los esfuerzos a que quedará sometida una vez en servicio.
    - II. Controlar la correspondencia de las características de la máquina con respecto a los datos del proyecto y en particular con las estipulaciones del contrato.
  - Los ensayos pueden subdividirse en:
    - a) Pruebas de estudio
    - b) Pruebas de tipo y aceptación.
  - Las primeras tienen por objeto la verificación de todas las propiedades de las máquinas de nuevo proyecto y la deducción de muy útiles indicaciones para sucesivos estudios. Las segundas, más generalizadas, se limitan a verificar lo relacionado con las estipulaciones del contrato y con las normas.

## INTRODUCCION

### EL ELECTRODINAMOMETRO.

Se utiliza para conocer principalmente la cantidad de energía que es capaz de ceder cualquier elemento rotatorio que tenga movimiento propio.

Con el podemos conocer la magnitud de todas las pérdidas que existen dentro de una máquina en general , ya sea que se haya fabricado para operar por si misma o para que sea arrastrada por otra máquina con movimiento propio.

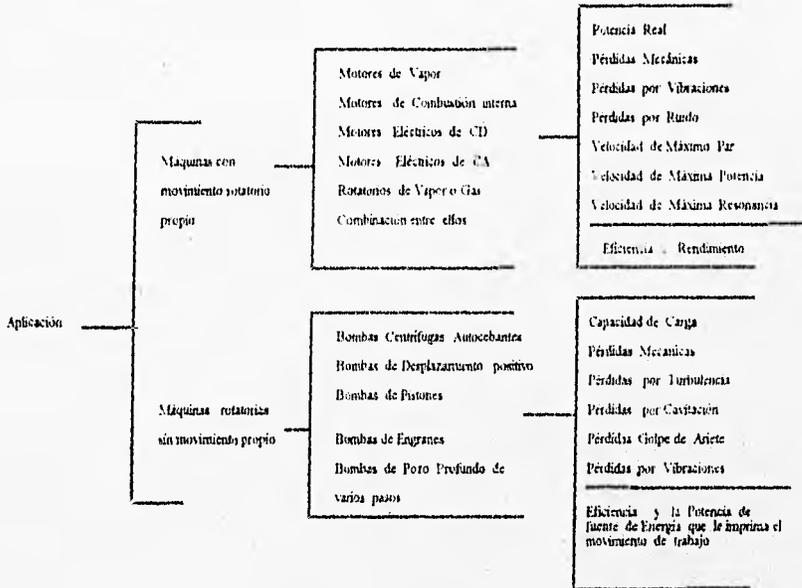
### APLICACION.

La aplicación del electrodinámometro puede ser para los siguientes tipos de máquina:

1.- Máquinas con movimiento rotatorio propio

2.-Máquinas Rotatorias sin movimiento propio

A continuación damos un cuadro sinóptico de la aplicación del electrodinámometro a estos dos tipos de máquinas así como la clasificación de ellas y los parámetros que se obtienen de ellas a diferentes velocidades.

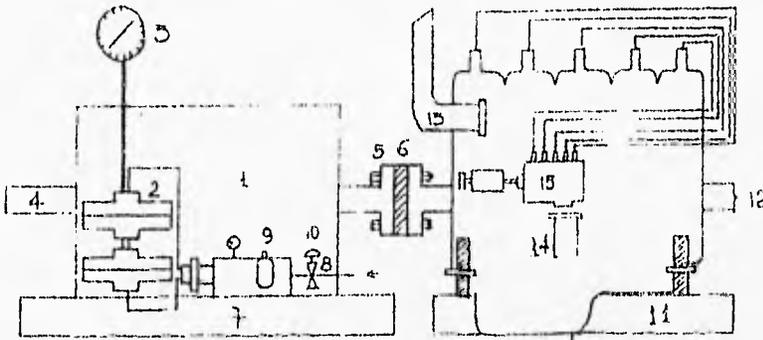


### Ejemplo: Máquinas con Movimiento Rotatorio Propio

En los motores de gasolina , se pueden conocer todas las características o parámetros mencionados anteriormente.

Para el fabricante de este tipo de motores es de importancia conocer el electrodinámometro ya que con el lograra conocer que tipo de combustible deberá consumir su máquina, así como determinar hasta que número OCTANO deberá tener la gasolina que deberán consumir todas las máquinas que fabrique.

## PRUEBA DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA



- 1.- Dinamómetro Electro Magnético
- 2.- Manómetro de medición
- 3.- Medidor Neumático del Par (diafragma)
- 4.- Flecha del Dinamómetro
- 5.- Cople del Dinamómetro
- 6.- Junta Elástica
- 7.- Bancada Dinamómetro
- 8.- Aire de suministro para medir El Par
- 9.- Regulador del Aire de suministro
- 10.- Válvula del Aire de Suministro
- 11.- Bancada variable Motor de Prueba
- 12.- Flecha del Motor de Prueba
- 13.- Tubo de gases de escape
- 14.- Tubo de Enfriamiento del Motor
- 15.- Inyector Diesel o Carburador

Otro ejemplo es para máquinas rotatorias de vapor y de gas (turbinas), el electrodinamómetro resulta muy útil, ya que debido a que estas operan a altas velocidades el electrodinamómetro por su diseño es la máquina ideal para realizar pruebas de las máquinas rotatorias.

En este tipo de máquinas el factor mas importante y posiblemente el único que nos puede dar a conocer el electrodinamómetro es la eficiencia; ya que es de fundamental importancia que esta sea elevada debido a que las turbinas de vapor y gas tienen gastos de operación elevados, pues de lo contrario resultarían inoperantes y obsoletas.

Para las máquinas rotatorias sin movimiento propio, el electrodinamómetro deberá trabajar como motor de CD, y así realizar pruebas de equipo rotatorio de energía propia y sin ella.

Se deberán tener instalaciones sumamente complejas y versátiles para que la máquina a prueba trabaje en condiciones normales , las cuales son las siguientes:

## INSTALACIONES A MAQUINAS

### ENERGIA PROPIA

- 1.- Circulación de agua
- 2.- Circulación de aire
- 3.- Expulsión de gases de Combustión
- 4.- Aire caliente
- 5.- Suministro de Combustible
- 6.- Suministro de Diesel
- 7.- Suministro de gasolina
- 8.- Suministro de vapor

### SIN ENERGIA PROPIA

- 1.- Manómetros
- 2.- Válvulas de Alivio
- 3.- Válvulas de Escape
- 4.- Termómetros de Alta precisión
- 5.- Otros

### DESCRIPCION DE LA MAQUINA.

El electrodinamómetro es una máquina diseñada para operar como motor o como generador, en el primer caso se entrega energía mecánica y en el segundo se entrega energía eléctrica. El electrodinamómetro y el tablero de control tienen como objetivo hacer pruebas a motores, engranes, bombas o cualquier máquina giratoria que consuma o entregue energía y que trabaje con unidades de "par" y cuya potencia puede ser absorbida en su totalidad por el electrodinamómetro . Cuando se trate de medir potencia consumida, así como engranes, generadores, ventiladores, bombas, etc., se trabajará el electrodinamómetro como motor. Cuando se trate de medir potencias de alguna máquina con energía propia se trabaja el electrodinamómetro como generador.

El electrodinamómetro está diseñado con el estátor de "cuna", este nombre se le asigna dado que el estátor no es fijo, sino que se encuentra basculando permitiendo un giro del mismo, en ambos sentidos, este

movimiento puede ser detectado con algún instrumento de medición de empuje, en este caso una báscula. Dado que el apoyo del estator se encuentra en las chumaceras del eje de la máquina, éste es arrastrado por el campo magnético del rotor cediendo el empuje a la báscula para medir la fuerza del arrastre magnético debido a la reacción de la armadura.

El electrodinamómetro puede ser operado a alta o baja velocidad, de acuerdo a una apropiada selección de la fuente de energía y ajustándose en forma correcta el réostato de campo.

Dado que el electrodinamómetro tiene marcado el sentido de giro, si una máquina de prueba no se ajusta a este sentido, lo conducente es poner una bancada de prueba en el otro extremo del mismo para acoplar la máquina de prueba, esto es común en motores de combustión interna, turbinas de vapor, etc.

El electrodinamómetro cuenta con un freno de protección para tener fija la coraza cuando la máquina no se trabaja o cuando se haga un movimiento ajeno a la prueba. Este freno sirve de protección a los instrumentos de medición. Se recomienda en especial utilizar este seguro de carcasa, cuando a la máquina se le cambia de rotación o cuando hay peligro de que el motor primario pueda tener cambios bruscos de velocidad y que haya la posibilidad de un cambio repentino de carga del electrodinamómetro.

## TIPOS DE ELECTRODINAMOMETROS.

Los electrodinamómetros se clasifican desde el punto de vista de construcción mecánica en un solo tipo y desde el punto de vista de su funcionamiento en dos.

La construcción típica del electrodinamómetros es su carcasa basculante, que permite, debido al empuje magnético de reacción de la armadura, medir el "par" del motor primario mediante una báscula acoplada a

la máquina. Anteriormente a este tipo de máquinas de prueba electromagnéticas, se utilizaba el tradicional "Freno de Prony", con el que a través de su brazo de palanca apoyado simplemente en una báscula común se conocía la fuerza del motor primario. Con este sistema las pérdidas mecánicas eran elevadas por lo tanto, la prueba era de muy poca precisión.

Para una prueba aceptable es necesario reducir al mínimo las pérdidas debidas a los elementos de transmisión mecánica y de instrumentos por lo que estos deben ser de mejor calidad y precisión.

La clasificación para los electrodinamómetros desde el punto de vista de su funcionamiento está dada en dos tipos: electrodinamómetro de corriente directa y electrodinamómetro de corriente alterna.

a) Los electrodinamómetros de corriente directa se caracterizan por ser máquinas que están diseñadas para trabajar como motores o generadores de corriente directa.

Este tipo de electrodinamómetros está diseñado de una forma compleja, debido al trabajo pesado que debe realizar. Para que esta máquina trabaje como motor se necesita una fuente de energía eléctrica de corriente directa, para nuestro caso debe proporcionar una tensión de hasta 230(V). También es necesario contar con bancos de reóstatos, relevadores, contactores de alta corriente, conductores de calibres de hasta 1/0 AWG. El mantenimiento de estas máquinas debe ser continuo verificando contactos de delgas, escobillas, conmutadores, tensión de opresores posición del punto neutro, vibraciones, etc.

b) Los electrodinamómetros de corriente alterna tienen la característica de estar diseñados para operar como motor síncrono o generador de corriente alterna. Esta máquina, a diferencia de la de CD, es más sencilla de menor costo y de fácil operación. La tensión de alimentación es asequible de una forma más fácil que la de CD. Para excitar la máquinas síncronas sólo se necesita una pequeña fuente de corriente directa y un reóstato de pequeñas

dimensiones . Para la operación de arranque de la máquina síncrona se utiliza arrancadores del tipo electromagnético o manual de autotransformadores, facilitándose la instalación y manejo del mismo.

## ELECTRODINAMÓMETRO DE CORRIENTE DIRECTA.

### a) Coraza

Al electrodinamómetro de corriente directa, tiene la carcaza fabricada en acero rolado y soldado para lograr una trayectoria uniforme del flujo magnético. La construcción completa del estator incluye piezas polares, brazos de "par" , anillos colectores, armadura y cojinetes principales .

### b) Base de la máquina

La base esta fabricada en acero, en secciones de ángulo estructural y esta provista de topes del mismo material. Esta base permite mantener el electrodinamómetro estático sin que se dañe por vibraciones y conservando el paralelismo entre sus piezas, flecha, estátor, etc.

### c) Pedestales

Los pedestales es donde descansa la coraza y el rotor , están fabricados en fierro fundido de una sola pieza , tienen sección piramidal hueca . Los pedestales están equipados con dos baleros que se encuentran alojados uno arriba del otro, separados por un muñón .

### d) Armadura

La armadura esta construida de láminas de acero al silicio y aisladas entre si para reducir al mínimo las pérdidas por corrientes parásitas . La velocidad del la armadura no debe exceder la velocidad nominal que marca el fabricante, ya que debido a esfuerzos internos de la armadura provocados por la fuerza centrifuga ,se puede lesionar el devanado definitivamente dañando también el devanado del estátor y provocando una fractura en la carcasa. Los efectos de una sobrevelocidad afectan de inmediato al conmutador y al núcleo debido a la presión a que son sometidos, la alta velocidad hace que los anillos de la armadura se acorten , aprisionando al conmutador a presiones sumamente elevadas.

Las bobinas están formadas por devanados contruidos de alambre magneto de alta calidad , protegido con materiales aislantes de elevado coeficiente de aislamiento. El devanado esta contenido en materiales aislantes para evitar el contacto con el acero al silicio que forma parte de la armadura.

Las chumaceras están provistas de cajas para almacenar el lubricante necesario para proteger los cojinetes y baleros de rodamientos. Los niveles de lubricante en las cajas debe estar en el límite superior para garantizar suficiente aceite en las chumaceras.

#### e) Tacómetro Eléctrico

El tacómetro eléctrico es un pequeño generador trifásico de corriente alterna, de un voltaje bajo. El pequeño generador al ser operado produce un voltaje directamente proporcional a la velocidad que esta trabajando. En el electrodinamómetro el tacómetro generador se encuentra en una de las chumaceras, la señal eléctrica del tacómetro es enviada al panel de control que cuenta con un reloj eléctrico, tacómetro instantáneo y un cronómetro integrador. El integrador es un mecanismo de relojería que mide las RPM (revoluciones por minuto), junto a este se encuentra ligado un reloj eléctrico de CA operado por un motor síncrono de 120 (V), este indica minuto a minuto las RPM que el integrador lleva sumadas. La operación de este equipo se hace en forma manual o automática, contando con un dispositivo para invertir la dirección de giro de los motores con que opera este mecanismo, esto debido a

que el electrodinamómetro llega a girar en otro sentido invirtiendo las secuencias de fases, con esto se logra una medición correcta de las RPM.

#### f) Medición del par

Esta medición se logra debido a la construcción del electrodinamómetro, por tener la carcasa de cuna. Debido a que el brazo de palanca del electrodinamómetro es fijo, solamente nos resta medir el empuje que esta ocasionando el giro de la carcasa. Los instrumentos que se utilizan para conocer la medición son: Báscula de Registro Dinámico y Báscula de diafragmas Neumáticos.

El primero es una báscula de contrapeso de alta precisión que se apoya en cualquiera de los costados de la "cuna". La carcasa cuenta con navajas de empuje alojadas a un costado de la misma. La longitud del brazo de palanca se obtiene con precisión desde el centro de la flecha hasta el punto en que termina la navaja de empuje. El brazo de palanca que el electrodinamómetro tiene en la carcasa basculante, transmite directamente el empuje provocado por el giro de la carcasa a la báscula de viga o de lectura instantánea, registrando la lectura independientemente del giro del electrodinamómetro. Si esta báscula no es capaz de registrar el empuje indistintamente del sentido de giro, esta debe operar en un solo sentido.

#### h) Escala Neumática

Este instrumento esta constituido con dos cámaras de aire cerradas por un diafragma cada una . Cada uno de los diafragmas esta apoyado en un vástago de acero, los cuales van apoyados en las "navajas" del brazo de palanca, con el objeto de que cuando la máquina opere el empuje debido al giro de la misma actúe directamente sobre el vástago que le corresponde de acuerdo al sentido de giro.

La salida de aire de control esta limitada por una pequeña válvula de control cuyos puertos de flujo son del tipo "V" (V port), con el objeto de tener una actuación lineal de la misma es decir; que para cada movimiento lineal de la válvula corresponda una presión determinada de control, por ejemplo para un desplazamiento  $L$  tendremos una presión  $P$  y para  $L+1$  tendremos  $P+1$ , para  $L+2$ ,  $P+2$ , etc. De esta forma se puede conocer en función de la presión de control el valor del empuje que existe en el extremo del brazo de palanca. Esto se logra colocando un manómetro a la salida de la presión controlada de las cámaras de presión.

#### i) Brazo de palanca

El brazo de palanca con que cuenta el electrodinamómetro se extiende desde el centro de la flecha del eje del rotor hasta una longitud de 0.46 m. sobre uno de los costados de la carcasa basculante. Los extremos de exteriores del brazo de palanca terminan en puntas en forma de navaja, ya que su sección es de tan sólo de 0.005 m. lo que proporciona un punto exacto de contacto. En este punto se coloca el instrumento que proporciona el valor de la fuerza ejercida sobre la carcasa del electrodinamómetro.

### TABLERO DE CONTROL

El control del electrodinamómetro de corriente directa se efectúa a través del tablero que contiene en su parte superior un banco de resistencias de micromel. Este banco permite aumentar la carga al electrodinamómetro en forma paulatina, es enfriado por un ventilador. En los capítulos siguientes haremos referencia a este banco de resistencias y su secuencia de conexión.

El tablero tiene alojado en la parte superior del panel un voltmetro y un amperímetro. El voltmetro nos permite fijar el potencial de generación del electrodinamómetro a través del reóstato de campo de ajuste amplio. En el amperímetro obtenemos los valores de corriente que a diferente carga se aplica al generador; tiene una escala de 0 a 300 amperes. Este instrumento nos permite tomar mediciones cuando el electrodinamómetro opera como motor.

En la parte inferior de los instrumentos antes descritos se encuentra el tacómetro eléctrico el cual no permite tomar lecturas correctas debido a que esta diseñado para operar con una tensión de 110 V C.A. a una frecuencia de 50 Hertz.

Debajo del tacómetro eléctrico tenemos los selectores tipo tambor, que nos sirven para escoger el modo de operación del electrodinamómetro, ya sea como motor o como generador, para operación de paro-arranque y de selección de campo.

El selector de modo de operación tiene tres posiciones, que son: "LOADING", "#1" y "#2". El selector de paro-arranque tiene tres posiciones, a saber: "START", "STOP" y "OFF", este selector tiene una posición original en "OFF". El selector de control de campo tiene tres posiciones: "FWD", "OFF" y "REV".

A la misma altura de los selectores tenemos dos reóstatos de campo, uno de 300 ohms y el otro de 30 ohms. En la parte inferior se encuentra el reóstato de reloj que consta de una manivela que gira haciendo contacto con placas de cobre distribuidas en forma circular. Finalmente tenemos en el tablero diez interruptores de navaja, los cuales conectan la carga del banco de resistencias al generador.

# CAPITULO I

## CAPITULO I

### I. ARRANCADORES DE CORRIENTE DIRECTA

#### I.1. CONTROL DE ARRANQUE.

La función básica de los arrancadores para los motores de corriente directa es la de reducir la corriente de armadura durante el proceso de arranque y las etapas de aceleración. Los arrancadores de este tipo de motores de c.d. se pueden encontrar para las diferentes necesidades en cuanto a capacidad y estilo. Esencialmente el arrancador consiste en un conjunto de resistencias agrupadas en un banco, para ser colocadas en serie con la armadura del motor de c.d. y un dispositivo que permita ir descartando las resistencias secuencialmente, de acuerdo a los incrementos de velocidad de la máquina.

El arrancador es una protección para el motor de c.d. contra sobrecorrientes excesivas durante el arranque, limita la aceleración de la máquina de tal forma que no se produzcan rupturas de engranes, bielas, etc; o daño a cualquiera de las piezas que puedan formar parte del mecanismo, a consecuencia de esfuerzos demasiado elevados de la armadura, y también que no se causen daños a la instalación, equipo del motor, o interrupciones en el sistema general de alimentación. Al mismo tiempo con el arrancador se busca la forma más rápida de llegar a las condiciones de marcha normal eliminando las resistencias durante el arranque que debe ser gradual en relación a la velocidad y a la fuerza contraelectromotriz desarrollada por la máquina.

Es importante mencionar que motores pequeños del orden de 1/2 C.P. ó 2/3 de kW, no requieren de arrancadores dado que la resistencia del circuito de armadura y su inductancia son de un valor regularmente tal que limitan por sí solos la cantidad de corriente inicial a valores que no representan peligro a la construcción de la máquina de c.d., y por otro lado la inercia de las armaduras pequeñas no es tan elevada y por lo tanto alcanzan su velocidad rápidamente.

Para motores de potencia mas grandes que generalmente son utilizados en procesos industriales, es deseable limitar la máxima corriente al 125% ó 150% de la corriente nominal, cuando esto es difícil de lograr, es permisible alcanzar un valor de hasta el 200%.

Durante el arranque la fuerza electromotriz E va tomando valores cada vez mas altos, a partir de cero, por lo que la corriente en la armadura debe estar limitada por una resistencia adicional cuyo valor debe ir disminuyendo a medida que E vaya creciendo.

Considerando la ecuación de la velocidad:

$$N = K ( V - R \times I ) / \phi$$

Para que la corriente fuera constante al variar N, siendo el flujo también constante, sería necesario que la resistencia total R del circuito de la armadura, y el campo serie si lo hay, variará linealmente con la velocidad, pero en sentido contrario. El proceso de arranque con corriente limitada consiste, precisamente, en la variación que debe sufrir la resistencia limitadora conforme la velocidad del motor aumenta.

En motores serie cuya carga inicial no exista por estar acoplados a ventiladores, y cuya inercia es mínima, es posible arrancar directamente conectando el motor a la línea sin reóstato adicional. La inductancia del campo es tan grande que da lugar a que la armadura empiece a girar y alcance una velocidad considerable antes de que la corriente haya subido a valores excesivos. En cuanto el motor adquiere velocidad, genera una fuerza contraelectromotriz tanto más grande cuanto más alto es el flujo, y por lo tanto también la corriente, por lo cual la intensidad se aleja más del valor asintótico  $V / R$ . En las condiciones de carga antes indicadas, el arranque se termina a en un lapso muy corto y el efecto Joule es poco importante aunque la corriente se haya excedido bastante de lo normal en algunos instantes.

En un motor derivado, por el contrario no podría hacerse el arranque sin reóstato por que la corriente en la armadura sube casi instantáneamente al valor  $V / R$ , mientras en el campo tarda mucho en alcanzar valores suficientes para excitar el circuito magnético en cantidad adecuada. De donde resulta que, no habiendo flujo o siendo éste escaso, el motor no ejercerá esfuerzo de arranque inmediato, y los fusibles o interruptores automáticos de la línea abrirían el circuito antes de iniciarse el movimiento cuantas veces se intentara el arranque directo del motor, con serias consecuencias para la vida del mismo.

Por consiguiente, el arranque de todo motor de corriente directa, con muy contadas excepciones, motores de ventilador, motores de reloj, etc., debe ser efectuado por medio de un reóstato apropiado. En algunos casos es admisible el empleo de un resistor fijo, intercalado permanentemente en la armadura, aunque la velocidad a plena carga resulte un tanto reducida y la eficiencia sea sacrificada en cierta medida.

## 1.2. CLASIFICACIÓN DE ARRANCADORES

Los arrancadores de los motores de c.d. pueden clasificarse en base a su operación como:

- Manuales.
- Semiautomáticos.
- Automáticos.

Dentro de los primeros se pueden incluir los reóstatos manuales de tres y cuatro puntos, los de tambor, etc. En los semiautomáticos, todos aquellos que utilizan dispositivos de control magnético y que son mandados por estaciones de botones. Cuando el mando se realiza por medio de un dispositivo piloto como de flotador, presión, flujo, etc., los arrancadores semiautomáticos se convierten en automáticos al poder cambiar por ellos mismos su estado de operación.

La secuencia de arranque automático se inicia con los dispositivos conocidos como resistencias de aceleración limitadoras de corriente que actúan sobre la armadura y que introducen cierta forma de control automático en el arranque, hasta que se obtiene en la armadura el voltaje normal de alimentación al motor.

En este tipo de arrancadores automáticos las resistencias de arranque constituyen el alma del control, que contiene además la protección contra sobrecarga, protección contra cortocircuito y contra bajo voltaje.

### 1.3. ARRANCADORES MANUALES

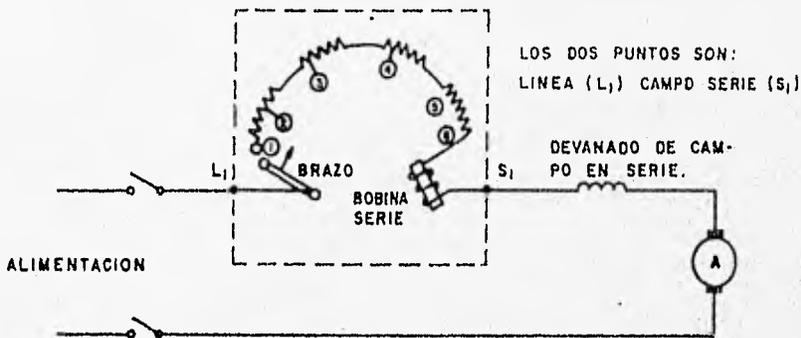
Estos tipos de arrancadores manuales pueden ser de dos, tres y cuatro puntos, designaciones que se refieren al número de terminales con que son dotados para realizar conexiones con el motor y la línea. Son llamados también de placa frontal o planos. Consisten en una resistencia de varias tomas que se conectan a unas terminales, dispuestas en forma circular sobre la placa del arrancador. Las resistencias son eliminadas conforme se acelera el motor por medio de una palanca o manivela. Al llegar a la última terminal, la palanca se mantiene sobre ésta, por la atracción que ejerce sobre ella un electroimán (bobina de retención) el cual vence la acción de un resorte o muelle de carga, que trata de regresarla a la posición de desconectado.

El valor y el número de pasos de resistencia, está condicionado entre otros factores, a la necesidad de una buena conmutación, así como también a una aceleración suave; esto es, que el par tenga una mínima variación, conforme se va acelerando el movimiento de la carga. Sin embargo el valor de la resistencia aceleradora, debe ser tal que permita que la armadura tome como máximo el 125% al 200% de la corriente nominal.

En los arrancadores de capacidades pequeñas, las resistencias se fabrican de alambre de hierro o de aleaciones como: hierro-cromo o cromo-níquel. Para los mayores, los grupos o bancos son de hierro colado denso.

#### 1.4. ARRANCADOR DE DOS PUNTOS.

Este tipo de arrancadores se diseña específicamente para motores de c.d. en conexión serie que están sujetos a posibles problemas de sobrevelocidad debido a pérdida de carga. Aquí, el resorte del control del brazo de carga se mantiene en su posición completa por medio de un electroimán. Este electroimán está devanado en serie y sus ampere-vuelta son función de la corriente de carga, si el motor pierde su carga y se acelera, la corriente cae a un valor mas bajo y el brazo regresa a su posición de arranque. Este tipo de acción tiene lugar también cuando el voltaje de alimentación decrece considerablemente. El control se restablece moviendo manualmente el brazo.



**ARRANCADOR DE DOS PUNTOS PARA MOTOR DE C. C. EN SERIE.**

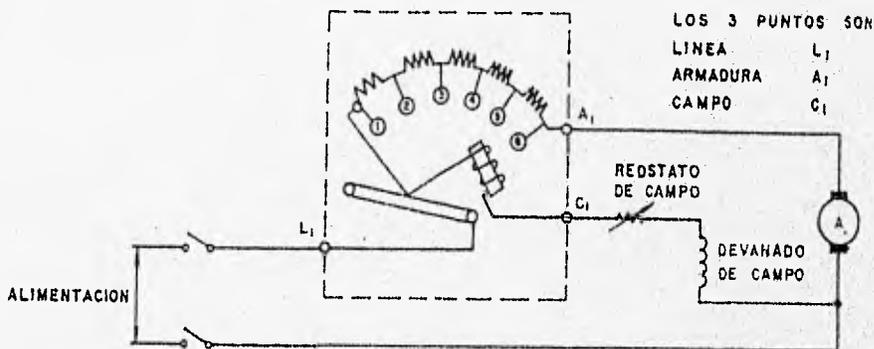
El principio de operación del circuito anterior es el siguiente: la alimentación de c.d. se conecta por medio del interruptor y después el brazo del arrancador se mueve hacia la derecha para el arranque del motor. En el momento en que el brazo hace contacto con el disco 1, el motor serie queda conectado a la alimentación a través de toda la resistencia, cuando el brazo

llega a la posición 6, la resistencia de arranque queda completamente fuera y el motor opera con la alimentación normal. El brazo se mantiene en la posición final a "dentro" por medio de la bobina o imán de retención.

### 1.5. ARRANCADOR DE TRES PUNTOS.

Los arrancadores de tres puntos son aplicables por lo general a motores de c.d. en conexión derivada o compuesta, el electroimán o bobina de retención se conecta, en este caso, en serie con el devanado de campo. La protección que se tiene en este caso es contra apertura del devanado de campo o bien falla en el reóstato de campo. Esta protección se requiere debido a que el motor se puede sobreacelerar en forma similar que el motor serie, si pierde la excitación de campo.

El arrancador de tres puntos es sensible a los ajustes en la corriente de campo y puede quedar fuera cuando no es requerido por sobrevelocidad, si el voltaje de línea también fluctúa.



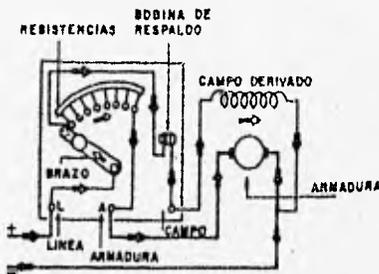
### ARRANCADOR DE 3 PUNTOS PARA MOTOR SHUNT O COMPOUND.

Para arrancar el motor con la alimentación de c.d., se mueve el brazo del arrancador hacia la derecha y en el momento que hace contacto con el punto 1,

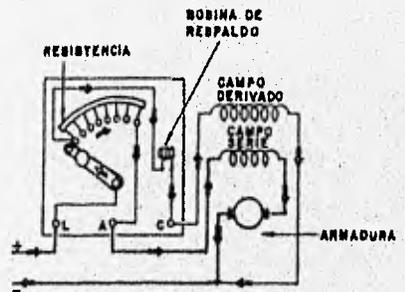
el devanado de campo se conecta a través de las resistencias, quedando la resistencia dentro del circuito.

Cuando el brazo del arrancador alcanza la posición 6 "dentro", la resistencia queda completamente fuera y el motor arranca operando a su velocidad nominal. Si por alguna razón la alimentación se interrumpe el brazo del arrancador queda en su misma posición, la armadura estará directamente conectada al campo, y que al no haber fuerza contraelectromotriz el motor puede demandar una corriente excesiva y se puede dañar. Para evitar esto se debe proveer alguna protección al motor de manera que el brazo del arrancador quede en su posición de "fuera" en forma automática tan pronto como se interrumpa la alimentación. Para lo cual requiere una bobina o protección de pérdida de voltaje, que consiste de un electroimán conectado en serie con el devanado de campo y que mantiene al brazo del arrancador en la posición "dentro".

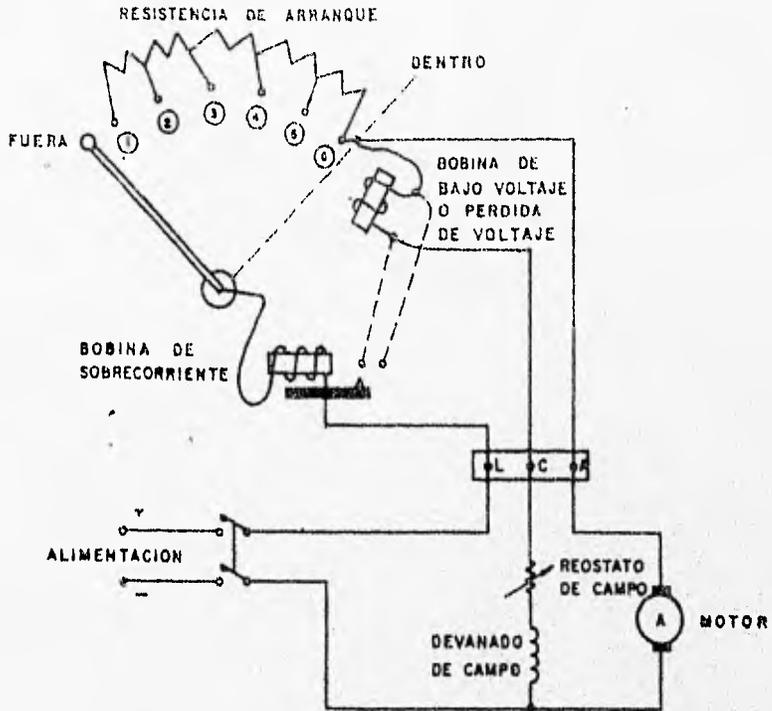
Se debe proveer al motor también con una protección contra sobrecorriente. Para esto se tiene una bobina que protege al motor contra la circulación de una corriente excesiva, esta bobina se conecta en serie con el motor, de manera que circule por ella la corriente de plena carga. Cuando el motor se sobrecarga, demanda una corriente excesiva que circula también por esta bobina y la magnetiza, operando sobre la bobina de voltaje poniéndola en corto circuito, actuando así ésta sobre el brazo del arrancador, regresando a la posición de "fuera".



ARRANCADOR DE 3 PUNTOS CONECTADO A MOTOR DERIVADO (SHUNT).



ARRANCADOR DE 3 PUNTOS CONECTA A MOTOR COMPOUND.

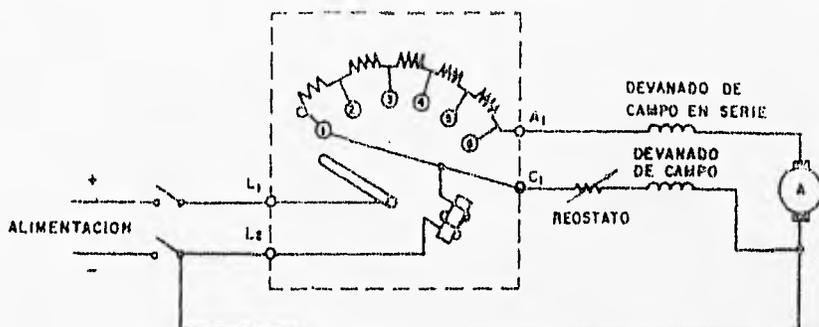


**ARRANCADOR DE 3 PUNTOS CON PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE Y BAJO VOLTAJE O PERDIDA DE VOLTAJE.**

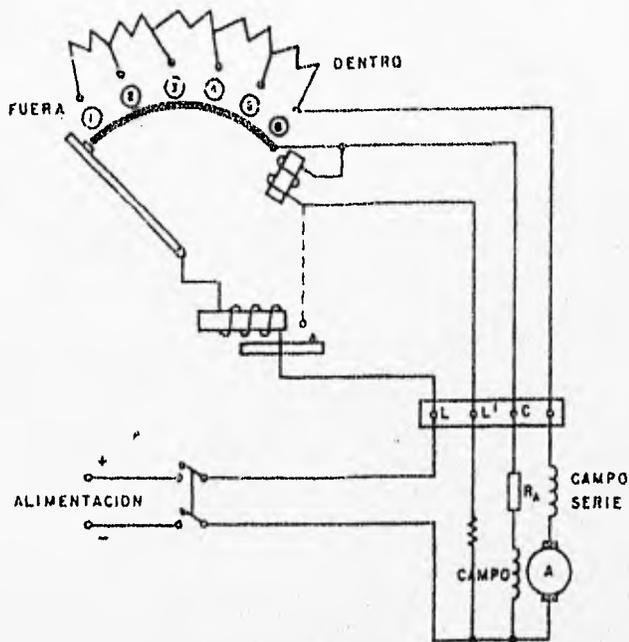
### 1.6. ARRANCADOR DE CUATRO PUNTOS

El arrancador de cuatro puntos es aplicable también a motores de c.d. en conexión derivación o compuesta, permite tener un rango de ajuste mayor en el devanado de campo, ofreciendo con esto una ventaja sobre el arrancador de tres puntos. El riesgo de sobrevelocidad se cubre normalmente por medio de

un sensor independiente y se considera como necesario un relevador piloto debido a que la pérdida de campo no cause una caída externa.

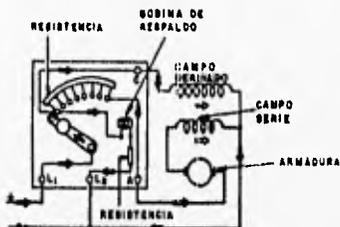


En el arrancador de tres puntos se vió que la bobina de voltaje se conecta en serie con el devanado de campo y el reóstato de campo y por lo tanto la corriente que circula a través del devanado de campo es la misma que pasa por la bobina de retención, de manera que se tiene una resistencia suficiente para "ser cortada" dentro por el reóstato de campo de manera que la corriente en la bobina de retención no puede crear una fuerza de "atracción" suficiente como para mantener tensionado el resorte del brazo asegurando con esto su posición de "fuera", esta condición indeseable en el arrancador de tres puntos es superada en los arrancadores de cuatro puntos, lo que le da un rango de aplicación más amplio.

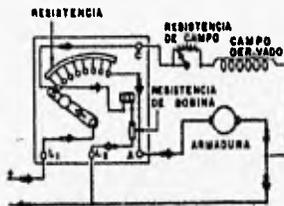


En este arreglo la bobina de restablecimiento de falta de voltaje es independiente del circuito del devanado de campo en derivación, y por lo tanto no se ve afectada por cambios de corriente en este circuito.

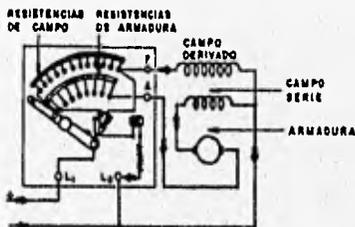
Por otra parte, en los motores de c.d. si por alguna razón se presenta la condición de circuito abierto en el devanado de campo, el motor puede adquirir una velocidad muy alta, al tratar de producir la fuerza contraelectromotriz necesaria, por lo que es importante asegurarse antes de arrancar un motor de c.d. que el circuito del devanado de campo este cerrado, y que la resistencia de arranque este también en su valor máximo, "parar" el motor, el interruptor se debe abrir después de regresar el brazo del arrancador a su posición original.



ARRANCADOR DE 4 PUNTOS CONECTADO A MOTOR MIXTO (COMPOUND).



ARRANCADOR DE 4 PUNTOS CON RESISTENCIA DE CAMPO VARIABLE PARA CONTROL MANUAL DE VELOCIDAD.



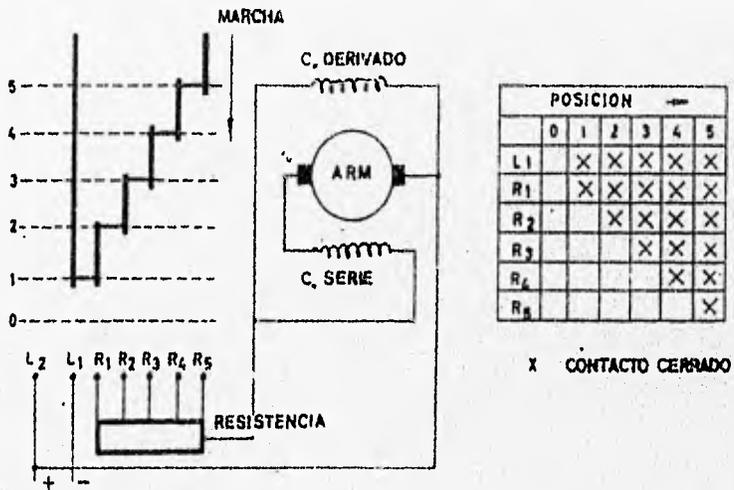
ARRANCADOR DE 4 PUNTOS CON REOSTATO REGULADOR DE VELOCIDAD PARA MOTOR COMPOUND.

## 1.7. COMBINADORES

La desventaja de utilizar reóstatos manuales cuando se emplean para el arranque de motores de gran capacidad, es la de que en los reóstatos se presentan arcos y chispazos eléctricos entre el brazo y las delgas del reóstato. Este fenómeno indeseable se presenta al momento en que se realiza la conmutación de cada una de las resistencias. Es por esto que en el arranque de motores de capacidad mayor de 10 C.P. se emplean los combinadores, entre

los cuales los de tambor son muy populares. Estos dispositivos se manejan a mano, por medio de una palanca o manivela, que conecta y/o desconecta grupos de contactos. Los contactos se instalan en cámaras de arqueo o bien emplean bobinas de extinción para eliminar el arco.

En si el arranque es solo una de las multiples operaciones que pueden controlarse en los combinadores, entre las que se pueden mencionar: cambio de rotación, control de velocidad, frenado, etc.



### 1.8. ARRANCADORES MAGNETICOS SEMIAUTOMATICOS O AUTOMATICOS

El control magnético simplifica la operación y proporciona cierta seguridad en la manipulación del arranque de la máquina. La secuencia de arranque se realiza en tiempos adecuados, que permite la aceleración uniforme impidiendo así, que la corriente de armadura sobrepase los límites que la seguridad impone. Este tipo de tecnología que emplea control magnético puede ser automática o semiautomática en el caso de los arrancadores. La diferencia

entre arrancadores automáticos y semiautomáticos radica en el dispositivo de mando, siendo en todo lo demás idénticos. Así, cuando se utilicen dispositivos pilotos como interruptores de flotador, de presión etc.; se hablará de arrancadores automáticos y cuando se empleen dispositivos de mando como las estaciones de botones, de arrancadores semiautomáticos.

Existen diferentes métodos para arrancar los motores de c.d. semi o automáticamente, pero todos caen dentro de los siguientes grupos:

- Arranque a límite de tiempo
- Arranque a límite de intensidad de corriente

### 1.9. ARRANQUE A LIMITE DE TIEMPO

En este tipo de arrancadores se usan varias formas de relevadores de los llamados de tiempo retardado, para lograr una secuencia de tiempo al obtener incrementos en las resistencias limitadoras de corriente.

El tiempo de retardo deseado se puede obtener por medio de cualquiera de las variantes conocidas y que son:

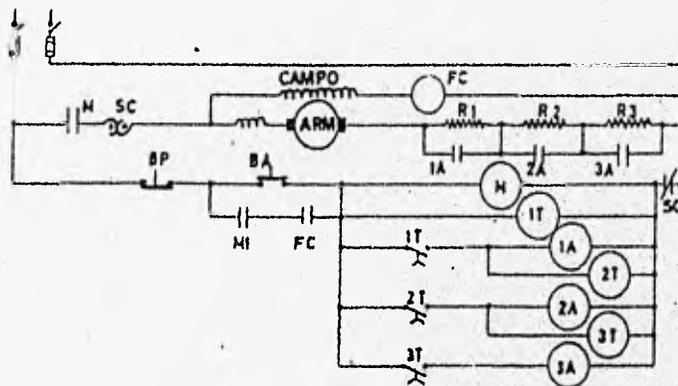
Relevadores de tiempo retardado  
Impulsos del motor o controladores de tiempo mecánicos (TIMER)

En los arrancadores a límite de tiempo se emplean relevadores temporizados, con los cuales se obtiene una secuencia, que permite ir eliminando progresivamente la resistencia aceleradora. Esta secuencia depende de los tiempos de apertura y cierre de los contactos en los relevadores.

A continuación se da una explicación de un arrancador a límite de tiempo para un motor en derivación con protección de falla de campo, utilizando relevadores neumáticos en su operación.

Una vez cerrado el interruptor de navajas, basta pulsar el botón BA para que la bobina del contactor M se energice y cierre un contacto M (de carga) en serie con la armadura del motor y un contacto M1 (de enclave) en el circuito de control. En el momento en que se cierra el contactor M y la armadura del motor se conecta con la línea, la corriente circula por el campo energizándose la bobina FC de un relevador de falla de campo. Este relevador cierra un contacto normalmente abierto FC en el circuito de control, formando el enclave con el contacto M1.

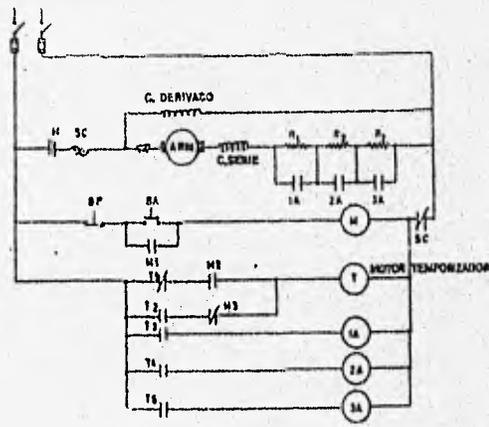
Cuando se excita la bobina M, también ocurre lo mismo con la bobina 1T de un relevador de tiempo, la cual un tiempo después de haberse energizado, cierra el contacto 1T permitiendo que se excite la bobina del contactor 1A. Este contactor cierra un contacto en paralelo con la resistencia R1 eliminándola. El relevador 2T actúa cerrando un tiempo después el contacto 2T y con esto energizando la bobina del contactor 2A que cierra su contacto en paralelo con R2 puenteándola. De manera similar R3 es eliminada alcanzando el motor su velocidad nominal.



Para parar el motor, basta pulsar B.P. el cual interrumpe la alimentación de la bobina del contactor de la bobina M. Cualquier sobrecarga es detectada por el relevador de sobrecarga que acciona un contacto que se encuentra en el circuito de la bobina M. Por otro lado si el campo llegase a abrirse, el relevador de falla de campo se desenergiza y su contacto FC que hace el enclave en el circuito de control, se abre desconectando el contactor principal.

El siguiente es otro ejemplo de arrancador a limite de tiempo para un motor compuesto, que emplea un temporizador accionado por un pequeño motor.

Al pulsar el botón de arranque la bobina del contactor M se energiza, conectando el motor a la red a través de toda la resistencia limitadora. En el circuito de control, se cierran el contacto M1 de enclave, el contacto M2, a través del cual se alimenta el motor del temporizador y se abre el contacto M3 en serie con el contacto de tiempo T2. Cuando el motor del temporizador se alimenta, empieza a girar cerrando en intervalos y sucesivamente los contactos T3, T4, y T5 que permite que las bobinas de los contactores 1A, 2A, y 3A se energicen, desconectando las resistencias. En el mismo momento en que el contacto T5 se cierra, los contactos T1 y T2 son accionados, El primero abriendo y el segundo cerrando. La apertura de T1 desconecta el motor del control de tiempo. En el instante en que ocurra una sobrecarga o se quiera parar el motor, pulsando el botón de paro el contacto M3 se cierra y como T2 se encuentra cerrado, el motor del temporizador se conecta y continúa su giro hasta que se abre el contacto T2 desconectándose el circuito. El control queda listo para completar otro ciclo de operación.



## 1.10 ARRANQUE A LÍMITE DE INTENSIDAD DE CORRIENTE

En los arrancadores a límite de intensidad se emplean relevadores de intensidad, de tensión, etc. los cuales convenientemente colocados, van accionando dependiendo de las condiciones de la carga. Así, mientras en los arrancadores a límite de tiempo, la secuencia se realiza con tiempos fijos, en los de límite de intensidad el tiempo se ajusta de tal manera, que si la carga es ligera, el motor alcanzará su velocidad nominal mas rápidamente, que si arrancara con una carga pesada.

Dentro de este método en donde la aceleración ya no se realiza a tiempos fijos, sino que se ajusta a las condiciones de la carga, se encuentran varios tipos de arrancadores. Dos de los mas conocidos son el de relevadores serie y el de fuerza contraelectromotriz.

En la figura 1.14 se muestra el diagrama lineal de un arrancador para un motor de c.d. en derivación que utiliza relevadores serie para la aceleración. Los relevadores serie también conocidos como de mínima corriente, constan de unas cuantas vueltas de alambre grueso y son de funcionamiento extremadamente rápido. Un resorte abre los contactos cuando disminuye la corriente por abajo del valor al que se ajusta.

El funcionamiento del circuito de la figura 1.14 es el siguiente: basta pulsar el botón BA para que se energice la bobina del contactor M, que opera cerrando el contacto M en el circuito de carga y el contacto M1 ( de enclave) en el circuito de control). Al cerrarse el contacto de carga M, la corriente pasa a través de la armadura, las resistencias aceleradoras y la bobina del relevador IRS, el cual está calibrado para accionar con la corriente de arranque. De esta manera el relevador IRS opera abriendo el contacto normalmente cerrado IRS en serie con la bobina IA. Cuando la corriente disminuye al acelerarse la máquina, la bobina IRS no tiene los suficientes amper-vueltas para atraer el núcleo del relevador, regresando el contacto IRS a su posición original (cerrado). Cuando esto último ocurre, la bobina del contactor IA se excita cerrando un contacto en el circuito de carga, que deja fuera a la resistencia R1. La corriente de armadura pasa ahora por 2RS, que de manera similar al

relevador 1RS, abre el contacto 2RS en serie con la bobina 2A impidiendo su excitación. Cuando el motor incrementa su velocidad, la corriente disminuye a cierto valor, tal que la bobina 2RS no se mantiene enclavada y el contacto 2RS se cierra. Se excita entonces 2A, cerrando un contacto paralelo con R2 y de esta manera la elimina. Del mismo modo ocurre con la resistencia R3.

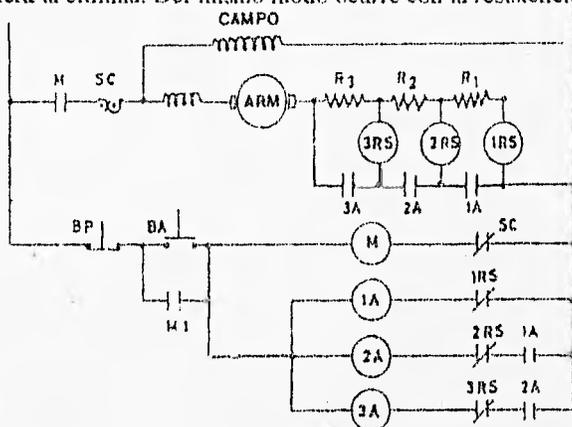


fig. 1.14

Para parar el motor basta pulsar el botón BP, que interrumpe el circuito de excitación de la bobina del contactor M, desconectando todo el circuito.

En el arranque a fuerza contraelectromotriz la reducción de la intensidad provocada por el aumento de la fuerza contraelectromotriz, reduce la caída de tensión en la resistencia aceleradora, aumentando la tensión entre las terminales de armadura. La figura 1.15 muestra el diagrama lineal de un arrancador a fuerza contraelectromotriz para un motor en derivación, en el cual se han instalado las bobinas de los relevadores 1RA, 2RA y 3RA en paralelo con la armadura. Estos relevadores están calibrados para operar al 40, 60 y 80 % respectivamente de la tensión nominal. De esta manera a medida que el motor se acelera, la tensión en la armadura aumenta y al llegar al 40 % de la nominal, el relevador 1RA entra en operación cerrando el contacto 1RA en serie con la bobina del contactor 1A, actúa eliminando el paso de resistencia R1. De manera similar operan 2RA y 3RA. Una vez acelerada la máquina, las resistencias aceleradoras quedan fuera. Para parar basta pulsar BP que desconecta el circuito de control.

Las principales diferencias entre los métodos de arranque manuales y automáticos en los motores de corriente continua son los que a continuación se describen:

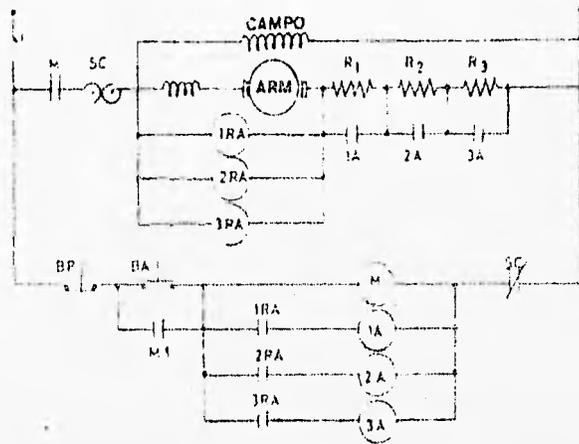


fig.1.15

a) Por medio del arranque manual el tiempo de arranque de un motor puede ser variable, dependiendo de la habilidad del operador y de la respuesta del motor. En un motor con arranque automático, el tiempo de la secuencia de arranque es fijo y depende de los parámetros del arrancador, sin tener influencia de la habilidad del operador.

b) Los arrancadores manuales son relativamente simples en su construcción y por lo mismo fáciles de entender, operar y mantener, en tanto que los arrancadores automáticos son un poco más complicados por lo que se requiere de mayores conocimientos para su comprensión, siendo también de un costo mayor que los manuales.

c) Los arrancadores manuales requieren para su instalación de poco espacio, tienen poco peso y bajo costo. Los arrancadores automáticos necesitan mayor espacio y tienen mayor peso.

d) En los arrancadores manuales se requiere de la acción del operador cercana al motor, en tanto que en los automáticos la acción puede ser a control remoto.

e) La construcción de los arrancadores manuales permite que sean herméticos, a prueba de agua y de polvo, en tanto que en los arrancadores automáticos esto no siempre es posible.

f) Los arrancadores manuales tienen un límite en su tamaño de construcción en tanto que los automáticos se puede decir que no existe esta restricción.

g) En los arrancadores manuales se pueden presentar algunos problemas con el arco eléctrico que se tiene entre contactos, ya que se producen gases ionizados que podrían llegar a ser inclusive explosivos. En los arrancadores automáticos este problema prácticamente no existe, ya que se tienen contactores electromagnéticos y relevadores de control.

h) En los arrancadores automáticos la secuencia de arranque-paro para propósitos de control permite una acción mas precisa en procesos en donde se requiere de señales de retroalimentación.

## 1.11. CONTROL DE VELOCIDAD

Ya se a hablado de arranque manual y automático lo siguiente es tener en cuenta que tan rápido o que tan lento operará el motor, ya que en la mayoría de las aplicaciones de los motores de corriente directa se requiere que su velocidad sea controlada , existiendo un buen número de variantes en cuanto a los requerimientos del control de velocidad dependiendo del proceso de trabajo que desarrolle el motor que en la mayoría de los casos se requiere un control de velocidad dentro del rango de - 20% a +20% .

Las diferentes formas de control de velocidad están basadas en su expresión general para el control de velocidad de este tipo de motores, que se indica a continuación:

$$N = K(V - I_a(R + R_a)) / \phi$$

Donde R es una resistencia externa que se incluye en el circuito de la armadura. De la ecuación anterior se puede observar que el valor de N o variación en la velocidad se puede obtener:

- a) Variando el valor de alimentación del voltaje de alimentación V
- b) Haciendo variar R que es la resistencia externa del circuito de armadura
- c) Haciendo variar el flujo por polo  $\phi$ .

Los dos primeros se refieren a métodos de control que actúan sobre la armadura, en tanto que el tercero es un método de control que actúa sobre el devanado de campo, por lo tanto los métodos de control se clasifican en métodos de control de armadura y métodos de control de campo.

El control de armadura es de tipo proporcional por que si el voltaje de alimentación en la armadura disminuye, la velocidad se reduce, el método de control de campo tiene una relación inversa, ya que cuando el flujo se reduce la velocidad aumenta.

Los métodos de control de velocidad están normalmente asociados a cada tipo de motor.

El control de velocidad de los motores de corriente directa conectados en derivación se puede hacer actuando en el devanado de campo o en la armadura.

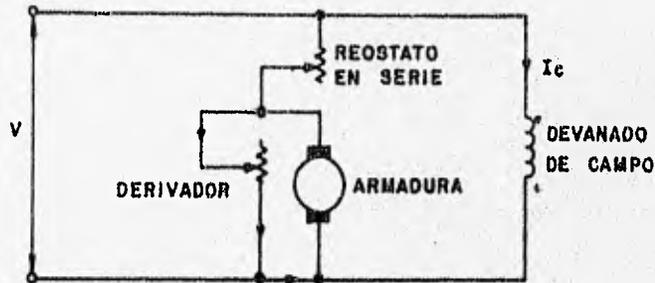
## 1.12. METODOS DE CONTROL DE CAMPO.

A continuación se mencionarán los métodos básicos de control de campo en los motores de corriente directa en conexión derivación.

### a) Control por reóstato de campo.

El método se basa en variar el flujo por medio de controlar la corriente de campo con un reóstato conectado en serie con el devanado de campo por lo que este método es uno de los más económicos y fáciles de implementar .

Este método tiene la limitante que la corriente de campo solo se puede reducir y no aumentar, por lo que la variación se obtiene arriba de la velocidad nominal. La velocidad es máxima al mínimo valor de flujo, y viceversa.



### b) Control de voltaje de campo.

El control de velocidad por este método requiere de una fuente de alimentación de voltaje variable para el devanado de campo que aisle la fuente de alimentación principal a la cual se conecta la armadura. La fuente de

alimentación de voltaje variable se puede obtener de un rectificador electrónico que toma su alimentación de un a red de corriente alterna.

### 1.13. METODO DE CONTROL POR ARMADURA.

El control de velocidad en motores en derivación (SHUNT), requieren que el voltaje aplicado a las terminales de armadura se pueda cambiar sin modificar la corriente de campo, lo cual se puede obtener por los siguientes métodos:

#### a) Por Control de la Resistencia de Armadura.

Este método consiste en conectar una resistencia en serie con la armadura, esta resistencia es variable, con lo cual se puede obtener un amplio rango de variación en la velocidad, siendo esta variación directamente proporcional a la caída de voltaje a través de la armadura.

Para cargar con un par constante, la corriente de armadura permanece sin variación, de manera que la potencia de entrada del motor es la misma, pero la potencia de salida decrece en proporción a la velocidad. Con este método se obtiene un amplio rango de variación de la velocidad y también el motor puede desarrollar cualquier par deseable.

La característica de par-velocidad del motor en derivación se muestra a continuación:



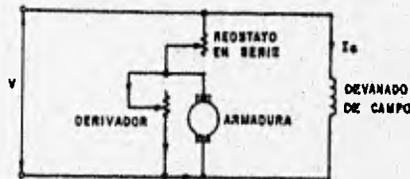
CARACTERISTICA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR SHUNT  
CON CONTROL DE ARMADURA.

Este método se emplea generalmente donde se requieren velocidades menores a la nominal y regularmente para períodos de tiempo cortos y solo ocasionalmente en aplicaciones donde el motor se ve sometido a arranques y paros sucesivos. También se emplea en casos como sopladores, ventiladores, y en donde la carga cae rápidamente con reducción de la velocidad.

b) Control con derivador en la armadura.

En el control de velocidad por armadura, la velocidad cambia con cualquier cambio en la carga, debido a que en este tipo de control la variación en la velocidad no solo depende del cambio en la resistencia de control de armadura, también del cambio de la corriente de carga.

Para obtener un control mas estable se puede agregar al sistema de control anterior un reóstato en paralelo con la armadura, además de la resistencia en serie con la armadura, de tal forma que los cambios en la corriente de armadura (que dependen de los cambios en la corriente de carga) no afectarán directamente al voltaje a través de la armadura y en consecuencia a la velocidad del motor.



CONTROL CON DERIVADOR EN LA ARMADURA  
PARA MOTORES DE C. C. SHUNT.

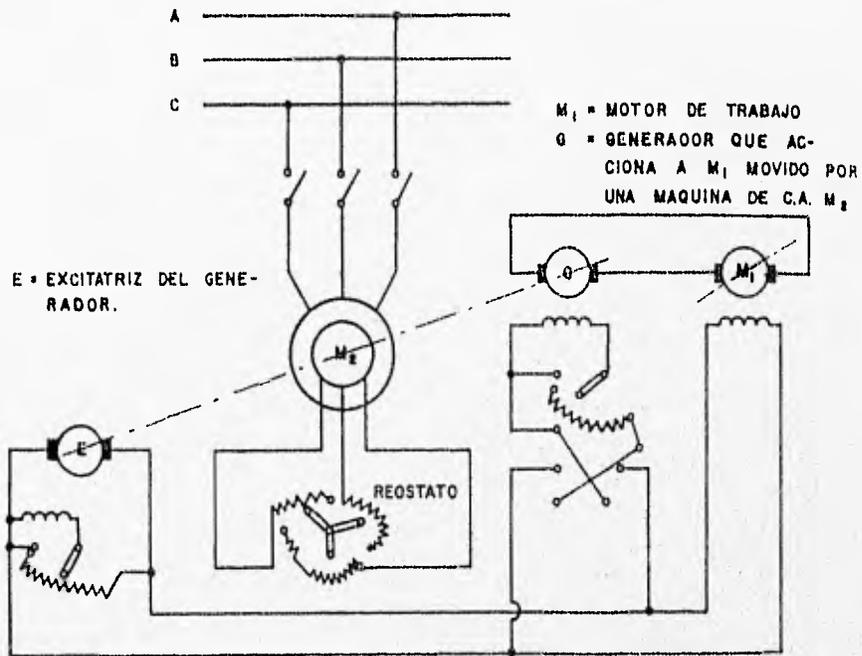
#### 1.14. CONTROL DE VOLTAJE EN LA ARMADURA

Este método de control de velocidad requiere de una fuente de voltaje variable que esta separada de la fuente que alimenta la corriente de campo. El método es en sí mas eficiente que los descritos antes por control de armadura, y la razón es que elimina el problema de obtener una pobre regulación de velocidad y una pobre eficiencia, sin embargo, tiene la desventaja de que su costo inicial es mayor. La fuente de voltaje variable puede ser un generador de c.d. o bien un rectificador de estado sólido, que permite obtener un amplio rango de variación de velocidad con cualquier número de puntos de velocidad deseados.

Se requiere tener un sistema de par constante debido a que la salida del motor decrece con cualquier reducción en el voltaje aplicado con su correspondiente reducción en la velocidad.

Tiene además la ventaja que de se puede emplear donde se requiera de una buena característica de arranque, como las requeridas en elevadores de alta velocidad. No obstante sus ventajas, no es muy usado debido a su alto costo inicial y equipo complementario que se requiere (generador o rectificador estático para el control de voltaje).

El esquema básico de control de velocidad por ajuste de voltaje de armadura usando como complemento un generador de voltaje ajustable se conoce como "Sistema Ward-Leonard", y consiste de un motor de c.d. que trabaja con excitación constante y voltaje variable a su armadura para obtener la velocidad requerida. La fuente de voltaje variable consiste en un grupo motor-generador o conjunto convertidor, como se muestra en la figura 1.19.



SISTEMA DE CONTROL WARD-LEONARD.

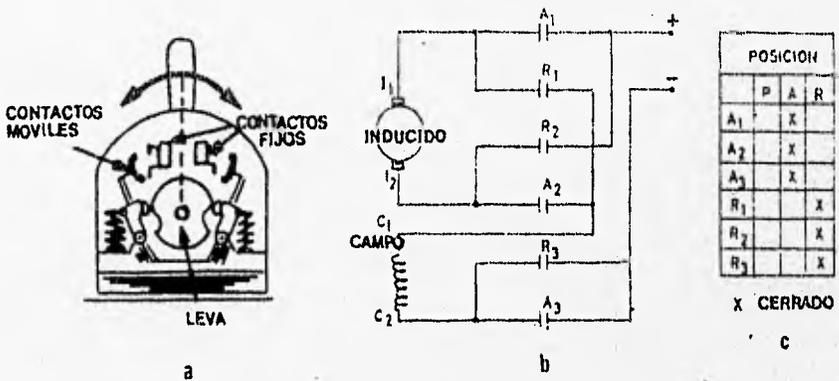
### 1.15. INVERSION DE ROTACION.

El cambio de la dirección de rotación en los motores de c.d. se realiza invirtiendo el sentido de la corriente en el devanado de armadura, quedando invariable el sentido en el devanado de campo o viceversa.

Cuando se cambia el sentido de la corriente en el inducido, se debe incluir el devanado de campo interpolar si el motor lo tiene. De no hacerse, el

campo interpolar quedaria con una polaridad incorrecta produciendo chispas en el colector.

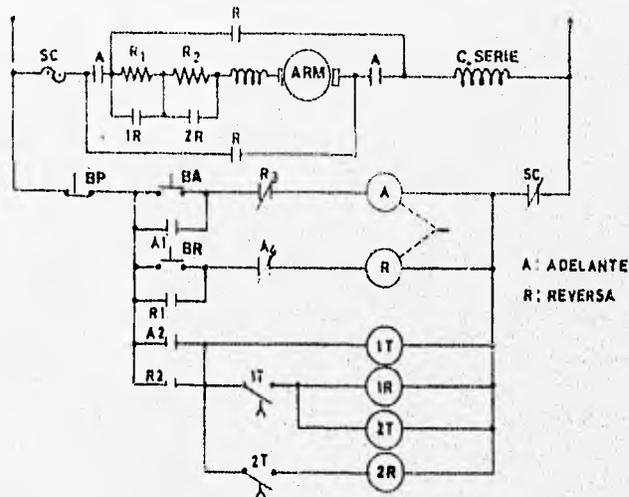
En los motores serie la inversión de rotación se efectúa usualmente cambiando la dirección de la corriente que circula por el inducido, lo cual se puede lograr fácilmente, permutando las terminales de los portaescobillas. En la figura 1.20 se muestra un diagrama de carga, en donde se puede observar la conexión de un motor serie, con un inversor de levas. Cuando los contactos A1, A2 y A3 se cierran, la polaridad positiva de la línea corresponde a la terminal superior del inducido ( I1) y cuando se cierran los contactos R1, R2 y R3, la polaridad corresponde a la terminal inferior (I2). La dirección de la corriente en el campo se mantiene invariable en cualquiera de las conexiones.



El control magnético es también empleado para lograr la inversión de rotación en los motores serie. La figura siguiente muestra el diagrama esquemático de un arrancador a límite de tiempo, con inversión de rotación. Una vez seleccionada la marcha o el sentido que interese, se pulsa el botón que lo gobierna, por ejemplo, el que da marcha adelante, a través del cual se excita la bobina del contactor A, cambiando de posición todos los contactos por ella accionados. De esta manera el motor se conecta a la fuente a través de la totalidad de las resistencias, las cuales se irán desconectando conforme se vaya acelerando hasta quedar fuera totalmente. Para invertir la rotación se pulsa el botón de paro, que desconecta el motor y luego se pulsa el botón de marcha atrás o reversa, repitiéndose la secuencia para la desconexión de las

resistencias. Para impedir la operación simultánea de los contactores A y R, se bloquean eléctricamente sus bobinas, bloqueo que logra colocando en serie de la bobina A a un contactor de R normalmente cerrado y en serie con la bobina R una de A normalmente cerrado. De esta manera, al estar energizada una de ellas la otra no recibirá alimentación aunque se pulse el botón que la acciona.

Además del bloqueo eléctrico, frecuentemente se dota a estos controladores de bloqueo mecánico, representado en el diagrama por líneas punteadas que unen A y R, el cual "mecánicamente" por la acción de un yugo, impide que al operar un contactor, el otro pueda cerrar sus contactos, aún habiéndose excitado su bobina.



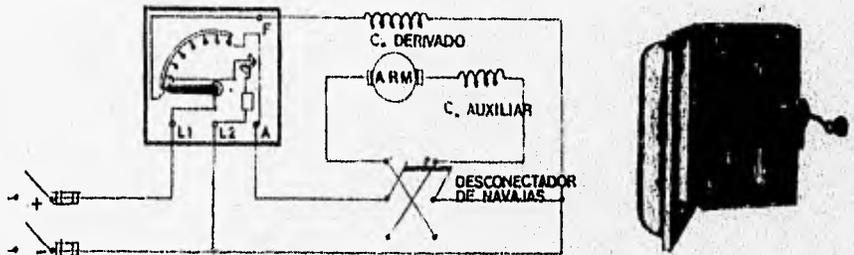
Como puede apreciarse en el esquema, para cambiar el sentido de giro solo es necesario cambiar el sentido de la corriente en el inducido, mientras que las conexiones del inductor permanecen invariables.

En los motores con excitación en derivación y compuesta, la inversión de giro se efectúa cambiando la dirección de corriente en el devanado del inducido. El circuito de campo presenta características altamente inductivas, de tal manera que la conmutación de éste para invertir la rotación, no se

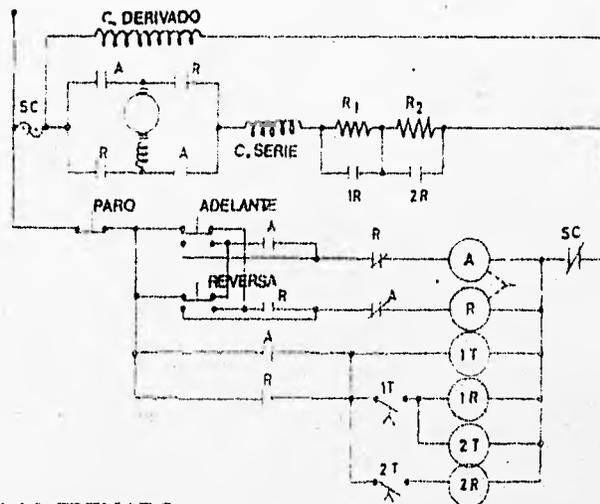
recomienda por la aparición de tensiones inducidas elevadas que pueden deteriorar los aislamientos de las bobinas que forman el circuito. Cuando la excitación es separada, este problema se elimina puesto que para cambiar la polaridad del campo, basta cambiar la polaridad de la fuente que lo alimenta.

En los motores en derivación y compuestos se emplean también combinadores como los descritos para los motores serie, siendo su operación muy similar.

En ocasiones se combinan los reóstatos manuales con desconectores de navaja, como el montaje mostrado en la figura 1.22, en donde el accionamiento del interruptor de navajas, cambia las conexiones del circuito y polos auxiliares, con lo cual se logra la inversión de rotación.



Empleando control magnético, se pueden construir algunos circuitos como el mostrado en la figura 1.23 que permite arrancar un motor compuesto a límite de tiempo e invertir su rotación. En este diagrama se emplea un arreglo de pulsadores que impide la conexión simultánea de los contactores de marcha adelante A y de marcha atrás R.



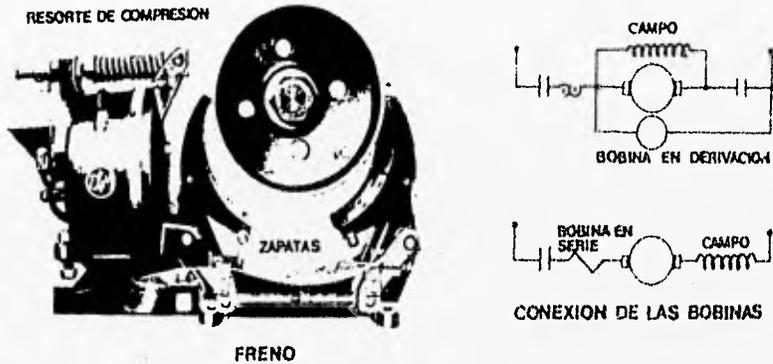
### 1.16. FRENADO

Una de las funciones requeridas con mucha frecuencia en los controladores, es la de conseguir que los motores se detengan rápidamente, para lo cual en diversas ocasiones no basta con desconectarlos de la fuente de alimentación. Esto trae consigo la necesidad de disponer de circuitos de frenado en los cuales se pueden utilizar los siguientes procedimientos:

- a) Frenado por contra corriente.
- b) Frenado dinámico.
- c) Frenado Regenerativo.

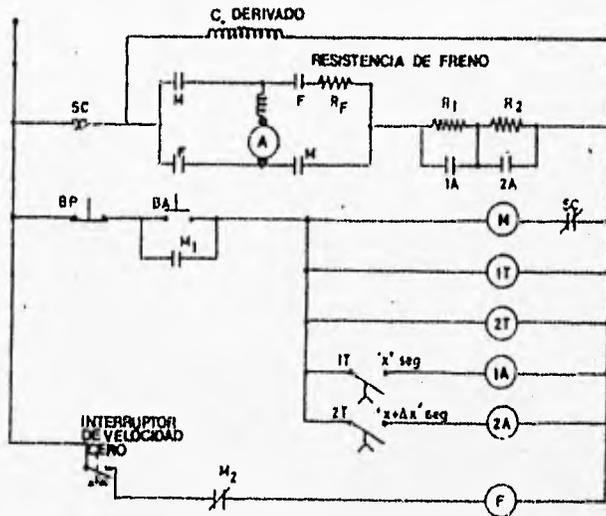
Por lo general los métodos mencionados van acompañados por un freno mecánico acoplado a la flecha del motor. Los frenos mecánicos para c.d. se construyen de manera similar a los frenos de c.a., con la excepción de que las

bobinas de funcionamiento se devanan para conectarse a través de la línea o para conectarse en serie con el motor, figura 1.24.



a) Frenado por contracorriente.

Este método consiste en la inversión o cambio en las conexiones de alimentación del motor, para crear un par de oposición que retarde la rotación haciendo que la máquina disminuya su velocidad y cuando se detenga invertir el sentido de giro, un interruptor accionado manual o automáticamente desconecta la alimentación de energía. En la figura 1.25 se muestra el diagrama de un controlador magnético cuyo funcionamiento es el siguiente. Basta pulsar el botón BA para que se inicie la secuencia de aceleración, eliminándose paulatinamente las resistencias, hasta dejar conectada la armadura con la tensión de la red. La bobina del contactor F utilizado para invertir las conexiones y así realizar el frenado, no se energiza durante la marcha, sino hasta que se pulse el botón de paro. Cuando esto sucede el contacto M2 conectado en serie con la bobina del contactor F, se cierra y como el motor por su inercia continúa girando, el contacto del interruptor de velocidad cero permanece cerrado. De esta manera el contactor F se excita, invirtiendo la conexión de la armadura con lo que se crea un par de oposición que frena la máquina rápidamente hasta llegar a velocidad cero. En este momento el interruptor se abre desconectando completamente el motor.



Los interruptores de velocidad cero, empleados en secuencia de control de freno, se conectan directamente o a través de engranes a la flecha del motor de tal manera que al girar la máquina, su movimiento se transmite a los contactos por medio de un mecanismo centrífugo. Otros interruptores de velocidad cero en lugar del mecanismo centrífugo, tienen un arreglo de inducción magnética, pero su función es la misma.

### b) Frenado Dinámico

En frenado dinámico el objetivo es lograr que el motor actúe como generador. Si las puntas de conexión de la armadura se desconectan de la red de alimentación y se conectan rápidamente a un banco de resistencias, manteniendo la excitación del motor, se tiene el efecto de freno. La energía mecánica rotatoria se transforma en eléctrica disipándose en las resistencias.

En la figura 1.26 se muestra el diagrama simplificado de un controlador magnético, en donde una vez que el motor se encuentra trabajando, basta

pulsar el botón BP para que la operación de frenado comience. Al energizarse la bobina M, abre el contacto M que se encuentra en serie con la resistencia de frenado, dejándola fuera durante al marcha del motor. Al pulsar BP y quedar sin energía M, el contacto en serie con la resistencia se cierra, permitiendo que la corriente de armadura del motor ahora trabajando como generador, circule por el circuito.

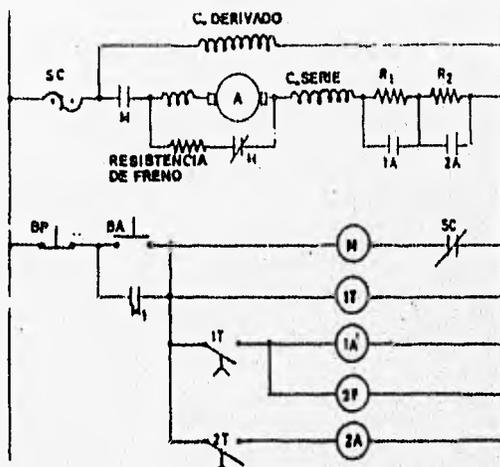


fig.1.26

### c) Frenado Regenerativo

Se basa en el mismo principio del frenado dinámico, sólo que ahora en vez de disipar la energía en las resistencias, se devuelve a la red. Esto es solo conveniente realizarlo cuando la carga que mueve el motor es grande, lo que permite que la máquina una vez conectada siga girando fuertemente y pueda generar una fuerza electromotriz tan grande como la de la fuente.

## I.17. PROTECCION DE LOS MOTORES DE C.D.

Todo controlador además de gobernar las operaciones de un motor, debe incluir protecciones que prevengan el sistema de las posibles fallas o perturbaciones a que se pueda ver sometido, por ejemplo, corto circuitos, sobrecargas, pérdida de campo, baja tensión, etc.

**Cortocircuitos:** Contra las sobrecorrientes, que pueden afectar los devanados del motor e inclusive elementos del controlador, se emplean fusibles e interruptores automáticos cuya selección dependa de la capacidad del sistema.

**Sobrecargas:** Fusibles y relevadores de sobrecarga, son usualmente empleados para desconectar el motor de la red, al presentarse una corriente de sobrecarga que por su carga o duración, puedan ser peligrosas.

La construcción, operación y ajuste de estos dispositivos para servicios de c.d., son básicamente los mismos que para el servicio de c.a.. En caso de emplear fusibles, se debe colocar uno en cada conductor y si se utilizan relevadores, basta con instalar una unidad sensora en cualquiera de los conductores activos de la fuente de alimentación.

**Pérdida de Campo:** En los motores de c.d. la disminución excesiva del campo o la pérdida completa de éste, provoca sobrevelocidades muy peligrosas. En los reóstatos manuales de dos y tres puntos, la bobina de retención a través de la cual fluye la corriente de campo, es utilizada como un relevador de falla de campo. Si la corriente disminuye a un cierto valor, la bobina no podrá retener la manivela que se libera regresando a la posición de desconectado.

En los arrancadores magnéticos, automáticos y semiautomáticos, se emplea un relevador de falla de campo, que no es más que un relevador de control de un polo, cuya bobina se conecta en serie con el circuito de campo y

su contacto, en serie con la bobina del contactor de arranque. Así cualquier falla en el campo, provoca que el relevador se desconecte, abriendo su contacto en el circuito del contactor principal.

**Baja Tensión:** Si se llega a presentar una baja tensión o la falta total de ésta, la bobina de retención con algunos tipos de reóstatos manuales, no desarrolla el campo magnético necesario para mantener la manivela en la posición de conectado. Algo similar ocurre en los controladores magnéticos, en donde las bobinas de los contactores y relevadores no pueden mantener cerrados o abiertos sus contactos desconectando el motor. Si se emplean circuitos de dos hilos en los controladores magnéticos, puede ser que el dispositivo de mando tenga sus contactos cerrados al normalizarse la tensión, conectando súbitamente la máquina. Este arranque repentino puede ser peligroso, por lo que se impone el empleo de circuitos de tres hilos.

## CAPITULO 2

## CAPITULO 2

### 2. ADAPTACION Y PRUEBAS DE OPERACION AL TABLERO DE CONTROL DEL ELECTRODINAMOMETRO.

Al plantearnos el problema de realizar pruebas a motores de inducción, nos encontramos en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Facultad de Ingeniería un electrodinamómetro que no poseía un sistema de control claro, y alrededor de cincuenta años de no haber funcionado, dado el desconocimiento de la operación a través de su tablero de control.

Fué necesaria la investigación y estudio previo de esta clase de sistemas para empezar a trabajar en esta tesis. Nos encontramos con trabajos previos, los cuales daban información, pero no aclaraban la puesta en marcha del electrodinamómetro. El trabajo desarrollado en esta tesis abarco los campos teórico y práctico, por lo que fué de gran interés personal, y académico, ya que se intentan lograr objetivos reales y didácticos que beneficien a la Facultad de Ingeniería. La finalidad de este trabajo es poder desarrollar el sistema de control del electrodinamómetro que prueba motores por lo cual la facultad debe orientar recursos necesarios para poder darlo a conocer tanto a la comunidad de la facultad de ingeniería, así como a la industria, la que puede aportar ingresos por el empleo de este equipo de prueba.

Nos abocamos a revisar el funcionamiento de los elementos del tablero de control y verificar que existiera continuidad entre la interconexión de los mismos, esto lo logramos identificando a cada elemento del tablero y relacionando su interconexión con las demás partes del tablero.

Durante la revisión del equipo que compone al sistema se encontraron irregularidades, las cuales las clasificamos de tal modo que pudiésemos corregirlas de la forma mas viable, ya fuese sustituyéndolas, reparándolas, o adaptándolas; la clasificación que realizamos fue:

## I. Elementos que no existían

El diagrama de conexión (diagrama local) y manual de funcionamiento de operación.

El banco de resistencias del *aportación del HHO (hidrógeno)*.

II. Elementos que se le *desarrollan en la práctica con los datos de los*  
datos

*Resistencia de  $R_{ext}$*

*El  $R_{ext}$  se desarrolla en el  $R_{ext}$  para la  $R_{ext}$  de  $R_{ext}$*

*El  $R_{ext}$  se desarrolla en el  $R_{ext}$  de  $R_{ext}$*

*El  $R_{ext}$  se desarrolla en el  $R_{ext}$  de  $R_{ext}$*

*El  $R_{ext}$  se desarrolla en el  $R_{ext}$  de  $R_{ext}$*

*El  $R_{ext}$  se desarrolla en el  $R_{ext}$  de  $R_{ext}$*

*El  $R_{ext}$  se desarrolla en el  $R_{ext}$  de  $R_{ext}$*

I.- Elementos que no existían.

El diagrama de conexión (diagrama líncal), y manual de condiciones de operación.

El banco de resistencias del arrancador del electrodinamómetro

II.- Elementos que no se encontraban en óptimas condiciones los cuales eran:

Reóstatos de campo

Las resistencias de carga, utilizadas para la prueba de motores

La bobina de protección de sobre corriente

Los selectores

III.- Elementos que se encontraban descompuestos

Vóltmetro encargado de indicar el voltaje de armadura

El contador de revoluciones por minuto, y el cual opera a 50 cps

## 2.1. OBTENCION DEL DIAGRAMA LINEAL.

Basándonos en que los circuitos de control deben proporcionar la información en relación al circuito de fuerza y las señales generadas para determinar la conducción o no conducción de los elementos controlados con una línea, obtuvimos un diagrama elemental que nos permitió la comprensión del circuito.

Los componentes del circuito de control los presentamos entre dos líneas verticales, que representan el control de alimentación de fuerza. El diagrama realizado muestra la secuencia de operación de los dispositivos que componen nuestro sistema y es de valiosa ayuda para comprender como opera todo el circuito.

## 2.2. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DE CONTROL DEL ELECTRODINAMÓMETRO COMO MOTOR.

El tablero de control del electrodinamómetro debe alimentarse con 230 V de C.D. desde el tablero principal.

1.- Para el arranque del motor; el brazo del reóstato de reloj debe estar en su posición máxima (a la izquierda) en sentido a las manecillas del reloj, accionando el interruptor del reloj.

1.1.- En la posición "#1" del selector de operación, cierran los contactos [4,A3] de las bobinas B y C

1.2.- En la posición "FWD" del control de campo; cierran los contactos [ 8,3 y 4,7 ]

R1 debe estar en su mínimo valor con respecto al punto "X"

R2 debe estar en su mínimo valor con respecto al punto "Y"

2.- Al poner la manija en posición "START" esta cierra los contactos [ 3,A2 y 4,A1 ] se energiza el punto "Z" a través de [ 3,A2 ] alimentando la bobina E a su vez cerrando contactores E1, E2 con contactores D y G normalmente cerrados. Con esto se energizan las bobinas B y C cerrando sus contactores.

3.- Al cerrar [ 8,3 ] L1 alimenta al punto "X", como R1 es de un valor pequeño (no hay valor), L1 pasa a través de la bobina F al punto F2 del campo. Del punto "X" a R2 no hay circulación de corriente por ser R2 de un valor muy alto 300 ohms.

3.1.- Al cerrar [ 4,7 ], L2 alimenta al punto "Y", como R2 es mínima, L2 pasa al punto F1 del campo.

3.2.- Como la bobina F esta energizada cierra su contactor F

4.- Con los contactores B y C cerrados alimentamos con L1 a A1 a través de la bobina D y por el nodo o punto "W" energizamos con L1 al voltmetro y a la bobina G a través de la resistencia de 4.1 kΩ.

#### 5.- Arranque

Al mover lentamente el cursor del reóstato de arranque en sentido contrario a las manecillas del reloj, se abre el interruptor del reloj fluyendo corriente de L2 a través del banco de resistencias de arranque, al voltmetro, a la bobina de protección de sobre voltaje G, al punto "V" y A2.

Se debe verificar que la velocidad del motor se estabilice a la velocidad calculada para hacer el siguiente paso del cursor.

6.- Llegando el cursor al extremo en contra de las manecillas del reloj, eliminamos el banco de resistencias teniendo el voltaje pleno L1, L2 en el voltmetro, en G, y en armadura.

#### 7.- Control de velocidad

Al girar el cursor de R2, a mayor valor de resistencia, la corriente que circula al campo de L2, disminuye aumentando las revoluciones respecto al máximo que se obtuvo en el reloj, obtenidas en el punto 6.

#### 8.- Protecciones

8.1 Sobrecorriente.- La bobina D opera cuando existe un exceso de corriente en la armadura abriendo su contactor en el bus 2 desenergizando la bobina E de arranque general.

8.2 Sobrevoltaje.- La bobina G acciona su contactor abriéndolo cuando existe un sobrevoltaje en la armadura abriendo el bus 2 desenergizando la bobina E de arranque general.

Este caso se presenta cuando el cursor del reloj se gira rápidamente.

#### 9.- Condiciones de operación

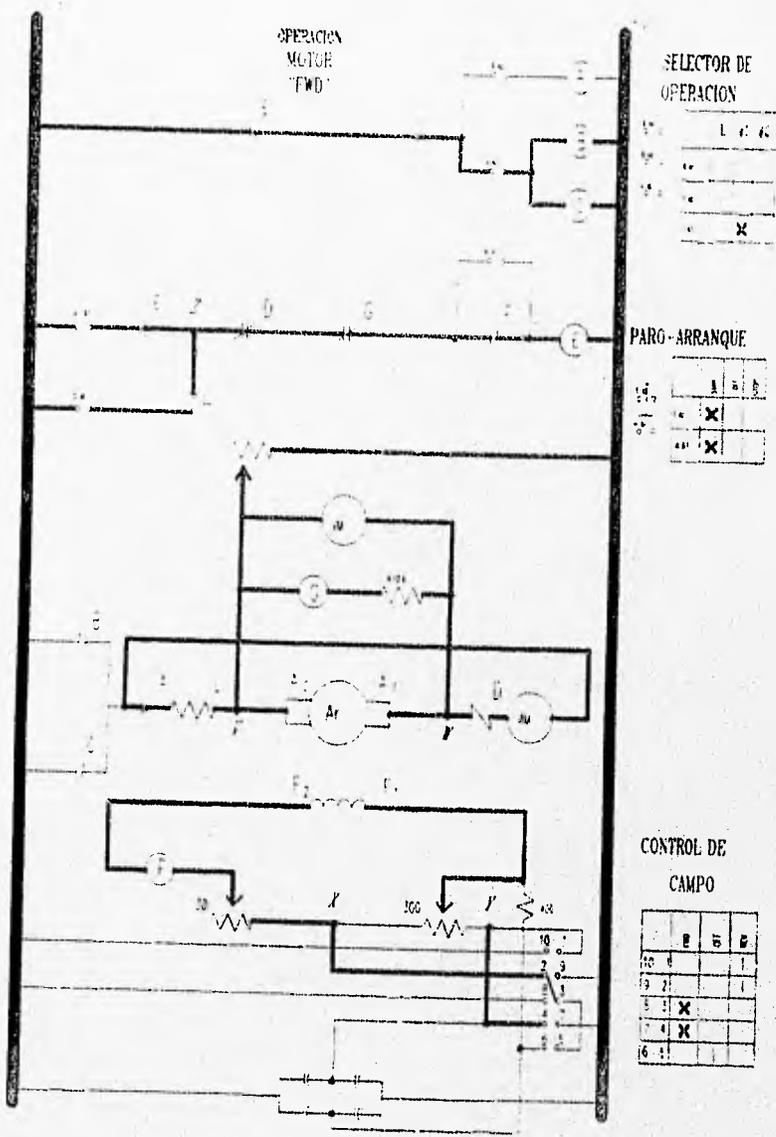
Para el arranque es necesario que el cursor del reloj se encuentre en la posición extrema en el sentido de las manecillas del reloj.

#### 10.- Paro

Regresar paulatinamente el cursor a su posición original de arranque.

11.- Con la posición del cursor indicada en el punto anterior, el selector de arranque se coloca en la posición "STOP". Con esto se desenergiza E, ocasionando que las bobinas B y C abran sus contactores. Queda desenergizado el campo.

12.- Para desenergizar el campo se pone el selector de control de campo en la posición "OFF".



SELECTOR DE OPERACION

1	2	3	4
			X

PARO-ARRANQUE

A	B
X	
X	

CONTROL DE CAMPO

10			
20			
30	X		
40	X		
50			

### 2.3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DE CONTROL DEL ELECTRODINAMÓMETRO COMO GENERADOR.

#### 1.- Arranque

1.1.- El cursor del reóstato del reloj debe estar en la posición extrema en el sentido de las manecillas del reloj.

El tablero de control del electrodinamómetro debe alimentarse con 230 V de C.C. desde el tablero principal.

1.2.- Se arranca el motor primario desde el tablero principal verificando el sentido correcto de giro del generador.

1.3.- Colocar el selector de operación en "L" (LOADING), con lo cual cierran los contactos [ 5,A2 y 6,A1 ].

1.4.- El control de campo se coloca en la posición "FWD" cerrando contactos [8,3 y 7,4], llega L2 al punto "Y" teniendo R2 en su mínimo valor, alimentando L2 en el punto F1. llega L1 al punto "X" estando R1 en su mínimo valor de resistencia, alimentando L1 al punto F2 a través de la bobina F, con esto se obtiene la máxima excitación.

1.4.1.- R1 debe estar en su mínimo valor de resistencia con respecto a "X".

R2 debe estar en su mínimo valor de resistencia con respecto a "Y".

1.5.- Con el selector de arranque en la posición de "START" cierran los contactos [3,A2 y 4,A1] energizando la bobina a cerrando su contactor A .

1.6.-Con R2 se controla el voltaje generado por el electrodinamómetro al valor deseado.

## 2.- Carga

2.1.- Para realizar la prueba al motor de 40 c.p.s. es necesario conectar las cuchillas en forma numérica ascendente hasta la que corresponde al 120 % de la potencia del motor.

2.2.- Se presenta la tabla 2.2 con el fin de demostrar las capacidades en C.P. que el generador puede probar.

2.3.- Al colocar el selector de operación en la posición "#2", cierran los contactos [ 5,A2 ].

2.3.1.- Se pone la perilla de control de campo en "FWD" cerrando contactos [ 8,3 y 7,4 ] energizando los puntos "X" y "Y" con L1 y L2 respectivamente.

2.3.2.- Se debe garantizar que la bobina F este energizada en un valor tal que cierre su contactor correspondiente, esto se logra regulando la corriente a través de R1.

2.3.3.- Se coloca la manija del selector de arranque en la posición "START", cerrando los contactos [ 3,A2 y 4,A1 ] energizando la bobina A a través del contactor E1, logrando así cerrar el contactor A.

2.4.- Después de realizada la prueba del motor se desconectan las cuchillas en orden descendente.

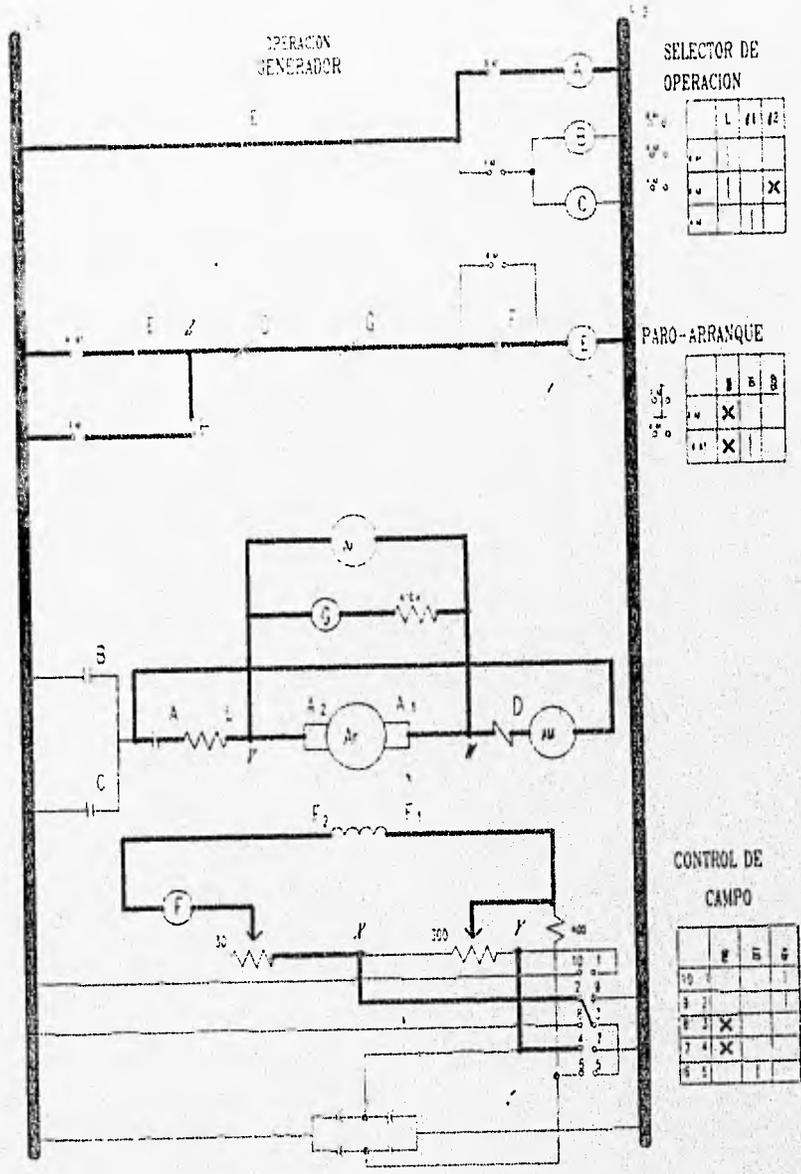
2.4.1- La manija del selector de "arranque motor-generator" se pone en "STOP" abriendo el contacto [4 A1], desenergizando la bobina E, abriendo contactores [ E1,E2 ], que a su vez desenergiza la bobina A y su contactor correspondiente.

2.4.2.- El campo se desenergiza al colocar el selector de "Control de Campo" en posición "OFF".

TABLA 2.2

RELACION CARGA CAPACIDAD DEL MOTOR A PRUEBA

CARGA ( $\Omega$ )	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)	POTENCIA (C.P.)
	$V_n / R$	$R * I^2 (W)$	$746 / W (C.P.)$
7.000	$230 / 7 = 32.85$	7553.85	10.12
3.500	$230 / 3.5 = 65.71$	15112.31	20.25
2.700	$230 / 2.7 = 85.18$	19590.20	26.26
2.230	$230 / 2.23 = 103.3$	23717.82	31.79
1.880	$230 / 1.88 = 122.34$	28138.10	37.71
1.480	$230 / 1.48 = 155.4$	35740.75	47.90
1.220	$230 / 1.22 = 188.52$	43358.54	58.12
1.110	$230 / 1.11 = 207.2$	47654.34	63.87
1.010	$230 / 1.01 = 227.72$	52374.96	70.20
0.934	$230 / 0.934 = 246.25$	56636.80	75.92



OPERACION GENERADOR

SELECTOR DE OPERACION

L1	L2		
			X

PARO-ARRANQUE

	X		
	X		

CONTROL DE CAMPO

10			
3			
3	X		
7	X		
8			

## 2.4. INSTRUCTIVO DE OPERACION DEL ELECTRODINAMOMETRO COMO MOTOR

Verificar que las conexiones sean las correctas.

El tablero de control del electrodinamómetro debe alimentarse con 230 V de C.C. desde el tablero principal.

1.- Para arrancar el motor el brazo del reóstato de reloj debe estar en su posición máxima a la izquierda en el sentido de las manecillas del reloj.

2.- Coloque el selector de operación en la posición "#1".

3.- Colocar en la posición "FWD" el selector de control de campo.

Verificar que :

R1 debe estar en su mínimo valor.

R2 debe estar en su máximo valor.

4.- Colocar el selector de arranque en la posición de "START".

5.- Para arrancar el electrodinamómetro como motor se mueve lentamente el cursor del reóstato de reloj en sentido contrario de las manecillas del reloj.

Se debe verificar que la velocidad del motor se establezca a la velocidad calculada para hacer el siguiente paso del cursor.

Se hace la prueba a las revoluciones nominales de la máquina a probar.

6.- Para un control de velocidad arriba de la nominal se emplean los reóstatos de campo R1 y R2.

7.- Para realizar el paro gradual del motor se regresa paulatinamente el cursor del reóstato de reloj a su posición original.

8.- El selector de arranque se coloca en la posición "STOP". Para desenergizar el campo se pone el selector del control de campo en la posición "OFF".

## 2.5. INSTRUCTIVO DE OPERACION DEL ELECTRODINAMOMETRO COMO GENERADOR

Verificar que el giro del motor primario sea en el sentido que indica la flecha en el electrodinamómetro.

El tablero de control del electrodinamómetro debe alimentarse con 230 V de C.C. desde el tablero principal.

1.- El cursor del reóstato de reloj debe estar en la posición extrema en el sentido de las manecillas del reloj.

2.- Se arranca el motor primario desde el tablero principal.

3.- El selector de operación se coloca en la posición L (LOADING).

4.- El control de campo se coloca en la posición "FWD".

Verificar que:

R1 debe estar en su mínimo valor de resistencia con respecto al punto "X".

R2 debe estar en su mínimo valor de resistencia con respecto al punto "Y".

5.- El selector de arranque se coloca en la posición "START", debe cerciorarse de la existencia de voltaje en el voltmetro.

6.- Las cuchillas de carga se van metiendo en forma ascendente en función de la potencia del elemento a probar.

7.- El control de voltaje generado se hace con el reóstato R2

8.- Para realizar el paro se desconectan las cuchillas en forma descendente.

9.- La manija del selector de arranque se pone en "STOP".

10.- El campo se desenergiza al colocar el selector de control de campo en la posición "OFF".

11.- Parar el motor primario desde el tablero principal.

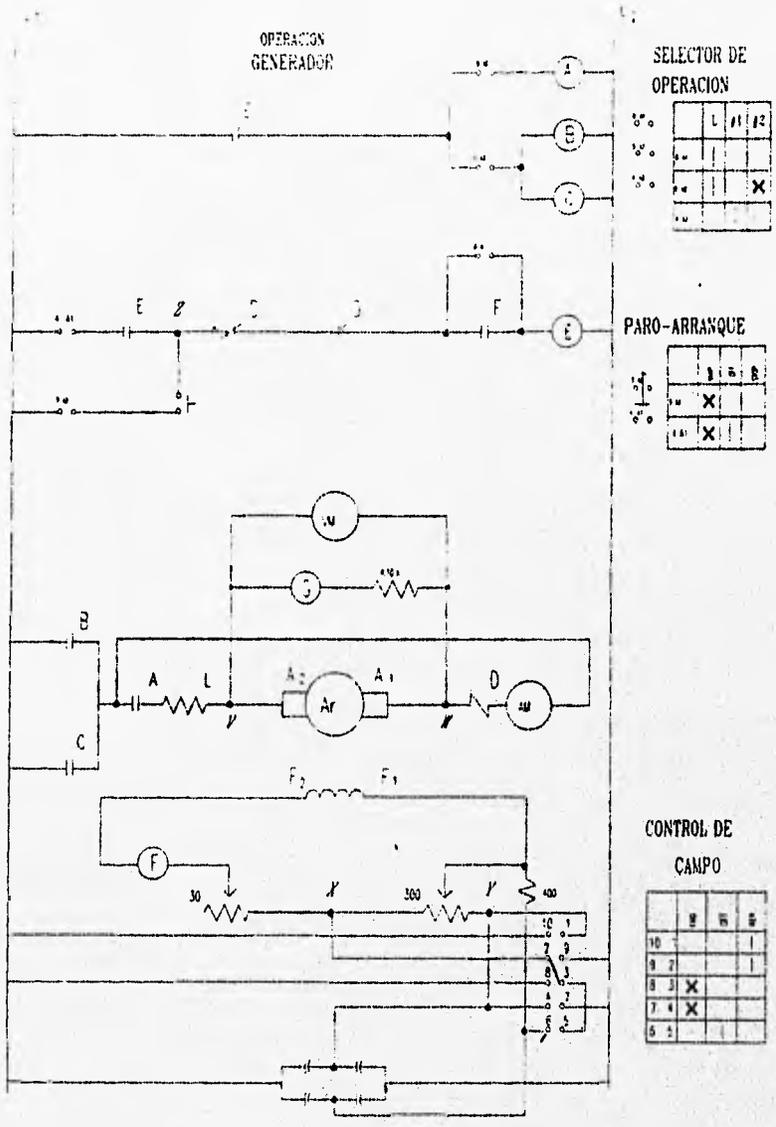
#### PRUEBA EN VACIO DEL GENERADOR

El tablero de control del electrodinamómetro debe alimentarse con 230 V de C.C. desde el tablero principal.

1.- El selector de operación se coloca en la posición "L".

2.- Se arranca el motor primario desde el tablero principal verificando el sentido de giro como lo indica la flecha del electrodinamómetro.

3.- Se coloca la manija del selector de arranque en la posición de "START".



4.- Se coloca la perilla de control de arranque en la posición "FWD"

## 2.6. BANCO DE RESISTENCIAS DEL ARRANCADOR

Se encontraba sin la conexión de resistencias por lo que se diseñaron placas de aluminio para puentear los bornes; esto fue con el fin de diseñar un arrancador de seis pasos empleando los recursos con que cuenta el laboratorio de equipo eléctrico.

Se tomaron los datos de las resistencias calculadas y desarmaron bancos de resistencias para formar un arreglo de resistencias de acuerdo al diseño obtenido.

Una vez armado este banco se procedió a conectarlo a las delgas del réostato de reloj del tablero de control. Se consideró que para la corriente que se maneja, el calibre del cable adecuado debe ser del número ocho.

A continuación se presentan los cálculos de las resistencias del arrancador del electrodinamómetro para seis pasos.

Diseño del arrancador para el electrodinamómetro 50 C.P.

Datos

$$R_c = 45.70 \Omega$$

$$R_a = 0.858 \Omega$$

$$V_n = 230 (V)$$

$$C.P. = 50$$

$$I_n = 268 A$$

$$I_c = V_n / R_c (A)$$

$$I_c = 230 / 45.70 = 5.03 (A)$$

$$I_L = P / V_n$$

$$I_L = ( 50 \times 746 ) / 230$$

Resistencia de campo

Resistencia de armadura

Voltaje nominal

Potencia base del diseño

Corriente nominal

Corriente de campo

Corriente de línea

$$\begin{aligned}
I_L &= 162.17 \text{ A} \\
I_a &= I_L - I_c \\
I_a &= 162.17 - 5.03 \\
I_a &= 157.1439 \text{ A} \\
E_n &= V_n - (I_a \times R_a) \\
E_n &= 230 - (157.1439 \times 0.858) \\
E_n &= 95.1705 \text{ V}
\end{aligned}$$

Ahora

$$n = (E / E_{nom}) \times n_{nom} ; n = n'; E = E'; E_{nom} = E; n_{nom} = n$$

Despejando E'

$$\begin{aligned}
E' &= (n' / n) E \\
E' &= (950 / 4000) (95.1705) \\
E' &= 22.6029 \text{ V} \\
E &= V_n - I_a (R_a + R_L) \\
22.6029 &= 230 - 157.14 (R_a + R_L) \\
22.6029 &= 230 - 157.14 (0.858 + R_L)
\end{aligned}$$

Despejando RL obtenemos un valor teórico de:

$$\begin{aligned}
R_L &= (230 - 134.826 - 22.6029) / 157.14 \\
R_L &= 0.461823 \text{ ohms}
\end{aligned}$$

Teniendo constante el valor de Rc, el flujo debe ser el máximo;  
y  $I_L = 162.7 \text{ A}$

Tomando en cuenta el valor teórico obtenido propusimos los siguientes valores de resistecia:

$$\begin{aligned}
R_1 &= 0.093 \\
R_2 &= 0.089 \\
R_3 &= 0.082 \\
+ R_4 &= 0.080 \\
R_5 &= 0.074 \\
R_6 &= 0.064 \\
R_T &= 0.482 \Omega
\end{aligned}$$

Tales valores fueron empleados para construir el arrancador.

$$E = 230 - 157.14 ( 0.858 + 0.482 ) = 19.43 \text{ V}$$

$$E = 230 - 157.14 ( 0.858 + 0.482 - 0.093 ) = 34.04 \text{ V}$$

$$E = 230 - 157.14 ( 0.858 + 0.482 - 0.093 - 0.089 ) = 48.031 \text{ V}$$

$$E = 60.91 \text{ V}$$

$$E = 73.48 \text{ V}$$

$$E = 85.116 \text{ V}$$

$$E = 95.173 \text{ V}$$

De las E obtenidas tenemos los siguientes datos

$$E_{nom} = 95.17 \text{ V}$$

$$n = 3600 \text{ r.p.m.}$$

donde se puede deducir la velocidad en cada paso del arrancador

$$n' = ( E' / E ) n$$

$$n' = ( 19.43 / 95.17 ) 3600 = 734.97 \text{ r.p.m.}$$

$$n' = ( 34.04 / 95.17 ) 3600 = 1287.63 \text{ r.p.m.}$$

$$n' = 1816.87 \text{ r.p.m.}$$

$$n' = 2304.04 \text{ r.p.m.}$$

$$n' = 2779.53 \text{ r.p.m.}$$

$$n' = 3219.68 \text{ r.p.m.}$$

$$n' = 3600.11 \text{ r.p.m.}$$

## 2.7. REOSTATOS DE CAMPO.

Como pudimos observar los reóstatos no se encontraban con un mantenimiento adecuado por lo que se tuvieron que desarmar para limpiarlos y para hacer adaptaciones de tornillos y tuercas que ya estaban deterioradas. Se nivelaron y ajustaron los ejes de los reóstatos. se verificaron los valores dándonos como resultado valores de 30 y 300 ohms. Se reparó un bome de un reóstato haciendo la conexión debida hacia la línea correspondiente, como se muestra en los diagramas de escalera obtenidos.

## 2.8. RESISTENCIAS DE CARGA.

Para el punto II lo que se hizo fué desmontar la banca de carga, e investigar el material de las resistencias, y poder reemplazarlas por cinta de Nicromel 6.3 x 1.020 1/4 X 0.040 por sus correspondientes valores ohmicos, tales cintas fueron soldadas con el método de punto que era la única forma de que tal unión resistiera la disipación de potencia a que iban a ser sometidas, los trabajos de soldadura fueron realizados en el taller de manufactura avanzada de la Facultad de Ingeniería, una vez realizado esto, la banca de resistencias fue montada sobre el tablero de control del electrodinamómetro.

## 2.9. BOBINA DE PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE.

La bobina D de protección contra sobrecorriente fue desmontada para verificar su mecanismo Reset Hand Manual el cual se encontraba inoperante, se corrigió el error se procedió a montarlo.

## 2.10. SELECTORES DE OPERACION.

El tablero de control del electrodinamómetro cuenta con una serie de selectores los cuales en un principio desconocíamos su funcionamiento dado que no se contaba con un diagrama explícito de ellos.

Lo que se hizo fue limpiar las áreas de contacto de los tres selectores para posteriormente obtener su diagrama de funcionamiento y la interconexión con los demás dispositivos del tablero de control.

El funcionamiento de los selectores se explica con mayor detalle en la sección correspondiente a las pruebas de operación del tablero. A los selectores de operación se les hicieron las operaciones de mantenimiento requeridos, y se procedió a conectarlos al tablero de control.



## 2.11. INSTRUMENTOS DE MEDICION.

### VOLTIMETRO ENCARGADO DE SENSAR EL VOLTAJE DE ARMADURA.

Este se encontraba desajustado mecánicamente a tal grado que con el equipo que contábamos fué imposible su reparación, por lo que fué reemplazado y adaptado al tablero de control, con las mismas características eléctricas para su manejo.

### TACOMETRO A 50 C.P.S

Este instrumento de medición fué sustituido por uno de los que cuenta el laboratorio de equipo eléctrico, ya que este tipo de instrumentos dejó de utilizarse por el cambio de frecuencia en que se genera la energía eléctrica.

## CAPITULO 3

## CAPITULO 3

### 3. PRUEBAS A UN MOTOR DE INDUCCION DE 40 C.P.

#### LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

#### PRUEBAS PARA MOTORES DE INDUCCION

#### DE C.A SEGUN NOM-J-075

##### 3.1. INSPECCION VISUAL

**OBJETIVO.** Verificar las dimensiones de montaje y acoplamiento, recubrimiento, acabados y datos de placa.

**EQUIPO.** Flexómetro  
Vernier

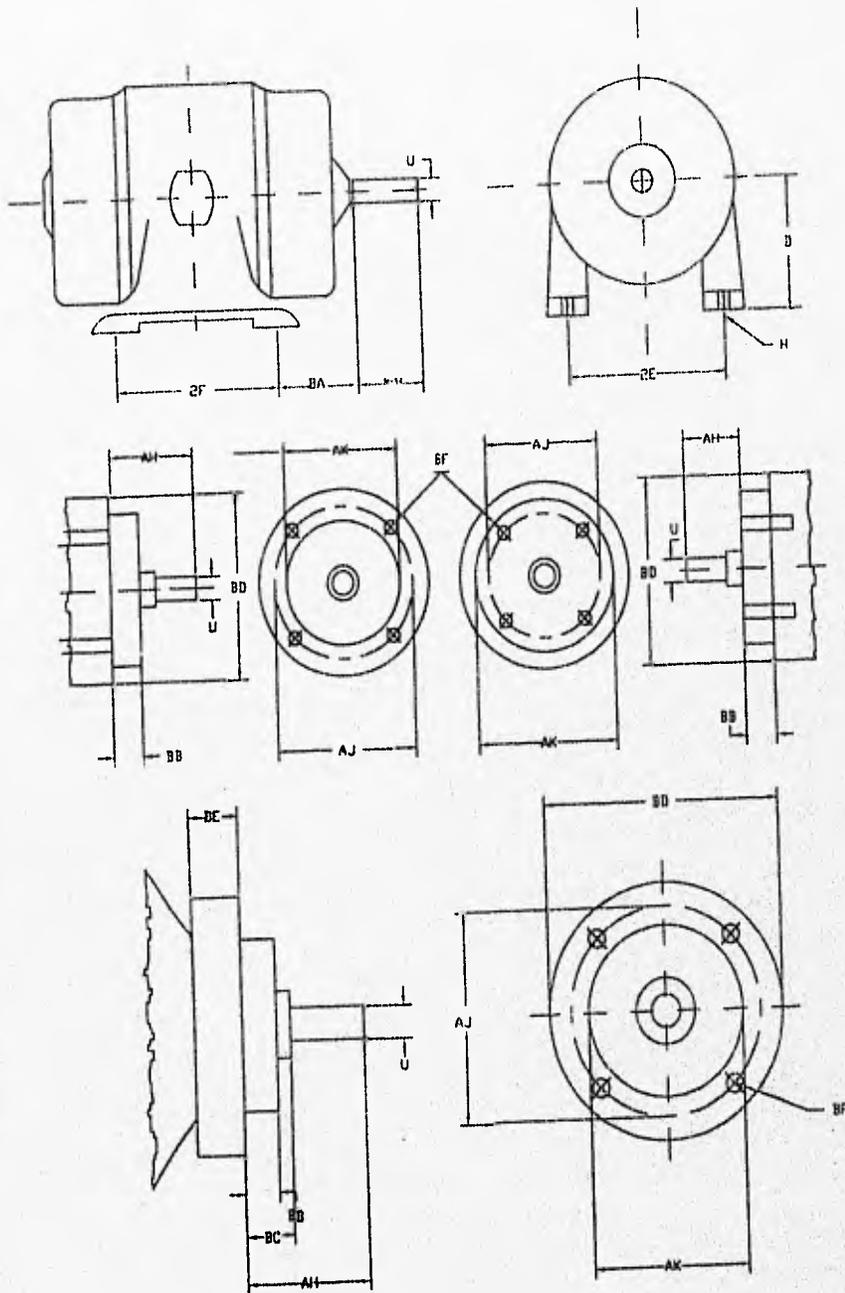
## INTRODUCCION

Esta es una sencilla , pero una de las mas importantes pruebas que se realiza a motores , ya que para realizarla solo se requiere de un flexómetro y Vernier.

El motor debe cumplir con ciertas dimensiones en sus partes por la seguridad que requiere el personal que lo maneja y para protección del mismo equipo , ya que durante su operación, el motor tiene vibraciones y tiende a moverse por el par que ejerce sobre la carga y más aún en condiciones adversas como una sobrecarga o incluso una falla interna, puede dañarse y hasta destruirse poniendo en peligro también al personal que lo maneja.

También es importante verificar el recubrimiento y los acabados del motor para determinar si el motor puede ser utilizado bajo ciertas condiciones del medio que lo rodea como salpicaduras , lluvia, humedad o un lugar peligroso como en una atmósfera explosiva. Por último es indispensable que el motor cuente con una placa de datos para que se puedan conocer de antemano sus principales características de operación como son voltaje nominal, potencia de salida, velocidad , corriente a plena carga , frecuencia, etc..

Todos estos requerimientos se especifican en las normas para motores eléctricos y son los mínimos con los que debe contar un motor , para su fabricación, venta y distribución.



## DESARROLLO

### VERIFICACION DE LAS DIMENSIONES DE MONTAJE Y ACOPLAMIENTO

Las dimensiones adelante mencionadas tendrán que ser medidas de la forma mas exacta posible con el equipo señalado, para posteriormente poder especificar el tipo de amarrón (NEMA) del motor a prueba, checando estos datos con los marcados en el artículo 5.3 de las NOM-J-075.

#### PARAMETROS UTILIZADOS

- H Diámetro de los barrenos de la base
- 2E Distancia entre los centros de barrenos de la base  
(Viendo al motor de frente a la flecha)
- N-W Longitud de flecha útil
- 2F Distancia entre los centros de barrenos de la base  
(Viendo al motor por un costado)
- U Diámetro exterior de la flecha
- BO Diámetro exterior de la brida
- AK Diámetro de la guía para montaje de la brida
- AJ Diámetro de la circunferencia para la localización de los  
centros de barrenos
- BC Distancia entre la superficie de montaje de la cara brida o  
base de la máquina al hombro de la flecha
- AH Longitud de la punta de la flecha a la superficie de apoyo de la  
brida
- BA Distancia del hombro de la flecha al centro del barreno de  
anclaje más próximo en la base
- BB Profundidad de la guía para montaje de la brida
- BE Espesor de la brida
- AA Diámetro de salida de caja de conexiones
- D Altura del centro de la flecha a la base del motor
- XH Número de barrenos

## RECUBRIMIENTOS ACABADOS Y DATOS DE PLACA

### DATOS CARACTERISTICOS DE PLACA

La siguiente información o datos son los mismos que debe llevar la placa de características de cualquier motor de corriente alterna tipo jaula de ardilla ,monofásico o trifásico, en forma indeleble y en lugar visible como lo especifica la sección II.6.I. de la NOM-J-075 . Para conocer las características del motor a probar y determinar a que clasificación pertenece de acuerdo con su protección mecánica y sistema de enfriamiento ( Sección II.2.5) y el tipo de armazón con el que cuenta ( sección II.2.7).

## REPORTE.

### DIMENSIONES OBTENIDAS

H	16.5 (mm)
2E	355.00 (mm)
N-W	126.00 (mm)
2F	25.00 (mm)
U	45.00 (mm)
BD	285.8 (mm)
AK	163.9 (mm)
BC	140.0 (mm)
AH	-----
BA	233.4 (mm)
BB	-----
BE	229.0 (mm)
AA	139.0 (mm)
D	220.0 (mm)
XH	4 barrenos

### DATOS DE PLACA

-Marca registrada del fabricante	Reliance (Electric & Eng. Co)
-Modelo (Identificación del fabricante)	X311552A1-AQ
-Tipo de armazón	X364US
-Tipo de protección mecánica y sistema de enfriamiento	Enfriado por ventilación
-Potencia en CP y/o KW	40 CP
-Tensión nominal en volts	208 220/440
-Corriente a plena carga en amperes	108
-Frecuencia en Hertz	60
-Monofásico o trifásico	Trifásico
-Diagrama de conexiones de terminales	
-Letra clave de KVA a rotor bloqueado por KW o por CP	P
-Letra de diseño	A
-La eficiencia nominal a plena carga en por ciento	

-Factor de servicio y corriente a factor de servicio**	Continuo
-Tipo de servicio	Continuo
-Clase de aislamiento**	H
-Velocidad a plena carga en RPM	3560
-Temperatura de ambiente máxima	55
-Tipo de rodamientos	
-Características de lubricación **	
-Símbolo de autorización para la fabricación, venta y uso NOM	
-La leyenda "Hecho en México" o indicación del país de origen U.S.A	

\*\* Para motores fraccionarios estos datos pueden omitirse, opcional en placa adicional.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

PRUEBAS PARA MOTORES DE INDUCCION  
DE C.A. SEGUN NOM-JO75

3.2. PRUEBA EN VACIO

**OBJETIVO.** Verificar las características Eléctricas y Mecánicas sin carga del motor a probar

**EQUIPO:** Transformador de corriente de relación 800/5 tipo ventana  
Amperímetro analógico de C.A  
Wáttmetro  
Voltímetro de C.A  
Tacómetro

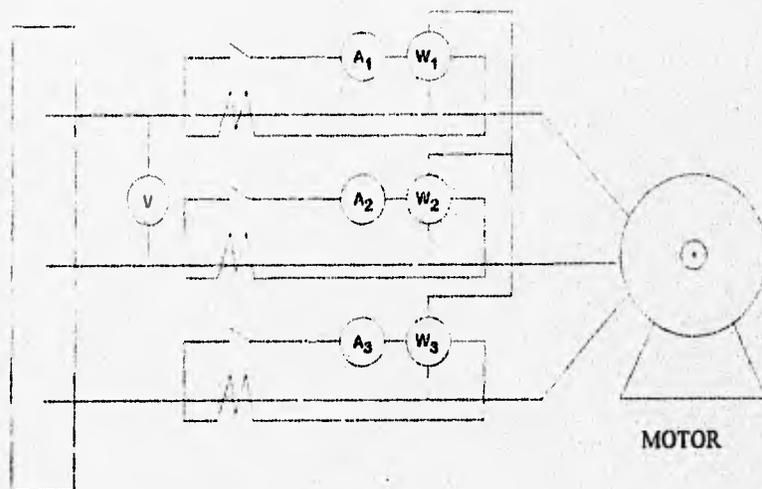
## INTRODUCCION

Esta prueba tiene como finalidad medir y registrar los principales parámetros de funcionamiento del motor en vacío (con rotor libre) lo cual nos servirá para posteriores pruebas y de la cual podemos obtener resultados interesantes como son la determinación de pérdidas mecánicas, eléctricas y magnéticas. Midiendo la potencia mínima consumida por el motor para su voltaje nominal, se pueden segregar las pérdidas analíticamente.

Para la medición de las potencias se conectaron tres wattmetros iguales en estrella y se dejó el neutro flotante ya que no disponíamos del neutro de la máquina

## DIAGRAMA

REGULADOR  
DE VOLTAJE



## DESARROLLO

I) Para motores de más de 500 CP medir la resistencia entre las terminales del motor por medio de un óhmetro, y se anotaron los tres valores.

Estas mediciones deben realizarse antes de energizar el motor. Los valores deben estar balanceados en  $\pm 5\%$  del valor promedio de los tres.

II) Se procedió a desacoplar la brida entre el electrodinamómetro y el motor a prueba.

Debido a que la corriente de arranque del motor a prueba supera los 600 amperes, se tuvieron que utilizar transformadores de corriente (TC) para poder realizar las mediciones correspondientes de corriente y potencia por fase.

La relación de transformación de corriente que se utilizó fué de 200/5, que equivale a 4 vueltas del conductor a través de la ventana del TC.

III) Se arrancó el motor sin carga a frecuencia y tensión nominales, se midieron y se registraron los siguientes parámetros :

- a) Promedio de corriente de línea (A)
- b) Promedio de voltaje aplicado (V)
- c) Potencia de entrada sin carga (KW)
- d) Velocidad en (RPM)

## CALCULOS

$$I_1 = 0.8 \text{ (A)}$$

$$I_2 = 0.82 \text{ (A)}$$

$$I_3 = 0.78 \text{ (A)}$$

$$I_{\text{prom}} = 0.8 \text{ (A)}$$

$$P_1 = 52 \text{ (W)}$$

$$P_2 = 51 \text{ (W)}$$

$$P_3 = 53 \text{ (W)}$$

$$P_{\text{PROM}} = 52 \text{ (W)}$$

$$RTC = 200/5 = 40$$

$$\text{Cte. Wáttnero} = K_1 = 2$$

$$I_o = I_{\text{prom}} (RTC)$$

$$I_o = 0.8 \times 40 = 32 \text{ (A)}$$

$$P_o = P_{\text{prom}} (K_1) (RTC)$$

$$P_o = 52 \times 2 \times 40 = 4.17 \text{ (KW)}$$

## REPORTE

### LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

Nombre de la prueba. Prueba en vacio

Responsables: Ing. Hugo Grajales Román  
Joaquin Chavez Cucue  
Hugo B. Luna Reyes  
Emilio Sánchez Pérez

Cliente: Facultad de Ingeniería

#### Datos de la placa del motor a prueba:

Realiance (Electric & Eng. Co)	Modelo: X311552A1-AQ
Armazón : X364US	Potencia : 40 c.p
Tensión Nom. 208 220/440	Corriente a plena Carga: 108 A
Frecuencia : 60 HZ	Fases: 3
Letra Clave: P	Diseño : A
Factor de servicio : Continuo	Tipo de servicio : Continuo
Clase : H	Velocidad : 3560 RPM
Temperatura ambiente : 53 ° C	Hecho en : U. S. A

Lecturas a los 8 minutos

Corriente de arranque : 650 (A)

Temperatura ambiente : 23°

Temperatura del Motor: 27°

$V_o = 220$  (V)

$N = 3510$  (R.P.M.)

$I_o = 32$  (A)

$W_o = 4.16$  (KW)

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

PRUEBAS PARA MOTORES DE INDUCCION.

DE C.A. SEGUN NOM-I-075

### 3.3. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

**OBJETIVO.** Comprobar que el valor de resistencia de aislamiento del motor bajo prueba, cumpla con especificaciones de norma.

**EQUIPO.** Megger de 500 (V)  
Cables de conexión

## INTRODUCCION

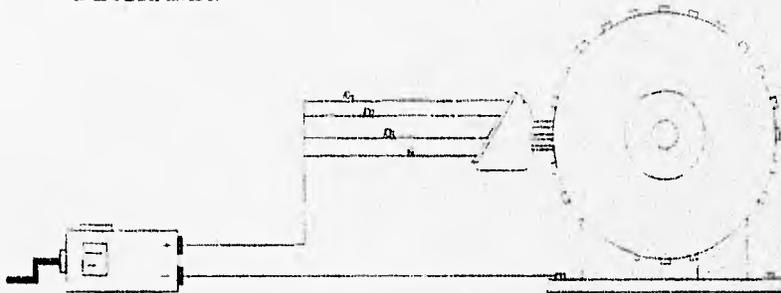
Esta prueba es para verificar el valor de resistencia del aislamiento entre el embobinado y el conjunto núcleo armazón.

Consiste en aplicar una tensión elevada entre ambos lados del aislamiento, observando el valor de resistencia que indica el mismo aparato de medición (megger).

Es muy importante comprobar la resistencia de los aislamientos del motor, ya que este puede estar defectuoso de fabricación o puede estar dañado por el uso, el sobrecalentamiento excesivo del motor debido principalmente a sobrecargas continuas, y provoca que el aislamiento de los devanados se vaya deteriorando y esto puede ser la causa de una falla interna del motor.

Esta prueba se realiza principalmente por los fabricantes de motores, es decir, la prueba se aplica generalmente a motores nuevos, pero en nuestro caso, en el Laboratorio de Equipo Eléctrico de la Facultad de Ingeniería aplicamos la prueba a un motor ya utilizado para realizar prácticas de laboratorio por los alumnos de la Facultad.

### DIAGRAMA.



Conexión del megger

## DESARROLLO

El motor tiene que ser nuevo y completo en todas sus partes, el procedimiento de la prueba es el siguiente:

- a) Se unen entre si todas las terminales del motor, y se unen al borne positivo de un óhmetro de magneto con alimentación de 500 (V) o mas.
- b) Se conecta el borne negativo al cuerpo del motor asegurándose que exista una buena conexión a tierra.
- c) Activar accesorios preventivos de seguridad.
- d) Se aplica el potencial del óhmetro de magneto al devanado y se toman las lecturas de resistencia.
- e) Como resultado se reportará el valor leído, que no debe ser menor al establecido en II.3.1.26. o III.3.1.13.
- f) Terminada la prueba deben descargarse a tierra los devanados.

## REPORTE

### LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

Nombre de la prueba. Resistencia de Aislamiento

Responsables: Ing. Hugo Grajales Román  
Joaquín Chávez Cucue  
Hugo B. Luna Reyes  
Emilio Sánchez Pérez

Cliente: Facultad de Ingeniería

#### Datos de la placa del motor a prueba:

Realiance (Electric & Eng. Co)	Modelo: X311552A1-AQ
Armazón : X364US	Potencia : 40 c.p
Tensión Nom. 208 220/440	Corriente a plena Carga: 108 A
Frecuencia : 60 HZ	Fases: 3
Letra Clave: P	Diseño : A
Factor de servicio : Continuo	Tipo de servicio : Continuo
Clase : H	Velocidad : 3560 RPM
Temperatura ambiente : 53 ° C	Hecho en : U. S. A

Para tomar las lecturas correspondientes ,se aplicó potencial del óhmetro de magneto durante 60 segundos aproximadamente, para estabilizar las mediciones.

#### LECTURAS

$R_1 = 500 \text{ (MW)}$   
 $R_2 = 300 \text{ (MW)}$   
 $R_3 = 1000 \text{ (MW)}$

$R_4 = 1000 \text{ (MW)}$   
 $R_{prom} = 700 \text{ (MW)}$

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

PRUEBAS PARA MOTORES DE INDUCCION

DE C.A. SEGUN NOM-J-075

3.4. DETERMINACION DEL PAR Y LA CORRIENTE

DE ARRANQUE

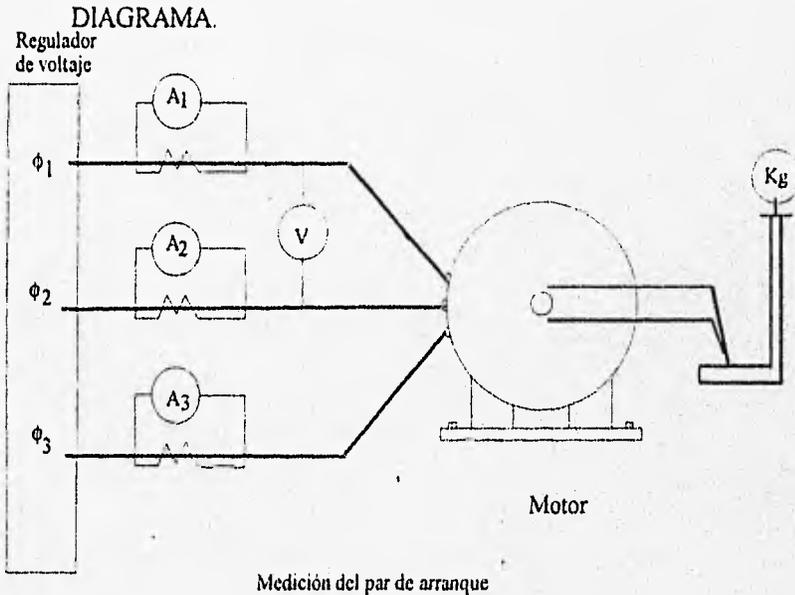
**OBJETIVO.** Obtención de los parámetros de arranque del motor utilizando el método directo

**EQUIPO.** Báscula Eléctrica  
3 Amperímetros de C.A  
1 Voltímetro de C.A  
1 Flexómetro  
3 Transformadores de corriente tipo ventana 800/5  
1 Regulador de voltaje

## INTRODUCCION

Los parámetros mas importantes que se deben tomar en cuenta para la instalación de un motor , es la corriente de arranque , ya que esta es aproximadamente de 6 ó 7 veces su valor nominal. Por lo que se debe prever que los conductores que alimentan al motor sean de suficiente tamaño para que no se sobrecalienten y se pueda dañar su aislamiento. También es muy importante conocer este parámetro para ajustar los dispositivos de protección del mismo motor y así evitar que se disparen innecesariamente durante el arranque pero que si operen con una sobrecarga o un cortocircuito.

El resultado obtenido de este par de arranque sirve para localizar un punto en la curva de PAR-VELOCIDAD, que es de importancia para entender el comportamiento de el motor bajo prueba y de los motores en general.



## DESARROLLO

El método directo consiste en la medición de los parámetros de arranque del motor bajo el siguiente procedimiento:

a) Se bloquea el motor por medio de un brazo de palanca en posición horizontal, con su extremo libre descansando en forma adecuada sobre la plataforma de una báscula.

b) Se aplica la tensión y la frecuencia nominales, verificándose por medio de un voltmetro y frecuencímetro.

c) Se toma la fuerza en la escala de la báscula.

d) Simultáneamente se obtiene la lectura de corriente de fase y se registra como corriente de arranque.

e) La prueba no deberá durar mas de 5 segundos.

f) Se calcula el valor de Par de arranque de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$T_a = L \times P$$

DONDE:

$T_a$  = Par de arranque (Kgf x m)

$P$  = Lectura de fuerza en la báscula (Kgf)

$L$  = Longitud del brazo (m)

## REPORTE

### LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

Nombre de la prueba. Determinación del Par y Corriente al Arranque

Responsables: Ing. Hugo Grajales Román  
Joaquín Chávez Cincue  
Hugo B. Luna Reyes  
Emilio Sánchez Pérez

Cliente: Facultad de Ingeniería

#### Datos de la placa del motor a prueba:

Realiance (Electric & Eng. Co)	Modelo: X311552A1-AQ
Armazón : X364US	Potencia : 40 c.p
Tensión Nom. 208 220/440	Corriente a plena Carga: 108 A
Frecuencia : 60 HZ	Fases: 3
Letra Clave: P	Diseño : A
Factor de servicio : Continuo	Tipo de servicio : Continuo
Clase : H	Velocidad : 3560 RPM
Temperatura ambiente : 53 ° C	Hecho en : U. S. A

#### LECTURAS:

$$V = 220 \text{ (V)}$$

$$F = 60 \text{ (Hz)}$$

$$I_1 = 12.0 \text{ (A)}$$

$$I_2 = 12.0 \text{ (A)}$$

$$I_3 = 11.8 \text{ (A)}$$

$$L = 0.46 \text{ (m)}$$

$$P = 23.24 \text{ (kgf)}$$

#### CALCULOS:

$$I_{\text{prom}} = (I_1 + I_2 + I_3)/3$$

$$I_{\text{prom}} = 11.933 \text{ (A)}$$

$$I_a = RTC ( I_{\text{prom}} )$$

$$I_a = 40 ( 11.933 )$$

$$I_a = 477.32 \text{ ( A )}$$

$$T_a = L \times P$$

$$T_a = 0.46 \times 23.24$$

$$T_a = 10.69 \text{ (kgf m)}$$

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

PRUEBAS PARA MOTORES DE INDUCCION  
DE C.A. SEGUN NOM-J-075

3.5. DETERMINACION DE PAR MAXIMO

OBJETIVO Determinación del par máximo del motor.

EQUIPO: 3 Amperímetros de C.A.  
1 Voltmetro de C.D.  
1 Banco de resistencias  
1 Dinamómetro de C.D.  
3 Transformadores de Corriente  
3 Transformadores de Potencial  
1 Tacómetro

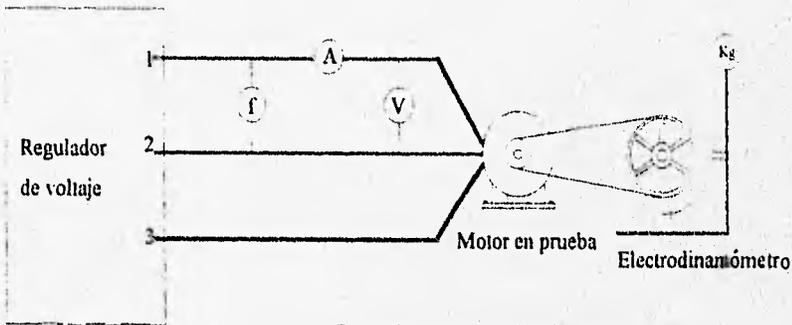
## INTRODUCCION

La importancia de conocer el par máximo de un motor es que nos permite saber la carga que le podemos aplicar a la máquina a probar sin sobrecargarlo, o también si es adecuado para determinada carga o si es necesario emplear un motor de mas capacidad.

Las normas establecen los parámetros necesarios para par máximo para diferentes diseños.

Para establecer este parámetro es necesario acoplar el motor a un electrodinamómetro y sobrecargar el motor por lo que la prueba debe ser lo mas breve posible, tomando lecturas de velocidad, par y corriente para diferentes condiciones de carga en puntos cercanos a la carga máxima.

### DIAGRAMA.



Conexiones y acoplamiento

## DESARROLLO

La prueba se realiza según norma a motores cuya capacidad sea menor o igual a 500 C.P.

El procedimiento es el siguiente:

I) El motor debe arrancarse sin carga acoplado al dinamómetro a tensión y frecuencia nominales.

II) Se suministra carga, incrementándola a intervalos no mayores a 25% de la carga nominal.

III) Se toman las lecturas de velocidad y par de las diferentes cargas. En el momento en que el par medido corresponde al 90% del par máximo supuesto el número de lecturas deberá incrementarse hasta donde sea posible.

IV) El par máximo es el correspondiente a la lectura de la báscula en el instante en que la velocidad decrece súbitamente, y la corriente aumenta sin control.

## REPORTE

### LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

Nombre de la prueba.                      Obtención del Par Máximo

Responsables:                                Ing. Hugo Grajales Román  
    Joaquín Chávez Cucué  
    Hugo B. Luna Reyes  
    Emilio Sánchez Pérez

Cliente:    Facultad de Ingeniería

#### Datos de la placa del motor a prueba:

Realiance (Electric & Eng. Co)	Modelo: X311552A1-AQ
Armazón : X364US	Potencia : 40 c.p
Tensión Nom. 208 220/440	Corriente a plena Carga: 108 A
Frecuencia : 60 HZ	Fases: 3
Letra Clave: P	Diseño : A
Factor de servicio : Continuo	Tipo de servicio : Continuo
Clase : H	Velocidad : 3560 RPM
Temperatura ambiente : 53 ° C	Hecho en : U. S. A

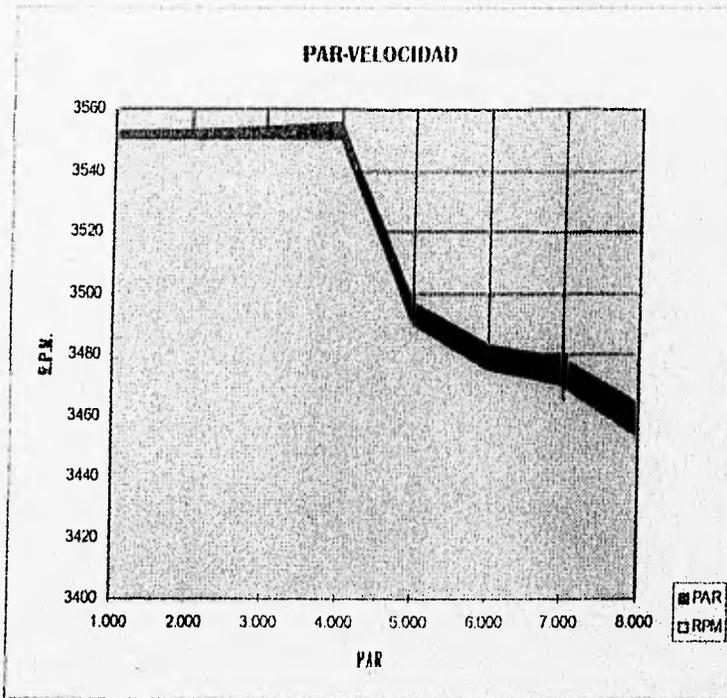
Par de Arranque = 10.69 kgf m

Corriente de arranque = 477.32 A

Brazo de Palanca = 0.46 m

## LECTURAS

RPM	I	F	T
3550	45	5.2	2.392
3550	50	7.2	3.312
3550	65	9.2	4.230
3550	85	11.8	5.420
3490	105	15.0	6.911
3475	130	17.3	7.950
3470	140	18.2	8.372



FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

PRUEBAS PARA MOTORES DE INDUCCION

DE C.A. SEGUN NOM-J-075

### 3.6. POTENCIA NOMINAL Y CORRIENTE A PLENA CARGA

**OBJETIVO:** Determinar la potencia nominal y la corriente a plena carga del motor bajo prueba.

**EQUIPO:** 3 Amperímetros de C.A.  
3 Transformadores de Corriente tipo ventana  
3 Transformadores de Potencial  
1 Tacómetro  
3 Wáttmetros

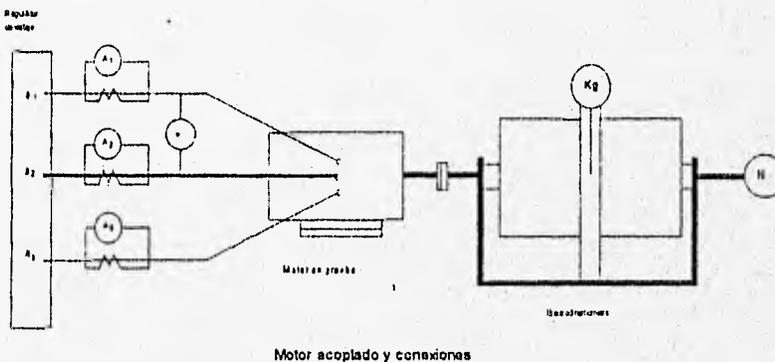
## INTRODUCCION

En esta prueba se pueden obtener resultados importantes para la construcción de la curva par-velocidad que nos ayuda a entender el funcionamiento del motor.

Esta prueba se aplica a prototipos de los fabricantes de motores, para conocer la potencia que está entregando en la flecha y la corriente que demanda el motor a plena carga.

La potencia nominal de un motor es la potencia que puede entregar el motor en su flecha, bajo características de tensión, frecuencia, velocidad, corriente y temperatura nominales, de acuerdo con los datos especificados en la placa. El par a plena carga de un motor es el necesario para producir la potencia nominal a su velocidad especificada en la placa

## DIAGRAMA.



## DESARROLLO

A continuación se determinará los siguientes parámetros:

I) Promedio de corrientes de línea [ A ]

II) Velocidad [ RPM ]

III) Par [ kgfm ]

IV) Potencia de salida [ kW ]

Consideremos que para obtener la potencia de salida utilizaremos la siguiente expresión:

$$P_{sal} = \frac{(T)(V)}{K_p}$$

donde:

T = Par determinado en la prueba de Par y Corriente de Arranque [ kgfm ]

V = Velocidad obtenida en la prueba a plena carga [RPM]

$K_p$  = Constante del electrodinamómetro 974; si el par está dado en [ kgfm ]

## REPORTE

### LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

Nombre de la prueba.	Potencia Nominal y Corriente a plena carga
Responsables:	Ing. Hugo Grajales Román Joaquín Chávez Cucué Hugo B. Luna Reyes Emilio Sánchez Pérez
Cliente:	Facultad de Ingeniería

#### Datos de la placa del motor a prueba:

Realiance (Electric & Eng. Co)	Modelo: X311552A1-AQ
Amazón : X364US	Potencia : 40 c.p
Tensión Nom. 208 220/440	Corriente a plena Carga: 108 A
Frecuencia : 60 HZ	Fases: 3
Letra Clave: P	Diseño : A
Factor de servicio : Continuo	Tipo de servicio : Continuo
Clase : H	Velocidad : 3560 RPM
Temperatura ambiente : 53 °C	Hecho en : U. S. A

#### Lecturas

$I_1 = 85$	$L = 0.46 \text{ m ( Brazo de Palanca )}$
$I_2 = 84$	$V = 3500 \text{ [ RPM ]}$
$I_3 = 84.5$	$F = 17.3 \text{ kgf m}$

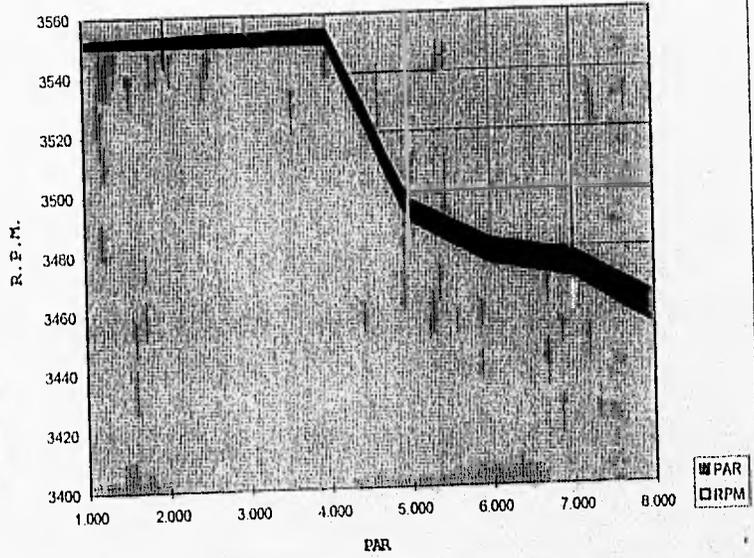
#### CALCULOS

$$I_{\text{prom}} = ( I_1 + I_2 + I_3 ) / 3 = ( 85 + 84 + 84.5 ) / 3 = 84.5 \text{ ( A )}$$

$$T = F X L = 17.3 \times 0.46 = 7.95 \text{ kgf m}$$

$$P_{\text{sal}} = ( T X V ) / K_p = ( 7.95 \times 3500 ) / 974 = 28.59 \text{ kW}$$

### PAR-VELOCIDAD



## CAPITULO 4

## CAPITULO 4

### 4. COMPARACION DE RESULTADOS CON LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS N.O.M.

Las pruebas realizadas en nuestro trabajo de tesis a un motor de inducción con la ayuda del equipo adaptado y la respectiva comparación de los resultados arrojados con Las Normas Oficiales Mexicanas comprenden:

- 1.- Inspección Visual
- 2.- Prueba en Vacío
- 3.- Resistencia de Aislamiento
- 4.- Determinación del Par y Corriente de Arranque
- 5.- Determinación del Par Máximo
- 6.- Potencia Nominal y Corriente a Plena Carga

Los datos que presenta en la placa el motor sometido a prueba comprenden:

Datos de la placa del motor a prueba:

Realiance (Electric & Eng. Co)	Modelo: X311552A1-AQ
Armazón : X364US	Potencia : 40 c.p
Tensión Nom. 208 220/440	Corriente a plena Carga: 108 A
Frecuencia : 60 HZ	Fases: 3
Letra Clave: P	Diseño : A
Factor de servicio : Continuo	Tipo de servicio : Continuo
Clase : H	Velocidad : 3560 RPM
Temperatura ambiente : 53 ° C	Hecho en : U. S. A

#### 4.1. INSPECCION VISUAL

La prueba tiene por objeto establecer las características y métodos que se aplican a motores desde 0.062 W en adelante.

Observamos que en la norma se establecen los tipos de motores que existen, y en nuestro caso el motor sometido a prueba pertenece a la clase A, ya que es un motor trifásico, que soporta la tensión nominal durante el arranque y desarrolla el par de arranque que se especifica en la siguiente tabla.

TABLA 4. Valores mínimos de par de arranque para motores trifásicos diseños "A" y "B", 60 Hz, en porcentaje del par a plena carga.

Potencia (kW)	Potencia (CPI)	(RPM)						
		3600	1800	1200	900	720	600	514
	1/4	190	275	190	170	170	...	...
0.187	1/3	190	275	190	170	170	...	...
0.249	1/2	190	275	190	140	140	115	110
0.373	3/4	180	275	175	135	135	115	110
0.500	1	100	275	170	135	135	115	110
0.746	1 1/2	175	250	165	130	130	115	110
1.119	2	170	235	160	130	125	115	110
1.492	3	160	215	155	130	125	115	110
2.238	5	150	186	150	130	125	115	110
3.73	7 1/2	140	175	150	125	120	115	110
5.60	10	135	165	150	125	120	115	110
7.46	15	130	160	140	125	120	115	110
11.19	20	130	150	135	125	120	115	110
14.22	25	130	150	135	125	120	115	110
19.05	30	130	150	135	125	120	115	110
22.38	40	125	140	135	125	120	115	110
29.84	50	120	140	135	125	120	115	110
37.30	60	120	140	135	125	120	115	110
44.76	75	105	140	135	125	120	115	110
55.95	100	105	125	125	125	120	115	110
74.60	125	100	110	125	120	115	115	110
93.25	150	100	110	120	120	115	115	...
111.90	200	100	100	120	120	115	...	...
149.20	250	70	80	100	100	...	...	...
186.50	300	70	80	100	...	...	...	...
223.80	350	70	80	100	...	...	...	...
261.10	400	70	80	...	...	...	...	...
298.40	450	70	80	...	...	...	...	...
335.70	500	70	80	...	...	...	...	...
373.00								

En cuanto a los valores de corriente de arranque máximas permisibles, para motores de velocidad constante alimentados con una tensión de 220 V y a una frecuencia de 60 Hz, la norma establece para diferentes diseños lo siguiente:

TABLA 7. Valores máximos de la corriente de arranque (A), a 220 volts, y 60 Hz.

Capacidad (kW)	Capacidad (CP)	Corriente (A)	Diseño		
0.187	1/4	15	B	D	
0.249	1/3	17	B	D	
0.373	1/2	21	B	D	
0.560	3/4	26	B	D	
0.746	1	31	B	D	
1.119	1 1/2	42	B	D	
1.492	2	52	B	D	
2.238	3	67	B	C	D
3.73	5	96	B	C	D
5.60	7 1/2	133	B	C	D
7.46	10	169	B	C	D
11.19	15	243	B	C	D
14.92	20	303	B	C	D
18.65	25	382	B	C	D
22.38	30	455	B	C	D
29.84	40	606	B	C	D
37.30	50	758	B	C	D
44.76	60	909	B	C	D
55.95	75	1134	B	C	D
74.60	100	1516	B	C	D
93.25	125	1897	B	C	D
111.90	150	2269	B	C	D
149.20	200	3032	B	C	
186.50	250	3816	B		
223.80	300	4600	B		
261.1	350	5332	B		
298.4	400	6064	B		
335.7	450	6795	B		
373.0	500	7579	B		

1. Para diseño "A" los valores máximos de la corriente de arranque, exceden a los estipulados en esta tabla.

Y teniendo un deslizamiento a plena carga menor o igual a 5%.

También de que es un motor de uso general ya que cumple con características de esta norma.

De acuerdo con su protección mecánica y sistema de enfriamiento es un motor totalmente cerrado, enfriado por ventilación, ya que se puede proveer de uno o más ventiladores, formando parte integral de él pero externos al armazón, provistas con cubiertas.

En lo referente a la velocidad es un motor a velocidad constante puesto que es de uso continuo.

Para el tipo de armazón se puede observar que es de tipo I, ya que se compararon las características de la tabla 20.

Y se puede observar que es un armazón tipo NEMA34TS, tal como lo tenemos en la placa de datos.

Para lo referente a los datos de placa observamos que cuenta con la mayoría de datos; y estos vienen especificados en la tabla 20 que a continuación se muestra.

Podemos concluir que el motor puesto bajo prueba cumple de manera general con todos los datos necesarios que las normas exigen para ser aprobados, y de esta forma decimos que de acuerdo a las pruebas en un motor jaula de ardilla como lo nombra la prueba.

TABLA 20. Dimensiones generales para motores horizontales, con armazón tipo I.

Armazón tipo NEMA	2E (mm)	2F (mm)	BA (mm)	U (mm)	N-W (mm)	D (mm)	AA (mm)	H (mm)
42	90	43	52	9.53	28.45	66.7	...	...
48	108	70	64	12.70	38.10	76.2	...	...
56	124	76	70	15.88	47.80	88.0	...	...
143 T	140	102	57	22.23	57.15	88.9	19	8.7
145 T	140	127	57	22.23	57.15	88.9	19	8.7
182 T	190	114	70	28.58	69.85	114.3	19	10.4
184 T	190	140	70	28.58	69.85	114.3	19	10.4
213 T	216	140	89	34.93	85.85	133.4	25.4	10.4
215 T	216	178	89	34.93	85.85	133.4	25.4	10.4
254 T	254	210	108	41.28	101.60	158.8	31.7	13.5
256 T	254	254	108	41.28	101.60	158.8	31.7	13.5
284 T	279	241	121	47.63	117.35	177.8	38.1	13.5
284 TS	279	241	121	41.28	82.55	177.8	38.1	13.5
286 T	279	279	121	47.63	117.35	177.8	38.1	13.5
286 TS	279	279	121	41.28	82.55	177.8	38.1	13.5
324 T	317	267	133	53.98	133.35	203.2	50.8	16.7
324 TS	317	267	133	47.63	95.25	203.2	50.8	16.7
326 T	317	305	133	53.98	133.35	203.2	50.8	16.7
326 TS	317	305	133	47.63	95.25	203.2	50.8	16.7
364 T	356	286	149	60.33	149.35	228.6	76.2	16.7
364 TS	356	286	149	47.63	95.25	228.6	76.2	16.7
365 T	356	311	149	60.33	149.35	228.6	76.2	16.7
365 TS	356	311	149	47.33	95.25	228.6	76.2	16.7
404 T	406	311	168	73.03	184.15	254.0	76.2	20.6
404 TS	406	311	168	53.98	107.95	254.0	76.2	20.6
405 T	406	349	168	73.03	184.15	254.0	76.2	20.6
405 TS	406	349	168	53.98	107.95	254.0	76.2	20.6
444 T	457	368	190	95.25	216.00	279.4	76.2	20.6
444 TS	457	368	190	60.33	120.65	279.4	76.2	20.6
445 T	457	419	190	95.25	216.00	279.4	76.2	20.6
445 TS	457	419	190	60.33	120.65	279.4	76.2	20.6
447 T	457	508	190	85.73	216.00	279.4	76.2	20.6
447 TS	457	508	190	60.33	120.65	279.4	76.2	20.6
449 T	457	399	190	95.25	216.00	279.4	76.2	20.6
449 TS	457	399	190	60.33	120.65	279.4	76.2	20.6
505	508	457	216	73.03	213.00	317.5	76.2	23.8
507	508	559	216	73.03	213.00	317.5	76.2	23.8

#### 4.2. PRUEBA EN VACIO

Básicamente con esta prueba se comprueban los datos de placa, con los que se diseñó el motor, podemos observar que las revoluciones han disminuido, pero esto se debe ya sea por que nuestro motor ha tenido desgastes debido al tiempo que tiene este motor de vida.

Es importante mencionar que datos de esta prueba serán utilizados en pruebas como:

PRUEBA DE CIRCUITO EQUIVALENTE  
DETERMINACION DE LA EFICIENCIA  
PRUEBA DE PAR MAXIMO

De lo comentado anteriormente observamos que para un valor de velocidad como el obtenido en esta prueba es de importancia ya que a este valor le corresponderá un valor de par y que es casi cero.

#### 4.3. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

De los resultados obtenidos tenemos lo siguiente:

La norma NOM establece que para un motor de 220 V, el valor de la resistencia no debe ser menor que la siguiente relación y esto en megaohms.

$$k V + 1$$

Para el motor la norma NOM indica lo siguiente:

##### III.3.1.12 Resistencia de aislamiento.

La resistencia de aislamiento depende de la tensión nominal de cada motor; este valor no debe ser menor que  $kV + 1$  en MΩ. Por ejemplo, para un motor de 2300 V debe tener una resistencia de aislamiento mínima de  $2.3 + 1$  o sea 3.3 MΩ.

Que el valor de KV para un motor de 220 V es de 0.22

Al ser sustituido este valor en nuestra expresión obtenemos lo siguiente:

$$0.22 + 1 = 1.22 \text{ Megaohms}$$

Este es el valor límite inferior el cual nos indica la norma que debe de ser mayor, los valores del aislamiento en nuestro motor.

Los resultados obtenidos en la prueba tenemos los siguientes valores.

$$R1 = 500 \text{ M}\Omega$$

$$R4 = 300 \text{ M}\Omega$$

$$R2 = 1000 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\text{prom}} = 700 \text{ M}\Omega$$

$$R3 = 1000 \text{ M}\Omega$$

Vemos que ninguno es menor al que establece la Norma Oficial Mexicana, por lo tanto concluimos que esta prueba cumple con las especificaciones de las normas.

Es importante mencionar que cuando un motor de uso general se le aplica, tensión y frecuencias constantes como lo indica la placa característica; este motor se puede sobrecargar arriba de los KW nominales, multiplicando estos por el factor de servicio indicado en la placa del motor.

Así lo indica la siguiente tabla.

#### II.3.2.2 Clases de Aislamiento

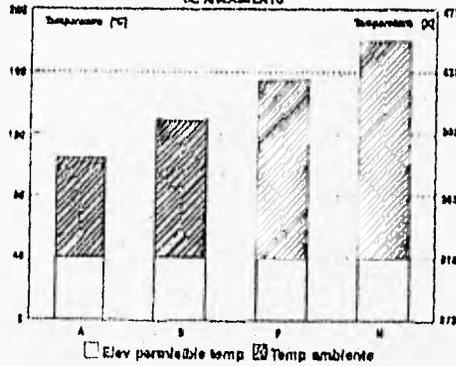
Las clases de aislamiento para motores son divididos en cuatro clases; A, B, F y H de acuerdo a la capacidad para soportar los efectos térmicos del sistema específico a capacidad nominal.

TABLA 18. Clases de aislamiento

Nomenclatura	Clase de Aislamiento	Temperatura K (°C)
A	105	478.15 K (105°C)
B	130	503.15 K (130°C)
F	155	528.15 K (155°C)
H	180	573.15 K (180°C)

Nota- La vida promedio para las diferentes clases de aislamiento esta indicada en la figura 3.

TEMPERATURA PARA LAS DIFERENTES CLASES DE AISLAMIENTO



Clases de sistemas de aislamiento	A	B	F	H
Clasificación del tiempo				
Elevación de temperatura (basada en una temperatura ambiente de 40°C), en grados centígrados.				
1. Devanados				
a). Motores abiertos u otros excepto aquellos que se indican en 1.b y 1.d- resistencia o termopar.....	60	80	105	125
b). Motores abiertos con un factor de servicio superior a 1.15- resistencia o termopar.....	70	90	115	---
c). Totalmente cerrados no ventilados y motores con ventilador enfriador incluyendo variaciones de esas- resistencia o termopar..	65	85	110	135
d). Cualquier motor con armadura menor de 42- resistencia o termopar.....	65	85	110	135
2. La temperatura conseguida por el núcleo, el rotor jaula de ardilla y otras partes (como portaescobillas, escobillas, etc.) no deberán averiar el aislamiento o la máquina en cualquier parte.				

Quando esto ocurre, es decir se sobrecarga el motor, la máquina presentará una elevación de su temperatura mayor, esto de acuerdo al factor de servicio de placa y CLASE DE AISLAMIENTO y por lo tanto presentará diferentes valores en su eficiencia, factor de potencia y velocidad que los que normalmente posee con una carga nominal.

Se debe mantener al mismo tiempo constante el par de arranque, corriente de arranque y par máximo.

#### 4.4. DETERMINACION DEL PAR Y LA CORRIENTE DE ARRANQUE.

De acuerdo a lo que establecen las normas oficiales mexicanas en el par y la corriente de arranque establecen que para un motor de las mismas características eléctricas como el motor probado dice que para 40 C.P. y 3600 R.P.M.. El par a plena carga es del 125 % del par a plena carga esto lo mostramos en la siguiente tabla, así como también las operaciones que se necesitan para obtenerlo de acuerdo a las normas.

Una vez obtenido este valor teórico de normas procedemos a compararlo con el obtenido en laboratorio.

Potencia (kW)	Potencia (C.P.)	[RPM]						
		3600	1800	1200	900	720	600	514
	1/4	190	275	130	170	170	---	---
0.187	1/4	190	275	190	170	170	---	---
0.249	1/2	190	275	190	140	140	115	110
0.373	1/2	180	275	175	135	135	115	110
0.560	1	190	275	170	135	135	115	110
0.746	1 1/2	175	250	165	130	130	115	110
1.119	2	170	235	160	130	125	115	110
1.492	3	160	215	155	130	125	115	110
2.238	5	150	185	150	130	125	115	110
3.73	7 1/2	140	175	150	125	120	115	110
5.60	10	135	165	150	125	120	115	110
7.46	15	130	160	140	125	120	115	110
11.19	20	130	150	135	125	120	115	110
14.32	25	130	150	135	125	120	115	110
19.65	30	130	150	135	125	120	115	110
22.38	40	125	140	135	125	120	115	110
29.84	50	120	140	135	125	120	115	110
37.30	60	120	140	135	125	120	115	110
44.76	75	105	140	135	125	120	115	110
55.95	100	105	125	125	125	120	115	110
74.60	125	100	110	125	120	115	115	110
93.25	150	100	110	120	120	115	115	---
111.90	200	100	100	120	120	115	---	---
149.20	250	70	80	100	100	---	---	---
186.50	300	70	80	100	---	---	---	---
223.80	350	70	80	100	---	---	---	---
261.10	400	70	80	---	---	---	---	---
298.40	450	70	80	---	---	---	---	---
335.70	500	70	80	---	---	---	---	---

## OPERACIONES

## COMPARACION

Correspondientes al valor se  
obtiene de normas

PRACTICO-TEORICO

A > B

$$\underline{A=10.69}$$

$$T_{nom}=(746)(40) / 3560 = 8.38 \text{ (Kgfm)}$$

$$\underline{B=10.47}$$

$$\text{VALOR NORMA} = 1.25 \times (T_{nom}) = (1.25)(8.38) = 10.47 \text{ (kgfm)}$$

$$\text{VALOR OBTENIDO} = 10.69 \text{ (kgfm)}$$

Observamos que este valor obtenido es un valor mayor que el que se obtuvo de norma y que indica que es el valor mínimo de par para motores trifásicos diseños "A" y "B", 60 Hz en % del par a plena carga.

La corriente de arranque máxima para un motor diseño B de 40 C.P. es 606 (A), y para motores de diseño A, los valores máximo de corriente de arranque pueden exceder los valores estipulados en la tabla 7. Haciendo referencia del que nuestro motor es de diseño A concluimos que nuestra corriente de arranque cumple lo dicho anteriormente, según NOM.

#### 4.5 DETERMINACION DEL PAR MAXIMO

Para esta prueba primero observamos lo que nos indican la NOM.

En ella están anotados los valores mínimos de par máximo y se dan en porcentaje del par a plena carga, como lo muestra la tabla 10 que a continuación se muestra.

Observamos que para las características eléctricas del motor bajo prueba el valor es del 200 % como lo muestra la tabla.

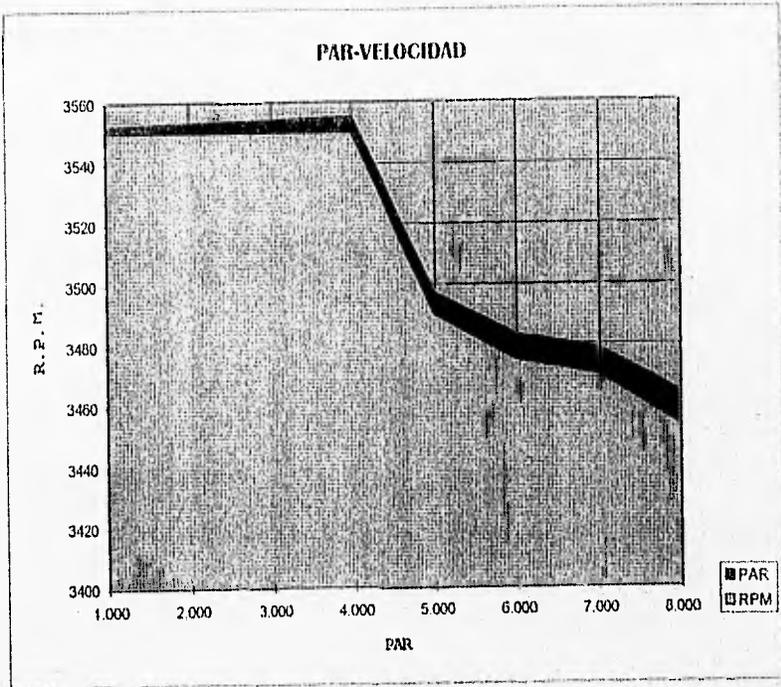
Pero revisemos nuestros valores de la norma.

TABLA 10. Valores mínimos de par máximo para motores trifásicos, Diseño "A" y "B", 60 Hz, en porcentaje del par a plena carga.

Potencia (kW)	Potencia (CV)	(RPM)						
		3600	1800	1200	900	720	600	514
0.187	1/4	265-380	250-370	240-335	230-330	---	---	---
0.249	1/3	285-370	275-350	251-330	250-330	---	---	---
0.373	1/2	250-360	235-335	220-315	225	200	200	200
0.560	3/4	245-335	225-315	275	220	200	200	200
0.740	1	225-330	300	265	215	200	200	200
1.119	1 1/2	250	280	250	210	200	200	200
1.492	2	240	270	240	205	200	200	200
2.238	3	230	250	230	205	200	200	200
3.73	5	215	225	215	200	200	200	200
5.60	7 1/2	200	215	205	200	200	200	200
7.46	10	200	200	200	200	200	200	200
11.19	15	200	200	200	200	200	200	200
14.92	20	200	200	200	200	200	200	200
18.65	25	200	200	200	200	200	200	200
22.38	30	200	200	200	200	200	200	200
29.84	40	200	200	200	200	200	200	200
37.30	50	200	200	200	200	200	200	200
44.76	60	200	200	200	200	200	200	200
55.95	75	200	200	200	200	200	200	200
74.60	100	200	200	200	200	200	200	200
93.25	125	200	200	200	200	200	200	200
111.90	150	200	200	200	200	200	200	---
149.20	200	200	200	200	200	200	---	---
188.50	250	175	175	175	175	---	---	---
223.80	300	175	175	175	---	---	---	---
261.10	350	175	175	175	---	---	---	---
298.40	400	175	175	---	---	---	---	---
335.70	450	175	175	---	---	---	---	---
373.00	500	175	175	---	---	---	---	---

## VALORES

Notamos que los valores obtenidos cumplen, ya que los valores que se tienen presentan un mínimo aproximado del que establece la norma que es del 200 % del par máximo para nuestro motor.



Aquí observamos que presenta cierta analogía con la curva que muestra la norma.

**1.6.6 Par de Arranque (Rotor Bloqueado)**

Es el par que desarrolla un motor al arrancar y corresponde al menor par medido con el rotor frenado a velocidad cero, para varias posiciones angulares del mismo, aplicando tensión y frecuencia nominales a no menos de 293.15 K (20°C) y no más de 308.15 K (35°C) en sus embobinados. Véase figura 1.

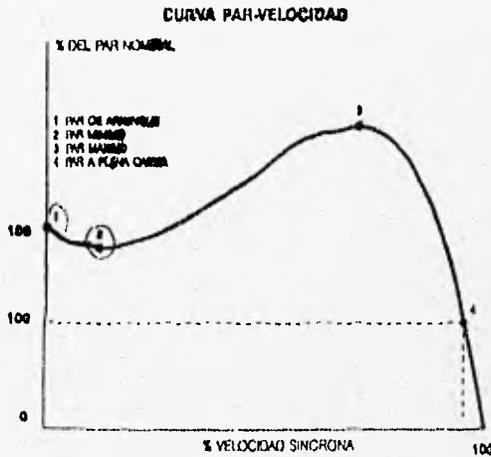
**1.6.7 Par Mínimo**

Es el menor par desarrollado durante el período de aceleración comprendido desde el arranque hasta la velocidad en que el par máximo ocurre. Véase figura 1.

**1.6.8 Par Máximo**

Es aquel desarrollado bajo frecuencia y tensión nominales, sin que suceda un descenso marcado en la velocidad del motor debiendo estar los devanados del motor a una temperatura entre 293.15 K (20°C) y 308.15 K (35°C). Véase figura 1.

Figura 1



Concluimos que es un resultado bastante aproximado el cual nos ayuda a saber el comportamiento que tiene el motor para diferentes tipos de carga, y el punto aproximado en el cual el motor entrega el par máximo.

#### 4.6. POTENCIA NOMINAL Y CORRIENTE A PLENA CARGA

Esta prueba permite comparar dos cosas:

Que los datos de placa con los que fueron diseñados el motor sean iguales o próximos a los que se obtengan en la realización de la prueba hecha en el laboratorio de equipo eléctrico.

La siguiente es que nos interesa que el valor de potencia nominal sea comparado con el obtenido en el laboratorio.

DATOS DE PLACA  
DEL MOTOR

$P = 40(\text{CP})$

$P = 29.84(\text{KW})$

DATO. OBT. LABORATORIO

$\text{PFLECHA} = 38.32(\text{CP})$

$\text{PFLECHA} = 28.59(\text{KW})$

Como podemos observar son valores muy parecidos, por lo tanto estos cumplen con las normas oficiales establecidas en México.

## CONCLUSIONES

El tema de esta tesis nos llevó a emplear los recursos académicos que nos ofreció la Facultad de Ingeniería a través de su estancia en ella.

Buscamos la solución más eficiente al problema, originalmente el electrodinamómetro contaba con todos sus dispositivos de diseño, pero a través del tiempo fueron empleados para otras labores.

Nuestro trabajo consistió en documentarnos e investigar acerca del electrodinamómetro con el fin de hacerlo funcional, logramos planes de trabajo teóricos y prácticos lo cuales realizamos cabalmente y de manera ordenada, entre ellos fueron la identificación de dispositivos y sus conexiones entre ellos, realización de un diagrama base que posteriormente se modificó conforme a nuestra investigación y experiencia, dando como resultado el diagrama lineal que se presenta en la tesis.

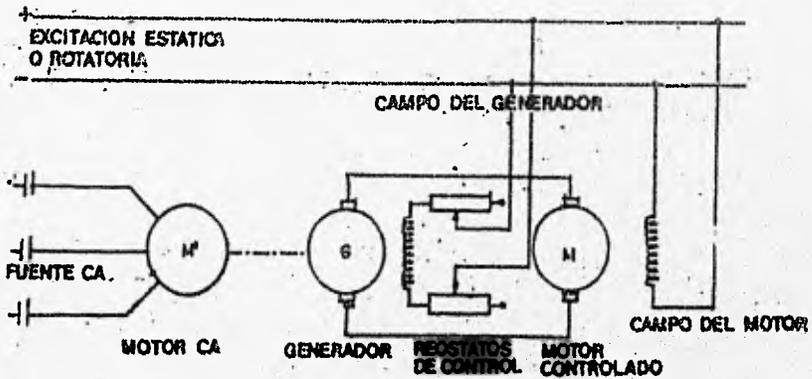
Una vez obtenido el diagrama claro y conciso fué para nosotros de manera sencilla obtener la secuencia de operación, la cual se comprobó en el tablero del electrodinamómetro satisfactoriamente

Elaboramos un diseño para el arrancador de reloj del tablero del electrodinamómetro el cual ajustamos a los recursos materiales con que cuenta el laboratorio de Equipo Eléctrico de la Facultad de Ingeniería. Tal arrancador se probó obteniendo resultados positivos.

Para operar el electrodinamómetro como motor optamos por hacer los cálculos en base a una potencia de 50 C.P. (37.3 KW), con este dato se obtuvieron valores de resistencia muy bajos, estos nos representaba un problema dado que las resistencias que existían en el laboratorio no abarcaban el rango en ohms que se requería haciendo arreglos en paralelo con bancos de resistencia logramos obtener un valor aproximado en ohms.

De todo lo anterior concluimos que es necesario proveer al laboratorio de bancos de resistencias para operar el electrodinamómetro como motor a su máxima capacidad de potencia; con esto se lograría mayor servicio en prácticas y pruebas. Existe otra alternativa de operación del electrodinamómetro como motor, que no se puso en práctica por no estar contenida en el objetivo de esta tesis pero que consideramos viable por ser esta opción más económica y expedita

En este caso se trata de un arreglo Ward Leonard en el cual "M" es el motor principal cuya velocidad quiere regularse (electrodinamómetro). Este motor está alimentado por un generador "G", el cual es movido por el motor "M". La excitación de "G" se toma de una fuente de tensión constante y puede ajustarse desde cero a un valor máximo en ambos sentidos mediante un reóstato y un interruptor de inversión excitación.



Dadas las características del electrodinamómetro en cuanto a potencia, se considera viable extender los alcances de estas pruebas a la industria.

Se cuenta con una potencia de hasta 75 C.P. de pruebas para motores de inducción y con un arreglo adecuado de resistencias se tendría la misma capacidad para prueba de generadores, plantas de emergencia, etc.

Para las futuras pruebas del electrodinamómetro es necesario reforzar las resistencias de prueba y ampliar más la capacidad y rangos de las mismas para obtener una gama más diversa de valores.

El objetivo principal de la tesis se cumplió en su totalidad, los tres temas que se plantearon a saber son: Puesta en marcha del electrodinamómetro de 75 C.P., elaboración de un manual de operación y pruebas a un motor de inducción trifásico de 40 C.P. como verificación del funcionamiento del tablero de control del electrodinamómetro, se cubrieron satisfactoriamente

En la pruebas al motor de inducción obtuvimos resultados que tienen una correspondencia similar a las estipuladas en las Normas Oficiales Mexicanas.

La Facultad de Ingeniería cuenta con un electrodinamómetro de 75 C.P. en perfectas condiciones dado que no ha sido utilizado desde hace 30 años.

Su banco de resistencias de prueba requiere una ampliación y el banco de resistencias de arranque del electrodinamómetro de 75 C.P. para que funcione como motor necesita una adecuación que permita cubrir todo el rango de velocidades posibles de desarrollar por el electrodinamómetro de 75 C.P.

## BIBLIOGRAFIA

Fitzgerald A. E., Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans  
Máquinas Eléctricas  
McGraw-Hill  
Quinta Edición

Enriquez Harper Gilberto  
Curso de Máquinas de Corriente Continua  
Linusa  
Primera Edición

Buitrón Sánchez Horacio  
Operación, Control y Protección De Motores Eléctricos  
Libros Técnicos  
Tercera Edición

Normas Oficiales Mexicanas  
Pruebas Para Motores De Inducción de C.A. según NOM-J-075