

*Hay tesis normal?*

182212

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

## FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

INTRODUCCION ----- 16

PRUEBAS DE ENCENDIMIENTO DE LA JARERA DE ARTELLA ----- 17

PRUEBA DE SATURACION ----- 18

PRUEBA PAR-VELOCIDAD ----- 19

PRUEBA DE ELEVACION ----- 20

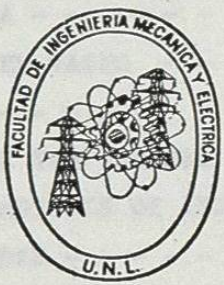
PRUEBAS SINTETICAS A MOTORES DE INDUCCION ----- 21

DISTRIBUCION DE POTENCIA ----- 22

EXPERIMENTACION DE LA INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DE LAS FRECUENCIAS ----- 23

DETECCION DE LA CORRIENTE DE MAGNETIZACION EN MOTORES GRANDES ----- 24

CONCLUSIONES ----- 25



DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

### PRUEBAS SINTETICAS A MOTORES DE INDUCCION

## TRABAJO

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS EN INGENIERIA ELECTRICA  
PRESENTA

Félix González Estrada



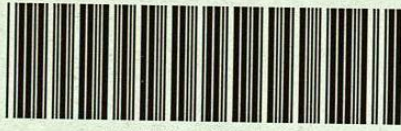
MONTERREY N. L.

JUNIO DE 1980

185078

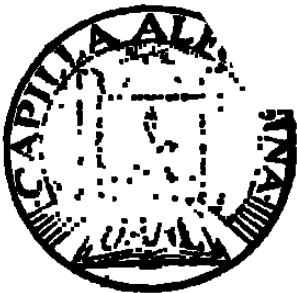
TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
1980  
C621





1020070557

TM  
Z 58  
.M2  
F M  
1980  
9621



162076

# I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION - - - - -	1
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A LOS MOTORES DE INDUCCION DE -- ROTOR JAULA DE ARDILLA - - - - -	2
PRUEBA DE SATURACION EN VACIO - - - - -	5
PRUEBA PAR-VELOCIDAD - - - - -	6
PRUEBA DE ELEVACION DE TEMPERATURA - - - - -	9
PRUEBAS SINTETICAS A MOTORES DE INDUCCION - - - - -	10
DISTRIBUCION DE PERDIDAS - - - - -	16
REQUERIMIENTOS DE LA FUENTE PARA LA PRUEBA DE LAS DOS -- FRECUENCIAS - - - - -	18
OBTENCION DE LA CARACTERISTICA PAR-VELOCIDAD EN MOTORES -- GRANDES - - - - -	20
METODO DE MEDICION DE TEMPERATURA POR RESISTENCIA- - - - -	21
VENTAJAS DEL METODO - - - - -	22
CONCLUSIONES - - - - -	23

## I N T R O D U C C I O N

El motor de inducción es uno de los más económicos que existe entre los motores de corriente directa y motores de corriente alterna y también de los que menos mantenimiento requieren ya que no tienen partes eléctricas en movimiento. Una de las pocas desventajas que podría presentar sería la de trabajar a un factor de potencia inductivo.

En la industria tienen un gran campo de aplicación y en muchas partes cuando se van a comprar grandes lotes de motores, exigen que se prueben algunos de ellos por muestreo.

Estas pruebas se vienen realizando en algunas instituciones educativas y son de las que se hará mención aquí.

El tipo de pruebas que se hace no es destructivo y solo se comparan los resultados obtenidos con normas ya establecidas. Tales pruebas son observar y comparar la velocidad, el par, la temperatura, pérdidas, ruido etc.

Las pruebas que se realizan no solo las exige el consumidor sino que también en algunos casos el mismo fabricante cuando esta desarrollando nuevos diseños.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A LOS MOTORES DE  
INDUCCION DE ROTOR JAULA DE ARDILLA.

Estas pruebas se les hacen a los motores para una verificación de sus datos de placa y se realizan siguiendo las normas establecidas por nema en el campo internacional de normas.

Pruebas que se Realizan.

1. Prueba de funcionamiento.
2. Prueba de Saturación en vacío
3. Prueba par velocidad .
4. Prueba de elevación de temperatura.

I. Prueba de funcionamiento.

PROPOSITO:

Determinar la eficiencia, factor de potencia, distribución de pérdidas y deslizamiento del motor contra los H.P.'S a diferentes pares entregados en la flecha.

Esta prueba se realiza en un dinamometro.

Primeramente una vez acoplado ya el motor en el dinamometro se pone en marcha y se carga hasta que el par que entregue sea de un 115% durante un tiempo aproximado de 1 hora para lograr una estabilidad en su temperatura. Posteriormente se sobrecarga hasta un 130% y se toman lecturas escalonadas de tal forma que se pueden obtener unas 15 ó 16.

Para cada par leído se toman los siguientes datos:

- a). Volts.
- b). Ampers.
- c). Watts. de entrada
- d). R.P.M.

Cuando no se toman los Watts de entrada se toma el fp. y los watts se calculan mediante la siguiente formula.

$$P_i = \sqrt{3} V_1 I_1 \cos \theta_1$$

Donde:

- $P_i$  = Potencia de entrada
- $V_1$  = Voltaje de alimentación
- $I_1$  = Corriente de entrada
- $\theta_1$  = Angulo de fp. de entrada

Los cálculos para la tabulación de los demás datos se hacen mediante las siguientes formulas.

- a). Deslizamiento.

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100$$

Donde:

- $S$  = Deslizamiento
- $N_s$  = Velocidad sincronica
- $N$  = Velocidad del rotor



b). Potencia de salida en H.P.'S<sup>3</sup>

$$H.P._0 = \frac{T N}{5252}$$

Donde:

- H.P.\_0 = H.P.'S de salida
- T = Par en lb-ft
- N = R.P.M.

y

$$6 H.P._0 = \frac{T N}{7123.8}$$

y

- T = New - m
- N = R.P.M.

c). Potencia de salida en Watts.

$$P_0 = H.P._0 (746)$$

d). Potencia pérdida Wp

$$W_p = P_1 - P_0$$

e). Eficiencia N

$$N = \frac{P_0}{P_1} 100$$

f). Pérdidas del nucleo (Wc) y pérdidas de fricción y viento ( P<sub>f+v</sub> ). Se obtienen de la prueba de saturación en vacío.

g). Pérdidas en el cobre del estator  $W_s$ .

$$W_s = \frac{3}{2} I^2 R$$

R = Resistencia en caliente entre líneas  
I = Corriente nominal.

h). Pérdidas en el rotor  $W_r$

$$W_r = S ( P_i - W_s - W_c ).$$

i). Pérdidas parasitas  $W_1$

$$W_1 = W_p - ( W_c + P_{f+v} + W_s + W_r )$$

II. Prueba de saturación en vacío.

PROPOSITO:

Conocer la distribución de pérdidas en un motor --  
cuando funciona en vacío.

En esta prueba el motor se pone en marcha y se lleva hasta un voltaje de 125% del nominal posteriormente - se va reduciendo este de 20 en 20 volts hasta llegar al mínimo posible. Se toman lecturas de voltaje, corriente- y potencia.

Distribución de pérdidas:

a). Pérdidas totales

$W_p$  = Potencia de entrada a voltaje nominal.

b). Pérdidas del cobre del estator

$$W_s = 3/2 RI^2$$

c). Pérdidas de fricción más viento

$$P_{f+v}$$

d). Pérdidas del núcleo  $W_c = W_p - W_s - P_{f+v}$

III. Prueba par-velocidad.

PROPOSITO:

Determinar la característica par-velocidad para verificar la clase del motor.

Los pasos a seguir en la determinación de esta característica son:

a). Medición de la resistencia en frío

Se mide directamente con un ohmetro antes de poner en marcha el motor.

b). Datos en vacío.

Se toman de la prueba en vacío.

c). Datos a plena carga

Se toman de la prueba de funcionamiento a plena carga.

d). Prueba a rotor bloqueado a voltaje nominal.

En esta prueba se bloquea el rotor y se aplica el voltaje nominal entre líneas.

Se toman lecturas de voltaje, corriente, fp. y par, se anotan.

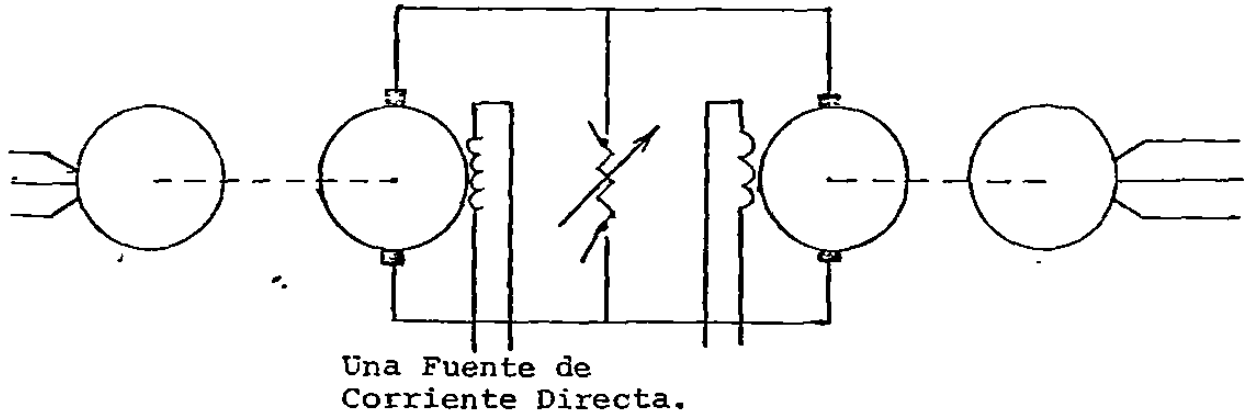
Esta prueba se deberá realizar de la forma más breve posible ya que la corriente que toma el motor anda en un 700% de su valor nominal.

e). Prueba a rotor bloqueado a voltaje reducido.

En esta prueba también se bloquea el rotor y se aplica un voltaje tal que haga que circule la corriente nominal, y se toman lecturas de voltaje, corriente, fp y par y se anotan.

f). Característica par-velocidad

Cuando se obtiene esta característica se habra de hacer una conexión especial, esta conexión es - la Ward Leonard y la cual nos permite obtener puntos del lado izquierdo del par máximo de la característica par velocidad la cual es una zona inestable.

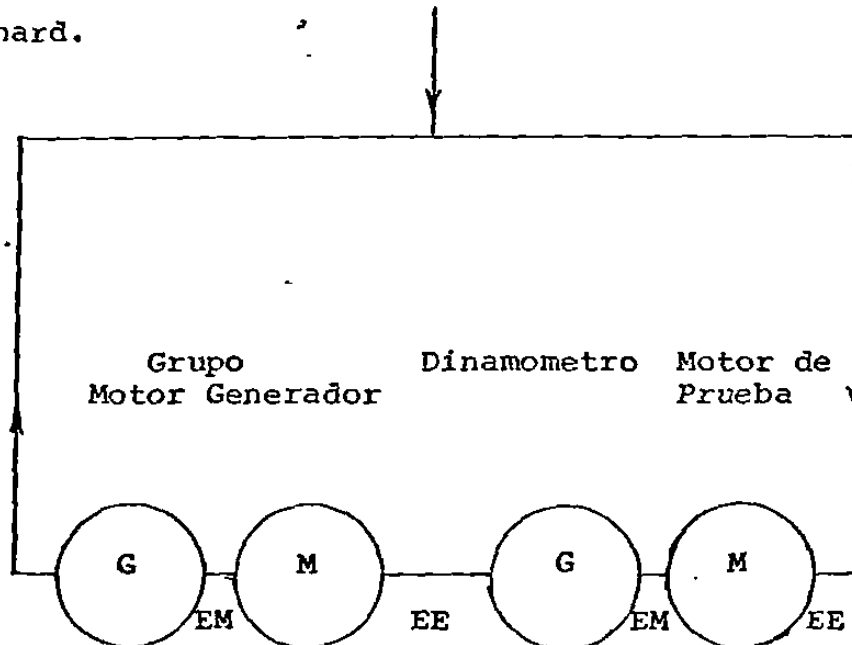


El diagrama eléctrico de la conexión Ward Leonard es el de la figura y en el se puede observar el motor del dinamómetro y el motor de prueba formando un lazo cerrado con un grupo motor generador.

Esta conexión nos ofrece las siguientes ventajas.

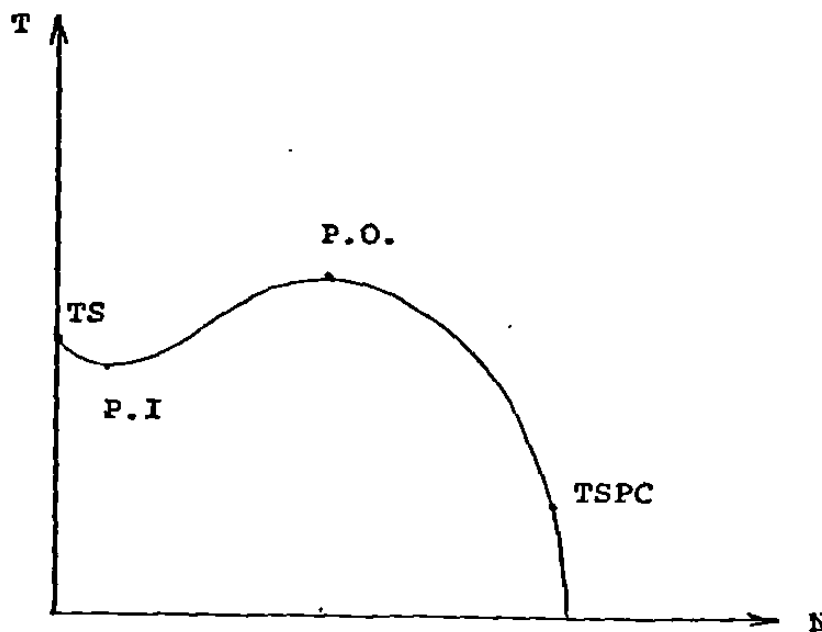
- a). Lograr un punto estable en la zona inestable del motor de prueba para poder tomar lecturas.
- b). Arranque de los motores sin equipo especial
- c). Se puede pasar una máquina de motor a generador y viceversa con mucha facilidad variando la excitación de campo.
- d). La pérdida de energía es mínima puesto que la potencia desarrollada por el motor se retroalimenta.

Diagrama esquemático de la Conexión Ward Leonard.



EE Energía Elec. EM Energía Mecánica.

En la característica par-velocidad siempre se hacen sobre salir algunos puntos que son tomados como referencia y que son los siguientes:





$T_s$  = Par de arranque

P.I. = Pull in torque. Par mínimo de ajuste sincrónico.

P.O. = Pull out. Par máximo

$T_{spc}$  = Par sincrónico a plena carga

$$T_{spc} = \frac{H.P. (5252)}{N_s}$$

#### IV. Prueba de elevación de temperatura.

##### PROPOSITO:

Determinar la característica de elevación de temperatura del motor.

Primeramente se colocan termopares en diferentes partes del motor tales como devanados, nucleo, carcasa-entradas y salidas de aire etc.

Posteriormente se pone en marcha el motor a plena carga y se le deja que la temperatura en las diferentes partes del motor se estabilice esto es que no tenga - - variaciones en más de un grado en intervalos de 15 minutos, a partir de aquí se toman lecturas durante 2 ó 3 - horas por cada 15 minutos.

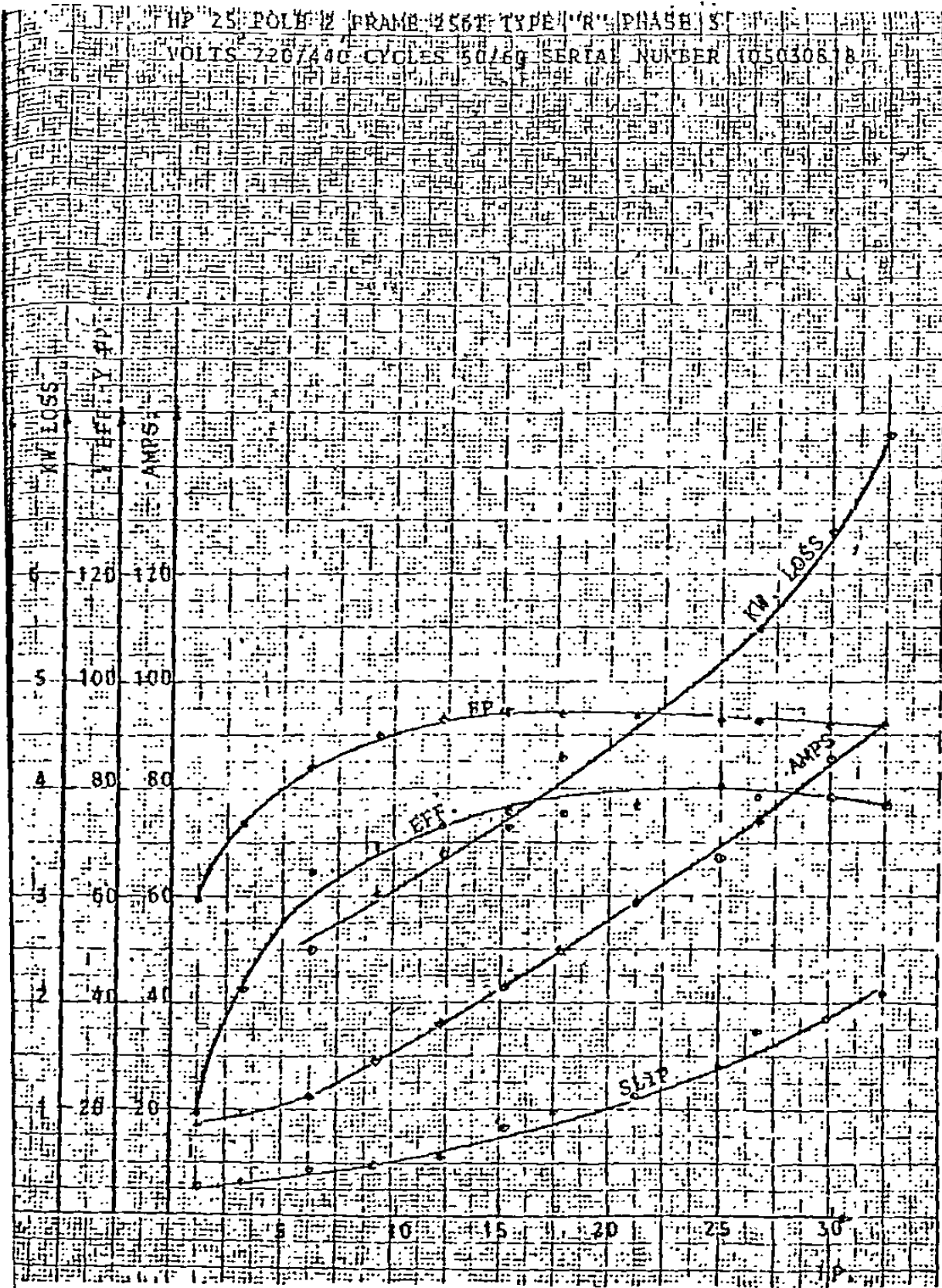


Fig. 2 Gráficas de la Prueba de Funcionamiento

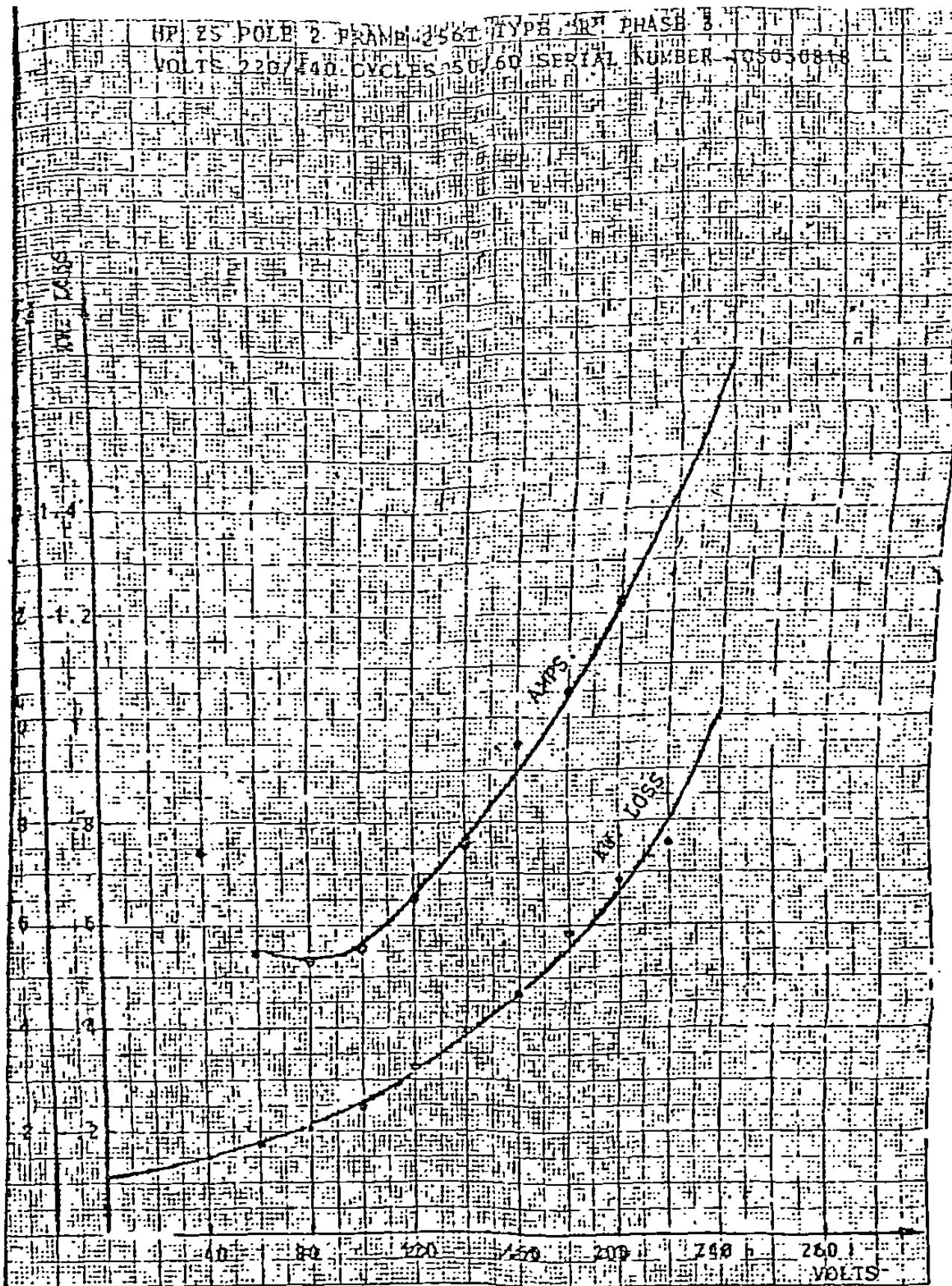


Fig. 4 Características de Saturación en Vacío

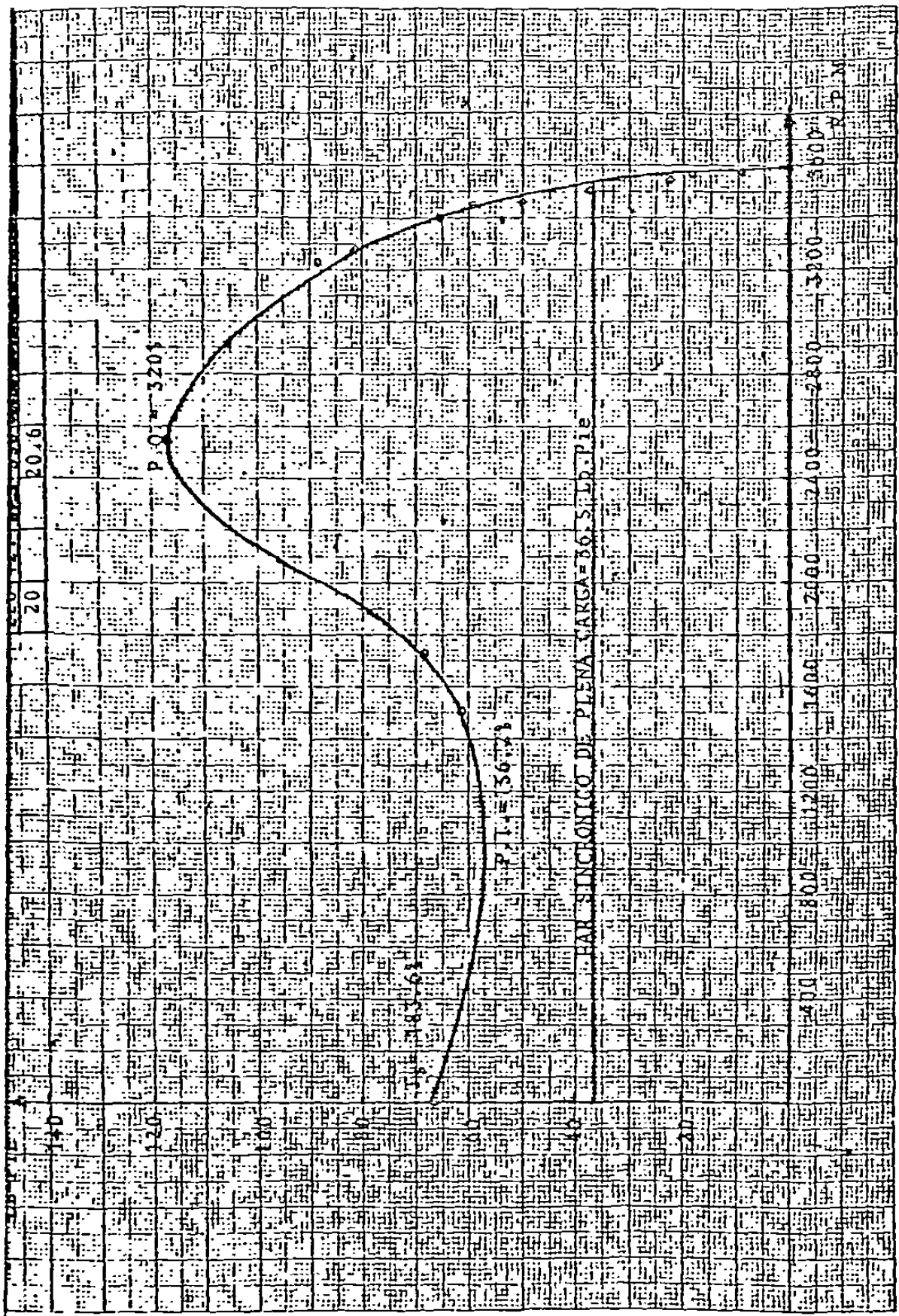


Fig. 6 Característica Par Velocidad

OBSERVACIONES

RESISTENCIA	A-B	B-C	C-A	PROM.	TEMP.
EN CALIENTE	0.161	0.161	0.161	0.161	18°C
EN FRIO	0.127	0.127	0.127	0.127	16°C

VOLTS	AMPERES		WATTS		PAR LB. FT.	DESLIZAMIENTO		R.P.M.	HP DE SALIDA	WATTS DE SALIDA	PERDI- DAS EN WATTS
	LECTURA FM	RESULT.	LECTURA FM	RESULT.		REV. RPM	%				
215	90 92 94	1	F.P. 0.92	31519	49.5		4.17	3450	32.5	24245 <sup>L</sup>	7274
214	84 86 86	1	0.915	28930	45.75		3.75	3465	30.2	22529	6401
214	73 74 75	1	0.930	25509	40.5		3.47	3475	26.8	19993	5526
214	66 68 68	1	0.931	23224	37.5		2.78	3500	25	18650	4574
214	58 59 59.5	1	0.94	20487	31.5		2.22	3530	21.12	15756	4731
214	49 50 51	1	0.94	17502	26.25		1.94	3530	17.65	13167	4334



Jaula de ROTOR Ardilla FECHA Enero 77 PROBADO POR F.I.M.E.  
T<sub>s</sub> = 67 LB. PIE A ROTOR BLOQUEADO EN 220 V  
 OBSERVACIONES

EXISTENCIA	A-B	B-C	C-A	PROM.	TEMP.
N CALIENTE	0.161	0.161	0.161	0.161	18°C
N FRIO	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127

DATOS	VOLTS	AMPERES		WATTS		PAR		RPM	RESISTENCIA FM		
		LECTURA	FM	LECTURA	FM	LECTURA	FM		RESULT.	RESULT.	TIEMPO
EN VACIO	220	12	1	36	756	0	1.5	0	3598		
PLENA CARGA	214	66 68 68	1	F.P. 0.931	23224	25	1.5	37.5	3500	1 min.	0.161
BLOQUEO	280	350	1	0.52	65568	40	1.5	60	0		
B.B.V.	20	20.4 21 20.4	1	19	9 171				0		

VOLTS	PAR	R.P.M.	VOLTS	PAR	R.P.M.
217	1.5	3580	220	65.6	3410
217	4.5	3577	220	81.6	3280
217	9	3568	220	88.8	3225
216	13.35	3563	220	61.5	1500
215.5	18	3560	220	68.8	1725
215	18	3540	220	117.0	2500
215	26.25	3530	220	68.8	3300
214	31.5	3530	220	62.6	1780
214	37.5	3475	220	67	0
214	40.5	3475			
214	45.75	3465			

PERDIDAS DE FRICCION MAS VIENTO ( $P_{f+V}$ ) = 110 W

PARAMETROS ELECTRICOS EN EL ARRANQUE ( )

$r_1$   $r_2'$   $x_1$   $x_2'$   $r_m$   $x_m$

0.0805 0.098 0.147 0.147 0.627 9.71

PARAMETROS ELECTRICOS EN MARCHA ( )

$r_1$   $r_2'$   $x_1$   $x_2'$   $r_m$   $x_m$

0.0805 0.07 0.265 0.33 0.627 9.71

$r_2' (1-s)/s$

CIRCUITO ELECTRICO

OBSERVACIONES

RESISTENCIA	A-B	B-C	C-A	PROM.	TEMP.
EN CALIENTE	0.161	0.161	0.161	0.161	18°C
EN FRIO	0.127	0.127	0.127	0.127	16°C

VOLTS	AMPERES		WATTS		PAK	DEBLIZAMIENTO		R.P.M.	HP DB SALIDA	WATTS DE SALIDA	PERDIDAS EN WATTS
	LECTURA FM	RESULT.	LECTURA FM	RESULT.		REV. RPM	§				
215	.42 43 43	1	42.7	F.P. 0.94	22.5		1.67	3540	15.17	11317	3660
215.5	35 36.5 36.5	1	36	0.93	18		1.11	3560	12.2	9101	3396
216	28 30 30	1	29.3	0.895	13.35		1.03	3563	9.06	6759	3052
217	22 23 22.5	1	22.5	0.84	9		.089	3568	6.12	4566	2538
217	18 20 20	1	19.3	0.742	4.5		.064	3577	3.07	2290	3092
217	17 18 17.5	1	17.5	0.6	1.5		0.56	3580	1.02	761	3185

PRUEBAS SINTETICAS A MOTORES --  
INDUCCION.

Las pruebas a los motores de inducción bajo carga se pueden realizar usando el método de cargas sintéticas. Este método tiene considerables meritos en lo que a equipo utilizado se refiere. Los problemas asociados con las pruebas de carga son los siguientes.

- a). El dispositivo de carga y el equipo de generación ó fuente serán equivalentes ó más grandes que el motor que se esta probando.
- b). Montar el motor, alinearlos, y acoplarlos a la carga son trabajos que se tienen que hacer antes de iniciar una prueba. Este es tiempo que se consume especialmente en grandes motores en los de alta velocidad y motores verticales.
- c). La energía consumida durante la prueba es desperdiciada en forma de calor. Esta energía -- es equivalente a la potencia de la máquina -- multiplicada por el tiempo requerido para esta bilizar la temperatura.

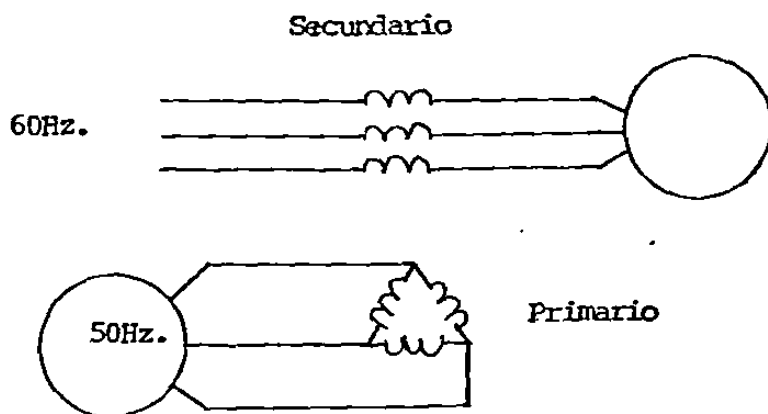
Todos estos problemas aumentan con el tamaño del motor que se esta probando.

Una prueba con cargas sintéticas en la que dos frecuencias se aplican simultaneamente al motor equivalen a tener cargado el motor en la flecha. En principio -- aunque no detalladamente es análogo a operar un motor sincrónico sin carga y sobre excitado. El método de las --

dos frecuencias fué primeramente propuesto por Ytterberg y a sido usado en Europa y Japón. Esta prueba no a sido aceptada en la IEEE aunque ha sido usada en ocasiones en los E.U. y a sido recomendada como una posible adición al código de pruebas americanas. Aquí presentaremos una evaluación de este método.

#### DESCRIPCION DE LA PRUEBA Y TEORIA

Esta prueba requiere de la aplicación simultanea de dos frecuencias al motor que se va a probar. Una frecuencia nominal y un voltaje nominal deberan ser suministrados por una fuente y una fuente auxiliar debera alimentar otra frecuencia y su voltaje sera puesto en serie con el de la fuente nominal. Una combinación de 60 y 50 ciclos da una combinación buena. El diagrama es el de la fig.



Una manera de entender el método de las dos frecuencias es verlo desde dos puntos de vista. El primero es para considerar la máquina en estado estable. Aun-

Hp. Polos	No. de Prueba	Corri- Elev. ente por Ampers res.	Número de Termopares
3	4 Dyn.	9.0 46.4	30.0 65.0 63.3 64.4 56.7
3	4 60/50 Hz.	9.0 46.8	30.0 65.6 64.4 63.9 55.6
25	4 Dyn.	51.0 57.5	25.6 60.3 62.2 61.7 65.0 46.1
25	4 60/50 Hz.	51.0 59.7	25.6 62.2 64.4 63.9 68.3 46.7
25	4 60/50 Hz.	50.8 61.1	25.6 63.3 65.6 64.4 69.4 47.5
300	2 Dyn.	76.0 61.6	31.0 38.0 39.0 21.0 19.0 32.0 22.0 31.0 39.0
300	2 60/50 Hz.	76.0 58.3	31.0 34.0 37.0 18.0 18.0 32.0 22.0 32.0 40.0

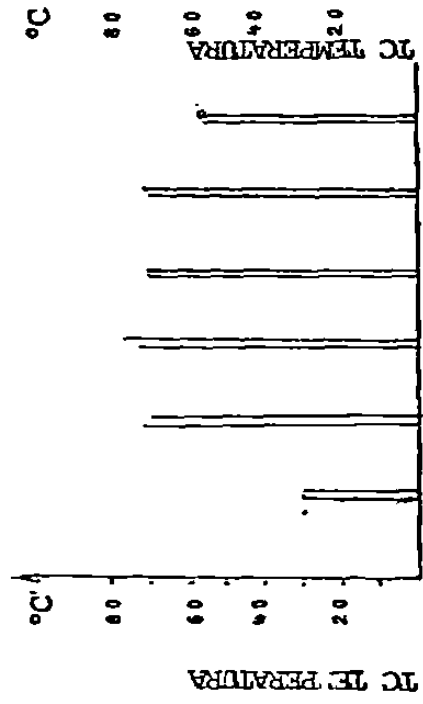


FIGURA 2

Temperatura de los termo-pares - para una prueba de 3 H.P.

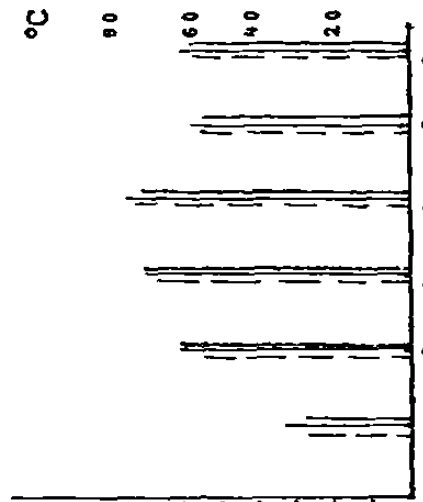


FIGURA 3

Temperatura de los termo-pares para una prueba de 10 H.P.

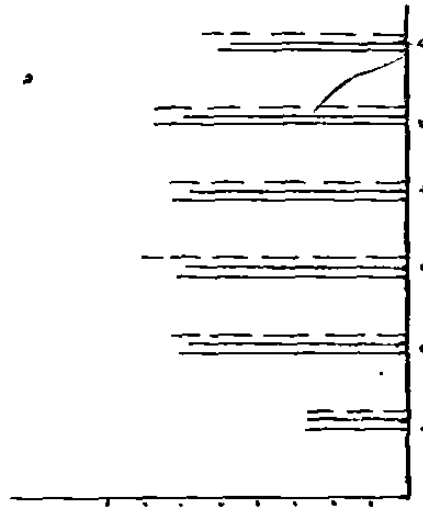


FIGURA 4.

Temperatura de los termo-pares para una prueba de 25 H.P.



que esto no es rigurosamente correcto por cosas que se aclaran más adelante, sí da algunos detalles involucrados en las pruebas a los motores sin que sea un análisis completo.

Consideremos primero la máquina vista desde la -- fuente primaria y después desde la fuente auxiliar. -- Puesto que la velocidad promedio de la máquina durante la prueba es solo más baja ligeramente que su velocidad sincrónica la fuente primaria está suministrando una -- carga muy ligera mientras que el motor de prueba opera como un generador respecto a la fuente auxiliar vgr la máquina trabaja a un deslizamiento negativo con respecto a la fuente auxiliar.

El problema se puede ver tratando cada corriente -- por separado. Esto pudiera hacerse si el rotor de la -- máquina tuviera una inercia grande. Tal que el deslizamiento fuera constante.

Un método más riguroso para ver la operación de la máquina bajo dos frecuencias diferentes es considerar -- los campos magnéticos girando en el entre hierro como -- resultado de la aplicación de dos frecuencias. El campo resultante varía tanto en velocidad como en magnitud. -- Kron ha demostrado que la velocidad del campo varía entre los límites dados por la ecuación 1.

$$\frac{\omega_a (1 + x \lambda)}{1 + \lambda} \quad \omega \quad \frac{\bar{\omega}_a (1 - x \lambda)}{1 - \lambda} \quad \text{Ec. (1).}$$

Donde  $\omega$  = Velocidad angular del campo resultante

$\omega_a$  = Velocidad angular del campo nominal

$\omega_b$  = Velocidad angular del campo auxiliar

$V_a$  = Voltaje a la frecuencia nominal.

$V_b$  = Voltaje a la frecuencia auxiliar

$$\lambda = V_b/V_a$$

$$\chi = \omega_b/\omega_a$$

Algunos valores típicos para una frecuencia dual son:

$$\omega_a = 377 \text{ rad/seg. } 60 \text{ Hz}$$

$$\omega_b = 314.2 \text{ rad/seg. } 50 \text{ Hz.}$$

$$V_a = 2300\text{V}$$

$$V_b = 345 \text{ V}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 1 da -- para  $\omega$

$$\begin{array}{ll} 368.803 & 388.090 \\ 58.7 \text{ Hz.} & 61.8 \text{ Hz.} \end{array}$$

El rotor tratara de seguir esta variación de velocidad limitado solo por su propia fricción é inercia ya que la flecha no tiene ninguna carga.

Aunque la velocidad promedio es muy cercana a la sincronica el rotor se está acelerando y desacelerando alternadamente e igualmente la máquina esta tomando y entregando energía a la fuente.

El voltaje de la fuente de frecuencia auxiliar es ajustado hasta que el valor rms de corriente es equivalente a la corriente nominal de carga del motor. Así -

las pérdidas  $I^2R$  son las mismas que a plena carga.

El voltaje en las terminales del motor es puesto al valor nominal y entonces el flujo y las pérdidas en el núcleo se aproximan más a las que hay cuando el motor está cargado. Por supuesto que existiera alguna diferencia debida a las dos frecuencias pero son mínimas.

Comparación de resultados con dos métodos diferentes de prueba.

Las pruebas de temperatura se realizaron en varios motores usando en unos el dinamómetro y en otros el método de las dos frecuencias para comparar resultados. La mayoría de las pruebas se hizo en máquinas pequeñas debido a los grandes sistemas que se tienen que utilizar cuando son máquinas grandes.

Puesto que la prueba de las dos frecuencias tendrá aplicaciones más frecuentes en motores grandes una máquina de 300 H.P. fué también probada para confirmar los resultados obtenidos en pequeñas máquinas. Para determinar el efecto de variación de frecuencias auxiliares se hicieron pruebas con 60/50 Hz. y 60/27 Hz. y los resultados se resumieron en la Tabla I. y las lecturas de los termopares de varias de las pruebas están comparadas en las gráficas de las figs. 2, 3, y 4.

Las pruebas fueron todas hechas usando el mismo valor de corriente para ambos métodos. Los resultados muestran una cercana correlación entre las temperaturas en varias partes de la máquina y la elevación por resistencia para los dos métodos. Las elevaciones de temperatura obtenidas con las frecuencias 60/27 fueron más altas que para 60/50 Hz. y con respecto al dinamómetro no fueron tan buenas. La gran diferencia de frecuencias da como resultado una frecuencia grande en el rotor y esto ocasiona un mayor calentamiento.

Por otro lado si las dos frecuencias son muy cercanas la frecuencia del rotor tendera a valores normales y la demanda de energía de la fuente sera por un período mayor. Esto aumenta los requerimientos de fuente. -- También cuando la diferencia es muy pequeña las lecturas no podrán ser muy exactas. Una separación de frecuencias de un 10% se considera buena para llevar a cabo la prueba.

Comparando las pruebas de 60/50 Hz. y las del dinamómetro, la elevación de temperatura en la de 60/50 Hz. es ligeramente mayor para 2 máquinas y menor para la máquina de 300 H.P. La aproximación de la corriente de carga que se puede hacer en la prueba de 60/50 Hz. es casi mejor que 2 ó 3% considerando la oscilación de frecuencias.

Un 2.5% de error en la corriente promedio dará como resultado una diferencia de un 5% en la elevación de temperatura.

La prueba al motor de 300 H.P. presenta el fenómeno

no de lectura de los termopares siendo más baja que la -- elevación por resistencia. Esto es una característica -- de las grandes máquinas de dos polos donde los termopares estan en contacto con el aire del motor.

La aplicación simultanea de las dos frecuencias -- da como resultado un campo magnetico giratorio en el en-- tre hierro del motor que varía en velocidad y magnitud -- como ya se había dicho anteriormente. Esto da como resul-- tado una vibración en el motor, la magnitud de esta vi--- bración se ilustra en la tabla II. que da los datos toma-- dos durante una prueba a un motor de 300 H.P.

Excitación	Amplitud de la vibración en milécimos de Pulgada.								
	Parte Tracera del motor			Parte tracera			Parte Frontal		
	Horz	Vert		En el Eje			En el Eje		
60 Hz.	0.44	0.35	0.42	0.83	0.14	0.44	0.98	0.44	
60/50 Hz.	1.30	0.57	1.00	0.68	0.27	0.65	1.10	0.46	

Medición de la amplitud de la vibración durante una prueba de 2 frecuencias.

TABLA II.

Las amplitudes de la vibración indican claramente -- el efecto de las dos frecuencias.

#### DISTRIBUCION DE PERDIDAS.

Una evaluación de la prueba de las dos frecuencias-- nos llevará a saber que tanto esta prueba simula la ope-- ración real.

Los resultados dados anteriormente dan algunos datos cuantitativos sobre el calentamiento total en los dos métodos. En la tabla III está la potencia de entrada durante la prueba de las dos frecuencias comparada con las pérdidas en funcionamiento normal para los mismos valores de corriente.

Máquina	Prueba de carga, pérdidas en Watts.	Corriente en Amperes.	Prueba de dos frec. potencia de entrada en Watts.	Frecuencias en Hertz.
3 hp.	640	9.00	630	60-50
25 hp.	2,146	51.5	2,000	60-50
300 hp.	20,967	76.0	19,200	60-50

Comparación de pérdidas en la prueba con carga y con dos frecuencias

TABLA III

Como podemos ver las pérdidas en la prueba de las dos frecuencias son equivalentes a las del motor a plena carga.

Kron expresa que la distribución de pérdidas esta concentrada más en el secundario para la prueba de las dos frecuencias.

Para obtener una comparación de la distribución de pérdidas en los dos métodos se debera hacer un estudio concienzudo.

En la prueba de simulación toda la energía entrando es consumida en el primario y secundario. La potencia por supuesto no es constante debido a que la máquina continuamente se acelera y desacelera. Haciendo una integración de las pérdidas durante un período de frecuencia se puede obtener un resultado promedio. Los re-

sultados obtenidos de la simulación son comparados con los de funcionamiento normal en la tabla IV.

<u>Pérdidas</u>	<u>Estado Estable</u> Watts.	<u>Prueba de dos Frecuencias</u> Watts.
Pri 1 <sup>2</sup> R	2,611	2,805
Sec 1 <sup>2</sup> R	<u>1,467</u>	<u>1,487</u>
total 1 <sup>2</sup> R	4,078	4,292

TABLA IV.

Es de interés también observar que el deslizamiento varía con respecto a la frecuencia de 60 Hz.  $\pm$  3.2% y con respecto a la frecuencia de 50Hz. de - 16.2% a - 23.8 %. Un deslizamiento normal para un motor de 300 - H.P. es 0.6 %

#### REQUERIMIENTOS DE LA FUENTE PARA LA PRUEBA DE LAS DOS FRECUENCIAS.

Una de las ventajas de la prueba de las dos frecuencias es que la potencia neta de entrada es equivalente a las pérdidas del motor y no a la potencia del motor. Normalmente las pérdidas del motor son de un 10% de la potencia nominal.

En esta prueba la energía es entregada al motor para acelerarlo y esta energía es devuelta cuando el motor se desacelera. Un ciclo completo de transferencia de energía ocurre aproximadamente cada 0.1 seg. para la prueba en 60/50 Hz. Esto tiene un efecto significativo en el tamaño de la fuente. Consideremos por ejemplo una prueba

a un motor de 1000 H.P. , 2300 V, 60 Hz. usando el circuito de la fig. 1.

Un valor típico de corriente nominal para este motor es de 225 A. Una razón de transformación para el transformador para el acoplamiento de 50Hz. es 460/2300-V. Notese que el devanado secundario debera ser aislado del alto voltaje del primario aunque el voltaje del secundario ira a ser de unos 300 volts. El circuito de 50 Hz. llevará aproximadamente 1125 A. A un voltaje de aproximadamente 50 V. La fuente de 50 Hz. entonces entregara 97 KVA. Así la mayoría de los generadores comerciales de este tamaño son designados para entregar el menos 460V con una corriente de 1125 A que sería 900 KVA. Las mismas condiciones se presentarían para el transformador. Generalmente estas pruebas requieren también la fuente de frecuencia nominal una de frecuencia auxiliar y un transformador todas de los mismas KVA que el motor que va a ser probado.

El transformador de la fuente auxiliar puede ser eliminado colocando el devanado del generador auxiliar directamente en serie con la línea entonces cuando se va a probar una máquina de alto voltaje la armadura de el generador auxiliar se debera aislar aunque su propio voltaje generado sera pequeño.



OBTENCION DE LA CARACTERISTICA PAR-VELOCIDAD  
EN MOTORES GRANDES.

Una manera más fácil de probar motores de inducción grandes, es reducir el voltaje y de esta manera se reduce al par que éste entrega de acuerdo a la siguiente relación:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

El probar los motores a voltaje reducido presenta la ventaja de tener un equipo de prueba mucho más pequeño. Los problemas de alineación del motor aislamiento de conexiones, acoplamiento, arrancadores, calentamiento, pérdidas, etc. se reducen bastante.

Por ejemplo pongamos el caso de un motor de 100 H.P. 440 V, 2 polos. Entregaría a voltaje nominal 198 new-m, pero si lo probamos a 220 V entregará:

$$T_2 = \frac{220^2}{440^2} \times 198 = 49.5 \text{ new-m}$$

Aquí sólo existe el problema de la saturación ó sea que si en realidad lo probamos a 220V, el par que entregará será ligeramente menor que 49.5 new-m.

Esto se debe a que si el voltaje es mayor las reactivancias del primario y secundario se saturan, reduciendo con esto su valor y aumentando la corriente que pasa por ellas ya que el par es una función de la corriente que pasa por ellas esto ocasionara que aumente éste, puesto que aumentó la corriente.

METODO DE MEDICION DE TEMPERATURA  
POR RESISTENCIA.

La determinación de la temperatura por el cambio de resistencia consiste en determinar la resistencia eléctrica ( $R_c$ ) y temperatura ( $T_c$ ) de un devanado frío y la resistencia cuando el devanado esta caliente ( $R_h$ ). La temperatura del devanado cuando esta caliente ( $T_h$ ) es entonces calculada de la fórmula dada por la IEEE la publicación - No. 118 de mayo de 1949 parrafo 3.10 y que es la siguiente:

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

Para la temperatura en grados centigrados, K es - -- 234.5 para cobre y 225 para aluminio.

\* La resistencia en frío debera ser medida después de que el motor ha sido expuesto durante un tiempo suficiente en el cuarto de pruebas. La resistencia del devanado en frío sera medida por un potenciómetro.

\* La resistencia en caliente debera ser medida tan pronto como se acabe de desenergizar el motor ya que inmediatamente esta empieza a variar.

\* Cuando un circuito de corriente alterna como lo es el devanado de un motor de inducción es desconectado - ocurre un voltaje transitorio. Este voltaje en realidad es pequeño. Pero siempre se debera dejar pasar un pequeño tiempo para que este desaparesca y se pueda tomar la lectura. Cuando se usa instrumentación automática la lectura se puede tomar en un tiempo bastante corto y se elimina la necesidad de extrapolar, para valores de tiempo - - - cero.

\* Ventajas de este método.

1). La medición por resistencia no presenta el problema de pérdidas térmicas y la respuesta es inmediata -- comparada con los termopares.

2). En la mayoría de los casos no se necesita desarmar el motor eliminando las probabilidades de daño al devanado.

\* Desventajas de este método.

1). Este método da una temperatura promedio de los conductores.

2). Solo mide temperatura en el devanado y no en -- otras partes.

3). Se puede tener error por falso contacto en las conexiones y en los relevadores.

