

Regem. 18



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**ANALISIS Y PRUEBAS DE UNA
MAQUINA DE CORRIENTE
DIRECTA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N

Héctor Fernando Calvillo Vaillard

Gaudencio Cruz Castillo



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INTRODUCCION

La demanda, cada año más grande, de transportación masiva, plantea siempre mayores exigencias en cuanto a cantidad y calidad de los servicios que proporcionan los sistemas de transporte en las grandes urbes. Como parte fundamental del servicio de transporte eléctrico, el motor de tracción requiere un estricto control de calidad durante su fabricación, y dar así, un amplio margen de confiabilidad en su operación.

En este trabajo se realiza el análisis de las características y comportamiento de un tipo de motor de tracción, en todo el margen de operación y se obtiene su respuesta para las condiciones más severas que pudieran presentarse en su funcionamiento.

Se aborda el estudio del motor fijando en el Capítulo I las características y detalles de construcción más importantes, previstos por el fabricante.

En el Capítulo II delimitamos nuestro análisis, estableciendo las normas aplicables de la Publicación 349 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), las cuales rigen en las pruebas de los motores de tracción.

El Capítulo III se ocupa de relacionar los implementos necesarios para poder efectuar las pruebas, indicando características y arreglos de los mismos en un piso de pruebas.

El conjunto de pruebas del motor se realizó conforme al programa asentado en el Capítulo IV. Aquí se describen los procedi

mientos que se encontraron más convenientes para efectuar las pruebas. También se muestran los resultados de las pruebas y sus respectivas gráficas.

Finalizando la tesis una vez que se tienen los resultados de las pruebas, se llega a una serie de conclusiones donde se enjuicia el comportamiento del motor y se determina si puede utilizarse con éxito en el sistema de transporte al cual va destinado.

El tipo de motor que presentamos tiene como característica una bobina de variación automática denominada AVF (Automatic Variable Field) que tiene la propiedad de poder variar el campo sin importar el valor de la corriente de carga. Esta característica se aprovecha para el control de velocidad de la máquina por medio de tiristores "SCR's", con lo cual se ahorra energía durante el frenado, que es de tipo regenerativo, devolviendo potencia a la línea de alimentación al actuar la máquina como generador.

Por otra parte, cuando se pretende llevar a cabo simulaciones de una máquina de C.D. en una computadora, el investigador necesita determinar los parámetros de la máquina con gran precisión, motivo por el cual consideramos que el presente trabajo puede tomarse como el primer paso en la determinación de esos valores, los cuales son de gran utilidad en los diseños de control de velocidad y par, en la industria. Así mismo, creemos que los métodos aquí aplicados pueden formar parte de un manual para la realización de pruebas de máquinas eléctricas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I.	Características del motor	1
CAPITULO II.	Categoría y normas de pruebas	10
CAPITULO III.	Equipo e Instrumentación	33
CAPITULO IV.	Programa de pruebas en la fábrica de motores de tracción	38

CONCLUSIONES

47

APENDICE A	Medición de la resistencia de los devanados en frío	49
APENDICE B	Prueba de Curva de Saturación	52
APENDICE C	Determinación de la eficiencia	58
APENDICE D	Pruebas de incremento de temperatura	88
APENDICE E	Pruebas de conmutación	118
APENDICE F	Prueba característica de velocidad	131
APENDICE G	Prueba de sobrevelocidad, prueba dieléctrica y prueba de arranque	134
APENDICE H	Prueba de impedancia	138

APENDICE I	Prueba de vibración	140
APENDICE J	Prueba de impacto	151
APENDICE K	Prueba de nivel de ruido	155
APENDICE L	Medición del flujo de aire de ventilación	164
	BIBLIOGRAFIA	169

CAPITULO I

"CARACTERISTICAS DEL MOTOR"

El motor que probaremos tiene las siguientes características:

Motor-serie de corriente directa, tipo autoventilado, 4 polos. El devanado de campo está compuesto de dos partes: un devanado fijo denominado serie, y una bobina de variación automática de campo (Automatic Variable Field - que se abreviará AVF en el texto de la tesis -).

I Datos de placa.

Régimen continuo:

Potencia de salida	128	(Kw)
Voltaje	360	(V)
Corriente	395	(A)
Velocidad	2 000	(RPM)

II Datos generales del motor:

Aislamiento	Clase H	
Velocidad máxima en prueba	5 060	(RPM)
Campo débil mínimo	35	(%)

II Datos generales del motor, (continuación):

Diámetro exterior del yugo	560	(mm)
Diámetro interior del yugo	483	(mm)
Espesor y longitud del yugo	38.5 x 350	(mm)
Rodamiento lado del conmutador	NU311C E	
Rodamiento lado del piñón	6314C E	
Peso	690	(Kg)

NOTA: Ver figuras I-1, I-2, I-3 y I-4.

III Armadura:

Diámetro	330	(mm)
Longitud del núcleo	173	(mm)
Núm. de ranuras	42	
Tamaño de ranuras	7.5 x 33.8	(mm)
Bobinas por ranura	4	
Total de conductores	336	
Tamaño del conductor	2.9 x 6.8	(mm)
Densidad de corriente	5.15	(A/mm ²)
Longitud del diente	43	(mm)
Ancho mayor del diente	15	(mm)
Ancho menor del diente	11	(mm)
Peso	238	(Kg)

III a) Tipo de devanados:

Bobina principal - imbricado cuádruple
Bobina equipotencial - ondulado simple

NOTA: Ver figura I-5, I-6.

III b) Conmutador

Diámetro	250	(mm)
Núm. de delgas	168	

III b) Conmutador (continuación)

Voltaje entre delgas	8.57	(V)
Núm. de escobillas	4 x 2	
Tamaño escobilla	20 x 45	(mm)
Densidad de corriente en escobillas	11.0	(A/cm ²)

IV Estator

IV a) Polo principal:

Arco polo	53	(grados)
Ancho del núcleo	130	(mm)
Longitud del núcleo	177	(mm)
Núm. espiras del circuito serie	8	
Núm. espiras del circuito AVF	15	
Dimensiones del conductor del circuito serie	2.8 x 39	(mm)
Dimensiones del conductor del circuito AVF	1.8 x 39	(mm)
Densidad de corriente	3.64	(A/mm ²)
Entrehierro	5.7	(mm)

IV b) Polo de conmutación:

Ancho del núcleo	32	(mm)
Longitud del núcleo	180	(mm)
Núm. de espiras	14	
Medidas del conductor	4.1 x 22	(mm)
Densidad de corriente	4.44	(A/mm ²)
Entrehierro	7.5	(mm)

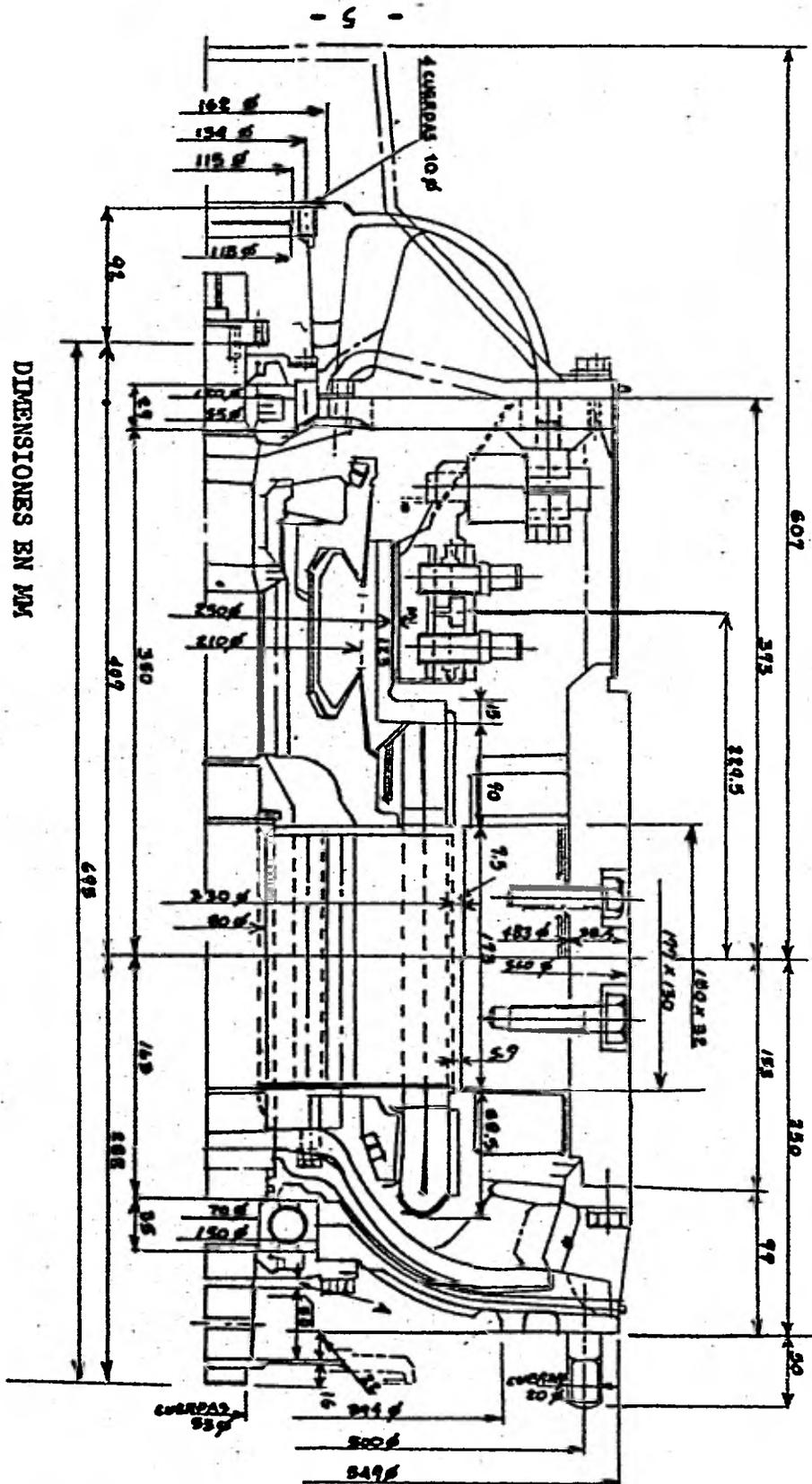


Figura I.2 Corte longitudinal del motor.

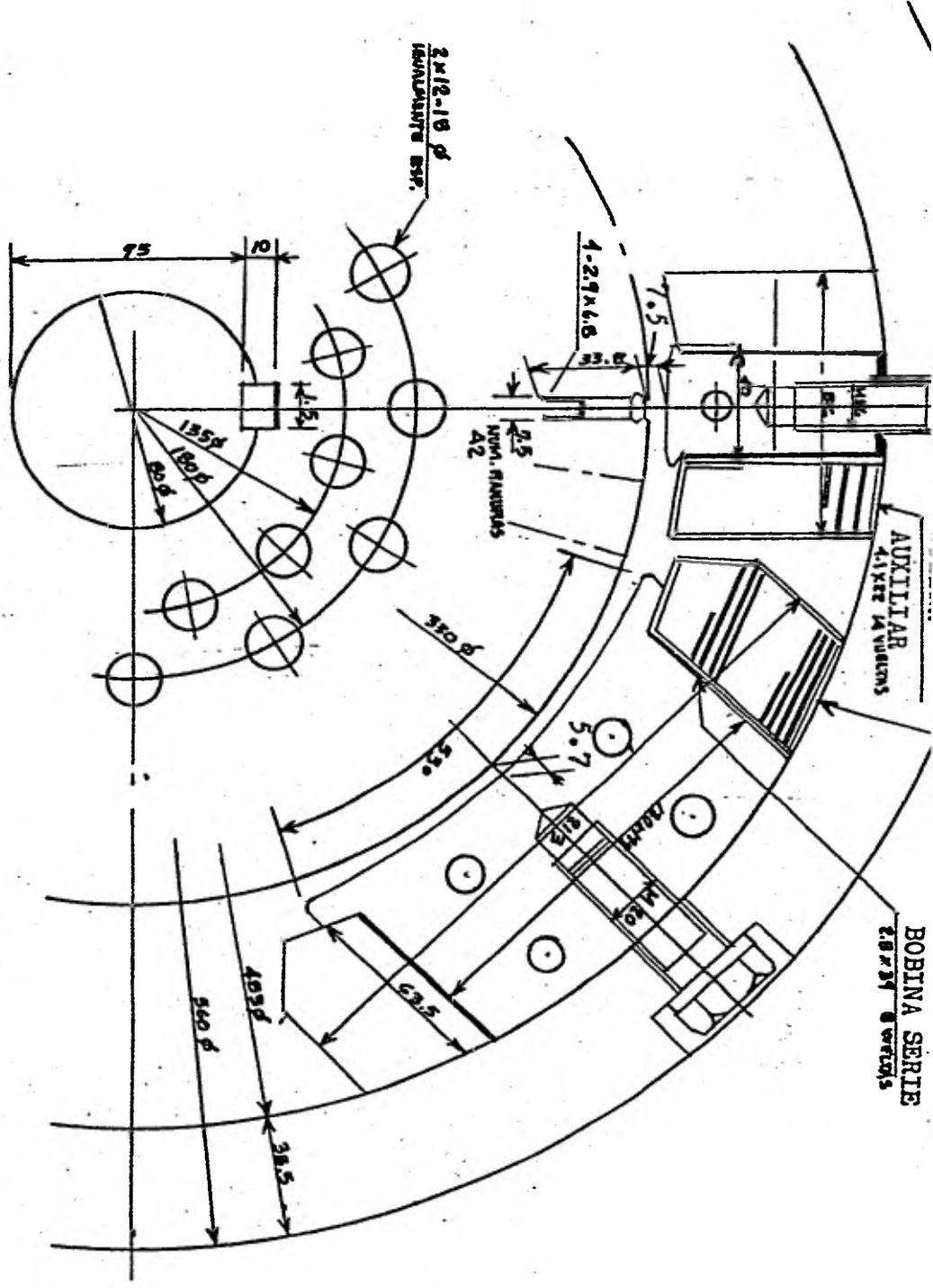
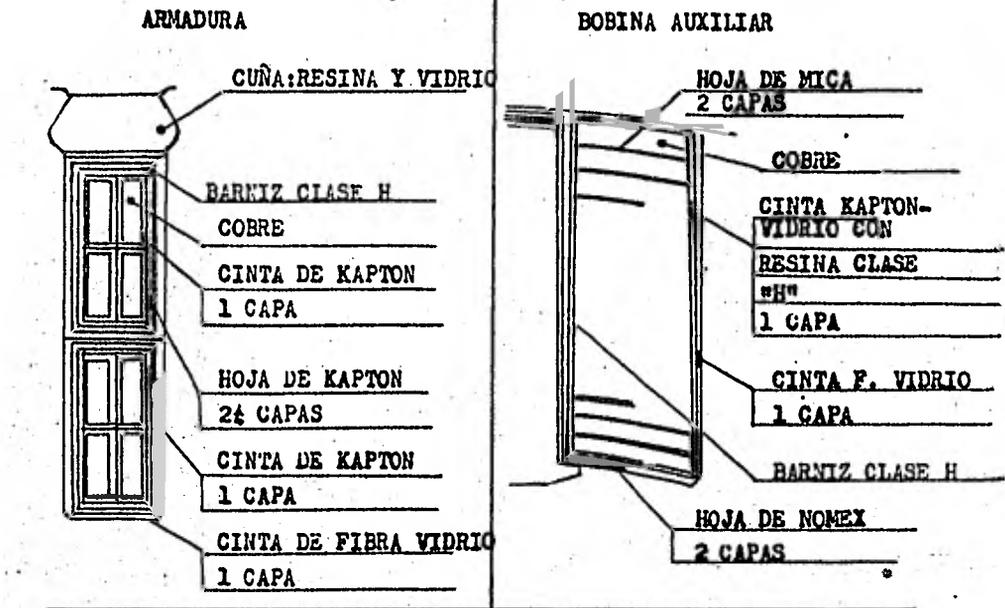


Figura I.3 CORTE TRANSVERSAL DEL MOTOR.

DIMENSIONES EN MM

Figura 1.4
AISLAMIENTO DE BOBINAS



BOBINA PRINCIPAL

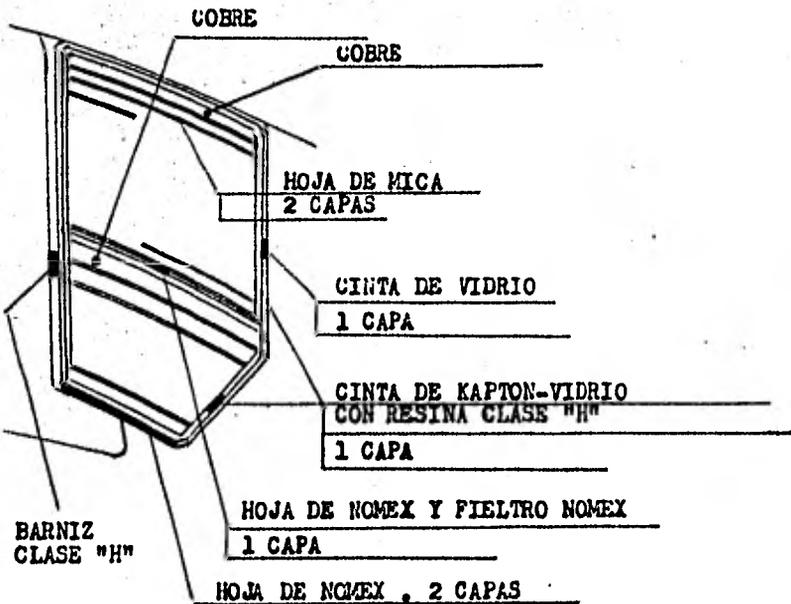


Figura I.5
CONEXION DE BOBINAS

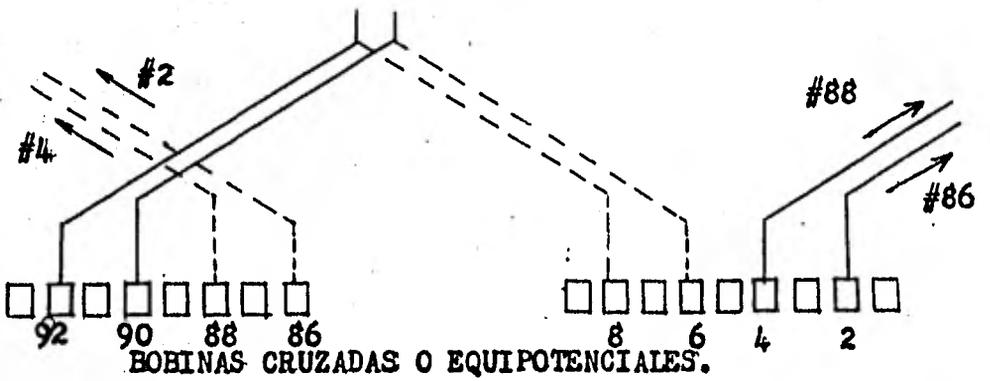
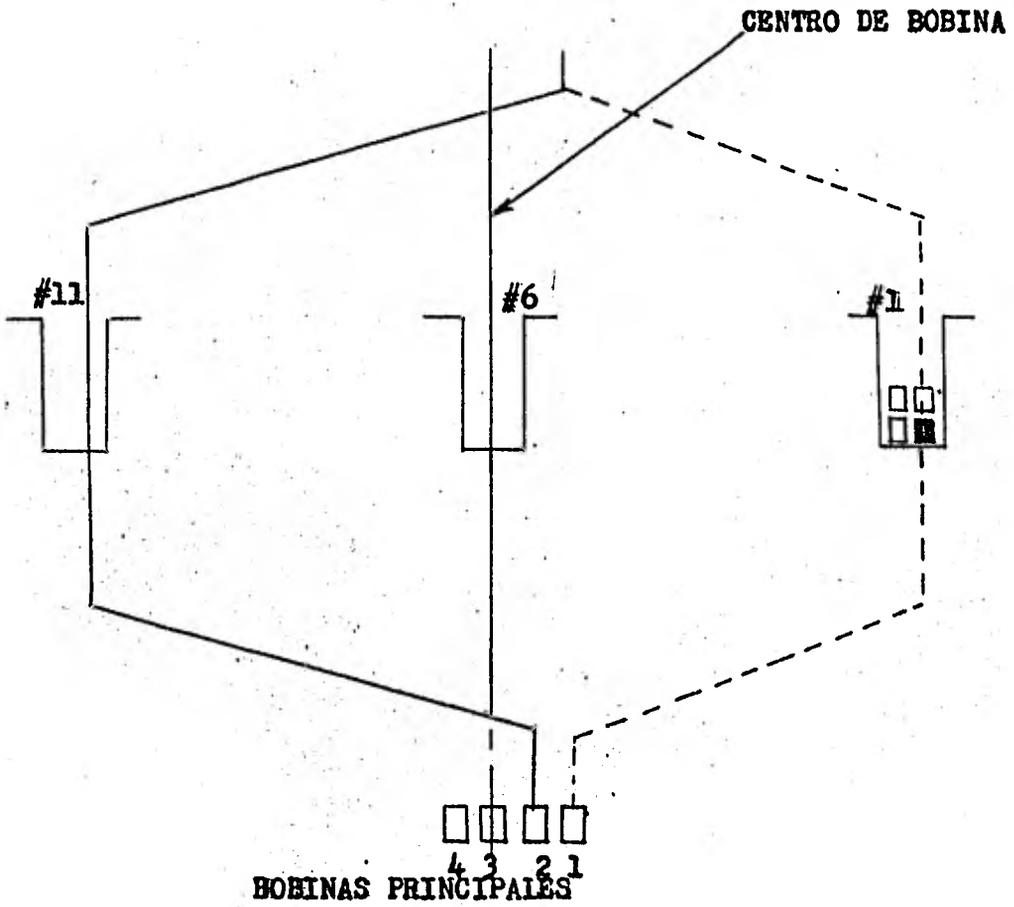


Figura I.6
VISTA DEL ESTATOR POR EL LADO DEL CONMUTADOR.

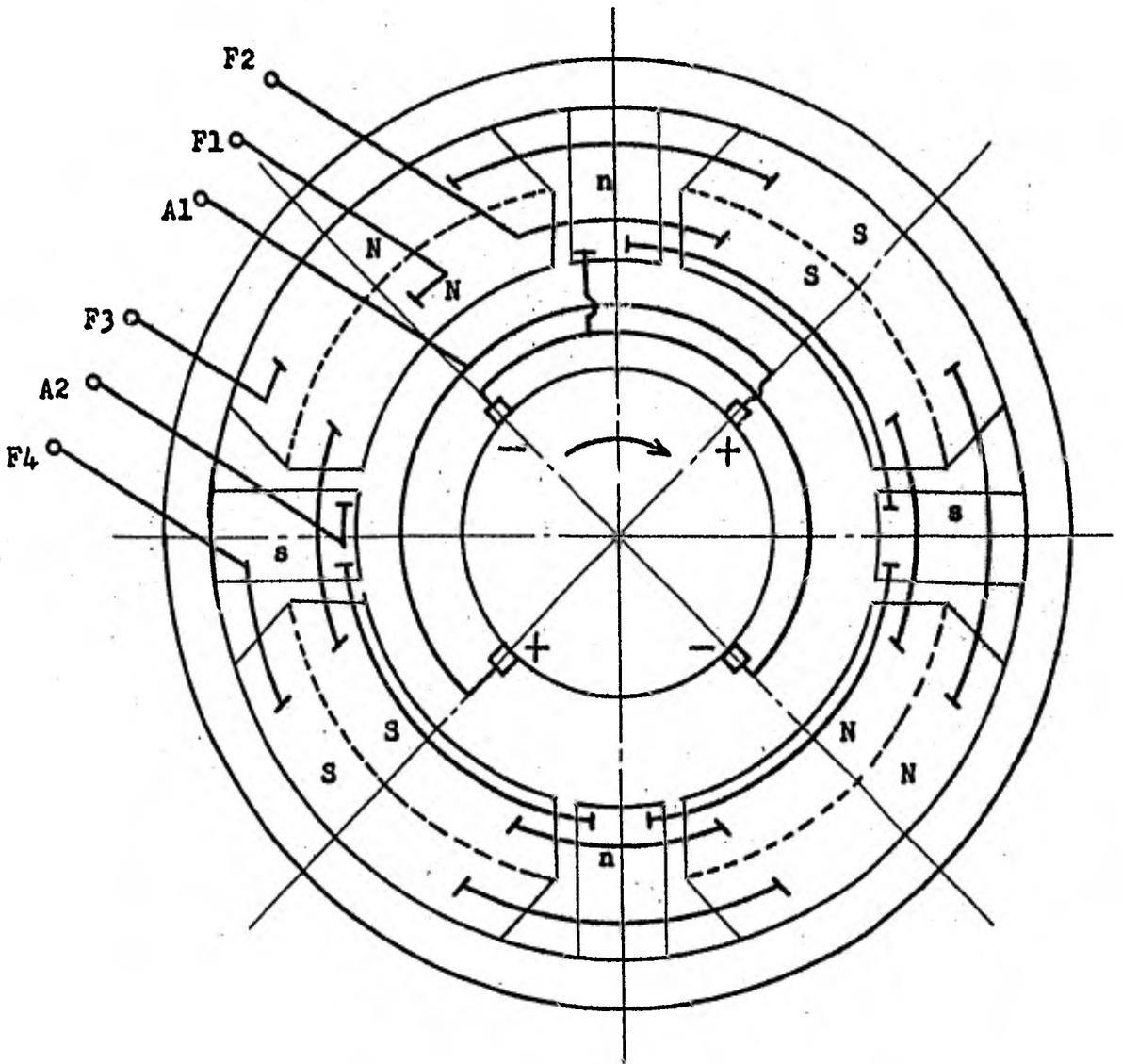
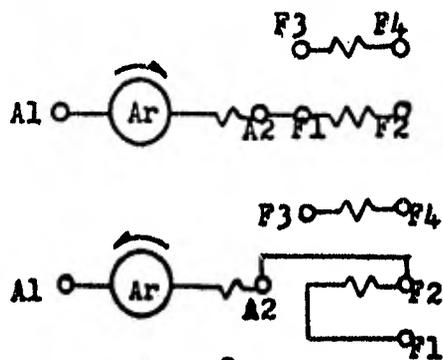


DIAGRAMA DE CONEXIONES.



CAPITULO II

CATEGORIA Y NORMAS DE PRUEBAS

II.1 GENERALIDADES

Existen 3 categorias de pruebas, propuestas por la "International Electric Commission" (IEC en lo sucesivo), las cuales son:

- Pruebas tipo.
- Pruebas de rutina.
- Pruebas de investigación.

Las descripciones de las pruebas de cada categoria se darán en el desarrollo de este capítulo.

II.1.a PRUEBAS TIPO.

Las pruebas tipo se realizan en una sola máquina que sea de un diseño nuevo o de una nueva manufactura.

Se considera que las máquinas han pasado las pruebas tipo y se excentan de ellas, si el fabricante tiene un registro de pruebas realizadas en máquinas idénticas, construidas en ocaciones anteriores, para las mismas condiciones de servicio y las mismas características.

Los fabricantes de equipo realizan pruebas opcionales si éstas vienen especificadas expresamente en la orden de compra.

Es de notarse que el fabricante obtiene los llamados valores de referencia, cuando ha realizado pruebas tipo en varias

máquinas.

II.1.b PRUEBAS DE RUTINA.

Las pruebas de rutina se hacen en todas las máquinas de la misma orden de compra.

Para ciertas máquinas, después de un acuerdo entre el usuario y el fabricante, las pruebas de rutina pueden reemplazarse por pruebas que se realicen en unas pocas máquinas tomadas aleatoriamente.

Para grandes volúmenes de producción, se estimará que las máquinas han pasado las pruebas de rutina y se exceptuará de ellas, si dichas máquinas se probaron satisfactoriamente de acuerdo con la publicación 34 de la IEC "Rotating Electrical Machines".

II.1.c PRUEBAS DE INVESTIGACION.

Las pruebas de investigación son pruebas especiales y son de carácter opcional. Se llevan a cabo para obtener información adicional.

Estas pruebas se hacen únicamente si están expresamente especificadas en el pedido.

II.2 REGLAS ESPECIALES PARA MOTORES DE TRACCION DESTINADOS A USARSE EN VEHICULOS CON RECTIFICADOR DE UNA FASE.

Para estos motores, ciertos tipos de pruebas (incremento de temperatura, conmutación y pruebas de curvas características) se deben hacer con corriente pulsante a la frecuencia real de pulsación y con el factor de rizo de la C.D.

El equipo usado en estas pruebas debe tener ciertas características que produzcan un factor de rizo en C.D., tan similar como sea posible al que ocurre en servicio, sobre todo el rango de operación.

Las pruebas de rutina, en especial las pruebas de incremento de temperatura, conmutación y característica de velocidad, se deben hacer con corriente directa. Por su parte, las pruebas tipo del motor se deben hacer con corriente directa y corriente pulsante.

II.3 PRUEBAS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA.

Las pruebas de incremento de temperatura comprenden pruebas tipo y pruebas de rutina. Estas pruebas se llevan a cabo en la mesa de pruebas y bajo las condiciones que a continuación se especifican:

II.3.1 PRUEBAS TIPO.

Las pruebas se deben efectuar de modo que se cubra todo el rango de velocidad y corriente garantizado del motor, vigilando especialmente que la ventilación, durante la prueba de incremento de temperatura, sea igual a la ventilación en servicio normal.

Cuando el enfriamiento es por ventilación forzada, la presión estática y el volumen de aire se miden a la entrada de la máquina y la tabla obtenida de estas cantidades se grafica.

II.3.2 PRUEBAS DE RUTINA.

En las pruebas de rutina cada máquina se corre con carga un periodo de tiempo apropiado. Se recomienda que este tiempo no exceda de una hora, con objeto de :

a) Probar que estén en perfectas condiciones las partes mecánicas, tales como rodamientos, conmutador, etc.

b) Comprobar que estén en buenas condiciones las partes eléctricas, y que los devanados estén en estado caliente.

c) Verificar que el incremento de temperatura de cualquier devanado no exceda la cantidad del incremento promedio, para el devanado establecido por pruebas en un cierto número de máquinas.

d) Calentar la máquina antes de tratar de obtener pruebas de curvas características, de sobrevelocidad y pruebas de alto voltaje, así como pruebas de conmutación.

II.3.3 CONDICIONES DE PRUEBAS.

El usuario y el fabricante deben decidir la duración de la prueba, y los valores de voltaje, corriente, frecuencia, ventilación, porcentaje de campo, etc., para los cuales se deben

realizar las pruebas. Por ésto el incremento de temperatura de todos los devanados deberá estar lo más cercano posible a los valores obtenidos en la prueba tipo.

Si no existe ningún arreglo especial entre el fabricante y el usuario, las pruebas de rutina se llevan a cabo durante una hora con los valores restantes similares a las pruebas tipo.

II.3.3.1 PRUEBAS ESPALDA CON ESPALDA

Debido a las características del método, referirse al punto II.11.1, cuando los motores o generadores se prueban espalda con espalda en corriente directa, es suficiente llevar a cabo una so la prueba de incremento de temperatura en el par de máquinas.

En las primeras máquinas probadas, se separan los promedios de incremento de temperatura, obtenidos de la máquina que actúa como motor de aquellos, obtenidos de la otra máquina que trabaja como generador.

En las pruebas de rutina subsecuentes, el buen estado de la máquina se juzga por comparación del promedio de incremento de temperatura, ya establecido con las primeras máquinas. En caso de aceptarse nuevas máquinas, se integran los nuevos valores de temperatura para actualizar el promedio, y este nuevo promedio será la base para la aceptación o rechazo de las máquinas subsecuentes.

II.3.3.2 LIMITES DE INCREMENTO DE TEMPERATURA.

Los límites de temperatura a los que una máquina se puede operar dependen, como sabemos, de la clase de aislamientos que se empleen para aislar los diferentes elementos que se utilizan en la construcción de motores eléctricos. La publicación 85 de la IEC da las recomendaciones o guías para clasificar los diferentes aislantes de acuerdo a su composición química y su estabilidad térmica cuando se emplean en máquinas rotatorias.

La siguiente tabla muestra los límites permisibles de incrementos de temperatura para las diferentes partes de la máquina, aisladas con materiales de distintas clases. Los límites de temperatura que se muestran, están dados sobre la temperatu-

ra del aire de enfriamiento de la máquina.

Partes de la Máquina	Método de Medición	Límites de incrementos de temperatura correspondientes a características continuas a una hora o intermitentes, para las diferentes clases de aislamiento en los devanados.			
		E	B	F	H
Devanados estacionarios o devanados de campo rotatorio de alternadores o motores síncronos.	Resistencia	115°C	130°C	155°C	180°C
Todos los demás devanados rotatorios.	Resistencia	105°C	120°C	140°C	160°C
Conmutador o anillos deslizantes.	Termómetro Eléctrico	105°C	105°C	105°C	105°C

Tabla II.1 Incrementos permisibles de temperatura de los diferentes elementos de la máquina de C.D. y de máquinas eléctricas en general, según la clase de aislamiento de sus partes.

Es de notarse que cuando las máquinas van a operar, y quedan expuestas directa o indirectamente a una fuente de calor, la adopción del incremento de temperatura permisible, obtenido de la tabla anterior, puede ser modificado entre el usuario y el fabricante.

Normalmente no se hace ninguna corrección en la medición del incremento de temperatura, si el aire de enfriamiento tiene una temperatura entre 10 y 40°C en la prueba. Si la temperatura del

aire de enfriamiento en la prueba tipo está fuera de estos límites, es necesario ajustar los límites citados de acuerdo a valores o correcciones, tomados de común acuerdo entre el usuario y el fabricante.

II.3.3.3 MEDICION DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE ENFRIAMIENTO, DURANTE LA PRUEBA DE INCREMENTO DE TEMPERATURA.

En el caso de máquinas con ductos de ventilación, la temperatura del aire medida a la entrada de la máquina, se considera como la temperatura del aire de enfriamiento durante la prueba.

En todos los demás casos, la temperatura del aire de enfriamiento se mide con varios termómetros, colocados en diferentes puntos alrededor de la máquina, a una altura similar a la mitad del motor y a una distancia de 1 a 2 metros, y protegidos de cualquier radiación de calor. El valor adoptado para la temperatura de aire de enfriamiento de la prueba, es la media de las lecturas de los termómetros. Las lecturas tomadas a intervalos de tiempo iguales durante el último cuarto de la duración de la prueba.

Con objeto de evitar errores debidos a los diferentes cambios de temperatura en el aire de enfriamiento, en especial en máquinas grandes, se deben tomar todas las precauciones para reducir estas variaciones y disminuir el error del incremento por estas razones.

II.4 METODOS DE MEDICION DE TEMPERATURAS DE LAS PARTES DE LAS MAQUINAS.

II.4.1 GENERALIDADES.

Usualmente se emplean dos métodos para determinar las temperaturas en las diferentes partes de una máquina eléctrica:

- a) El método de resistencia para devanados aislados.
- b) El método de termómetro eléctrico para conmutadores, anillos deslizantes y devanados no aislados permanentemente en corto circuito.

II.4.2 METODO DE RESISTENCIA.

En este método, el incremento de temperatura de los devana

dos, se determina por su incremento en la resistencia al final de la prueba tal como se obtiene de la siguiente fórmula:

$$T_2 - T_a = \frac{R_2}{R_1} (235 + T_1) - (235 + T_a)$$

Donde:

T_a : Temperatura en °C del aire de enfriamiento al final de la prueba

T_2 : Temperatura en °C del devanado al final de la prueba.

T_1 : Temperatura en °C del devanado cuando fué medida la resistencia inicial, del devanado en frío.

R_2 : Resistencia del devanado al final de la prueba.

R_1 : Resistencia inicial del devanado cuando está en frío.

NOTA: Para materiales diferentes al cobre, el número 235 de la fórmula anterior, deberá reemplazarse por el recíproco del coeficiente de temperatura de la resistencia a 0°C del material.

II.4.3 METODO DEL TERMOMETRO ELECTRICO.

En este método, la temperatura se determina por medio de termómetros eléctricos aplicados inmediatamente después de que la máquina para, en partes accesibles del conmutador o anillos deslizantes y partes no aisladas, en los puntos que se considere que son los más calientes.

Resistencia inicial: Antes de medir la resistencia inicial, es necesario garantizar que las temperaturas de los devanados de la máquina, estén dentro de $\pm 5^\circ\text{C}$ de la temperatura media del aire ambiente. En el caso de que la temperatura del aire ambiente en la mesa de pruebas exceda de 40°C , se deben hacer arreglos especiales entre usuario y fabricante.

II.5 MEDICION DE RESISTENCIAS Y TEMPERATURAS EN LA PRUEBA, Y CORRECCION DE MEDICIONES.

II.5:1 GENERALIDADES.

La resistencia de un devanado en el cual circula una corriente directa, debe medirse periódicamente con la máquina funcionando. La resistencia del devanado se grafica contra el tiempo.

po con objeto de obtener el incremento al final de la prueba.

Para los devanados en los cuales no se puede medir la resistencia en operación, la medición de la resistencia se hace después de que el motor ha parado.

Con frecuencia se realiza un conjunto de pruebas especiales para establecer las curvas de enfriamiento. Los resultados de estas pruebas y de las pruebas tipo nos llevan a obtener unas curvas de enfriamiento que se declaran "curvas base" para las pruebas de rutina. Estas curvas base de enfriamiento se realizan para cada devanado, y normalmente se extrapolan para obtener la temperatura en el momento de corte.

El momento de corte se considera en el instante en que se desenergiza la máquina.

II.5.2 PARO DE LA MAQUINA Y TIEMPO DEL INICIO DE ENFRIAMIENTO.

Con objeto de medir la resistencia de los devanados que no se pueden medir en operación, deben hacerse arreglos para parar la máquina bajo prueba, tan rápido como sea posible al finalizar la prueba.

Para pruebas tipo se usa preferiblemente el método de frenado que no requiera que circule corriente a través de la máquina bajo prueba, y el tiempo del inicio de la curva de enfriamiento será el instante exacto en que empieza el frenado, los circuitos de la máquina se desenergizan y cualquier ventilación forzada se suspende. Sin embargo, el frenado anterior presenta algunas dificultades prácticas, por esta razón se puede utilizar el método que se usa en las pruebas de rutina.

Para pruebas de rutina existen otros métodos. Manteniendo la corriente circulando en sentido contrario, a través de los devanados durante el frenado, se hace que la máquina se detenga rápidamente. En estos casos, la corriente se intenta mantener en la máquina tan constante como sea posible durante el periodo de frenado. En este caso se considera el tiempo del "inicio del enfriamiento" cuando el valor de la corriente baja al 20% del valor de prueba. La ventilación forzada, si la hay, debe ser cortada en ese instante.

II.5.3 VALOR DE LA CORRIENTE DE MEDICION.

Si se usa el método del voltmetro y amperímetro para la medición de resistencia de la armadura, la corriente usada debe tener un valor tal, que; a) se obtenga una buena precisión en la medición; b) tenga una magnitud suficientemente pequeña para que no empiece a girar la armadura por efecto del flujo residual; c) no influya en el incremento de temperatura.

En especial cuando la resistencia de una armadura se mide por el método del amperímetro y voltmetro, la corriente que circula a través de las escobillas en el conmutador y la caída de tensión deben ser medidas entre dos delgas colocadas simétricamente con respecto a la delga central del claro entre escobillas y separadas una de la otra por un número dado de delgas, igual a la mitad o $2/3$ partes del número de delgas entre polos.

Si las mediciones de resistencia son hechas por un método de puente de resistencia el voltaje de prueba debe ser aplicado a las mismas delgas mencionadas en el párrafo anterior. En el caso de pruebas tipo, las mediciones de resistencia o de caída de potencial según el método utilizado, se deben hacer en las mismas delgas, por lo que es conveniente que dichas delgas sean marcadas.

En el caso de pruebas de rutina, no es obligatorio hacer las mediciones en delgas marcadas. Pero es recomendable obtener una muestra y comprobar que, antes de empezar la prueba, las diferencias entre las resistencias medidas en frío de diferentes pares de delgas, igualmente espaciadas sobre el conmutador, sean despreciables.

II.5.4 TIEMPO DE LA 1ª. MEDICION, INTERVALO ENTRE MEDICIONES SUCESIVOS, EXTRAPOLACION DE CURVAS DE ENFRIAMIENTO Y CALENTAMIENTO, ANALISIS DE RESULTADOS.

II.5.4.1 PRUEBAS TIPO.

a) Para resistencia de devanados medibles cuando la máquina esté funcionando, la última medición de resistencia debe hacerse justamente antes del final de la prueba de incremento de temperatura y en un intervalo de tiempo no mayor de 20 segundos antes del

final de la prueba en el caso de una prueba de corta duración.

b) En cada uno de los devanados que no se puede medir su resistencia cuando la máquina está funcionando, debe hacerse una serie de mediciones de resistencia, empezando en un tiempo no mayor a 45 segundos después del comienzo del enfriamiento y deberá continuarse por lo menos durante 5 minutos.

El tiempo entre mediciones sucesivas no debe exceder de 20 segundos durante los primeros 3 minutos, y 30 segundos después de estos tres minutos.

El incremento de temperatura se calcula de estas lecturas y será graficado como una función del tiempo; una curva será dibujada a través de los puntos y extrapolada al tiempo del inicio de enfriamiento, y se obtendrá la temperatura final de los devanados.

Para las curvas de enfriamiento, es recomendable usar papel con escala logarítmica para el incremento de temperatura y una escala lineal para el tiempo.

II.5.4.2 PRUEBAS DE RUTINA.

Para las pruebas de rutina, los resultados de las pruebas de enfriamiento se grafican de la misma forma que en las pruebas tipo. Esto se hace habitualmente para las primeras 4 máquinas que salgan de la línea de producción. Entonces los resultados de las curvas de enfriamiento de cada devanado se promedian con objeto de obtener una base temporal, para aceptar o rechazar las máquinas del primer lote de diez. Enseguida de estas diez primeras máquinas, se promedian, y así se obtienen las curvas de calentamiento y enfriamiento nominales para cada uno de los devanados.

Al hacer las pruebas de rutina de las máquinas que salen de las líneas de producción, solo es necesario tomar algunas lecturas de resistencias cerca del final de la prueba. Se calcula el incremento de temperatura para cada devanado y se compara con el incremento correspondiente de la curva de calentamiento o enfriamiento nominal. El incremento de temperatura del devanado se registra como satisfactorio si no excede por más del 8% (con un mínimo de 10° C) del valor de la lectura correspondiente a la curva

nominal.

II.6 PRUEBAS DE SOBREVELOCIDAD.

Las pruebas de sobrevelocidad son pruebas de rutina. Se llevan a cabo durante 2 minutos con las máquinas calientes. Con estas pruebas se verifica que los motores son capaces de soportar una velocidad igual a 1.25 veces la máxima velocidad de operación. Después de las pruebas de sobrevelocidad, las máquinas no deben mostrar deformación permanente y deben soportar satisfactoriamente las pruebas dieléctricas.

II.7 PRUEBAS DE ARRANQUE.

Generalidades.

Con objeto de cumplir con las normas de la IEC, los motores de tracción que tienen conmutador y los motores para impulsar locomotoras y vehículos con trabajos similares, deben someterse a pruebas de arranque. Estas pruebas clasificadas como pruebas tipo, se realizan de la siguiente forma; el motor con la armadura bloqueada, debe soportar por 5 segundos una corriente de 170% el valor de la corriente nominal. La corriente que se usa en esta prueba es C.D. y no es necesario excitar el motor durante la prueba, que se repite cuatro veces, a intervalos de cinco minutos entre pruebas sucesivas, teniendo cuidado de girar la armadura un cuarto de paso polar, en la misma dirección, después de cada prueba.

Una vez terminada la prueba, el conmutador puede mostrar decoloración local pero no huellas de quemaduras o deformación permanente.

II.8 PRUEBAS DE CONMUTACION.

A continuación se describen dos tipos de pruebas de conmutación:

- a) Pruebas de conmutación en condiciones de operación del motor en estado estable.
- b) Prueba de interrupción y restauración del suministro eléctrico.

II.8.1 PRUEBAS DE CONMUTACION EN CONDICIONES DE ESTADO ESTABLE.

Generalidades.

En las pruebas de conmutación se somete a la máquina a las siguientes condiciones:

1.- Se aplica una tensión "U" a las terminales del motor don de "U" es la tensión de la línea que alimenta al motor; o U/n , si se tiene un arreglo de motores conectados en serie, siendo "n" el número de motores del arreglo.

2.- La corriente que se hace circular en el motor debe cubrir todo el rango de operación. Con ésto se prueba en el rango completo de velocidad.

3.- Debe verificarse, durante la realización de la prueba, que no se presente signos de mala conmutación, como chisporroteo, arcos, etc.

Esta prueba esta clasificada como prueba tipo y como prueba de rutina.

Las pruebas de conmutación se llevan a cabo con la máquina caliente. Cada punto en la prueba de conmutación debe sostenerse aproximadamente 30 segundos y si después de varias observaciones con corrientes altas, la máquina muestra señales de calentamiento excesivo, se le permite al fabricante que haga funcionar la máquina con una corriente pequeña, por un periodo que sea suficiente para que la máquina se enfríe a su temperatura normal antes de continuar con la prueba.

Las máquinas diseñadas para operar con excitación independiente o con exc. compuesta deben ser probadas con las corrientes de excitación apropiadas para cada uno de los puntos de prueba.

En especial para motores de tracción se aplica lo siguiente:

a) Los motores que normalmente funcionan en una dirección de rotación, las pruebas se llevan a cabo en esa dirección.

b) Los motores diseñados para funcionar en ambas direcciones de rotación, las pruebas se hacen en ambas direcciones.

c) Las pruebas pueden hacerse con cualquier secuencia apropiada de corrientes y sentidos de rotación. Frecuentemente es

conveniente hacer las pruebas con corrientes altas primero para minimizar la posibilidad de sobrecalentamiento en el motor.

d) Siempre que la dirección de rotación se cambie durante las pruebas, se le permite al fabricante hacer funcionar el motor durante 5 minutos consecutivos con una corriente que no exceda la corriente de régimen continuo y al voltaje nominal, en la nueva dirección, con el objeto de obtener una mejor superficie de contacto entre las escobillas y el conmutador. Las escobillas no se deben mover entre el periodo de prueba en un sentido de rotación, y la primer prueba después de invertir este sentido.

II.8.1.1 PRUEBAS DE CONMUTACION EN CONDICIONES DE ESTADO ESTABLE; PRUEBAS TIPO.

Las pruebas de conmutación deben hacerse para un número razonable de valores variando la corriente a manera de cubrir el rango de la curva característica de tracción, aplicando lo siguiente:

a) Para los motores alimentados de una batería, la prueba se debe hacer con un voltaje igual al voltaje sin carga de la batería, cuando dicha batería presenta sus mejores características de voltaje y corriente.

b) Para motores que usan frenado regenerativo, las pruebas de conmutación deben hacerse para un número razonable de corriente y de velocidad cubriendo todo el campo de aplicación de las curvas características cuando está regenerando, haciendo que la máquina trabaje como un generador a un voltaje máximo de 1.2 U.

c) Para motores que tienen frenado reostático, las pruebas de conmutación se hacen para un número razonable de corrientes, excitaciones y velocidades, cubriendo todo el campo de aplicación de las curvas características cuando frena reostáticamente.

d) Para motores conectados en serie permanentemente, que no están acoplados mecánicamente y no tienen dispositivos automáticos para prevenir sobrevelocidad o variación de velocidad entre los motores, la prueba de conmutación debe realizarse con campo máximo.

e) En el caso de motores de tracción alimentados directa o indirectamente de una línea de alimentación, el voltaje será 1.5

veces de U.

La corriente será ajustada para que el motor gire a la máxima velocidad de servicio.

II.8.1.2 PRUEBAS DE CONMUTACION EN CONDICIONES DE ESTADO ESTABLE; PRUEBAS DE RUTINA.

Los motores de tracción que están alimentados directa o indirectamente de una línea de alimentación se someten a una serie de pruebas con campo mínimo, el voltaje será U (vóltaje de la línea de alimentación) y bajo las siguientes condiciones:

- a) A la máxima velocidad de servicio mostrada en la curva característica de velocidad.
- b) A la corriente correspondiente al valor nominal de corriente.
- c) Al máximo valor de corriente mostrado en la curva característica de velocidad.

El voltaje U, para el caso de motores alimentados de una batería, debe ser el voltaje en vacío de la batería a máxima potencia.

II.8.2 PRUEBAS DE CONMUTACION BAJO CONDICIONES DE INTERRUPCION Y RESTAURACION DEL SUMINISTRO ELECTRICO.

Generalidades.

Esta prueba consiste en interrumpir la línea de alimentación al motor durante un determinado tiempo. Se verifica que el conmutador no sufre ninguna deformación permanente debida al transitorio de alta corriente que se presenta, y el resultado es satisfactorio si después de realizar la prueba 3 veces para 100% de campo con la corriente nominal y tres veces más para 35% de campo, el conmutador no se dañó. Estas pruebas están clasificadas como pruebas tipo y se aplican únicamente a motores de C.D. y corriente pulsante.

Los siguientes puntos son válidos para motores serie, derivación y compuestos.

- a) En el caso de motores con excitación independiente o en los motores compuestos en los cuales la excitación en paralelo

predomine sobre la serie, se pueden hacer arreglos especiales entre el fabricante y el usuario.

b) Está reconocido que para motores de gran potencia, las pruebas en fábrica tienen limitaciones y pueden tener muchas complicaciones con el procedimiento de prueba especificado, en tales casos, el usuario y el fabricante tomarán un acuerdo para modificar el procedimiento de prueba.

II.8.2.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE CONMUTACION, BAJO CONDICIONES DE INTERRUPCION Y RESTAURACION, PARA MOTORES DE TRACCION.

La prueba será hecha por medio de interruptores manuales o automáticos que tengan capacidad para cortar la tensión en las terminales cuando el motor esté funcionando con la corriente nominal y además se tenga la capacidad para reconectar el sistema después de aproximadamente .2 segundos después de la interrupción.

La velocidad de rotación del motor se mantendrá tan constante como sea posible durante el periodo de interrupción.

El debilitamiento del campo se puede hacer por desviación del campo, o cambio de un tap, o en caso de excitación separada, regulando la corriente. La prueba será llevada a cabo 3 veces con campo máximo y 3 veces con campo mínimo, en intervalos de pocos minutos.

Mediante la confirmación de oscilogramas, se verificará que el voltaje en las terminales del motor:

- Es al menos igual a 1.3 veces el voltaje nominal en el momento de reconectar el interruptor.

- Es no menor que 0.9 veces el voltaje nominal durante el periodo transitorio, el cual sigue a la conexión del interruptor.

Para las pruebas con campo mínimo, el motor debe estar provisto con dispositivos para el debilitamiento del campo, equivalentes con los que opera en servicio.

Si el motor forma parte de un ensamble el cual incluya un dispositivo automático que produzca una completa protección contra reconexión después de la interrupción en un tiempo menor a 0.2 seg., la prueba será llevada a cabo con este dispositivo, o en un tiempo igual al tiempo de operación del dispositivo.

Al finalizar las pruebas, se verifica que el conmutador no presente daño permanente debido a las chispas producidas durante el transitorio de la interrupción y la restauración.

II.9 PRUEBAS DIELECTRICAS.

El objetivo de las pruebas dieléctricas es garantizar que los aislamientos de la máquina están en perfectas condiciones.

Las pruebas dieléctricas se clasifican como pruebas de rutina.

El voltaje de prueba se aplica entre los devanados de cada uno de los circuitos y la carcasa con los devanados de todos los otros circuitos conectados a ella. Esto es únicamente para máquinas nuevas y completas, con todas sus partes colocadas en su lugar, bajo condiciones equivalentes a condiciones normales de funcionamiento.

Esta prueba se hace en la planta del fabricante con la máquina caliente y después de las pruebas especificadas anteriormente.

El voltaje de prueba será alterno y será tan cercano como sea posible a una forma de onda senoidal, la frecuencia de la prueba debe ser entre 25Hz y 100Hz.

La prueba debe empezar con un voltaje menor que una tercera parte del voltaje de prueba y después incrementado gradualmente al voltaje total de prueba.

El voltaje total de prueba será mantenido en todos los devanados por 60 segundos y el valor del voltaje será $2.25 U + 2000 V$ para sistemas de corriente directa, donde U (Voltaje de la línea de alimentación).

Los voltajes de prueba están dados en valores R.M.S. para C.A. y valores medios para voltajes pulsantes.

II.10 DETERMINACION DE CURVAS CARACTERISTICAS.

II.10.1 Generalidades.

Son aquellas curvas que representan la variación de una magnitud eléctrica o mecánica de la máquina, en función de otra magnitud, cuando las restantes permanecen constantes. Su conocimiento

to es esencial para juzgar cuál será el comportamiento en servicio, de la máquina eléctrica, las curvas características se grafican en los límites de operación de diseño, para cada variable, a una temperatura de referencia en los devanados de 115° C para todos los tipos de materiales aislantes.

El conjunto de pruebas que se realizan para verificar las características especificadas del motor, se presupone que se hacen en la mesa de prueba con la máquina caliente (inmediatamente después de la prueba de incremento de temperatura):

Las curvas características obtenidas durante la prueba se llaman "curvas características nominales"

Algunas de estas curvas formarán las bases para las pruebas de rutina, tomando en cuenta las tolerancias de diseño y manufactura.

Para el cálculo de la eficiencia se deben corregir los resultados debidos a la diferencia de la temperatura durante la prueba y la temperatura de referencia, que es de 115° C. Si se requiere, también se corregirán las diferencias en otros valores.

Para pruebas de rutina, la corrección en los devanados puede omitirse si la prueba se realiza con la máquina caliente, es decir, tan pronto como sea posible después de la prueba de incremento de temperatura.

II.10.2 DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISITICAS DE MOTORES DE TRACCION.

Se harán por lo menos, cuando el motor opera en sus límites máximo y mínimo de campo y para una tensión de alimentación que corresponda al voltaje mínimo permisible, obtenido de la máquina trabajando como generador en régimen continuo.

Con las condiciones antes mencionadas, se obtienen las siguientes características; la velocidad, la eficiencia, el par, y si es necesario, la potencia en la flecha; graficados como funciones de la corriente.

Opcionalmente, se pueden graficar las curvas características para el voltaje más alto permisible, obtenido de la máquina trabajando como generador.

Por otra parte, deberán tomarse suficientes lecturas de la variable a graficarse (cuatro o cinco para cada curva). Con esto se pretende que la curva declarada pueda relacionarse de forma conveniente, con la curva previamente especificada por el fabricante.

Para motores que están diseñados para funcionar en ambas direcciones de rotación, las lecturas se toman en las dos direcciones.

II.11 METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA EFICIENCIA.

Existen varios métodos para la determinación de la eficiencia, de los cuales trataremos los más apropiados para aplicarse en el motor de tracción. Cualquier método puede utilizarse, previo arreglo entre el usuario y el fabricante. No existe preferencia por ningún método de los descritos en este capítulo. La medición directa de las potencias de entrada y salida, para la obtención de la eficiencia, se puede utilizar, si se dispone de un equipo de medición de alta precisión.

La eficiencia de una máquina eléctrica está definida por la relación entre la potencia cedida o útil y la potencia absorbida, expresada, usualmente en tanto por ciento.

Independientemente del método que se utilice, los siguientes principios deben aplicarse, cuando sea aplicable; para la obtención de la eficiencia:

- a) Los valores de eficiencia deben corregirse, debido a la diferencia entre la temperatura real en los devanados, al efectuar las pruebas, y la temperatura de referencia de 115°C.
- b) El valor de la resistencia de los devanados que se emplea en el cálculo de la eficiencia debe ser la media aritmética de los valores de resistencia medidos antes y después de las mediciones que permiten determinar cada punto de la curva de eficiencia.
- c) Para motores reversibles, la eficiencia será tomada como la media aritmética de las eficiencias determinadas para cada sentido de rotación.
- d) Las lecturas de los instrumentos de medición, se tomarán cuando la carga haya sido sostenida constantemente por lo menos

durante 10 segundos.

e) Para las máquinas de C.D., se asumirá un valor de 3% para la caída de tensión en todas las escobillas del circuito serie que se forme.

Los métodos recomendados, para la obtención de la eficiencia de un motor de tracción son:

- a) Método regenerativo.
- b) Suma de pérdidas.
- c) Medición directa de la potencia de entrada y de salida.

II.11.1 DESCRIPCION DEL METODO REGENERATIVO, PARA LA DETERMINACION DE LA EFICIENCIA.

Dos motores de un tipo dado se acoplan directamente por sus flechas. Una de las máquinas se hará trabajar como motor y la otra como generador.

El método tiene la ventaja de que la línea de alimentación solo suministra las pérdidas, y se requiere de un elevador de tensión insertado en el circuito de las dos máquinas, equipo que también participa en el suministro de las pérdidas.

El diagrama del circuito estándar es:

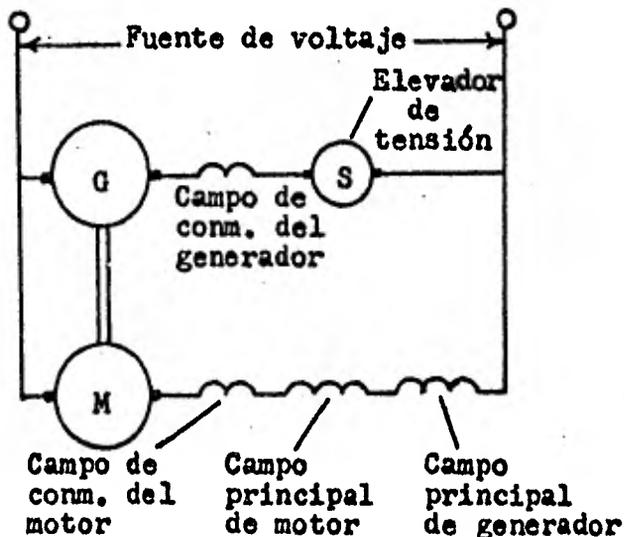


Figura II.1 Diagrama de conexiones para la obtención de la eficiencia por el método regenerativo.

De acuerdo a las siguientes definiciones:

- U_m = al voltaje en las terminales del motor (incluyendo devanados principales en volts)
- U_g = al voltaje en las terminales del elevador de tensión en volts.
- U_l = al voltaje de la línea en volts.
- I_m = a la corriente que pasa a través del motor en amperes.
- I_g = a la corriente que pasa a través del generador en amperes.
- I_l = a la corriente suministrada por la línea en amperes.
- R_m = a la suma, para el motor, de la resistencia de la armadura sin las escobillas, el devanado de conmutación y el devanado de compensación a la temperatura de la medición en ohms.
- R_g = a la suma similar como la anterior para el generador en ohms.
- r'_m = a la resistencia del devanado serie del motor a la temperatura de medición en ohms.
- r'_g = a la resistencia similar al punto anterior para el generador en ohms.
- R'_m r'_m = a los valores reducidos a la temperatura de referencia de 115° C para las dos resistencias R_m y r_m definidos anteriormente.
- e_b = a la suma de las caídas de voltaje en las escobillas positiva y negativa de cada máquina en volts.

Y si consideramos que la suma de otras pérdidas que no son por efecto Joule I^2R y las que se deben a la caída de voltaje en las escobillas son iguales en las dos máquinas, la eficiencia del motor correspondiente a la temperatura de referencia de 115°C estará dado por la siguiente fórmula.

$$\eta' = 1 - \frac{U_s I_g + U_l I_l + (2R'_m - R_m - 2r'_m - r_m - r_g) I_m^2 - R_g I_g^2 + e_b I_l}{2U_m I_m} \quad \text{ec (II.1)}$$

Si además, se asume que los devanados correspondientes a las dos máquinas tienen igual valor de resistencia y éstas están a la misma temperatura; $R_m = R_g$; $r_m = r_g$

La fórmula anterior:

$$\eta_{11} = \frac{U_s I_g + U_l I_l + R_m (I_m^2 - I_g^2) + c_b I_l}{2 U_m I_m} - (R'_m + r'_m - R_m - r_m) \frac{I_m}{U_m} \quad \text{ec (II.2)}$$

En la mayoría de los casos, la resistencia de los devanados de las dos máquinas difieren muy poco y la diferencia introducida por el uso de esta fórmula simplificada es menor que el error experimental.

II.11.2 METODO DE SUMA DE PERDIDAS.

Este método está definido en la publicación # 34-2 del IEC cuyo título es "Rotating Electrical Machines", Parte 2.

La determinación de la eficiencia de máquinas eléctricas rotatorias, está sujeto a las siguientes correcciones:

a) La temperatura de referencia de 115° C para calcular las pérdidas de $I^2 R$.

b) Para todas las máquinas de C.D. excepto para motores de tracción de C.D. sin campo de compensación, las pérdidas indeterminadas se consideran que son iguales a las pérdidas indeterminadas medidas en corto circuito a la misma velocidad y corriente de armadura.

c) Para motores de tracción de C.D. sin campo de compensación, las pérdidas indeterminadas serán tomadas igual al producto de las pérdidas indeterminadas medidas en corto circuito (a la misma velocidad y corriente de armadura) y la corrección por el factor K, que es una función de la razón dada por la siguiente tabla.

$$K = \frac{\text{Ampere - Vuelta en devanado de campo}}{\text{Ampere - Vuelta - Armadura.}}$$

La ley que relaciona K con α será convencionalmente la que está definida por los puntos de la siguiente tabla.

α	0	0.5	1	1.5	2	2.5
K	1	0.81	0.64	0.5	0.4	0.35

Tabla II.2

II.12 TOLERANCIAS.

II.12.1 TOLERANCIAS EN LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE VELOCIDAD - CORRIENTE.

Las velocidades de los motores que se muestran en las curvas características declaradas, no deberán diferir de las velocidades mostradas en las curvas características nominales en una cantidad mayor que las tolerancias de diseño mostradas en la tabla de tolerancias (Tabla II.3)

Todas estas tolerancias se aplicarán entre los siguientes límites de velocidad.

Para motores de tracción alimentados por un generador, el límite máximo de velocidad corresponde a la mínima corriente y el más bajo corresponde al 90% de la máxima corriente.

Para otros motores de tracción alimentados por un generador, el límite alto es igual al 80% de la máxima velocidad de servicio y el límite bajo corresponde al 90% de la corriente máxima.

Todos estos valores máximos y mínimos deberán estar marcados en las curvas características.

Entre estos límites, las tolerancias serán graduadas linealmente con respecto a la corriente.

TABLA II.3

TOLERANCIAS DE VELOCIDAD EN MOTORES DE TRACCION.

% de campo	Tolerancia de Diseño		Tolerancia de Mfra.	
	Límite alto de velocidad \pm %	Lím. bajo de velocidad \pm %	Lím. alto de velocidad \pm %	Lím. Bajo de velocidad \pm %
Campo máximo	5	3	3.5	3
Campo débil entre 100% y 50% del campo total	6	4	5	3
Campo débil menor al 50% del campo total.	7	5	7	5

NOTA: Se deberá considerar un 1% adicional al de la tabla

en máquinas que su salida no exceda de 75KW.

II.12.2 TOLERANCIAS EN PERDIDAS.

Bajo condiciones correspondientes a las características garantizadas, las pérdidas totales medidas no deberán exceder por más del 15% las pérdidas especificadas.

II.12.3 TOLERANCIAS EN INCREMENTO DE TEMPERATURA.

Las tolerancias aplicables son las que se indican en la sección de pruebas de incremento de temperatura, en pruebas de rutina.

CAPITULO III

EQUIPO E INSTRUMENTACION

Para lograr la producción de una máquina que responda perfectamente en todos los rangos de velocidad y carga, dentro de los altos márgenes de seguridad que exige un sistema de transporte masivo, es necesario contar con los instrumentos y equipo adecuados para poder simular, en la fase de pruebas, las condiciones más severas a que se llega en operación.

Por lo anteriormente expuesto, durante las pruebas en la fábrica, se utilizaron instrumentos y equipo de excelente precisión y calidad. Y además se requiere de equipos de registro gráfico en papel, acetato, fotografía, o algún otro medio que nos permita grabar fenómenos transitorios, para poder evaluarlos en su magnitud real, integrándose entonces, el piso de pruebas, que contiene como mínimo lo siguiente:

EQUIPO.

- 1.- Panel de control del motor de inducción.
- 2.- Control de generadores de corriente directa.
- 3.- Generador Núm. 2, 130Kw, 200 V, 650A, 1150R.P.M.
- 4.- Generador Núm. 1, 65 Kw, 500 V, 130 A, 1150 R.P.M.
- 5.- Mesa de control.
- 6.- Fuente de potencia auxiliar de corriente directa, 45 Kw, 150 V, 300 A.

7.- Fuente de potencia auxiliar de voltaje constante, para el control de los equipos; de

220 Volts	corriente alterna
100 Volts	corriente altera
70 Volts	corriente directa

8.- Panel de interruptores de línea; 1000 A, 1000V C.D.

9.- Panel de interruptores de reversa, 750 A, 1000 V C.D.

10.- Banco de resistencias (5 resistencias, Ver Fig. III.2)

12.- Base para prueba de impacto.

13.- Fuente auxiliar para prueba de motores en vacío.

14.- Resistencia variable 14/3.5 ohms, 10/20 A.

15.- Fuente de corriente alterna de 0 - 10 KV, 60 Hz, onda senoidal.

16.- Polipasto de 1 ton.

17.- Fuente de corriente alterna monofásica de 15 KVA, 0-150 V, 0-100 A.

18.- Motor de inducción 220 Kw, 6 polos, 60 Hz, 2.3KV, 74 AMP. 1180 R.P.M.

Dicho equipo debe estar distribuido en Piso de Pruebas como se muestra en la figura III.1 e identificamos los diferentes equipos de acuerdo al número que los relaciona.

El circuito que se puede hacer con este equipo es el de la figura III.2, que además contiene una máquina trabajando como generador y una como motor, como lo indica el método, espalda con espalda.

INSTRUMENTOS.

1.- Voltímetros de C.D. con rango de 0.3/1/3/10 Volts, marca YEW, tipo 2011. Precisión de $\pm 0.5\%$ a la escala completa.

2.- Voltímetros de C.D. con rango de 30/100/300/1000 V, marca YEW tipo 2011. Precisión de $\pm 0.5\%$ a la escala completa.

3.- Ampérímetros de C.D. marca YEW tipo 2011. Precisión de $\pm 0.5\%$ a la escala completa con shunt exterior a 50 mV, y con rangos de:

0 - 100 Amperes

0 - 200 Amperes

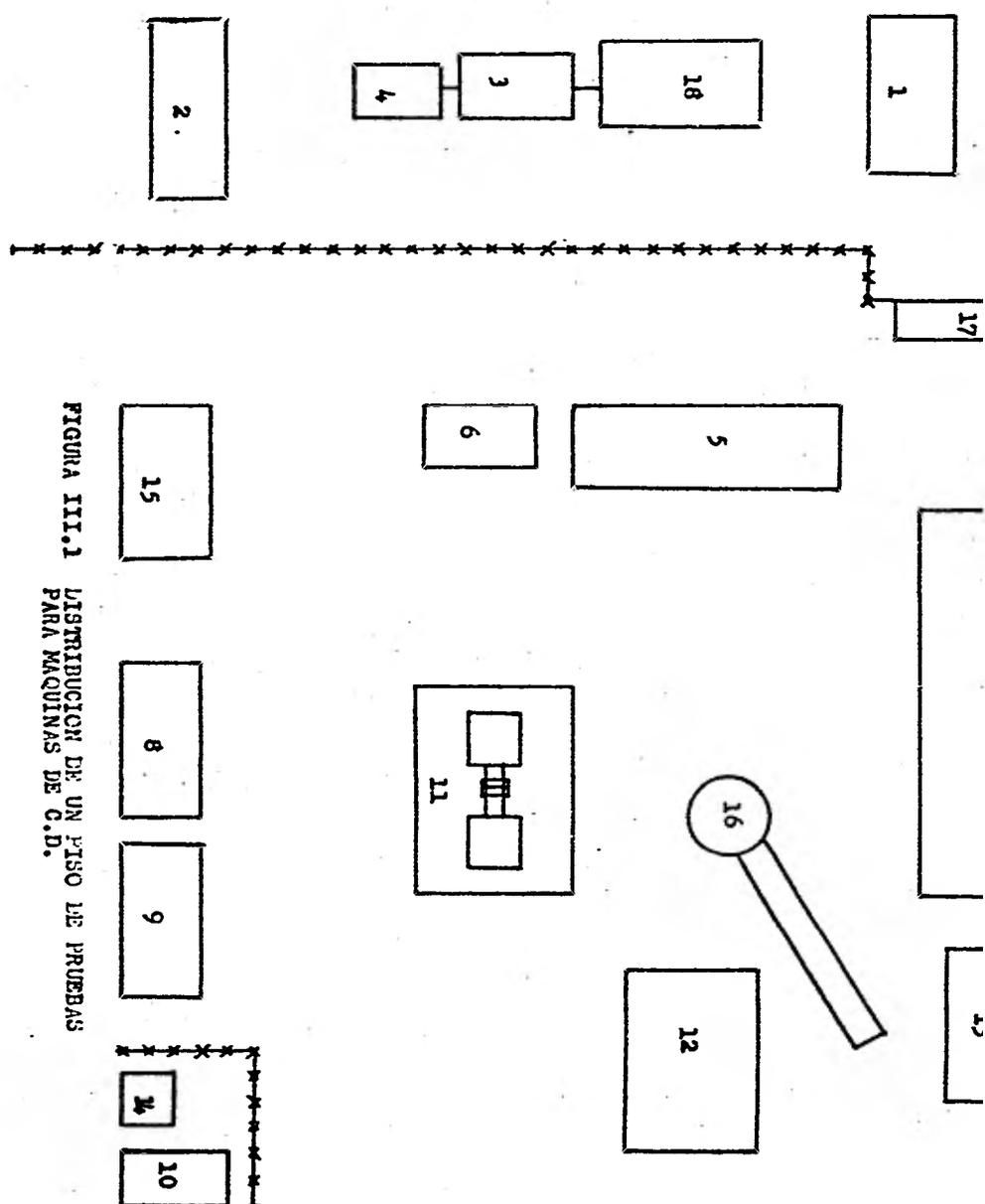


FIGURA III.1
DISTRIBUCION DE UN PISO DE PRUEBAS
PARA MAQUINAS DE C.D.

0 - 300 Amperes

0 - 750 Amperes

0 - 50 Amperes (Polarizado)

4.- Termómetro eléctrico marca YEW tipo 2677. Precisión de $\pm 2\%$ de la escala completa con rango de - 10 a 300° C/ -10 a 600° C

5.- Termómetros de alcohol con rango de -20° C a 110° C

6.- Termómetro digital universal marca YEW tipo 2891.

Precisión en R.P.M. de ± 1 dígito con rango de 2K/ 20 K/ 200 K RPM.
Sensor del tacómetro marca YEW tipo 2618.

7.- Estetoscopio.

8.- Decibelímetro marca YEW tipo 3604, rango 30/130 dB en escala A, y rango 40/130 dB en escalas B y C.

9.- Cronómetro marca Seiko, 60 seg., 60 min.

10.- Megger marca YEW tipo 3213. Precisión $\pm 5\%$

11.- Acelerómetro marca BBN, 3Hz a 30 KHz, sensibilidad 10mV/g

12.- Anemómetro marca Weather Tronics escalas 0 - 5 y 0 - 40 m/s 0 - 200 ° F con sensor tipo 24401 de alambre caliente.

13.- Oscilógrafo marca YEW tipo 2932, 24 canales.

14.- Voltmetro C.A. marca YEW tipo 2013, precisión $\pm 0.5\%$ de la escala completa, rango 150/300 V.

15.- Ampérmetro C.A. marca YEW tipo 2013. Precisión de $\pm 0.5\%$ de la escala completa, rango 10/20/50/100 Amperes.

16.- Puente de Wheastone marca YEW mod, 2752, Presión $\pm 0.03\%$

17.- Detector de ruidos en rodamientos, marca SPM, modelo 43-A.

Los instrumentos antes mencionados son necesarios tanto para pruebas tipo como pruebas de rutina.

CAPITULO IV

PROGRAMA DE PRUEBAS EN LA FABRICA DE MOTORES DE TRACCION.

IV.1 GENERALIDADES.

Este capítulo pretende mostrar e integrar en un texto breve, los procedimientos seguidos para la obtención de los resultados de las pruebas efectuadas en los motores de tracción, las cuales representan las pruebas normales de fabricación.

Es importante anotar que, en principio, las pruebas se realizaron de acuerdo a las normas "IEC 349 (1971)", y para la compensación por altitud, se utilizaron las normas "AIEE Núm. 11, de Agosto 20 de 1962, Sección 1".

Las pruebas de incremento de temperatura en una fábrica situada al nivel del mar se deben efectuar a valores característicos al nivel del mar, y si se requiere para otra altitud, debe reducirse:

"Uno por ciento de la corriente por cada 300 metros de elevación adicional cuando la altitud normal de servicio exceda de 1200 metros. La altitud normal de servicio en la ciudad de México es de 2240 m, por lo tanto, se debe reducir de la corriente nominal 3.4%".

IV.2 PRUEBAS TIPO

Las pruebas tipo se realizan al 1% de la producción, y se describen a continuación:

IV.2.1 MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS EN FRIO

La resistencia se midió por el método de caída de tensión de acuerdo al diagrama de la figura A1, del Apéndice A, con una corriente de 100 amperes, en los siguientes devanados:

- Polos principales que contienen devanado Serie y Devanado AVF.
- Polos auxiliares que contienen Devanado de Conmutación o Auxiliar.
- Devanado de Armadura.

Los resultados de dichas mediciones se muestran en el apéndice A, Tabla A1, y son la base para las pruebas de incremento de temperatura; siendo la temperatura de los devanados, para este caso es de 17° C, además se puede observar que se calculó la resistencia para 115° C ya que este valor es necesario para otras pruebas.

IV.2.2 CURVAS DE SATURACION (CURVAS DE MAGNETIZACION)

La máquina es controlada con carga o sin carga, con excitación independiente y las curvas de voltaje contra corriente de campo fueron dibujadas con la velocidad del motor constante a 1950 RPM.

Consultar el apéndice B que contiene el circuito, graficas y tablas de resultados.

IV.2.3. DETERMINACION DE EFICIENCIA.

Para determinar la eficiencia se usan los métodos de suma de pérdidas y el método de Hutchinson. Además en esta prueba se calcula el par del motor.

Referirse al apéndice C que contiene, circuitos, graficas, tablas de resultados.

Bajo las condiciones correspondientes a las características garantizadas, las pérdidas medidas no deben exceder a las pérdidas especificadas, por más del 15%.

IV.2.4. PRUEBAS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA.

a) Prueba de incremento de temperatura en régimen continuo.

La prueba se llevó a cabo a las siguientes condiciones, para C.P. (corriente pulsante) y C.D. (corriente directa) considerando el factor de rizo.

El máximo incremento de temperatura permisible para el motor, está definido en la siguiente tabla.

Clase de aislam.	Parte	Método de med.	Incr. de temp.
H	Devanado de Armadura	Resistencia	160°C
	Devanado de Campo	Resistencia	180°C
	Conmutador	Term. Eléc.	105°C

La prueba se realiza a temperatura ambiente, la cuál no debe exceder de 40°C.

Condiciones de prueba al nivel del mar:

360 Volts, 409 Amperes (circuito de armadura), 284 Amperes (bobinas AVF).

Condiciones de prueba a 2240 m sobre el nivel del mar:

360 Volts, 395 Amperes (circuito de armadura), 274 Amperes (bobina AVF).

Los circuitos, oscilogramas, gráficas y tablas de resultados para esta prueba, realizada al nivel del mar, se pueden consultar en el Apéndice "D".

b) Prueba de incremento de temperatura en régimen de una hora.

Esta prueba se realizó con corriente pulsante y corriente directa, tomando en cuenta el factor de rizo.

La corriente nominal para la prueba de una hora se determina por los incrementos de temperatura de todos los devanados, y es la que produce los valores más cercanos a los valores obtenidos por la prueba de incremento de temperatura continua.

Para el régimen de una hora, la corriente característica es de 441 Amperes para el circuito de armadura y 306 Amperes para la bobina AVF, al nivel del mar.

Los límites de incremento de temperatura estan dados en la

tabla antes expuesta.

Condiciones preliminares de prueba:

360 Volts, 441 Amperes (circuito de armadura), 306 Amperes (AVF), al nivel del mar.

360 Volts, 426 Amperes (circuito de armadura), 295 Amperes (bobina AVF) a 2240 m de altitud.

La prueba se realizó al nivel del mar. En el Apéndice "D" se muestra el circuito, oscilogramas, gráficas y tablas de resultados para esta prueba.

IV.2,5 PRUEBA DE CONMUTACION.

a) Prueba de conmutación bajo condiciones de estado estable.

Las pruebas tipo de conmutación se realizaron para varios puntos de operación de la curva característica del motor, en ambas direcciones de rotación, al máximo voltaje, y cubriendo todo el rango del campo en operación.

La siguiente tabla muestra los puntos de prueba.

450 V	650 A	Campo 100%
450 V	500 A	Campo 100%
450 V	395 A	Campo 100%
450 V	350 A	Campo 100%
450 V	650 A	Campo 35%
450 V	550 A	Campo 35%
450 V	500 A	Campo 35%

El motor de tracción soportó cada una de las pruebas de conmutación sin deterioro mecánico, chisporroteo o daño permanente.

La tabla de resultados de esta prueba se puede observar en el apéndice "E".

b) Pruebas de interrupción y restauración del suministro eléctrico.

Cuando el motor está tomando 395 amperes, correspondientes a la característica garantizada, el circuito se interrumpe por cerca de 0.2 seg. y después se reconecta.

La prueba se efectuó 3 veces para 100% de campo y 3 veces para 35% de campo, a intervalos de unos pocos minutos.

Se confirmó que durante estas pruebas, el voltaje de la fuente en las terminales del motor y reactor, fué al menos igual a 396 Volts en el momento que se reconectó, y no fué menor de 324 V durante el período transitorio, el cual se presentó al cierre del interruptor.

En el Apéndice "E" se muestra los circuitos, oscilogramas y tablas de resultados de esta prueba.

IV.2.6 DETERMINACION DE CURVAS CARACTERISTICAS.

Las curvas características nominales nos dan la velocidad, la eficiencia y el par para el voltaje nominal y se obtuvieron de acuerdo a lo siguiente:

a) Característica de velocidad.

1) Las curvas características de velocidad de las primeras 4 máquinas probadas, incluyendo la máquina tipo probada, se promedian y entonces sirven de base para la aplicación de las tolerancias de manufactura, para aceptar o rechazar curvas características de motores probados posteriormente, hasta que 10 máquinas hallan sido probadas.

2) Las curvas características de velocidad de 10 motores, incluyendo curvas para ambos sentidos de rotación, se promedian y sirven para obtener la "Curva característica de velocidad declarada".

3) Las divergencias entre las velocidades dadas en las curvas características declaradas y las curvas características nominales, no excedieron las tolerancias de diseño dadas en la siguiente tabla.

% de Campo	Tolerancias de diseño	
	Límite alto de Velocidad	Límite bajo de Velocidad
	%	%
100	5	3
35	7	5

Tabla IV.1 Tolerancias en la curva de velocidad.

Las gráficas y tablas de resultados para estas pruebas se muestran en el Apéndice "F".

b) Determinación de las características de eficiencia y par. Referirse a la cláusula IV.2.3.

IV.2.7 PRUEBA DE SOBREVELOCIDAD.

La prueba de sobrevelocidad se llevó a cabo por dos minutos con la máquina caliente a una velocidad de 5060 R.P.M., cantidad igual a 1.25 veces la velocidad máxima en servicio.

Después de la prueba de sobrevelocidad, las máquinas no mostraron deformación permanente y soportaron satisfactoriamente las pruebas dieléctricas.

Los circuitos y las tablas de resultados se encuentran en el Apéndice "G".

IV.2.8 PRUEBAS DIELECTRICAS.

a) Medición de la resistencia de aislamiento.

Esta resistencia se midió con un megger de 500 V.

b) Prueba dieléctrica.

El motor soportó durante 60 segundos a 60 Hz un voltaje de onda senoidal de 3700 Volts, cantidad igual a 2.25 U + 2000 Volts, donde U es de 750 Volts.

En el Apéndice "G" se muestran los resultados de las pruebas, y una prueba especial de caja de terminales.

IV.2.9 PRUEBA DE ARRANQUE.

El motor, con la armadura bloqueada, soportó por 5 segundos, 1.7 veces la corriente nominal, 700 A. No se excitó el motor durante la prueba, por no ser necesario.

La prueba se llevó a cabo 4 veces, con 5 minutos de intervalo entre pruebas sucesivas, girando la armadura en una misma dirección un cuarto del paso polar después de cada prueba.

Después de la prueba, el conmutador no mostró deformación permanente.

El circuito y resultado de esta prueba se puede consultar en el Apéndice "O".

IV.2.10 PRUEBA DE IMPEDANCIA.

Esta prueba se realizó por caída de tensión con una corriente alterna de 60 Hz. en los devanados de armadura y campo.

Las corrientes que se usaron fueron de 100, 75 y 50 A.

El circuito y la tabla de resultados se muestra en el Apéndice "H".

IV.2.11 PRUEBA DE VIBRACION.

Las condiciones de prueba estan mostradas en la siguiente tabla :

Rango de frecuencia	Nivel de frecuencia
5 - 11 Hz	Amplitud pico a pico de 10 mm
11 - 50 Hz	Aceleración pico a pico de 5 G (G=aceleración gravitacional)

Y se realizó de acuerdo a la siguiente secuencia:

1) Se efectúa un incremento o decremento de la frecuencia a una razón constante, continuamente, dentro del rango de la frecuencia mostrado en la tabla anterior.

2) El tiempo necesario para efectuar un ciclo de baja a alta frecuencia (5-50 Hz) debe ser suficientemente grande para no acercarse a la frecuencia de resonancia.

3) Como en el nivel de vibración, la amplitud pico a pico es constante en el rango de baja frecuencia (5-11 Hz), mientras que en el rango de alta frecuencia (11-50 Hz), la aceleración pico a pico se varía de acuerdo con el cambio de frecuencia.

4) Después de las pruebas de vibración, la máquina no mostró deformación permanente.

Se puede ver, en el Apéndice "I", los diagramas de bloques, arreglos de equipo y oscilogramas para esta prueba.

IV.2.12 PRUEBA DE IMPACTO

Las condiciones de prueba se muestran en la siguiente tabla:

Aceleración pico a pico	Núm de veces
9 G	4

La secuencia seguida fué la siguiente:

1) Se dejó caer la máquina en una base de acero para obtener la aceleración mostrada en la tabla anterior.

2) Después de la prueba de impacto, la máquina no mostró deformación permanente.

En el Apéndice "J" se muestra el diagrama de bloques, arreglo de equipo y oscilogramas correspondientes a esta prueba.

IV.2.13 NIVEL DE RUIDO.

El punto donde se desea medir el nivel de ruido debe tener un metro de distancia de la carcasa del motor y una altura igual a la altura de la línea media de la máquina.

Mostramos el arreglo de equipo, diagrama de bloques, tabla de resultados y gráficas de análisis de frecuencia en el Apéndice "K".

IV.2.14 MEDICION DEL FLUJO DE AIRE DE VENTILACION.

El volumen de aire se midió en algunos puntos de la velocidad del motor incluyendo la velocidad nominal.

Se puede observar la gráfica, tabla de resultados y arreglo de equipo para esta prueba en el Apéndice "L".

IV.3 PRUEBAS DE RUTINA.

Las pruebas de rutina se efectúan en el 100% de la producción, y se pueden excentar de ellas las máquinas en las cuales se llevaron a cabo las pruebas tipo.

IV.3.1 MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS EN FRIO.

Referirse a las pruebas tipo.

IV.3.2 PRUEBA DE INCREMENTO DE TEMPERATURA EN UNA HORA.

Referirse a las pruebas tipo.

IV.3.3 PRUEBA DE CONMUTACION.

Cada motor se probará en los siguientes puntos, de acuerdo al procedimiento seguido en las pruebas tipo:

450 Volts	500 Amperes	35% de Campo
450 Volts	550 Amperes	35% de Campo
450 Volts	630 Amperes	35% de Campo

IV.3.4 CARACTERISTICA DE VELOCIDAD.

Se deberán tomar suficientes lectura para poder graficar las curvas de velocidad a 100 y 35% de campo.

Las divergencias, entre las velocidades graficadas y las que muestra la curva característica declarada, no excedieron las tolerancias de manufactura dados en la siguiente tabla:

% de Campo	Tolerancias de Manufactura. (Corriente entre 0.8 y 1.1 de la corriente utilizada para la prueba de incr. de temperatura en una hora).
100	$\pm 3\%$
35	$\pm 4\%$

NOTA: La tolerancia de 35% de campo se aplica a la velocidad máxima de 4050 R.P.M., la cual corresponde a la corriente mínima permisible.

IV.3.5 PRUEBA DE SOBREVOLOCIDAD.

Referirse a la prueba tipo.

IV.3.6 PRUEBAS DIELECTRICAS.

Referirse a las pruebas tipo.

CONCLUSIONES.

Podemos aseverar que el motor probado da resultados satisfactorios para cualquier sistema de transporte en el que se utilice, durante muchos años de servicio, en base a lo siguiente:

1. Como se puede apreciar en los resultados de eficiencia, esta máquina conserva casi constante en un 90% su curva en una forma plana. Este punto es muy importante, debido a que es la característica primordial que se busca en este tipo de motores para que su operación sea económica.

2. Se hizo hincapié en la prueba de temperatura por considerarla crítica, debido a la tendencia moderna en la construcción de máquinas eléctricas de incrementar la potencia, manteniendo las dimensiones, a expensas del rendimiento y como consecuencia aparecen altas temperaturas. Sin embargo, se puede apreciar en los resultados de prueba de temperatura de esta máquina, que sus incrementos de temperatura son bajos en comparación con los permitidos en normas para la clase de aislamiento. Por lo que este tipo de motor se puede utilizar en cualquier sistema de transporte ya sea en túneles o al aire libre, y en lugares en donde la temperatura sea hasta de 40°C y a una altitud de 2240 metros sobre el nivel del mar.

3. Entre las ventajas que se pueden enumerar con respecto a

este motor está la robusta construcción en las partes que normalmente se consideran débiles, como son, los rodamientos y el conmutador. Este tipo de elementos se someten a pruebas muy severas como son:

- a) Vibración
- b) Choque
- c) Arranque con rotor bloqueado
- d) Comutación en estado estable, y comutación en interrupción y restauración.
- e) Sobrevelocidad.

Al pasar las pruebas anteriores, las máquinas garantizan un largo período de funcionamiento debido a la calidad de sus elementos.

4. Se determinó que esta máquina para condiciones similares de corriente y carga, en un sentido y otro de giro, varía su velocidad en un máximo de 2%. Esta característica favorece el uso de un control de tipo moderno con tiristores "SCR's", ya que además su comutación se presenta siempre sin chispas o arcos, y como consecuencia su control no presenta problemas.

5. Este tipo de máquina se puede utilizar en un sistema de frenado regenerativo, con lo que los costos de operación del sistema de transporte bajan, y por otro lado no se produce calor durante el frenado como ocurre en el tipo de frenado reostático.

6. Después de haber visto todas sus principales ventajas, nos encontramos que su inconveniente primordial es el ruido que produce, según lo muestran las pruebas de:

- a) Nivel de ruido.
- b) Análisis de ruido.

Donde se determina que el nivel de ruido es mayor a 90 dB en la velocidad nominal, y además se incrementa a más de 110 dB en su velocidad de operación, encontrándose el mayor nivel de ruido en 1000 Hz dentro de la escala de audio. Por lo que es necesario aislar el ruido que el motor produce en la forma más conveniente.

APENDICE "A"

Medición de la resistencia de los devanados en frío

Figura A.1

Circuito para la medición de la resistencia

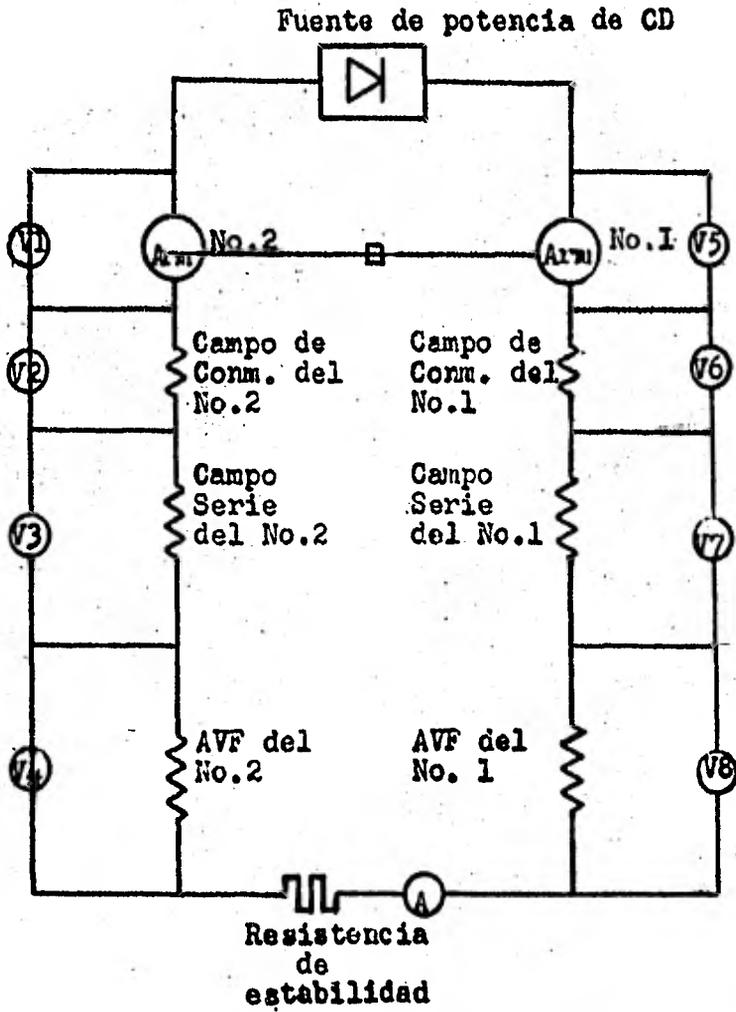


Tabla A.1

Resistencia de los devanados

Partes	Polo principal		Devanados del polo de conmutacion	Devanados de la armadura
	Devanados de campo serie	Devanados AVF		
Valores de medición a 17°C	0.00416 ohm	0.01083 ohms	0.00559 ohms	0.0082 ohms
Valores de conversión para 115°C	0.00579 ohm	0.01504 ohms	0.00776 ohms	0.01139 ohms

Esta prueba fué realizada por el método de caída de voltaje con 100 amperes.

APENDICE "B"

Prueba de curva de saturación

(1) Sin carga

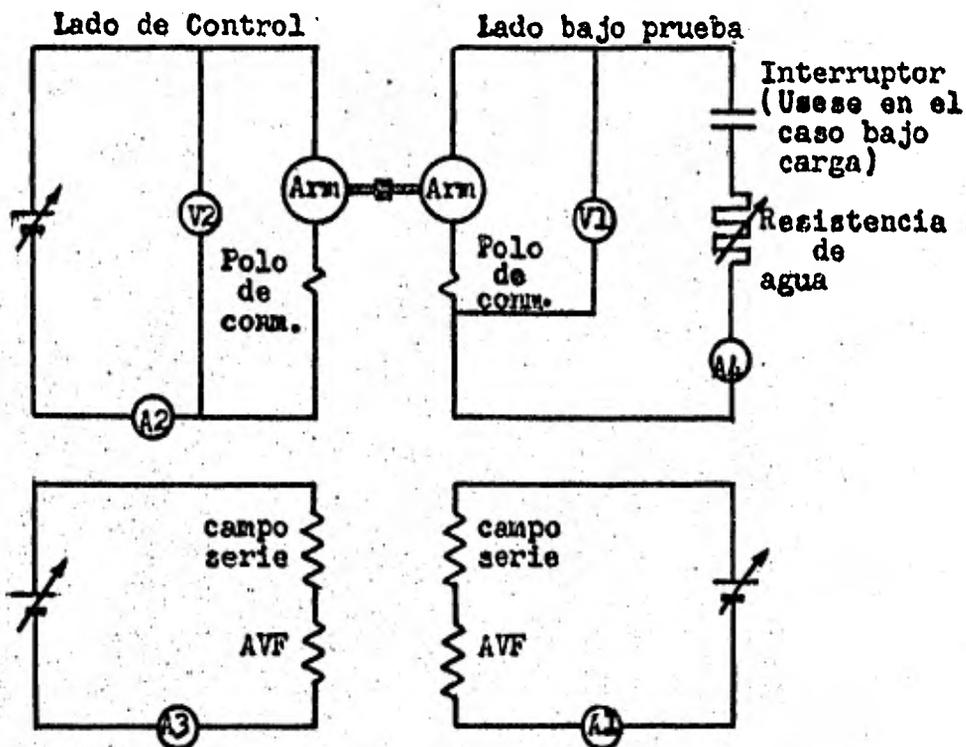
(2) Con carga

METODO PARA LA PRUEBA DE LA CURVA DE SATURACION

EN VACIO

Figura B.1

Circuito de prueba



Condiciones de prueba

1) Velocidad

1 950 rpm (igual a la velocidad nominal)

2) Corriente de excitación de campo

0 A \rightarrow 650 A \rightarrow 0A

3) Variables medidas

Fuerza electromotriz: V_1 (V)

Corriente de campo : A_1 (A)

Figura B.2. Curva de saturación en vacío
(Curva de magnetización)

Velocidad rotacional: 1950 rpm constante
Campo : 100 %

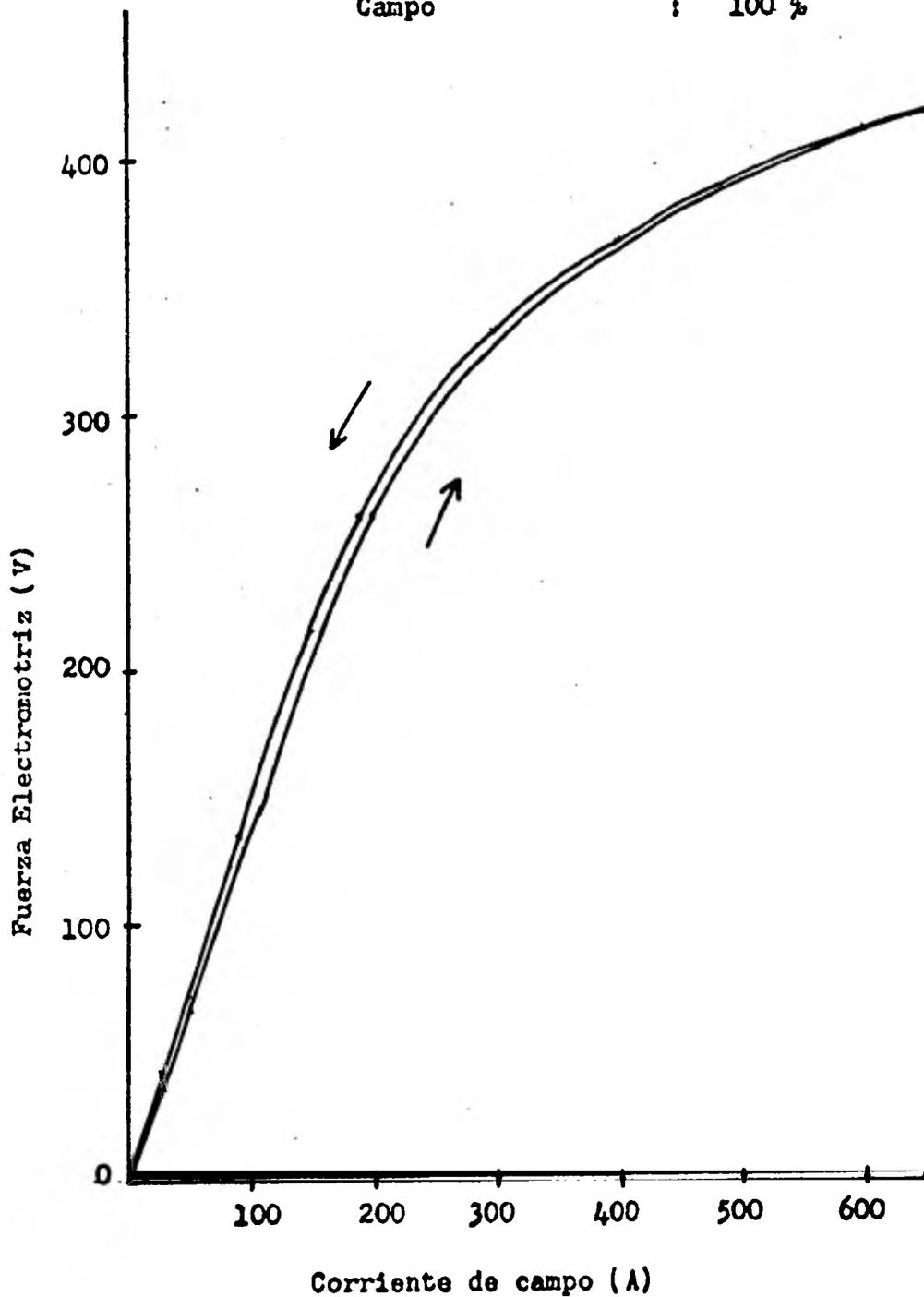


Tabla B.1

Prueba de curva de saturación en vacío (Curva de magnetización)

Corriente de campo (A)	FEM (V)	Corriente de campo (A)	FEM (V)	Corriente de campo (A)	FEM (V)
50	65	300	333		
110	148	190	259		
200	261	150	214		
300	327	90	133		
400	364	50	72		
510	393	0	3.4		
655	419				
600	411				
490	391				
400	368				

Notas:

- 1) La velocidad es de 1 950 rpm, constante
- 2) FEM significa fuerza electromotriz
- 3) Favor de referirse a la Fig. B.2

Figura B.3 CURVA DE SATURACION CON CARGA
(CURVA DE MAGNETIZACION)

Velocidad rotacional: 1950 rpm constante
Campo : 100 %

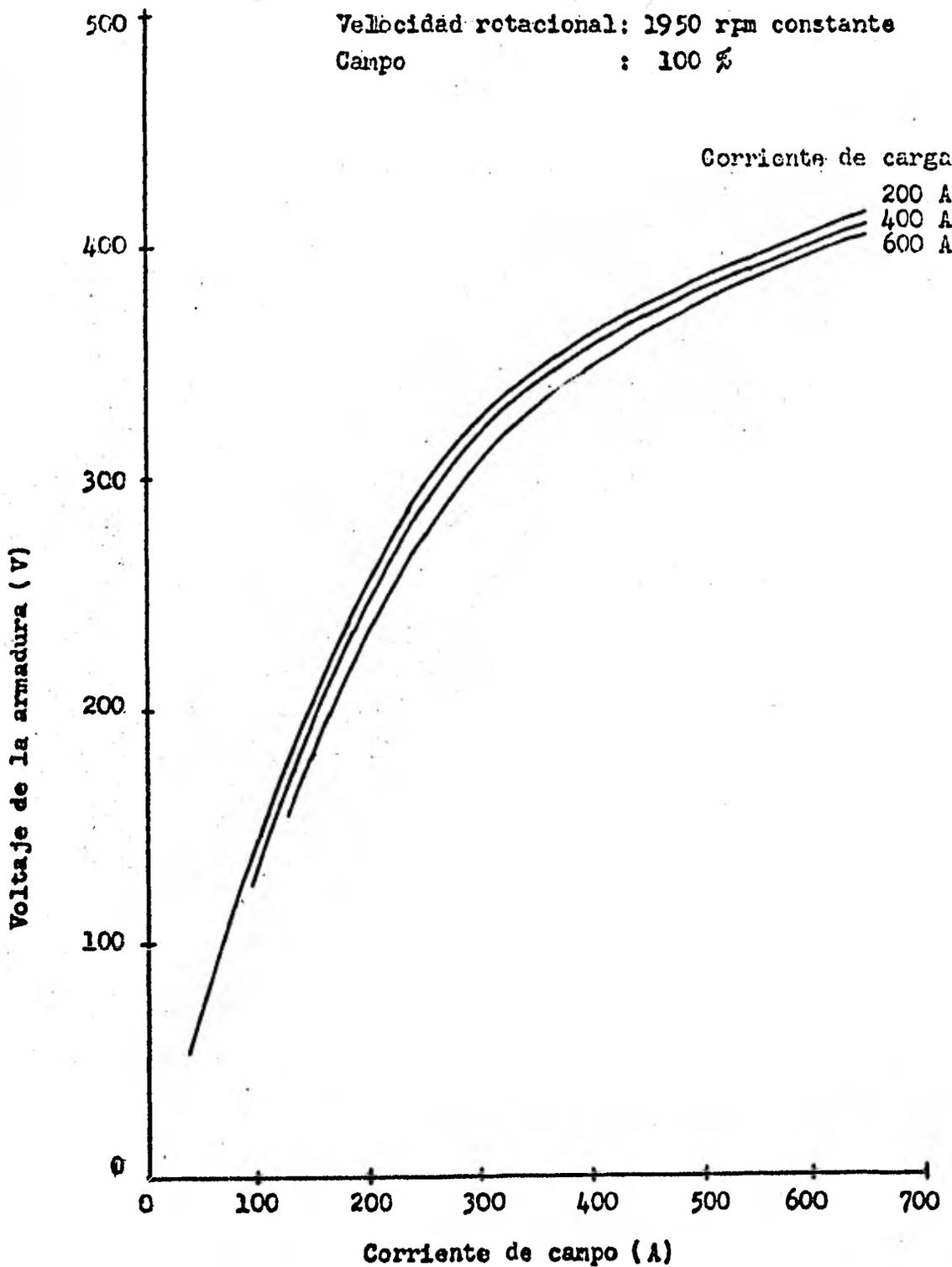


Tabla B.2

Prueba de Curva de saturación con carga. (Curva de Magnetización)

Corriente de carga: 200 A		Corriente de carga: 400 A		Corriente de carga: 600 A	
Corriente Campo (A)	Voltaje Arm. (V)	Corriente Campo (A)	Voltaje Arm. (V)	Corriente Campo (A)	Voltaje Arm. (V)
41	54	98	124	128	155
106	148	161	209	216	246
145	196	221	263	311	308
201	258	320	330	439	354
305	328	408	359	539	381
396	360	548	388	650	407
507	387	650	410	-	-
600	406	-	-	-	-
650	414	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Notas:

- 1) La velocidad es de 1 950 rpm, constante
- 2) Favor de referirse a la curva de la Fig. B.3

APENDICE "C"

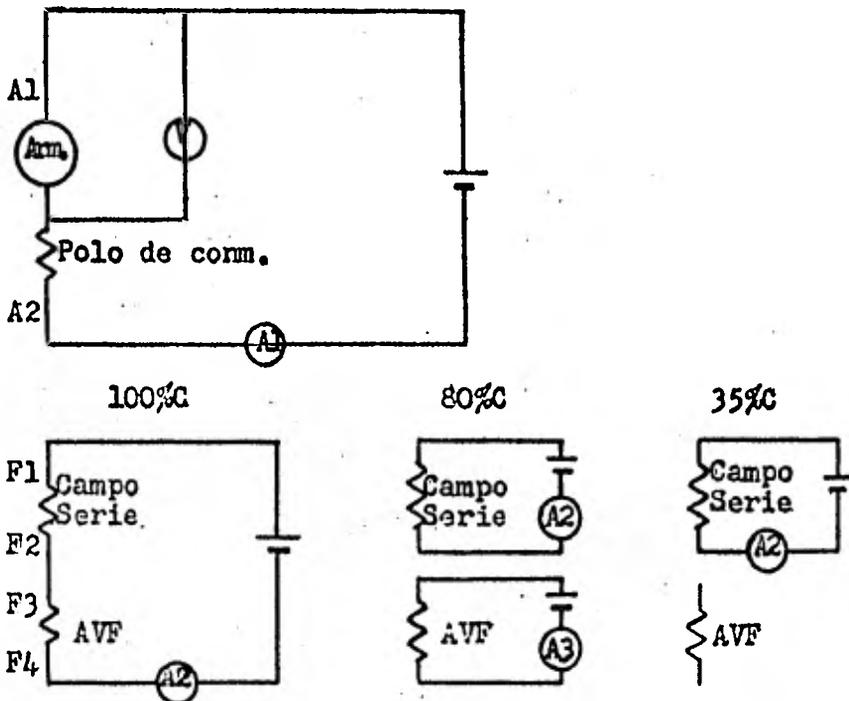
Determinación de la eficiencia

- (1) Por el método de separación de pérdidas
- (2) Por el método de "Hutchinson"

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA POR EL METDO. DE SEPAR. PERD.

METODO PARA LA MEDICION DE LAS PERDIDAS INDEPENDIENTES DE CORRIENTE

Figura C.1 Circuito de Prueba:



(1) Condiciones de prueba (para la velocidad y corriente de campo)

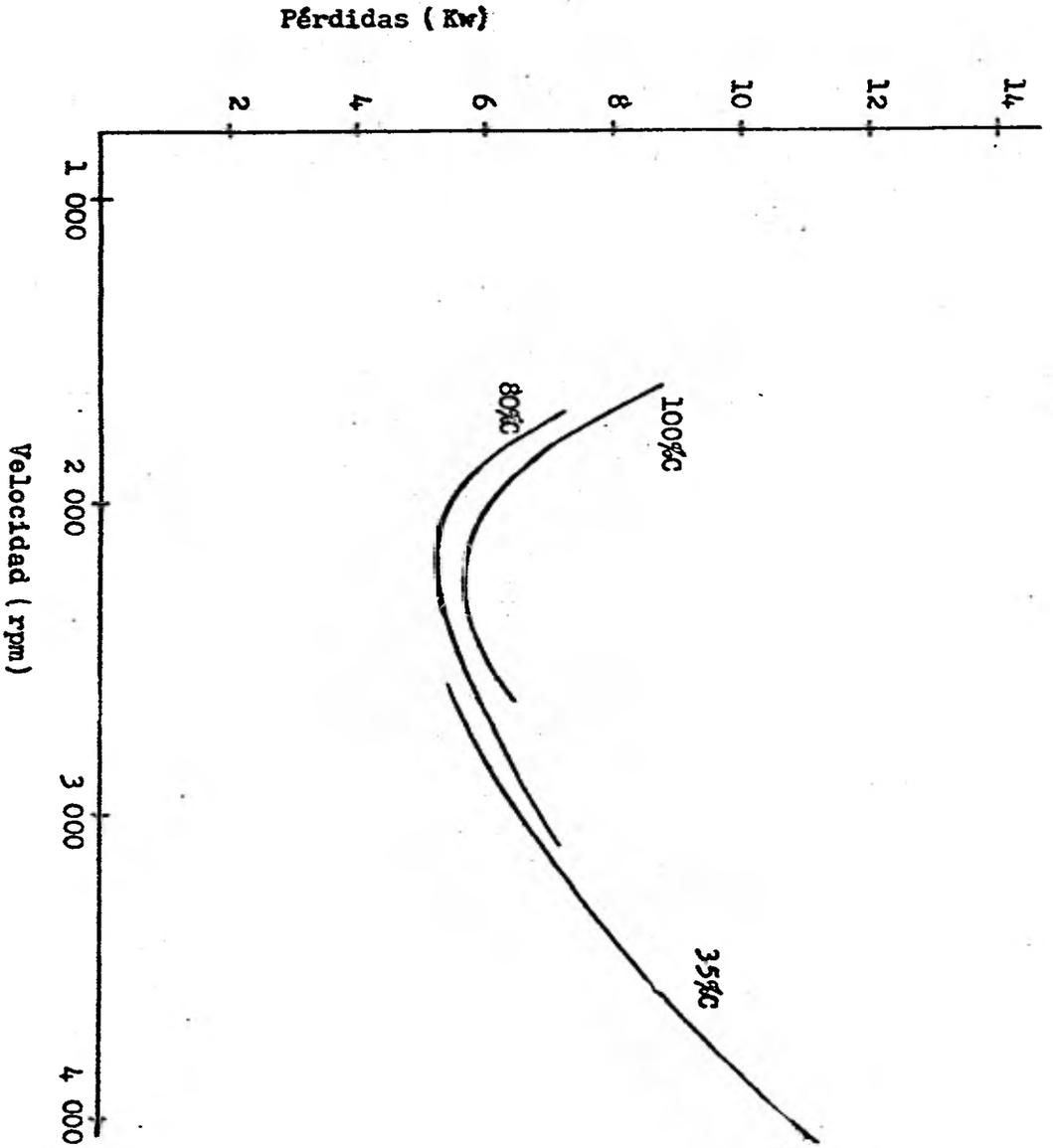
a) Ajustar a un punto de velocidad medida

(2) Variables medidas

Voltaje de armadura	:	V (V)
Corriente de armadura	:	A1 (A)
Velocidad	:	(rpm)
Corriente del campo serie	:	A2 (A)
Corriente AVF	:	A3 (A)

(3) Cálculos

Corriente de pérdidas independientes = $V \times A1 - A1^2 \times \text{Resistencia armad.}$
 = $V \times A1$
 ($\therefore V \times A1 \times 0.1\% > A1^2 \times \text{Resist. armad.}$)



En sentido contrario de las manecillas del reloj

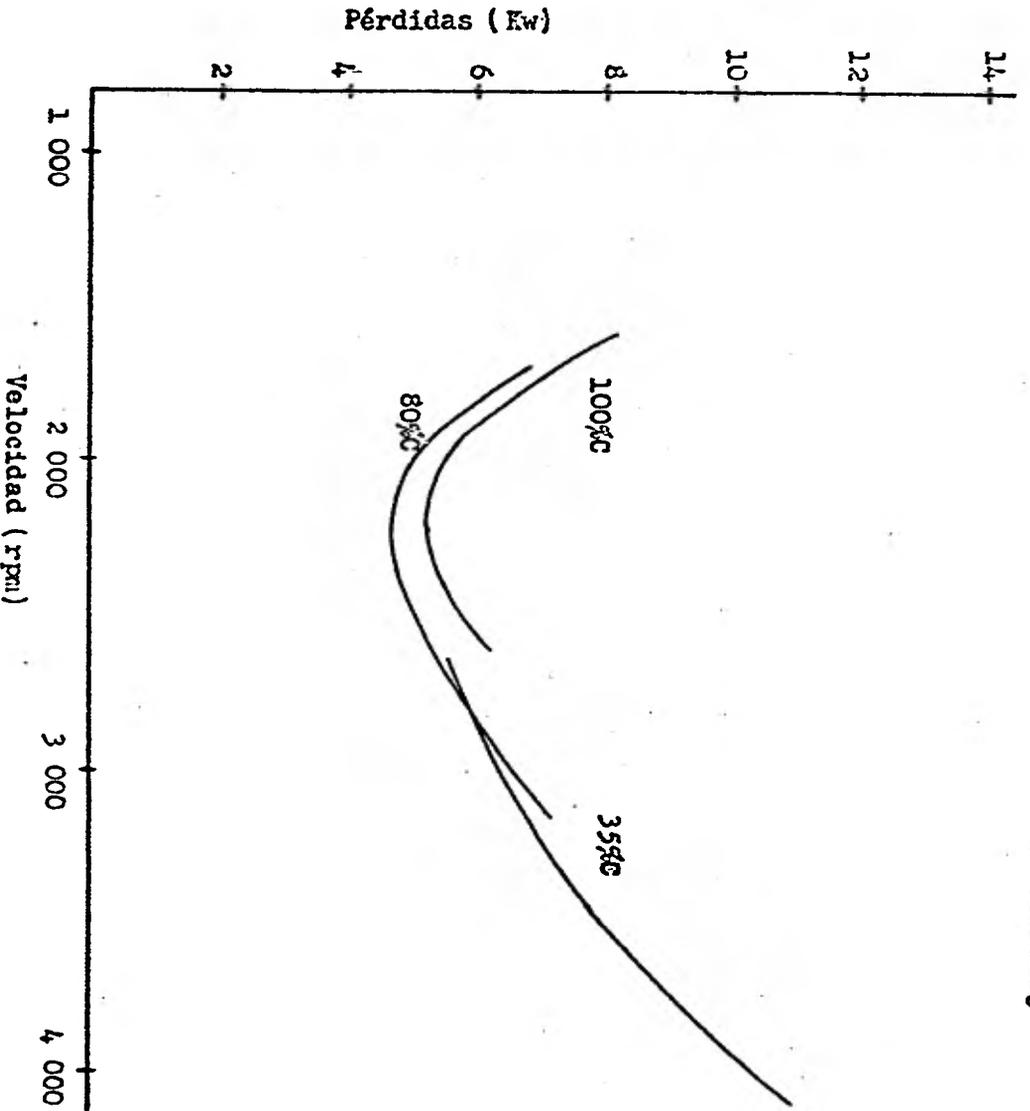


Tabla C.1

Pérdidas independientes de corriente.

1) En el sentido de las manecillas del reloj.

Condiciones de prueba				Resultados		
Intens. de Campo. (%)	Corrien. de campo ser(A)	Corrien. AVF (A)	Velocid. (rpm)	Voltaje de arm. (V)	Corrien. de arm. (A)	Pérdidas (KW)
100	200	200	2 662	356	18.25	6.50
	296	296	2 129	355	15.8	5.61
	395	395	1 896	352	18.1	6.37
	494	494	1 762	351	21.1	7.41
	650	650	1 608	343	25.0	8.58
80	200	139	3 163	359	20.2	7.25
	296	205	2 394	357	15.1	5.39
	395	274	2 049	352	14.65	5.16
	494	343	1 876	348	16.8	5.85
	650	451	1 701	343	20.7	7.10
35	365	-	4 094	368	30.8	11.33
	395	-	3 809	368	26.6	9.79
	494	-	3 196	378	18.9	7.14
	650	-	2 612	378	14.3	5.41

Tabla G.2

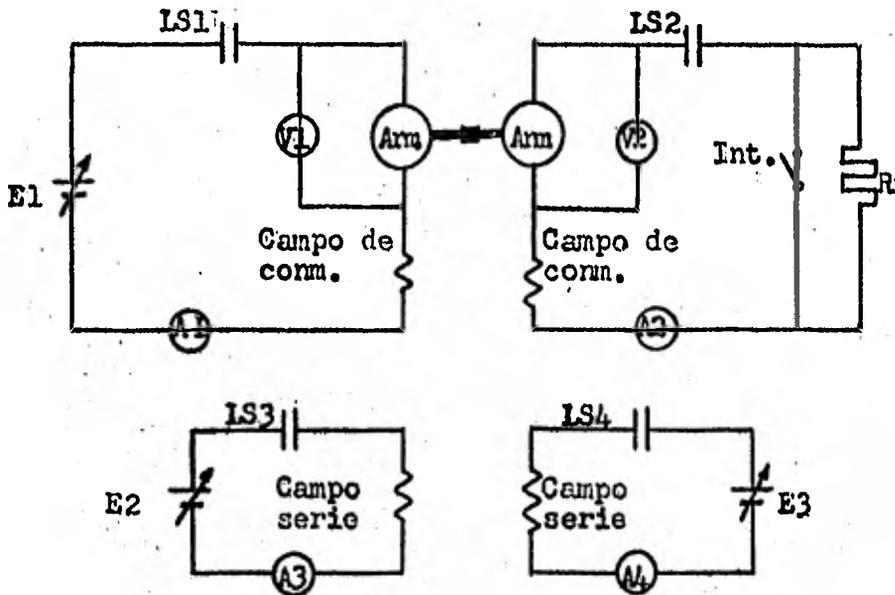
Pérdidas independientes de corriente.

2) Sentido contrario de las manecillas del reloj

Condiciones de prueba				Resultados.		
Intens. de campo (%)	Corrien. de campo (A)	Corrien. AVF (A)	Velocid. (rpm)	Voltaje de arm. (V)	Corrien. de arm. (A)	Pérdidas (KW)
100	200	200	2 650	357	17.6	6.28
	296	296	2 134	356	15.0	5.34
	395	395	1 895	353	17.0	6.00
	494	494	1 755	350	19.7	6.90
	650	650	1 607	344	23.7	8.15
80	200	139	3 188	356	20.4	7.26
	296	205	2 410	360	13.7	4.93
	395	274	2 061	353	13.9	4.91
	494	343	1 880	349	16.0	5.58
	650	451	1 712	346	19.8	6.86
35	365	-	4 113	376	29.5	11.09
	395	-	3 864	378	25.8	9.75
	494	-	3 226	382	18.1	6.91
	650	-	2 642	382	14.9	5.69

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA POR EL MET. DE SEPR. PERD.
 METODO DE MEDICION DE PERDIDAS INDETERMINADAS

Figura C.4 Circuito de prueba.



Motor controlador (15KW)

Motor bajo prueba

1. Secuencia de medición

- 1.1 LS1, LS3: CERRADOS LS2, LS4: ABIERTOS
- 1.2 Ajustar la velocidad correspondiente al valor mostrado en la curva característica de velocidad, por medio de V1 y A3.
- 1.3 Tomar la lectura de V1 y A1
- 1.4 LS2, LS4: CERRADOS
- 1.5 Ajustar la velocidad variando V1, y ajustar la corriente de corto cto. A2, variando A4.
- 1.6 Tomar las lecturas de V1, A1, A4 y V2.
- 1.7 Detener los motores rápidamente
- 1.8 Medir la resistencia de armadura de los motores por medio de un puente de Wheastone.

Dirección rotacional		M. R.				
1) Corriente de corto cto. del M/P	(A)	200	296	395	494	650
2) Velocidad	(rpm)	2 662	2 129	1 896	1 762	1 608
3) Corriente de campo del M/C	(A)	4.2	5.0	5.0	5.5	6.5
4) Voltaje de armad. del M/C en cto. abierto	(V)	939	874	774	736	798
5) Corriente de armad. del M/C en cto. abierto	(A)	7.62	5.6	4.9	4.2	3.7
6) Voltaje de armadura del M/C en corto cto.	(V)	941	881	797	800	843
7) Corriente de armad. del M/C en corto cto.	(A)	9.9	11.5	13.9	12.9	18.5
8) Voltaje de armad. del M/P en corto cto.	(V)	7.1	10.4	8.7	4.7	6.1
9) Corriente de campo del M/P en corto cto.	(A)	5.5	13.4	13.5	6.5	15.1
10) Resistencia de armad. del M/C	(ohms)	5.06	5.21	5.38	5.48	5.65
11) Resistencia de armad. del M/P	(ohms)	0.0096	0.0096	0.0097	0.0099	0.01
12) Pot. suministrada al M/C en cto. abierto 4)x5) (KW)	(KW)	7.16	4.89	3.79	3.09	2.95
13) Pot. suministrada al M/C en corto cto. 6) x 7) (KW)	(KW)	9.32	10.13	11.08	10.32	15.6
14) Incremento de pot. suminis. 13)-12)	(KW)	2.16	5.24	7.29	7.23	12.65
15) Resistencia de corto cto. 8)/1)+11)	(ohms)	0.0451	0.0448	0.0318	0.0194	0.0193
16) Increm. de pérd. I^2R del M/C (7) ² -5) ²) x 10) (KW)	(KW)	0.2	0.53	0.91	0.82	1.66
17) Increm. de pérd. I^2R del M/P 1) ² x 15)	(KW)	1.8	3.92	4.96	4.73	8.15
18) Inc. de pérd. eléc. escob.M/C (7)-5)) x 2 (KW)	(KW)	0	0.01	0.02	0.02	0.14
19) Inc. de pérd. eléc. escob. de M/P 1) x 2. (KW)	(KW)	0.4	0.59	0.79	0.99	1.3
20) Inc. de pérd. de carga 16)+ 17)+ 18)+ 19) (KW)	(KW)	2.4	5.05	6.68	6.56	11.45
21) Pérdidas de corto cto. 14) - 20) (KW)	(KW)	0	0.19	0.61	0.67	1.20
22) Pérdidas indeterminadas 21) x K (KW)	(KW)	0	0.07	0.13	0.25	0.45

(Nota) M/P: Motor bajo prueba, M/C: Motor controlador, M. R.: En sentido manecill. reloj

Dirección rotacional		M. R.						
1) Corriente de corto cto. del M/P	(A)	200	296	395	494	650		
2) Velocidad	(rpm)	3 163	2 394	2 049	1 876	1 701		
3) Corriente de campo del M/C	(A)	4.2	4.2	5.0	5.0	6.5		
4) Voltaje de armad. del M/C en cto. abierto	(V)	1 094	844	840	779	844		
5) Corriente de armad. del M/C en cto. abierto	(A)	8.5	5.96	4.8	5.8	4.2		
6) Voltaje de armadura del M/C en corto cto.	(V)	1 097	851	851	803	900		
7) Corriente de armad. del M/C en corto cto.	(A)	11.1	11.24	14.1	15.6	17.7		
8) Voltaje de armad. del M/P en corto cto.	(V)	7.2	6.6	9.1	4.7	6.5		
9) Corriente de campo del M/P en cortoccto.	(A)	3.5	5.2	12.2	4.2	17.0		
10) Resistencia de armad. del M/C	(ohms)	5.69	5.6	5.62	5.7	5.09		
11) Resistencia de armad. del M/P	(ohms)	0.0102	0.0104	0.0104	0.0102	0.0101		
12) Pot. suministrada al M/C en cto. abierto 4) x 5)	(KW)	9.30	5.03	4.03	4.52	3.54		
13) Pot. suministrada al M/C en corto cto. 6) x 7)	(KW)	12.18	9.56	12.0	12.53	15.93		
14) Incremento de pot. suminis. 13) - 12)	(KW)	2.88	4.53	7.97	8.01	12.39		
15) Resistencia de corto cto. 8)/1)+11)	(Ohms)	0.0462	0.0327	0.0324	0.0198	0.0201		
16) Increm. de pérd. I ² R del M/C (7) ² -5) ²) x 10)	(KW)	0.29	0.51	0.99	1.2	1.77		
17) Increm. de pérd. I ² R del M/P (1) ² x 15)	(KW)	1.85	2.86	5.21	4.83	8.49		
18) Inc. de pérd. eléc. escob. M/C (7)-5)) x 2	(KW)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03		
19) Inc. de pérd. eléc. escob. de M/P 1) x 2	(KW)	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30		
20) Inc. de pérd. de carga 16)+17)+18)+19)	(KW)	2.55	3.97	7.01	7.04	11.59		
21) Pérdidas de corto cto. 14) - 20)	(KW)	0.33	0.56	0.96	0.97	0.80		
22) Pérdidas indeterminadas 21) x K	(KW)	0.14	0.25	0.42	0.43	0.35		

(Nota) M/P: Motor bajo prueba, M/C: Motor controlador, M. R.: En sentido manecilla. reloj

Dirección rotacional		M. R.				
1) Corriente de corto cto. del M/P	(A)	365	395	494	650	
2) Velocidad rotacional	(rpm)	4 094	3 809	3 196	2 612	
3) Corriente de campo del M/C	(A)	4.2	4.2	4.5	6.5	
4) Voltaje de armad. del M/C en cto. abierto	(V)	1 339	1 320	1 179	1 283	
5) Corriente de armad. del M/C en cto. abierto	(A)	11.4	9.8	7.3	4.64	
6) Voltaje de armadura del M/C en corto cto.	(V)	1 405	1 330	1 217	1 327	
7) Corriente de armad. del M/C en corto cto.	(A)	18.9	18.4	21.45	20.2	
8) Voltaje de armad. del M/P en corto cto.	(V)	13.1	14.1	18.1	15.2	
9) Corriente de campo del M/P en corto cto.	(A)	1.5	5.0	14.2	17.1	
10) Resistencia de armad. del M/C	(ohms)	5.99	6.36	6.39	5.95	
11) Resistencia de armad. del M/P	(ohms)	0.01	0.01	0.0099	0.0099	
12) Pot. suministrada al M/C en cto. abierto 4)x5)	(KW)	15.95	12.94	8.61	5.95	
13) Pot. suministrada al M/C en corto cto. 6) x 7)	(KW)	26.6	24.27	26.1	26.8	
14) Incremento de pot. suminis. 13) - 12)	(KW)	10.65	11.33	17.49	20.85	
15) Resistencia de corto cto. 8)/1) +11)	(ohms)	0.0458	0.0457	0.0465	0.0332	
16) Increm. de pérd. I ² R del M/C (7)2-5)2) x 10)	(KW)	1.36	1.54	2.60	2.30	
17) Increm. de pérd. I ² R del M/P 1)2 x 15)	(KW)	6.10	7.13	11.35	14.03	
18) Inc. de pérd. eléc. escob. M/C (7)-5)) x 2	(KW)	0.02	0.02	0.03	0.03	
19) Inc. de pérd. eléc. escob. de M/P 1) x 2	(KW)	0.73	0.79	0.99	1.30	
20) Inc. de pérd. de carga 16) + 17) + 18) + 19)	(KW)	8.21	9.48	14.97	17.66	
21) Pérdidas de corto cto. 14) - 20)	(KW)	2.44	1.85	2.52	3.19	
22) Pérdidas indeterminadas 21) x K	(KW)	1.75	1.32	1.80	2.28	

(Nota) M/P: Motor bajo prueba, M/C: Motor controlador, M. R.: En sentido manecilla. reloj

Dirección rotacional

C. M. R.

1) Corriente de corto cto. del M/P	(A)	200	296	395	494	650
2) Velocidad	(rpm)	2 650	2 134	1 895	1 755	1 606
3) Corriente de campo del M/C	(A)	4.2	5.0	5.0	5.5	6.5
4) Voltaje de armad. del M/C en cto. abierto	(V)	964	833	790	780	802
5) Corriente de armad. del M/C en cto. abierto	(A)	7.75	4.66	4.2	3.84	3.26
6) Voltaje de armad. del M/C en corto circuito	(V)	946	900	813	818	877
7) Corriente de armad. del M/C en corto cto.	(A)	9.0	9.44	10.42	12.92	18.28
8) Voltaje de armad. del M/P en corto cto.	(V)	4.3	6.6	3.6	4.7	6.3
9) Corriente de campo del M/P en corto cto.	(A)	4.4	13.3	10.5	16.7	41
10) Resistencia de armad. del M/C	(ohms)	4.94	5.04	5.14	5.21	5.48
11) Resistencia de armadura del M/P	(ohms)	0.0096	0.0096	0.0097	0.0099	0.01
12) Pot. suministrada al M/C en cto. abierto 4.)x5)	(KW)	7.47	4.11	3.32	3.00	2.61
13) Pot. suministrada al M/C en corto cto. 6.) x 7)	(KW)	8.68	8.50	8.47	10.57	16.03
14) Incremento de pot. suminis. 13) - 12)	(KW)	1.21	4.39	5.15	7.57	13.42
15) Resistencia de corto cto. 8)/1) + 11)	(ohms)	0.0311	0.0319	0.0188	0.0194	0.0197
16) Inerem. de pérd. I ² R del M/C (7) ² -5) ²) x 10)	(KW)	0.10	0.34	0.47	0.79	1.77
17) Inerem. de pérd. I ² R del M/P 1) ² x 15)	(KW)	1.24	2.79	2.93	4.73	8.32
18) Inc. de pérd. eléc. escob.M/C (7)-5)) x 2	(KW)	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03
19) Inc. de pérd. eléc. escob. de M/P 1) x2	(KW)	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30
20) Inc. de pérd. de carga 16) + 17) + 18) + 19)	(KW)	1.74	3.73	4.2	6.53	11.42
21) Pérdidas de corto cto. 14) - 20)	(KW)	0	0.66	0.95	1.04	2.0
22) Pérd. por carga ind. 21) x K	(KW)	0	0.25	0.36	0.39	0.76

(Nota) M/P: Motor bajo prueba, M/C: Motor controlador, C.M.R.: Contrar. a manecilla. reloj

Dirección rotacional		C. M. R.					
1) Corriente de corto cto. del M/P	(A)	200	296	395	494	650	
2) Velocidad	(rpm)	3 188	2 410	2 061	1 880	1 712	
3) Corriente de campo del M/C	(A)	4.2	4.2	5.0	5.0	6.5	
4) Voltaje de armad. del M/C en cto. abierto	(V)	1 14.5	878	860	785	851	
5) Corriente de armad. del M/C en cto. abierto	(A)	8.6	6.4	4.5	4.08	3.4	
6) Voltaje de armadura del M/C en corto cto.	(V)	1 114.8	889	891	820	914	
7) Corriente de armad. del M/C en corto cto.	(A)	10.56	10.3	13.0	13.74	18.50	
8) Voltaje de armad. del M/P en corto cto.	(V)	7.3	6.6	8.8	4.7	6.3	
9) Corriente de campo del M/P en corto cto.	(A)	6.5	12.4	18.8	15.8	32.2	
10) Resistencia de armad. del M/C	(ohms)	5.58	5.35	5.35	5.38	5.51	
11) Resistencia de armad. del M/P	(ohms)	0.0101	0.0099	0.0097	0.0097	0.0098	
12) Pot. suministrada al M/C en cto. abierto 4) x 5)	(KW)	9.85	5.62	3.87	3.20	2.89	
13) Pot. suministrada al M/C en corto cto. 6) x 7)	(KW)	12.12	9.16	11.58	11.27	16.91	
14) Incremento de pot. suministrada 13) - 12)	(KW)	2.27	3.54	7.71	8.07	14.02	
15) Resistencia de corto cto. 8) / 1) + 11)	(ohms)	0.0466	0.0322	0.032	0.0192	0.0195	
16) Increm. de pérd. I ² R del M/C (7)² - 5)²) x 10)	(KW)	0.21	0.35	0.80	0.93	1.82	
17) Increm. de pérd. I ² R del M/P 1)² x 15)	(KW)	1.86	2.82	5.00	4.68	8.24	
18) Inc. de pérd. eléc. escob. M/C (7) - 5)) x 2	(KW)	0	0.01	0.02	0.02	0.03	
19) Inc. de pérd. eléc. escob. de M/P 1) x 2.	(KW)	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30	
20) Inc. de pérd. de carga 16) + 17) + 18) + 19)	(KW)	2.46	3.77	6.61	6.62	11.39	
21) Pérd. de corto cto. 14) - 20)	(KW)	0	0	1.10	1.45	2.63	
22) Pérdidas indeterminadas 21) x K	(KW)	0	0	0.49	0.64	1.16	

(Nota) M/P: Motor bajo prueba, M/C: Motor controlador, C.M.R.: Contrar. a manecilla, reloj

3) 35% de Campo (factor de corrección: K 71.6%)

Dirección rotacional		C. M. R.				
1) Corriente de corto cto. del M/P	(A)	365	395	494	650	
2) Velocidad rotacional	(rpm)	4 113	3 864	3 226	2 642	
3) Corriente de campo del M/C	(A)	4.2	4.2	4.5	6.5	
4) Voltaje de armad. del M/C en cto. abierto	(V)	1 44.2	1 360	1 217	1 310	
5) Corriente de armad. del M/C en cto. abierto	(A)	11.6	10.4	7.8	4.75	
6) Voltaje de armadura del M/C en corto cto.	(V)	1 146.5	1 393	1 236	1 360	
7) Corriente de armad. del M/C en corto cto.	(A)	17.8	17.6	18.9	20.7	
8) Voltaje de armad. del M/P en corto cto.	(V)	13.3	14.2	14.4	14.8	
9) Corriente de campo del M/P en corto cto.	(A)	6.0	9.0	12.8	32.2	
10) Resistencia de armad. del M/C	(ohms)	5.72	5.78	5.81	5.86	
11) Resistencia de armad. del M/P	(ohms)	0.01	0.01	0.0098	0.0098	
12) Pot. suministrada al M/C en cto. abierto 4)x5)(KW)	(KW)	16.73	14.14	9.49	6.22	
13) Pot. suministrada al M/C en corto cto. 6) x 7) (KW)	(KW)	26.08	24.52	23.36	28.15	
14) Incremento de pot. suminis. 13) - 12)	(KW)	9.35	10.38	13.87	21.93	
15) Resistencia de corto cto. $\delta)/(1+11)$	(ohms)	0.0464	0.0459	0.0389	0.0326	
16) Increm. de pérd. I^2R del M/C (7)²-5)²) x 10) (KW)	(KW)	1.04	1.16	1.72	2.38	
17) Increm. de pérd. I^2R del M/P 1)² x 15)	(KW)	6.18	7.16	9.49	13.77	
18) Inc. de pérd. eléc. escob. M/C (7)-5)) x 2 (KW)	(KW)	0.01	0.01	0.02	0.03	
19) Inc. de pérd. eléc. escob. de M/P 1) x 2 (KW)	(KW)	0.73	0.79	0.99	1.30	
20) Inc. de pérd. de carga 16) +17) + 18) + 19)	(KW)	7.96	9.22	12.22	17.48	
21) Pérdidas de corto cto. 14) - 20)	(KW)	1.39	1.16	1.65	4.45	
22) Pérdidas indeterminadas 21) x K	(KW)	1.00	0.83	1.18	3.19	

(Nota) M/P: Motor bajo prueba, M/C: Motor controlador, C.M.R.: Contrar. a manecilla. reloj

Figura C.5 CURVA CARACTERISTICA POR EL METODO DE SEPARACION DE PERDIDAS

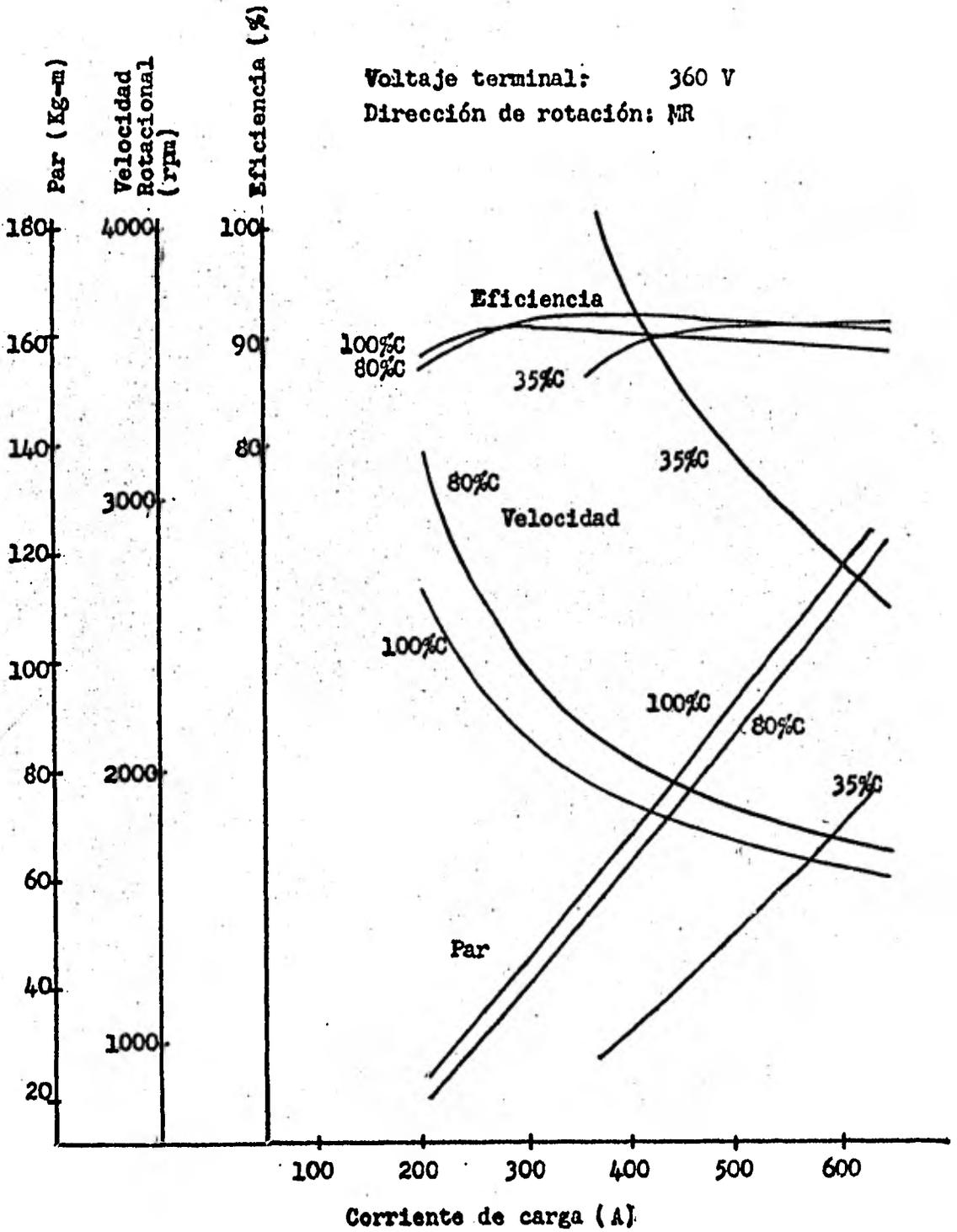


Figura C.6 CURVA CARACTERÍSTICA POR EL METODO DE SEPARACION DE PERDIDAS

Voltaje terminal : 360 V
 Dirección de rotación: CMR

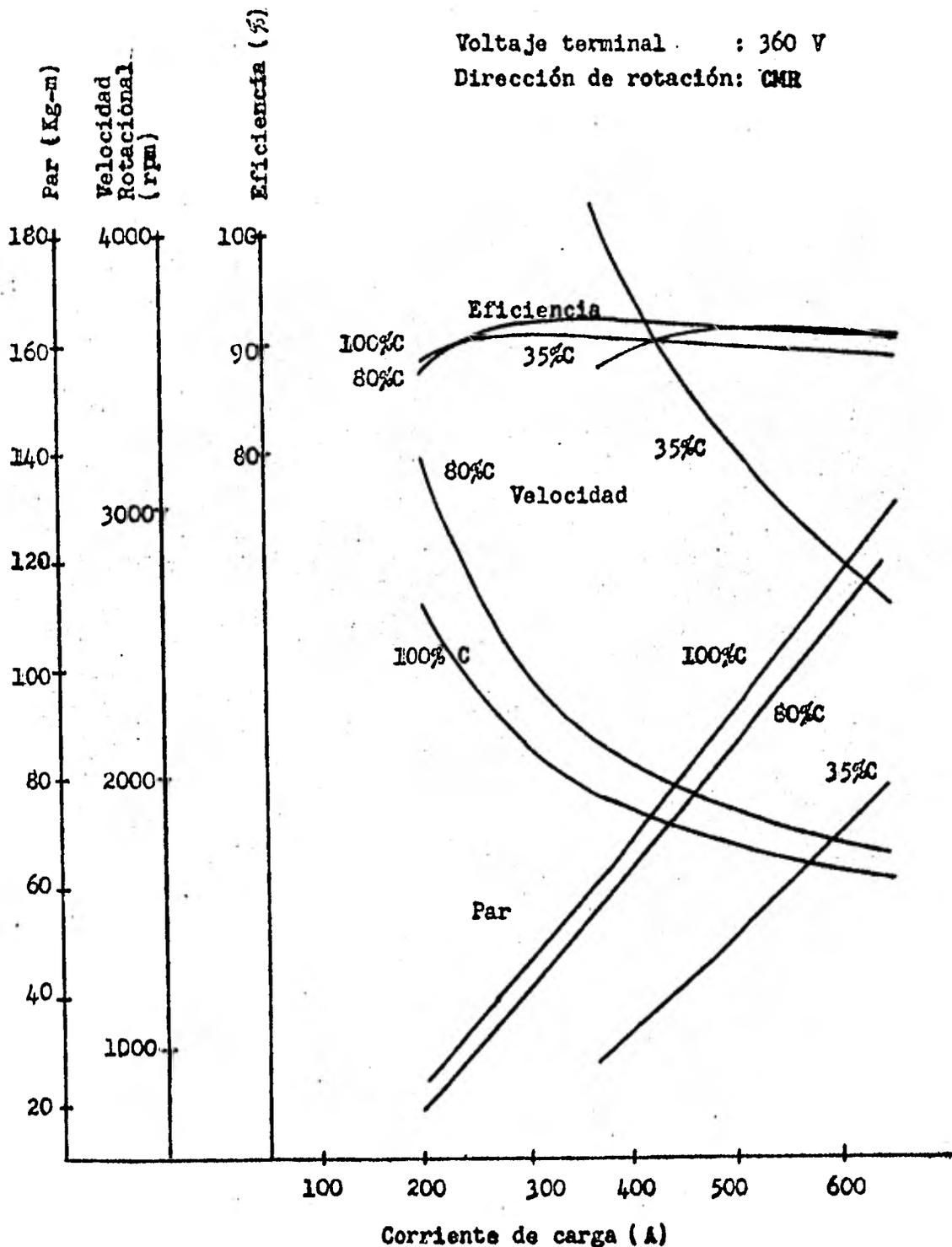


Tabla C.9

Determinación de la curva característica (Por el método de separación de pérdidas); ver Figura C.5.

1) 360 V, 100% de campo.

Corriente de carga (A)	200	296	395	494	650
Por ciento de carga (%)	50.6	75	100	125	164.6
Corriente AVF (A)	200	296	395	494	650
Velocidad (RPM) en el sentido de las manecillas del reloj	2,662	2,129	1,896	1,762	1,608
Pérdidas (KW)					
Pérdidas de corriente independiente	6.50	5.61	6.37	7.41	8.58
Pérdidas de carga-directa					
Pérd. I ² R en cto.serie	1.00	2.19	3.89	6.09	10.54
Pérd. I ² R en AVF	0.60	1.32	2.35	3.67	6.35
Pérd. eléc. en escobilla	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30
Pérdidas indeterminad.	0	0.07	0.23	0.25	0.45
Pérdidas totales	8.50	9.78	13.63	18.41	27.22
Pot. de entrada (KW)	72.6	107.88	144.55	181.51	240.35
Pot. de salida (KW)	64.10	98.10	130.92	163.10	213.13
Eficiencia (%)	88.30	90.90	90.60	89.90	88.70
Par (Kg.-m)	23.50	44.90	67.30	90.30	129.20

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} \times 100 (\%)$$

$$\text{Par} = 975 \times \frac{\text{Potencia de salida (KW)}}{\text{Velocidad (RPM)}} \quad (\text{Kg.-m})$$

Tabla C.10

2) 360 V, 80% de campo

Corriente de carga (A)	200	296	395	494	650
Por ciento de carga (%)	50.6	75	100	125	164.6
Corriente AVF (A)	139	205	274	343	451
Velocidad rotacional (rpm) en el sentido de las manecillas del reloj	3,163	2,394	2,049	1,876	1,701
Pérdidas (KW)					
Pérdidas de corriente independiente	7.25	5.39	5.16	5.85	7.10
Pérdidas de carga- directa					
Pérd. I^2R en cto. serie	1.00	2.19	3.89	6.09	10.54
Pérd. I^2R en AVF	0.29	0.63	1.13	1.77	3.06
Pérd. eléc. en escobillas	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30
Pérdidas indeterminadas	0.14	0.25	0.42	0.43	0.35
Pérdidas totales	9.08	9.05	11.39	15.13	22.35
Pot. de entrada (KW)	72.29	107.19	143.33	179.61	237.06
Pot. de salida (KW)	63.21	98.14	131.94	164.48	214.71
Eficiencia (%)	87.4	91.6	92.0	91.6	90.6
Par (Kg-m)	19.5	40.0	62.8	85.5	123.1

Tabla C.11

3) 360 V, 35% de campo

Corriente de carga (A)	365	395	494	650
Por ciento de carga (%)	92.4	100	125	164.6
Corriente AVF (A)	-	-	-	-
Velocidad (rpm) en el sentido de las manecillas del reloj	4,094	3,809	3,169	2,612
Pérdidas (KW)				
Pérdidas de corriente independiente	11.33	9.79	7.14	5.41
Pérdidas de carga- directa				
Pérd. I^2R en cto. serie	3.32	3.89	6.09	10.54
Pérd. I^2R en AVF	-	-	-	-
Pérd. eléc. en escobillas	0.73	0.79	0.99	1.30
Pérdidas indeterminadas	1.75	1.32	1.80	2.28
Pérdidas totales	17.13	15.79	16.02	19.53
Pot. de entrada (KW)	131.40	142.20	177.84	234.00
Pot. de salida (KW)	114.27	126.41	161.82	214.47
Eficiencia (%)	87.0	88.9	91.0	91.6
Par (Kg-m)	27.2	32.4	49.4	80.0

Tabla C.12

4) 360 V, 100% de campo ; ver Figura C.6

Corriente de carga (A)	200	296	395	494	650
Por ciento de carga(%)	50.6	75	100	125	164.6
Corriente AVF (A)	200	296	395	494	650
Velocidad (rpm) en el sentido contrar. de manecillas reloj	2,650	2,134	1,895	1,755	1,607
Pérdidas (KW)					
Pérdidas de corriente independiente	6.28	5.34	6.00	6.90	8.15
Pérdidas de carga-directa ₂					
Pérd. I^2R en cto. serie	1.00	2.19	3.89	6.09	10.54
Pérd. I^2R en AVF	0.60	1.32	2.35	3.67	6.35
Pérd. eléc. en escobillas	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30
Pérdidas indeterminad.	0	0.25	0.36	0.39	0.76
Pérdidas totales	8.28	9.69	13.39	18.04	27.10
Fot. de entrada (KW)	72.6	107.88	144.55	181.51	240.35
Pot. de salida (KW)	64.32	98.19	131.16	163.47	213.25
Eficiencia (%)	88.6	91.0	90.7	90.1	88.7
Par (Kg-m)	23.7	44.9	67.5	90.8	129.4

Tabla C.13

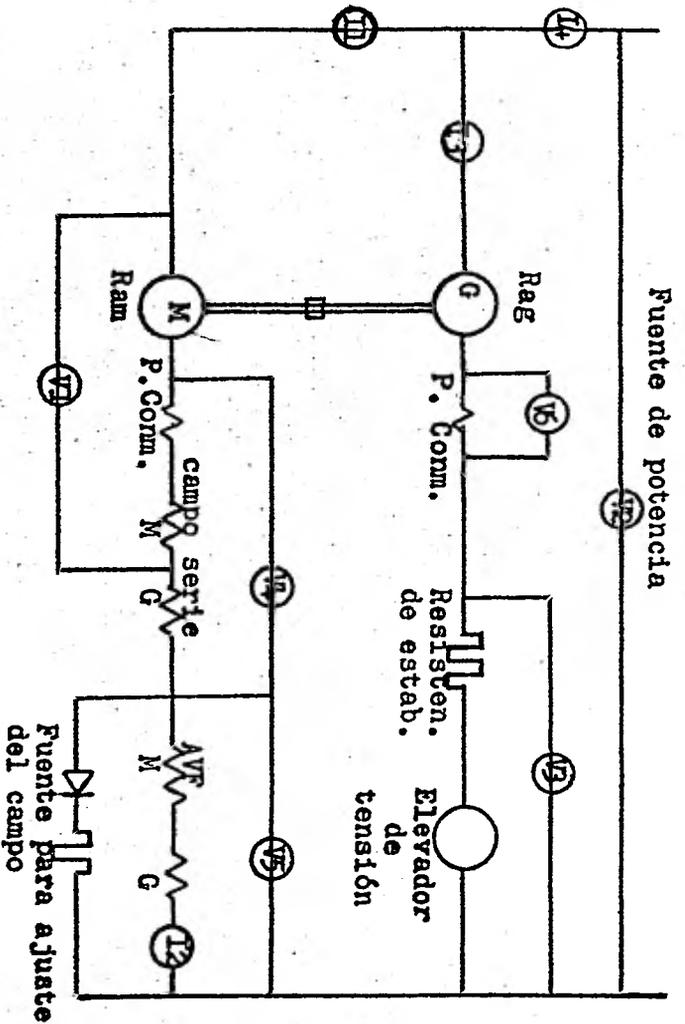
5) 360 V, 80% de campo

Corriente de carga (A)	200	296	395	494	650
Por ciento de carga (%)	50.6	75	100	125	164.6
Corriente AVF (A)	139	205	274	343	451
Velocidad (rpm) en el sentido contrario de las manecillas del reloj	3,188	2,410	2,061	1,880	1,712
Pérdidas (KW)					
Pérdidas de corriente independiente	7.26	4.93	4.91	5.58	6.86
Pérdidas de carga- directa					
Pérd. I^2R en cto. serie	1.00	2.19	3.89	6.09	10.54
Pérd. I^2R en AVF	0.29	0.63	1.13	1.77	3.06
Pérd. eléc. en escobillas	0.40	0.59	0.79	0.99	1.30
Pérdidas indeterminadas	0	0	0.49	0.64	1.16
Pérdidas totales	8.95	8.34	11.21	15.07	22.92
Pot. de entrada (KW)	72.29	107.19	143.33	179.61	237.06
Pot. de salida (KW)	63.34	98.85	132.12	164.51	214.14
Eficiencia (%)	87.6	92.2	92.2	91.6	90.3
Par (Kg-m)	19.4	40.0	62.5	85.3	122.0

Tabla C.14

6) 360 V, 35% de campo

Corriente de carga (A)	365	395	494	650
Por ciento de carga (%)	92.4	100	125	164.6
Corriente AVF (A)	-	-	-	-
Velocidad (rpm) en el sentido contrario de las manecillas del reloj	4,113	3,864	3,226	2,642
Pérdidas (KW)				
Pérdidas de corriente independiente	11.09	9.75	6.91	5.69
Pérdidas de carga- directa				
Pérd. I^2R en cto. serie	3.32	3.89	6.09	10.54
Pérd. I^2R en AVF	-	-	-	-
Pérd. eléc. en escobillas	0.73	0.79	0.99	1.30
Pérdidas indeterminadas	1.00	0.83	1.18	3.19
Pérdidas totales	16.14	15.26	15.17	20.72
Pot. de entrada (KW)	131.40	142.20	177.84	234.00
Pot. de salida (KW)	115.26	126.94	162.67	213.28
Eficiencia (%)	87.7	89.3	91.5	91.1
Par (Kg-m)				

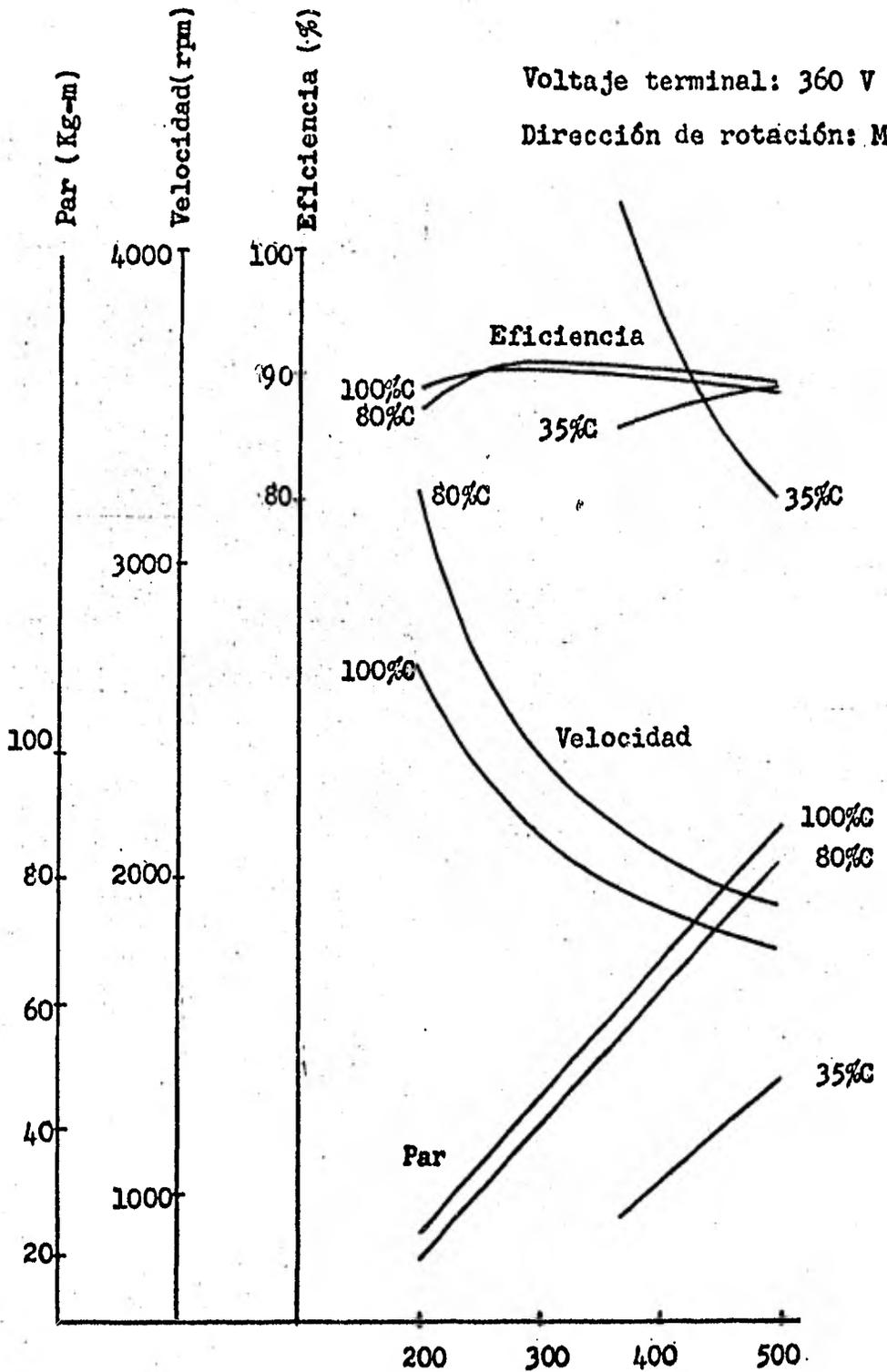


Efficiencia = 1 -

$$\frac{V2 \times I4 + V3 \times I3 + (2 \times R15 - R_{am} - V / \Omega) \times I1^2 - R_{ag} + V6 / I3 \times I3^2 - 2I4 + (2 \times R15 - V5 / I2) \times I2^2 + (I1 - I2) \times V5}{2 \times V1 \times I1 + I2 \times V5}$$

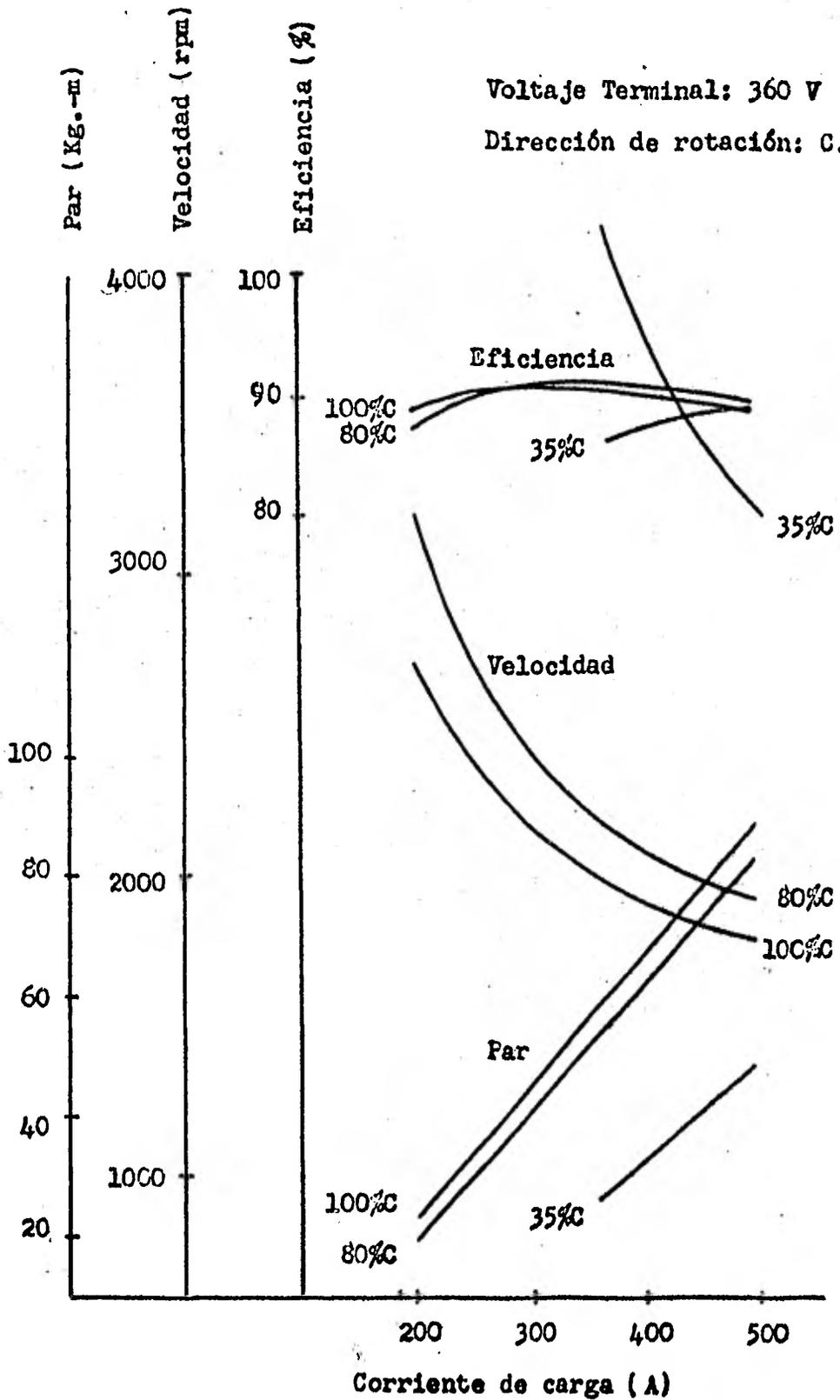
- R115 : Resistencia de (Arm. + P. Comm. + C. Serie) a 115°C
- R125F: Resistencia del AVF a 115°C
- Ram : Resistencia de armadura del motor al tiempo de medición
- Rag : Resistencia de armadura del generador al tiempo de medición

Figura C.8 CURVA CARACTERISTICA POR EL METODO DE HUTCHINSON



Corriente de carga (A)

Figura C.9 CURVA CARACTERISTICA POR EL METODO DE HUTCHINSON



100 % de campo
En el sentido de las manecillas del reloj

1) Voltaje terminal del motor	: V1	(V)	360	360	360	360
2) Corriente de carga	: I1	(A)	200	296	395	494
3) Corriente AVF	: I2	(A)	200	296	395	494
4) Voltaje de la fuente	: V2	(V)	372	378	382	387
5) Voltaje del elevador de tensión	: V3	(V)	11.6	23.7	34.9	45.2
6) Caida de voltaje	: V4	(V)	3.44	5.2	7.1	9.05
7) Caida de voltaje	: V5	(V)	4.56	6.78	9.31	11.8
8) Caida de voltaje	: V6	(V)	1.06	1.69	2.37	3.04
9) Corriente del elevador de tensión	: I3	(A)	165.0	262.8	357.0	450.6
10) Corriente de la fuente	: I4	(A)	35.0	33.2	38.0	43.4
11) Resistencia de armadura (M)	: R _{am}	(ohms)	0.01011	0.01014	0.01032	0.01066
12) Resistencia de armadura (G)	: R _{ag}	(ohms)	0.01011	0.01019	0.01036	0.01063
13) Resistencia (Arm. + P. Comm. + P. Ser.) a 115°C: R115		(ohms)	0.02494	0.02494	0.02494	0.02494
14) Resistencia (AVF) a 115°C	: R115f	(ohms)	0.01504	0.01504	0.01504	0.01504
15) 2V1I1.V5I2. (2x 1)x 2) + 7)x 3))x10 ⁻³		(KW)	144.91	215.13	288.08	360.28
16) V2I4 + V3I3. (4)x 10 + 5)x 0))x10 ⁻³		(KW)	14.93	18.78	26.98	37.16
17) (2R1I5 - R _{am} -V4/I1)I1 ² (2x 13) - 11) - 6)/2)x2)x10 ⁻³ (KW)		(KW)	0.90	1.94	3.37	5.10
18) (R _{ag} +V6/I3)I3 ² (12) + 8)/9))x 9))x10 ⁻³		(KW)	0.45	1.15	2.17	3.53
19) 2I4 . 2x 10)x10 ⁻³		(KW)	0.07	0.07	0.07	0.09
20) (2R115f-V5/I2)I2 ² (2x 14) - 7)/3))x 3))x10 ⁻³		(KW)	0.29	0.63	1.02	1.51
21) (I1-I2)V5, (2) - 3))x 7)		(KW)	0	0	0	0
22) P6:viddas, 16) + 17) - 18) + 19) + 20) + 21)		(KW)	15.74	20.27	29.27	40.33
23) Eficiencia (1- 22)/15))x 100		(%)	89.1	90.6	89.8	88.8
24) Velocidad		(rpm)	2 685	2 152	1 904	1 773
25) Par		(Kg-m)	23.5	44.1	66.3	88.0

80 % de campo
En el sentido de las manecillas del
reloj

1) Voltaje terminal del motor	: V1	(V)	360	360	360	360
2) Corriente de carga	: I1	(A)	200	296	395	494
3) Corriente AVF	: I2	(A)	139	205	274	343
4) Voltaje de la fuente	: V2	(V)	371	376	380	382
5) Voltaje del elevador de tensión	: V3	(V)	9.1	19.6	31.8	40.1
6) Caída de voltaje	: V4	(V)	3.62	5.28	7.17	9.1
7) Caída de voltaje	: V5	(V)	3.23	4.62	6.38	7.9
8) Caída de voltaje	: V6	(V)	1.04	1.72	2.42	3.11
9) Corriente del elevador de tensión	: I3	(A)	157.2	263.0	359.2	454.0
10) Corriente de la fuente	: I4	(A)	42.8	33.0	35.8	40.0
11) Resistencia de armadura (M)	: Ram	(ohms)	0.01052	0.01030	0.01037	0.01052
12) Resistencia de armadura (G)	: Rar	(ohms)	0.01050	0.01024	0.01033	0.01056
13) Resistencia Arm. + P. Corri. + P. Ser. a 115°C	: R115	(ohms)	0.02494	0.02494	0.02494	0.02494
14) Resistencia (AVF) a 115°C	: R115F	(ohms)	0.01504	0.01504	0.01504	0.01504
15) 2V1I1 + V5I2, (2x 1) x 2) + 7) x 3)) x 10 ⁻³		(KW)	144.45	213.78	286.15	358.4
16) V2I4 + V3I3, (L) x 10) + 5) x 9)) x 10 ⁻³		(KW)	17.31	17.56	25.03	33.49
17) (2R115 - Ram - V4/I1 ² , (2x 13) - 11) - 6) / 2)) x 2) ² x 10 ⁻³		(KW)	0.85	1.90	3.33	5.11
18) (Rar + V6/I3) I3 ² , (12) + 8) / 9)) x 9) ² x 10 ⁻³		(KW)	0.53	1.16	2.20	3.59
19) 2I4 - 2x 10) x 10 ⁻³		(KW)	0.09	0.07	0.08	0.08
20) (2R115F - V5/I2) I2 ² , (2x 14) - 7) / 3)) x 3) ² x 10 ⁻³		(KW)	0.13	0.32	0.51	0.83
21) (I1 - I2) V5, (2) - 3)) x 7)		(KW)	0.20	0.42	0.77	1.19
22) Pérdidas, (6) + 17) - 18) + 19) + 20) + 21)		(KW)	18.05	19.11	27.52	37.11
23) Eficiencia, (1 - 22) / 15)) x 100		(%)	87.5	91.1	90.4	89.6
24) Velocidad		(rpm)	3 207	2 417	2 080	1 903
25) Par		(Kg-m)	19.2	39.3	60.6	82.3

35 % de campo
En el sentido de las manecillas del
reloj

1) Voltaje terminal del motor	: V_1	(V)	360	360	360
2) Corriente de carga	: I_1	(A)	365	395	494
3) Corriente AVF	: I_2	(A)	-	-	-
4) Voltaje de la fuente	: V_2	(V)	375	377	380
5) Voltaje del elevador de tensión	: V_3	(V)	7.6	12.1	18.1
6) Gai da de voltaje	: V_4	(V)	6.32	6.9	8.8
7) Gai da de voltaje	: V_5	(V)			
8) Gai da de voltaje	: V_6	(V)	1.82	2.07	2.78
9) Corriente en el elevador de tensión	: I_3	(A)	278.6	313.0	417.0
10) Corriente de la fuente	: I_4	(A)	86.4	82.0	77.0
11) Resistencia de armadura (M)	: Ram	(ohms)	0.00998	0.01024	0.01046
12) Resistencia de armadura (G)	: RAG	(ohms)	0.00990	0.01004	0.01016
13) Resistencia (Arm.+P.Comm.+P.Ser.) a 115°C	: R_{115}	(ohms)	0.02194	0.02194	0.02194
14) Resistencia (AVF) a 115°C	: R_{115f}	(ohms)			
15) $2V_{I1} + V_{I2}$, ($2x1x2 + 7x3$) $x 10^{-3}$		(KV)	262.8	284.40	355.68
6) $V_{I4} + V_{I3}$, ($4x10 + 5x9$) $x 10^{-3}$		(KV)	34.52	34.70	36.81
7) $(2R_{115} - R_{am} - V_4 / I_1) I_1^2$, ($2x13 - 11 - 6/2$) $x 2^2 x 10^{-3}$		(KW)	3.01	3.46	5.27
8) $(R_{AG} + V_6 / I_3) I_3^2$, ($12 + 8/9$) $x 9^2 x 10^{-3}$		(KW)	1.28	1.63	2.93
9) $2I_4$, $2x10 x 10^{-3}$		(KW)	0.17	0.16	0.15
20) $(2R_{115f} - V_5 / I_2) I_2^2$, ($2x14 - 7/3$) $x 3^2 x 10^{-3}$		(KW)			
21) $(I_1 - I_2) V_5$, ($2 - 1$) $x 7$		(KW)	36.42	36.69	39.3
22) Pérdidas, $16 + 17 - 18 + 19 + 20 + 21$		(KW)	86.1	87.1	89.0
23) Eficiencia $(1 - 22/15) x 100$		(%)			
24) Velocidad		(rpm)	4.150	3.845	3.212
25) Par		(Kg-m)	26.6	31.4	48.0

100 % de campo
 En sentido contrario de las manecillas
 del reloj

1) Voltaje terminal del motor	: V1	(V)	360	360	360	360	360
2) Corriente de carga	: I1	(A)	200	296	395	494	494
3) Corriente AVF	: I2	(A)	200	296	395	494	494
4) Voltaje de la fuente	: V2	(V)	372	379	382	389	389
5) Voltaje del elevador de tensión	: V3	(V)	11.7	24.0	35.1	46.1	46.1
6) Caída de voltaje	: V4	(V)	3.51	5.30	7.21	9.13	9.13
7) Caída de voltaje	: V5	(V)	4.68	6.85	9.32	11.86	11.86
8) Caída de voltaje	: V6	(V)	1.10	1.71	2.42	3.09	3.09
9) Corriente en el elevador de tensión	: I3	(A)	164.5	262.8	356.1	449.8	449.8
10) Corriente de la fuente	: I4	(A)	35.5	33.2	38.9	44.2	44.2
11) Resistencia de armadura (M)	: R _{am}	(ohms)	0.01040	0.01040	0.01049	0.01072	0.01072
12) Resistencia de armadura (G)	: R _{af}	(ohms)	0.01016	0.01010	0.01039	0.01072	0.01072
13) Resistencia (Arm + P. Comm. + F. Ser.) a 115°C: R115	: R115	(ohms)	0.02494	0.02494	0.02494	0.02494	0.02494
14) Resistencia (AVF) a 115°C	: R115f	(ohms)	0.01504	0.01504	0.01504	0.01504	0.01504
15) 2V1I1 + V5I2, (2x 1)x 2 + 7)x 3) x 10 ⁻³		(KW)	144.94	215.15	285.36	361.54	361.54
16) V2I4 + V3I3, (4)x 10 + 5)x 9) x 10 ⁻³		(KW)	15.13	18.89	27.36	37.93	37.93
17) (2R1I5 - R _{am} - V4/I1) I1 ² , (2x 13) - 11) - 6)/2) x 2) ² x 10 ⁻³ KW		(KW)	0.88	1.89	3.31	5.05	5.05
18) (R _{af} + V6/I3) I3 ² , (32) + 8)/9) x 9) ² x 10 ⁻³		(KW)	0.46	1.15	2.18	3.56	3.56
19) 2I4 ² , 2x 10)x 10 ⁻³		(KW)	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09
20) (2R1I5f - V5/I2) I2 ² , (2x 14) - 7)/3) x 3) ² x 10 ⁻³		(KW)	0.27	0.61	1.01	1.48	1.48
21) (I1 - I2) V5, (2) - 3) x 7)		(KW)	0	0	0	0	0
22) P5 y dadas, 16) + 17) - 18) + 19) + 20) + 21)		(KW)	15.89	20.31	29.58	40.99	40.99
23) Eficiencia (1 - 22/15) x 100		(%)	89.0	90.6	89.6	88.7	88.7
24) Velocidad		(rpm)	2705	2170	1910	1776	1776
25) Par		(Kg-m)	23.3	43.8	65.3	88.0	88.0

80 % de campo
En el sentido contrario a las manecillas
del reloj

1) Voltaje terminal del motor	: V1	(V)	360	360	360	360
2) Corriente de carga	: I1	(A)	200	296	395	494
3) Corriente AVF	: I2	(A)	139	205	274	343
4) Voltaje de la fuente	: V2	(V)	372	376	381	384
5) Voltaje del elevador de tensión	: V3	(V)	9.2	19.8	31.9	40.5
6) Caída de voltaje	: V4	(V)	3.70	5.24	7.18	9.30
7) Caída de voltaje	: V5	(V)	3.21	4.56	6.41	8.0
8) Caída de voltaje	: V6	(V)	1.16	1.91	2.43	3.56
9) Corriente en el elevador de tensión	: I3	(A)	156.9	261.8	357.9	452.9
10) Corriente de la fuente	: I4	(A)	43.1	34.2	37.1	41.1
11) Resistencia de armadura (W)	: Ram	(ohms)	0.01623	0.01034	0.01073	0.01073
12) Resistencia de armadura (G)	: Rag	(ohms)	0.01007	0.01018	0.01050	0.01050
13) Resistencia (Arm. P.Com. P.Ser.) a 115°C: R115		(ohms)	0.02494	0.02494	0.02494	0.02494
14) Resistencia (AVF) a 115°C	: R115f	(ohms)	0.01504	0.01504	0.01504	0.01504
15) 2V1I1 V5I2, (2x 1)x 2) 7)x 3))x10 ⁻³		(KW)	144.45	214.05	286.16	358.42
16) V2I4, V3I3, (4)x 10) 5)x 9))x 10 ⁻³		(KW)	17.48	18.04	25.55	34.12
17) (2R115 -Ram-V4/I1)I1 ² , (2x 13)-11)-6/2)x 2) ² x10 ⁻⁴ (KW)		(KW)	0.85	1.91	3.27	4.96
18) (Rag V6/I3)I3 ² , (12) 8/9))x 9) ² x10 ² (KW)		(KW)	0.43	1.20	2.21	3.77
19) 2I4 , 2x 10) x10 ⁻³ (KW)		(KW)	0.09	0.07	0.07	0.08
20) (2R115f-V5/I2)I2 ² (2x 14)- 7)/3))x 3) ² x 10 ⁻³ (KW)		(KW)	0.13	0.33	0.50	0.79
21) (I1-I2)V5, (2)- 3))x 7) (KW)		(KW)	0.20	0.41	0.78	1.21
22) Pérdidas, 16) 17)- 18) 19) 20) 21) (KW)		(KW)	18.32	19.56	27.96	37.39
23) Eficiencia, (1- 22)/15))x 100 (%)		(%)	87.3	90.9	90.2	89.6
24) Velocidad (rpm)		(rpm)	3 217	2 419	2 081	1 900
25) Par (Kc-m)		(Kc-m)	19.1	39.2	60.5	82.4

35 % de campo
 En sentido contrario a las manecillas
 del reloj

1) Voltaje terminal del motor	: V _L	(V)	360	360	360
2) Corriente de carga	: I ₁	(A)	365	395	494
3) Corriente AVF	: I ₂	(A)	-	-	-
4) Voltaje de la fuente	: V ₂	(V)	375	378	380
5) Voltaje del elevador de tensión	: V ₃	(V)	7.7	12.3	18.2
6) Caída de voltaje	: V ₄	(V)	6.29	6.91	8.96
7) Caída de voltaje	: V ₅	(V)	-	-	-
8) Caída de voltaje	: V ₆	(V)	1.91	2.13	2.75
9) Corriente del elevador de tensión	: I ₃	(A)	277	312.8	415.5
10) Corriente de la fuente	: I ₄	(A)	88.0	82.2	78.5
11) Resistencia de armadura (M)	: R _{am}	(ohms)	0.01036	0.01002	0.01021
12) Resistencia de armadura (G)	: R _g	(ohms)	0.01025	0.00940	0.01010
13) Resistencia (Arm. P. Comm. P. Ser.) a 115°C: R ₁₅		(ohms)	0.02494	0.02494	0.02494
14) Resistencia (AVF) a 115°C	: R _{15f}	(ohms)	-	-	-
15) 2V ₁₁ V ₅ I ₂ , (2x 1) x 2) 7) x 3)) x 10 ⁻³		(KW)	262.80	284.40	355.68
16) V ₂ I ₄ V ₃ I ₃ , (4) x 10) 5) x 9)) x 10 ⁻³		(KW)	35.13	34.92	37.39
17) (2R _{11f} - R _{am} - V ₄ /I ₁) I ₂ , (2x 13) - 11) - 6) / 2)) x 2)) x 10 ³ (KW)		(KW)	2.97	3.49	5.25
18) (R _g - V ₆ /I ₃) I ₃ , (12) 8) / 9)) x 9)) x 10 ⁻⁵ (KW)		(KW)	1.32	1.59	2.89
19) 2I ₄ · 2x 10) x 10 ⁻³ (KW)		(KW)	0.18	0.16	0.16
20) (2R _{15f} - V ₅ /I ₂) I ₂ , (2x 14) - 7) / 3)) x 3)) x 10 ⁻³ (KW)		(KW)	-	-	-
21) (I ₁ - I ₂) V ₅ , (2) - 3)) x 7) (KW)		(KW)	-	-	-
22) P ₆ f ₁ d ₁ d ₂ , 16) 17) - 18) 19) 20) 21) (KW)		(KW)	36.96	36.98	39.91
23) Eficiencia, (1 - 22) / 15)) x 100 (%)		(%)	85.9	87.0	88.8
24) Velocidad (rpm)		(rpm)	4 151	3 840	3 215
25) Par (Kg-m)		(Kg-m)	26.5	31.4	47.9

APENDICE "D"

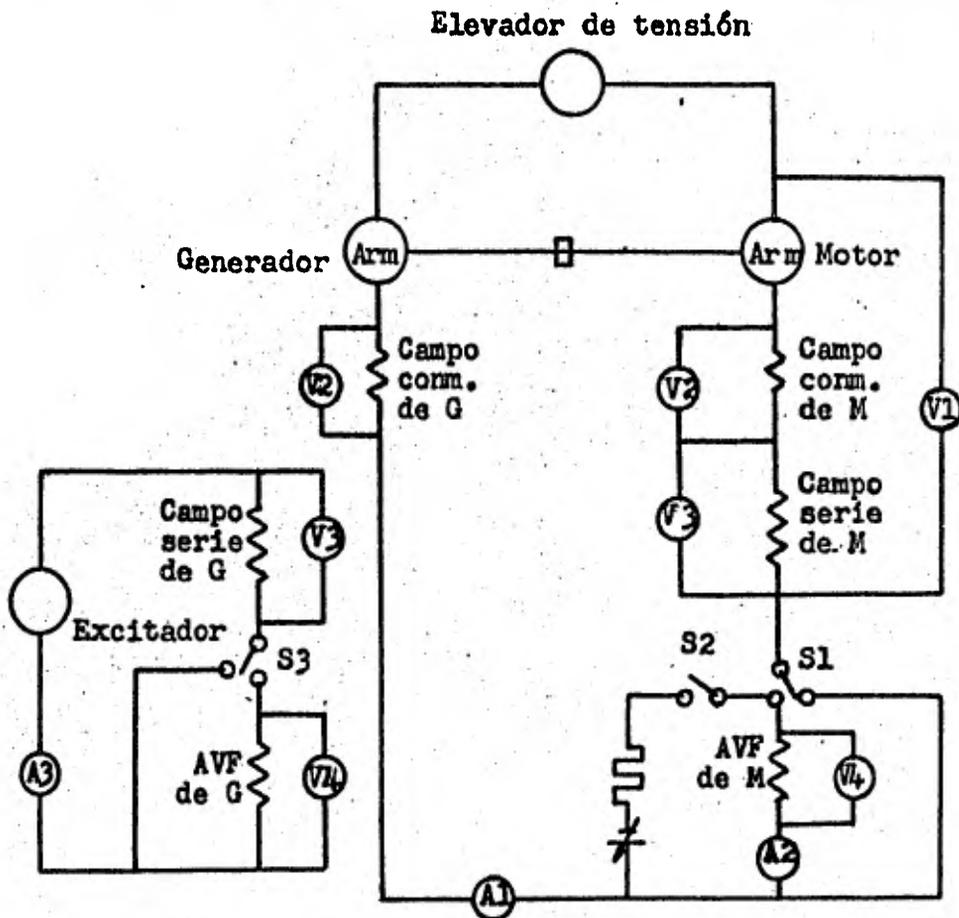
Prueba de incremento de temperatura

- (1) Con C.D. a régimen nominal
- (2) Con condiciones especiales de C.D.
- (3) Con C.P. a régimen nominal

Figura D.1

Circuito para la prueba espalda con espalda
- Método " Hopkinson " en serie -

El siguiente circuito se aplica para la prueba de incremento de temperatura, para la prueba de velocidad característica y para la prueba de conmutación de estado estable.



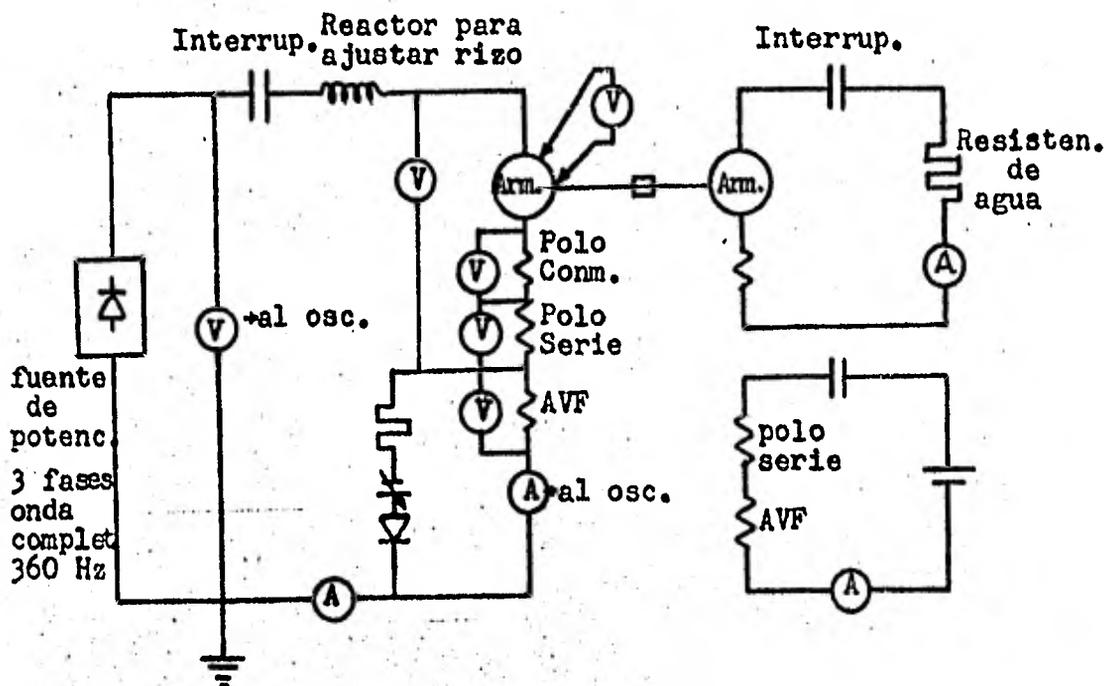
Los voltímetros V2 , V3 , V4 se usan únicamente en la prueba de incremento de temperatura, y el cambio de conexión del lado del motor al lado del generador se realiza por medio del cambio de todos los interruptores.

Figura D.2

Circuito para la prueba de incremento de temperatura con C.P. (corriente pulsante).

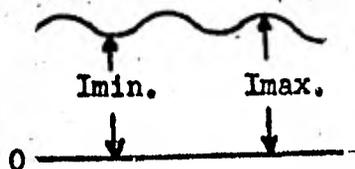
Lado del motor

Lado del generador



$$\text{Factor de rizo} = \frac{I_{\text{max.}} - I_{\text{min.}}}{I_{\text{max.}} + I_{\text{min.}}} \times 100 (\%)$$

Corriente de carga



Prueba No.	Condiciones de prueba							Resultados de pruebas (°C)						
	Tipo de Fuente	Régimen	Voltaje terminal (V)	Corriente car-Ea. (A)	Corriente AVF (A)	Campo (%)	Pot. de entrada (KW)	Campo serie	AVF	Campo de comut.	Armadura	Comun-tador		
4-1		1 hora	360	441	306	80	160.2	112.5	110	101	97.5	68		
		cont.	360	409	284	80	148.5	106	108	94.5	88	69		
4-2		cont.	360	470	326	80	171.1	154	155.5	131	114	85		
		cont.	360	360	360	100	131.9	124.5	159.5	82	82	72.5		
4-3	C.D.	cont.	360	350	350	100	128.1	110.5	143	75.5	79	70.5		
		cont.	360	490	159	56	176.8	111	75.5	125.5	100	84		
4-4		1 hora	360	441	306	80	160.2	112	111	102	99.5	69.5		
		cont.	360	409	284	80	148.5	110.5	107	98	90	71		
4-5	O.P	cont.	360	409	284	80	148.5	110.5	107	98	90	71		
		cont.	360	409	284	80	148.5	110.5	107	98	90	71		
4-6		1 hora	360	441	306	80	160.2	112	111	102	99.5	69.5		
		cont.	360	409	284	80	148.5	110.5	107	98	90	71		
4-7		1 hora	360	441	306	80	160.2	112	111	102	99.5	69.5		
		cont.	360	409	284	80	148.5	110.5	107	98	90	71		
4-8	O.P	cont.	360	409	284	80	148.5	110.5	107	98	90	71		
		cont.	360	409	284	80	148.5	110.5	107	98	90	71		
Límite del incremento de temperatura (°C)														
								180	180	180	160	105		

Nota: La prueba No. 4-4 se interrumpió en la mitad del calentamiento debido a que el incr. de temp. del devanado AVF casi llegó a 160°C, pero esta temp. carece de significado especial.

Tabla D.2.

1) Prueba de incremento de temperatura durante una hora

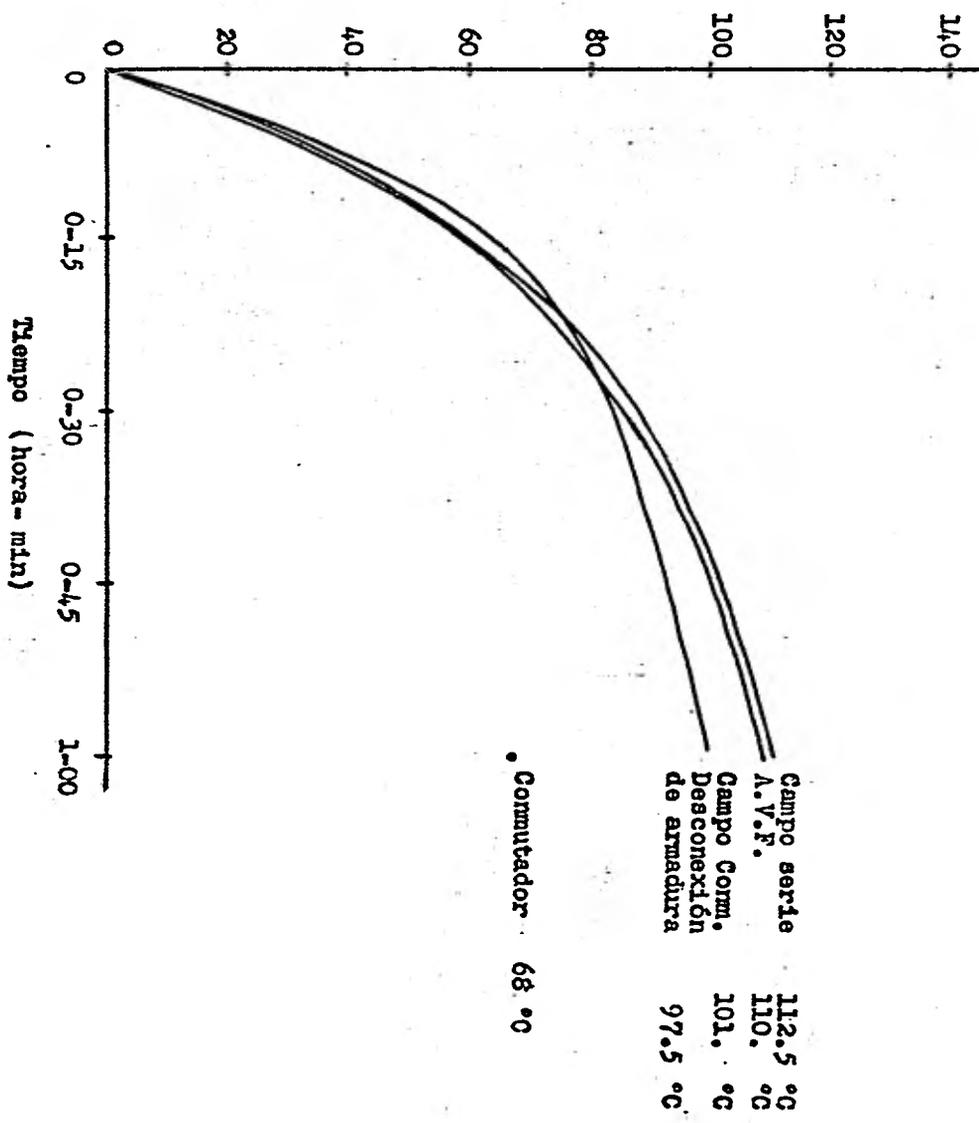
Condiciones de prueba

A valores al nivel del mar: 360V, 441A, 360A (AVF), CD

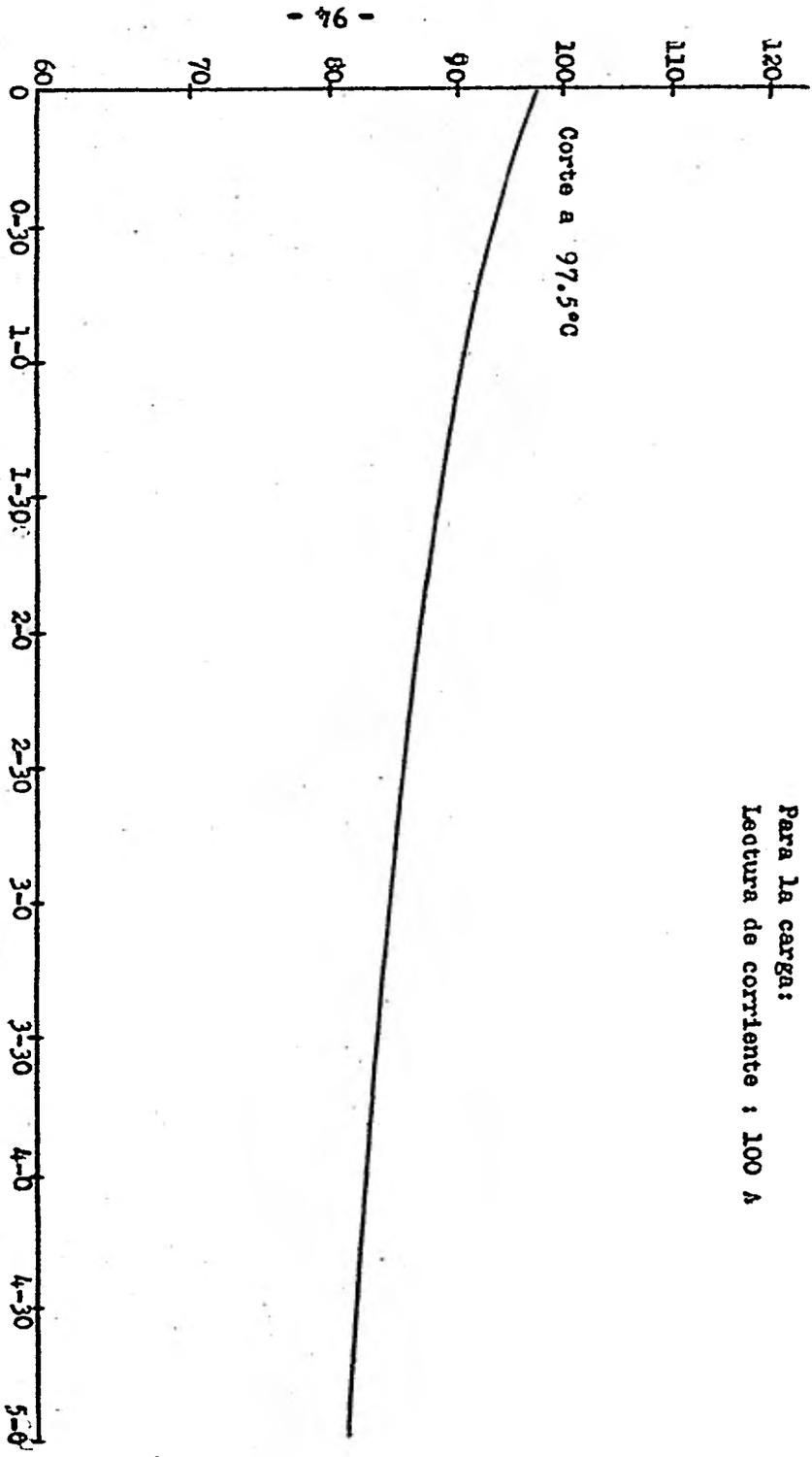
Resultados

Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de conmut.	Devan. de armad.	Conmut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado conmut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>1.83 V</u> 440 A	<u>3.30 V</u> 305 A	<u>2.46 V</u> 440 A	-	-	-	-	17 °C
Después 1 hora calent.	<u>2.65 V</u> 440 A	<u>4.75 V</u> 305 A	<u>3.45 V</u> 440 A	-	-	-	-	17.5°C
Increm. de temper.	112.5°C	110°C	101°C	97.5°C	68 °C	5 °C	11 °C	-
Límite increm. de temper.	180°C	180°C	180°C	160°C	105°C	-	-	-
Método de medición	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Termóme. eléctr.	Termóme. de alcohol	Termóme. de alcohol	Termóme. de alcohol

Para valores a nivel del mar--- 360 V, 441 A, 306 A (AVF), CD.



Para la carga:
Lectura de corriente : 100 A



Tiempo después corte		Tiempo después del corte (min.-seg.)											
Caida de volt. (V)	0.406	0-22	0-40	1-00	1-20	1-40	2-00	2-30	3-00	3-30	4-00	4-30	5-00
Incr. de Temp. (°C)	-	95	93	92.5	90	89	87.5	86.5	85	84	83.5	82.5	81.5
Temperat. ambien. (°C)	17	17.5											

Tabla D.3

2) Prueba de incremento de temperatura continuo.

Condiciones de prueba

A valores al nivel del mar: 360V, 409A, 284A, C.D.

Resultados

Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de commut.	Devan. armad.	Commut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado commut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>1.706 V</u> 410 A	<u>3.09 V</u> 285 A	<u>2.29 V</u> 410 A	-	-	-	-	17 °C
Después 1 hora calent.	<u>2.49 V</u> 410 A	<u>4.54 V</u> 285 A	<u>3.24 V</u> 410 A	-	-	-	-	27 °C
Increm. de temper.	106 °C	108 °C	94.5°C	88 °C	69 °C	6.5°C	19 °C	-
Límite increm. de temper.	180 °C	180 °C	180 °C	160 °C	105°C	-	-	-
Método de medición	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Termóm. eléc.	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol

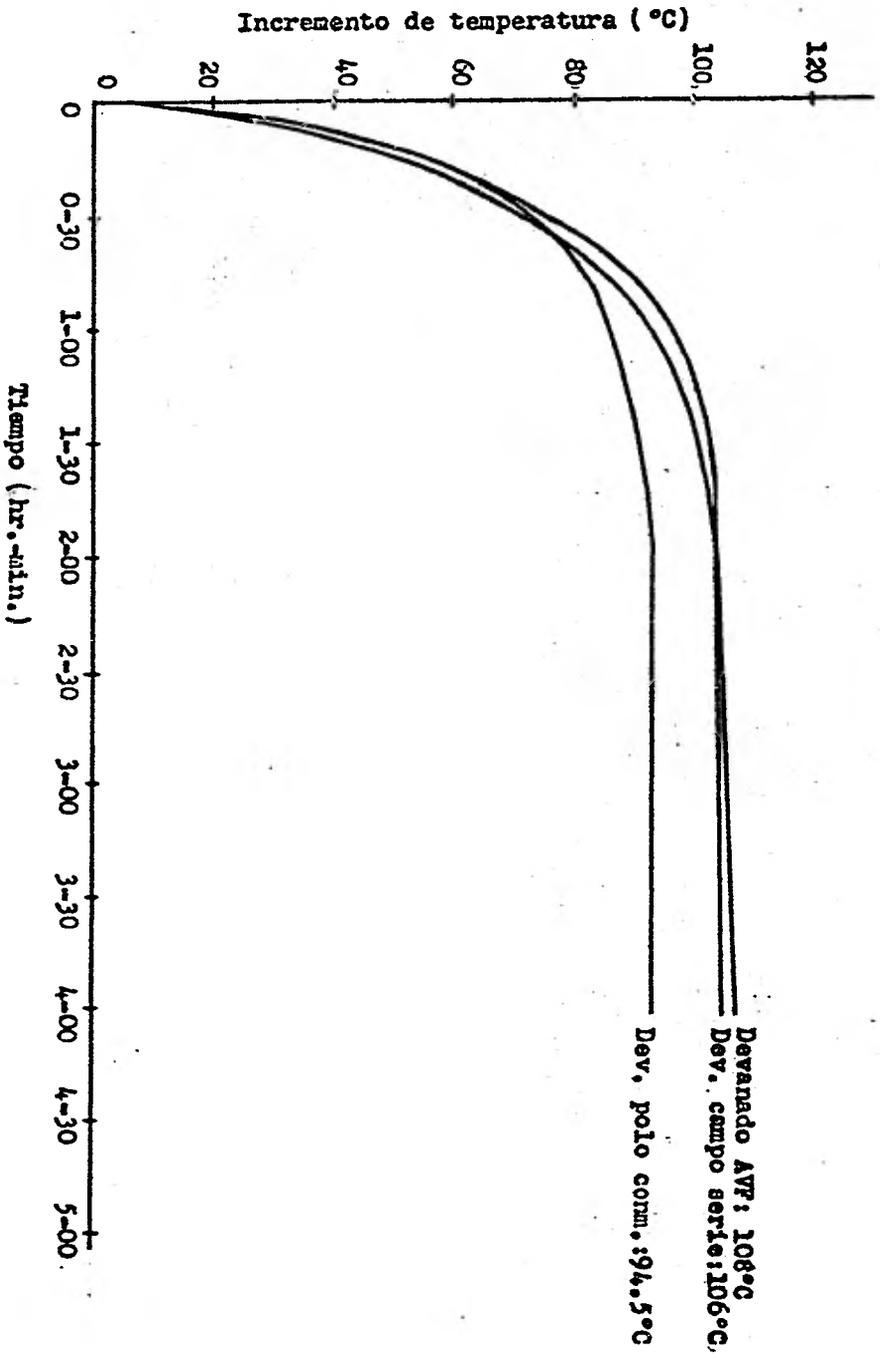
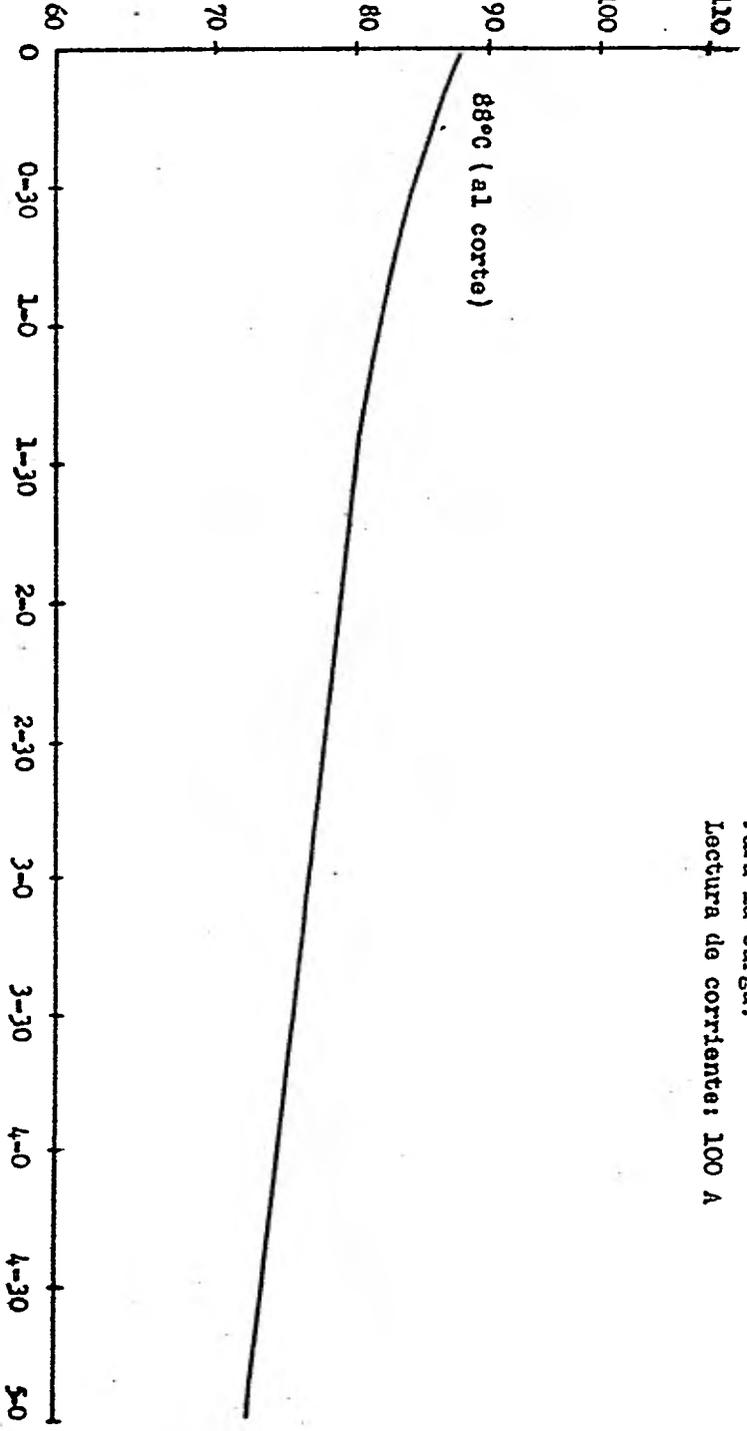


FIGURA D-5 CURVA DE INCREMENTO CONTINUO DE TEMPERATURA

Valores a nivel del mar ---360 V, 409 A, 284 A (AVF), CD.

Incremento de Temperatura (°C)



Para la carga:
Lectura de corriente: 100 A

Temp. después corte	0-30	0-40	1-00	1-20	1-40	2-00	3-00	4-00	5-00	
Caida de volt. (V)	0.406	0.560	0.557	0.554	0.552	0.550	0.549	0.545	0.542	
Incr. Temp. (°C)	85.5	83.5	82	80.5	79.5	79	76.5	74.5	72.9	
Temp. Ambiente (°C)	17	27								

Tempo después del corte (min.-seg)

Tabla D.4

3) Prueba de incremento de temperatura continuo (Especial)

Condiciones de Prueba

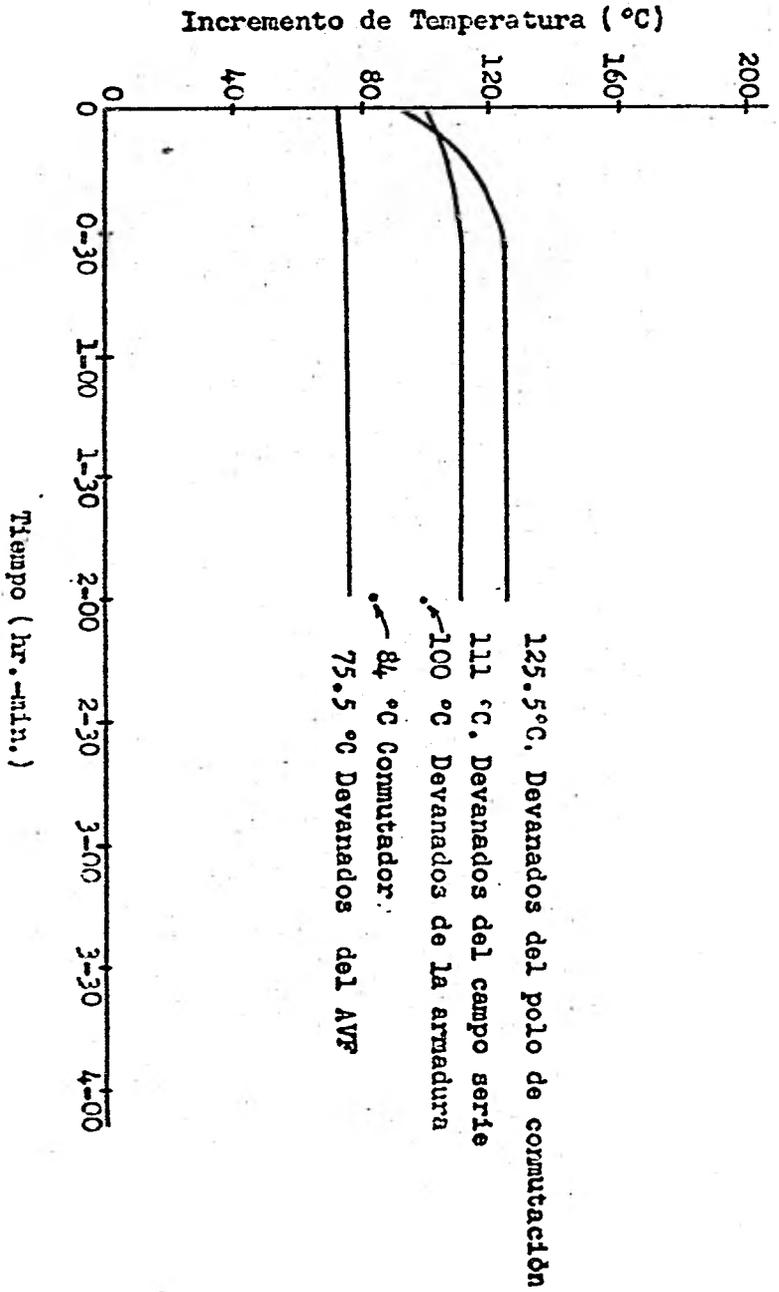
A valores al nivel del mar: 360V, 470A, 326A.(AVF), CD.

Resultados

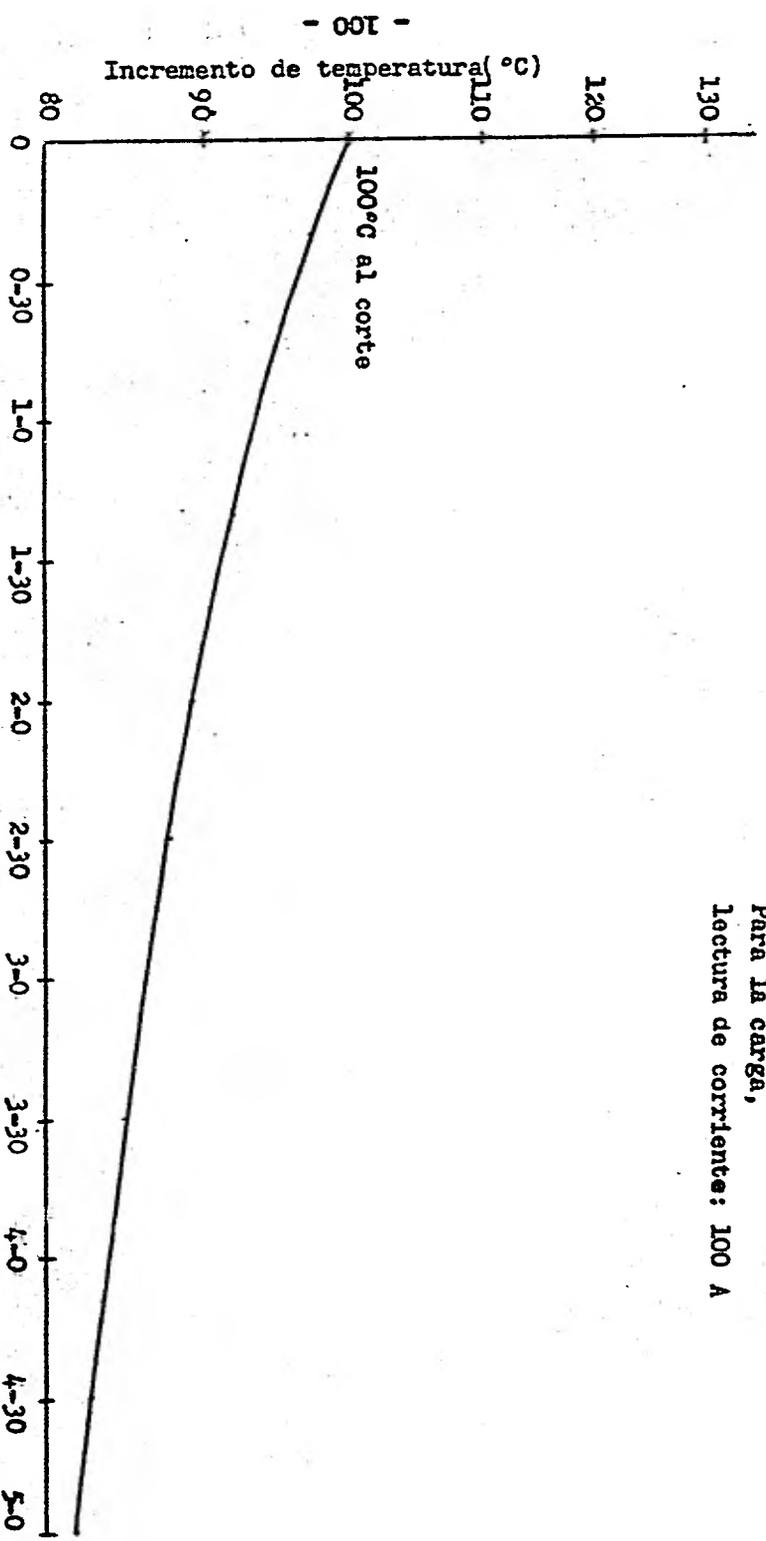
Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de conmut.	Devan. armad.	Conmut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado conmut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>1.955V</u> 470 A	<u>3.52 V</u> 325 A	<u>2.63 V</u> 470 A	-	-	-	-	17°C
Después 1 hora calent.	<u>3.22V</u> 470 A	<u>5.82 V</u> 325 A	<u>4.09 V</u> 470 A	-	-	-	-	26°C
Increm. de temper.	154°C	155.5°C	131°C	114°C	85°C	6°C	21.5°C	-
Límite increm. de temper.	180°C	180°C	180°C	160°C	105°C	-	-	-
Método de medición	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Termóm. eléctr.	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol

Figura D.7 PRUEBA DE INCREMENTO CONTINUO DE TEMPERATURA (ESPECIAL)

Condiciones de prueba: 360 V, 490 A, 159 A(AVF)



Para la carga,
Lectura de corriente: 100 A



		Tiempo después del corte (min.-seg.)											
Temp. después corte	-	0-20	0-40	1-00	1-20	1-40	2-00	2-30	3-00	3-30	4-00	4-30	5-00
Caida de Volt. (V)	0.406	0.583	0.58	0.578	0.574	0.572	0.570	0.568	0.566	0.563	0.562	0.56	0.558
Incr. Temp. (°C)	-	97.5	95.5	94.5	92	90.5	89.5	88	87	85	84.5	83	82
Temp. Ambiente (°C)	17	29.5											

Tabla D.5

4) Prueba de incremento de temperatura continuo (Especial)

Condiciones de prueba

A valores al nivel del mar: 360v, 360 A, 360 A (AVF), CD

Resultados

Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de commut.	Devan. armad.	Commut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado commut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>1.498V</u> 360 A	<u>3.90 V</u> 360 A	<u>2.01 V</u> 360 V	-	-	-	-	17 °C
Después 1 hora calent.	<u>2.29 V</u> 360 A	<u>6.50 V</u> 360 A	<u>2.73V</u> 360 A	-	-	-	-	25.5 °C
Increment. de temper.	124.5°C	159.5°C	82°C	82°C	72.5 °C	7°C	16.5°C	-
Límite increment. de temper.	180 °C	180 °C	180 °C	160 °C	105 °C	-	-	-
Método de medici.	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Termóm. eléctr.	Térmóm. de alcohol	Térmóm. de alcohol	Térmóm. de alcohol

Nota: La prueba se dió por terminada a la mitad del calentamiento debido a que el incremento de temperatura de los devanados AVF alcanzó 160 °C

Condiciones de prueba: 360 V, 360 A, 360 A (AVF)

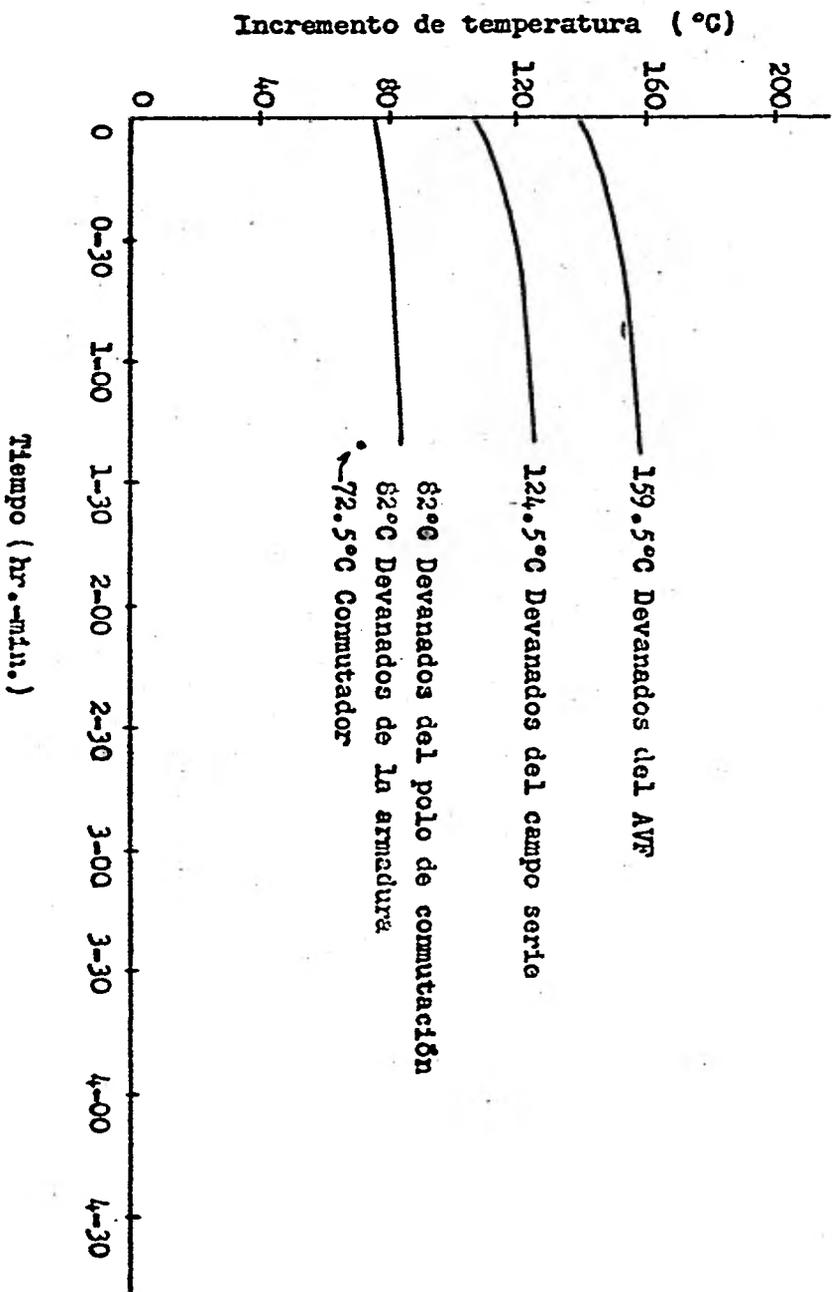


Figura D.10 CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL DEVANADO DE ARMADURA

Para la carga,
Lectura de corriente: 100A

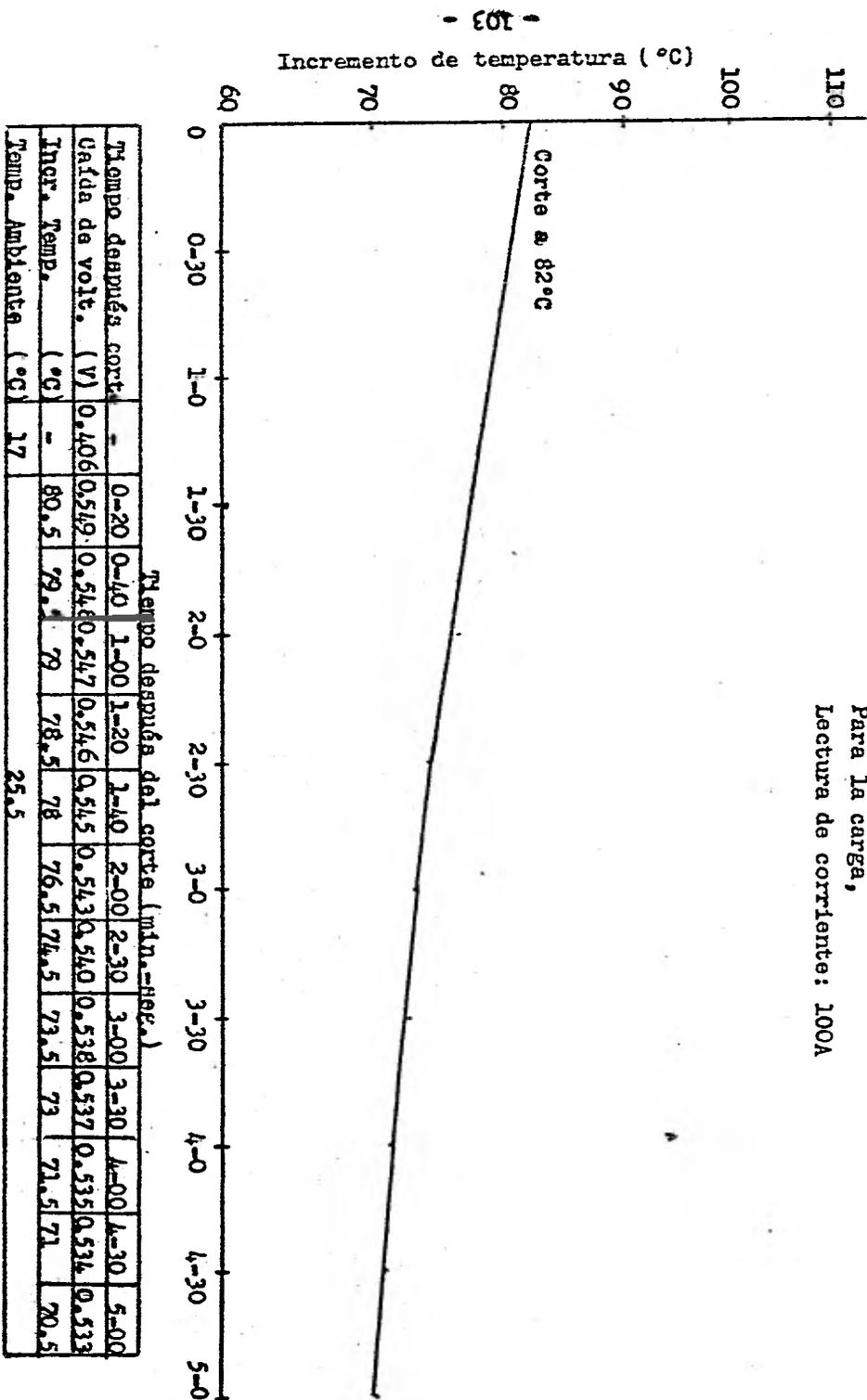


Tabla D.6

5) Prueba de incremento de temperatura continuo (Especial)

Condiciones de prueba

A valores al nivel del mar: 360V, 350A (AVF), CD

Resultados

Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de conmut.	Devan. armad.	Conmut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado conmut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>1.456V</u> 350 A	<u>3.79 V</u> 350 A	<u>1.957V</u> 350 A	-	-	-	-	17°C
Después calent. contín.	<u>2.13V</u> 350 A	<u>6.03 V</u> 350 A	<u>2.59 V</u> 350 A	-	-	-	-	23°C
Increm. de temper.	110.5°C	143°C	75.5°C	79 °C	70.5°C	6°C	16°C	-
Límite increm. de temper.	180°C	180°C	180°C	160°C	105°C	-	-	-
Método de medición	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Termóm. eléctr.	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol

Figura D.11 PRUEBA DE INCREMENTO CONTINUO DE TEMPERATURA (ESPECIAL)

Condiciones de prueba: 360V, 350 A, 350 A (AVF),

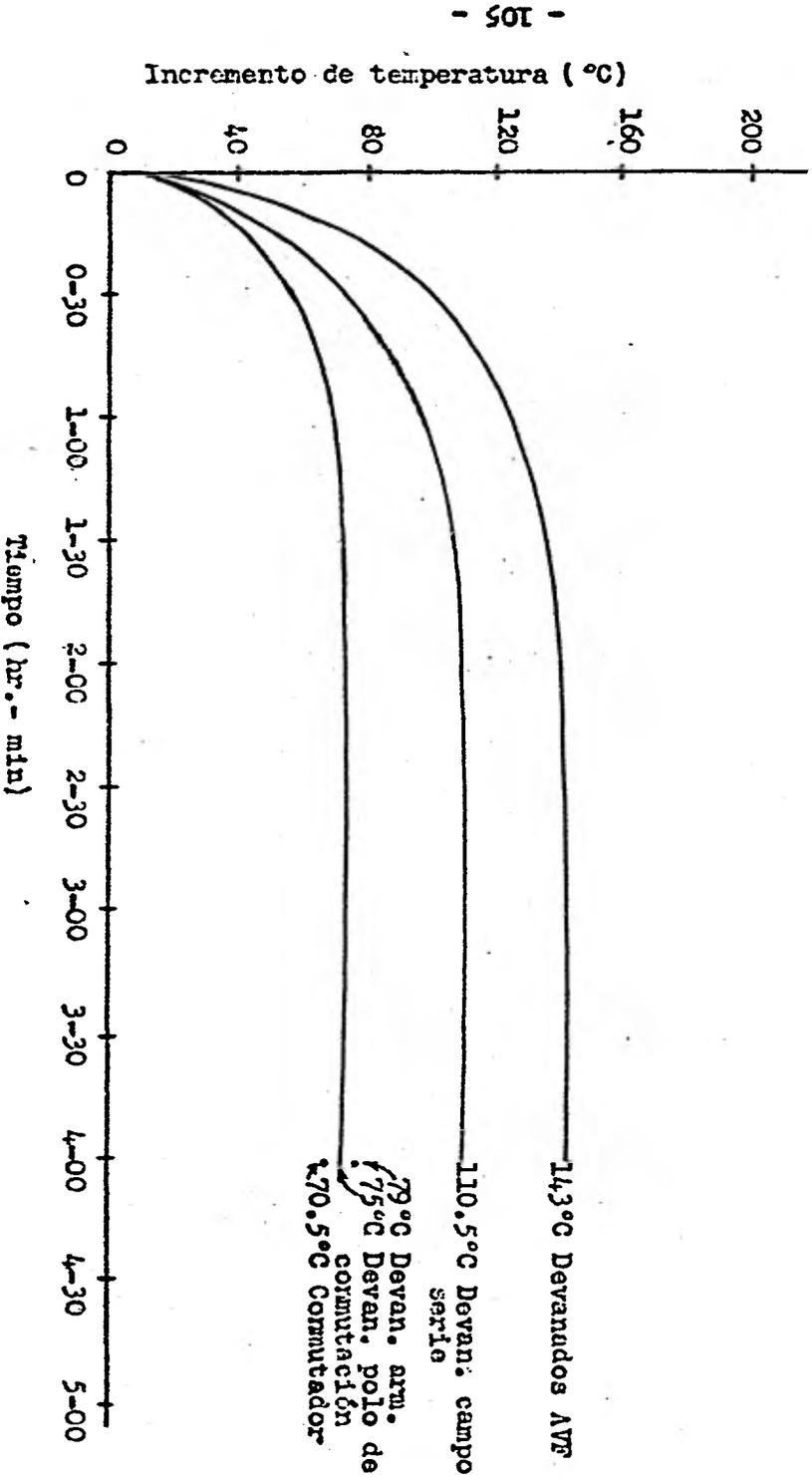
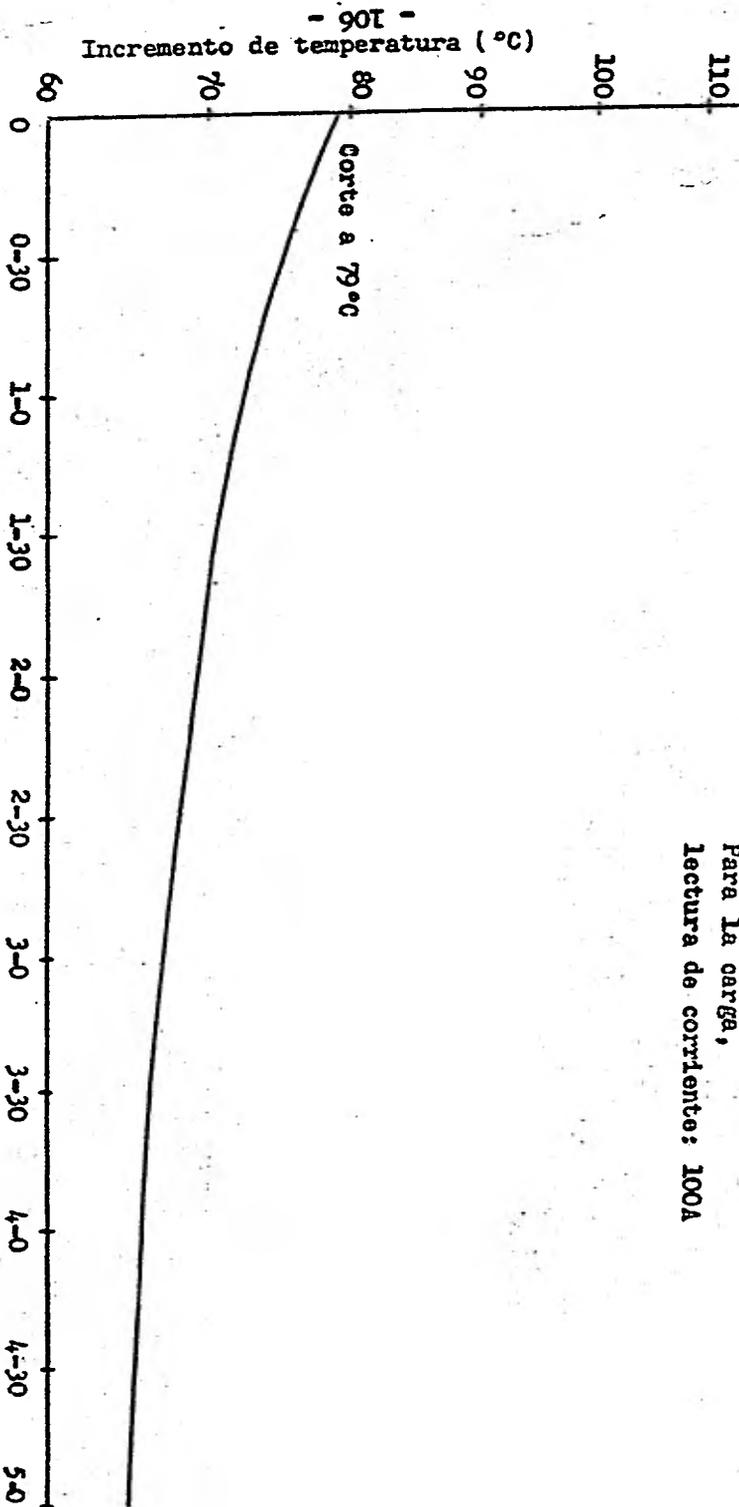


Figura D.12: CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL DEVANADO DE ARMADURA

Para la carga,
Lectura de corriente: 100A



Tempo después corte	-	0-20	0-40	1-00	1-20	1-40	2-00	2-30	3-00	3-30	4-00	4-30	5-00
Caída de volt. (V)	0.406	0.539	0.535	0.533	0.531	0.529	0.527	0.526	0.525	0.523	0.522	0.521	0.52
Incr. Temp. (°C)	-	76.5	74	73	71.5	70.5	69	68.5	68	66.5	66	65.5	65
Temp. Ambiente (°C)	17												

Tabla D.7

6) Prueba de incremento de temperatura continuo (Especial)

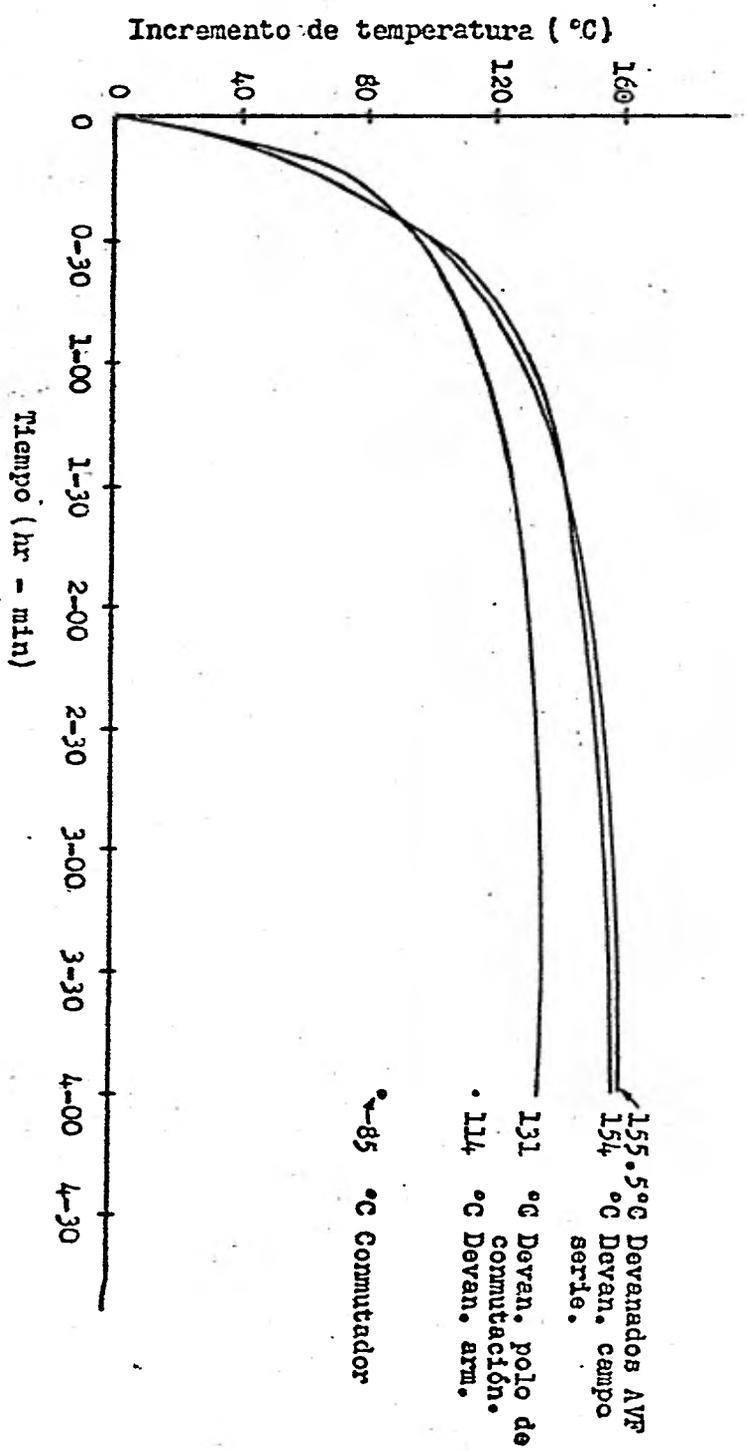
Condiciones de prueba

A valores al nivel del mar: 360V, 490A, 159A (AVF), CD

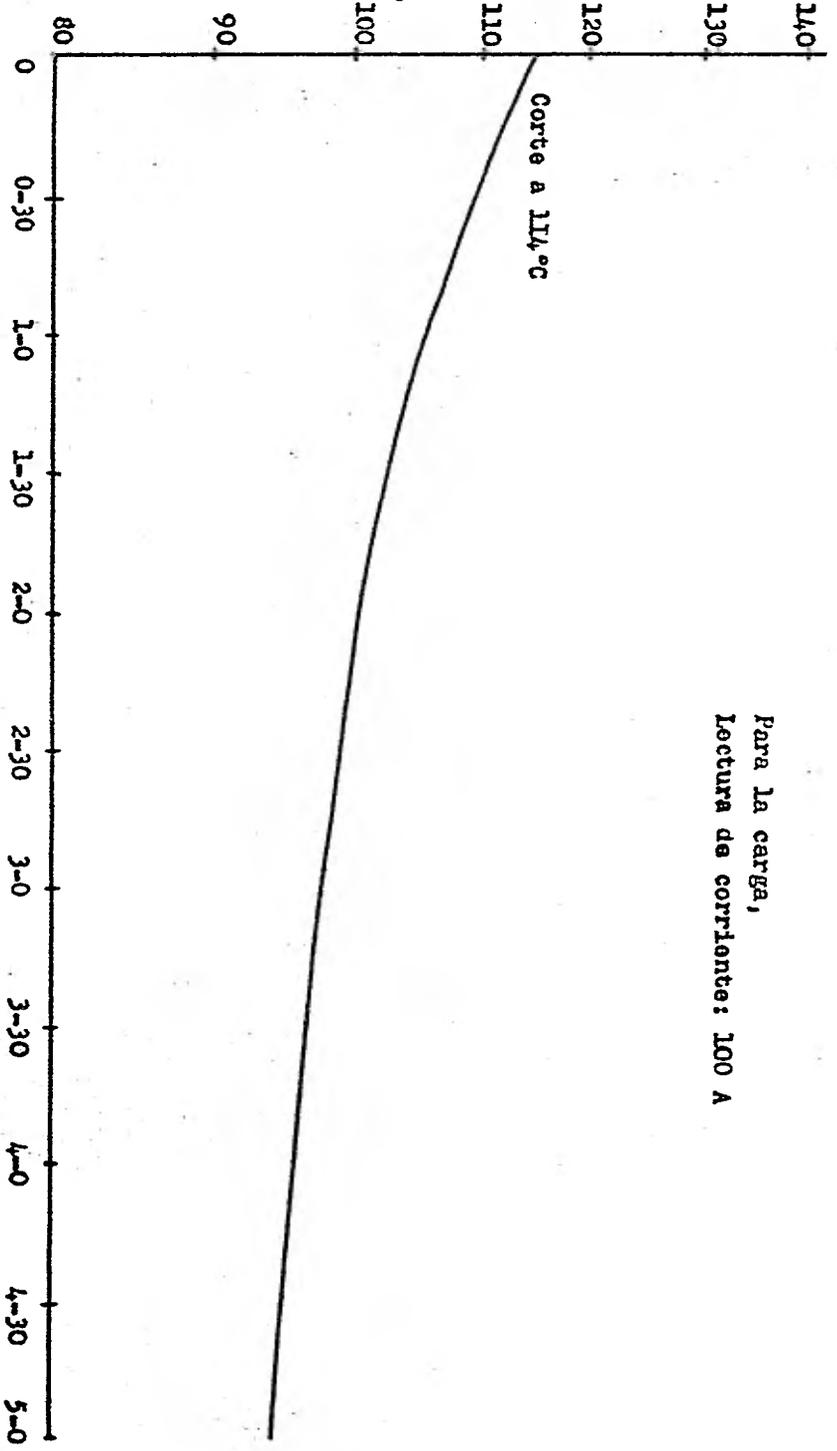
Resultados

Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de conmut.	Devan. armad.	Conmut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado conmut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>2.04 V</u> 490 A	<u>1.734V</u> 160 A	<u>2.74 V</u> 490 A	-	-	-	-	17°C
Después calent. contín.	<u>3.04 V</u> 490 A	<u>2.34V</u> 160 A	<u>4.24 V</u> 490 A	-	-	-	-	29.5°C
Increm. de temper.	111°C	75.5°C	125.5°C	100°C	84°C	4.5°C	16.5°C	-
Límite increm. de temper.	180°C	180°C	180°C	160°C	105°C	-	-	-
Método de medición	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Termóm. eléctr.	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol

Condiciones de prueba: 360V, 470 A, 326 A (AVF), CD



Incremento de temperatura (°C)



Para la carga,
Lectura de corriente: 100 A

Tiempo después del corte	-	0-20	0-40	1-00	1-20	1-40	2-00	2-30	3-00	3-30	3-00	3-30	4-00	4-30	5-00
Caída de volt. (V)	0.406	0.598	0.595	0.592	0.599	0.585	0.582	0.581	0.579	0.578	0.576	0.574	0.572	0.571	0.570
Incr. Temp. (°C)	-	110	108.5	106.5	104.5	102	100	99.5	98.5	98	96.5	95.5	94.5	94.5	94.5
Temp. Ambiente (°C)	17	26													

Tabla D.8

7) Prueba de incremento de temperatura durante una hora con CP

Condiciones de prueba

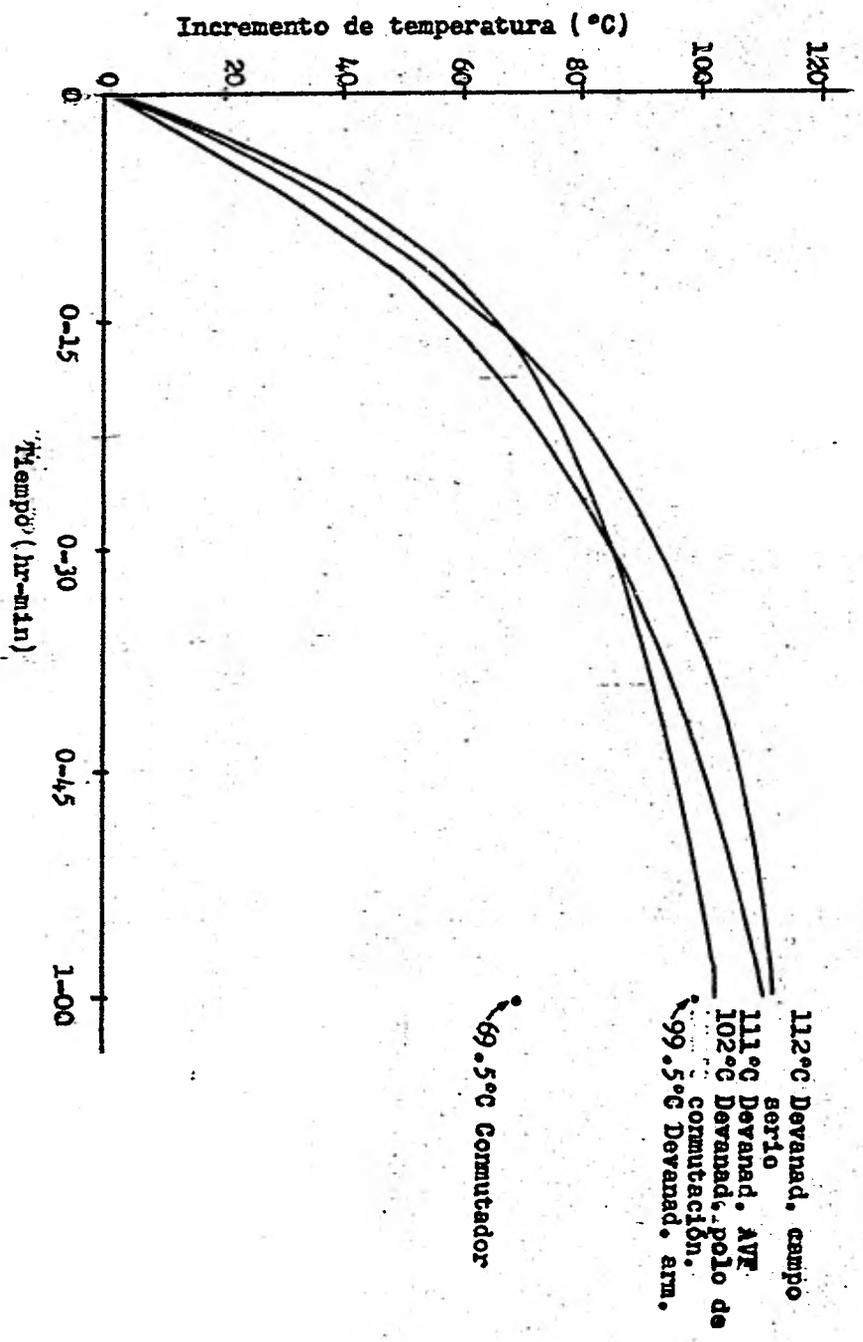
A valores al nivel del mar: 360V, 441A, 306A (AVF),

factor de rizo: 3.2%

Resultados

Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de conmut.	Devan. armad.	Conmut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado conmut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>1.83V</u> 440 A	<u>3.30V</u> 305 A	<u>2.46V</u> 440 A	-	-	-	-	17°C
Después calent. contín.	<u>2.64 V</u> 440 A	<u>4.75 V</u> 305 A	<u>3.45 V</u> 440 A	-	-	-	-	16.5°C
Increment. de temper.	112°C	111°C	102°C	99.5°C	69.5°C	6.5°C	10.5°C	-
Límite increment. de temper.	180°C	180°C	180°C	160°C	105°C	-	-	-
Método de medición	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Termóm. eléctr.	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol	Termóm. de alcohol

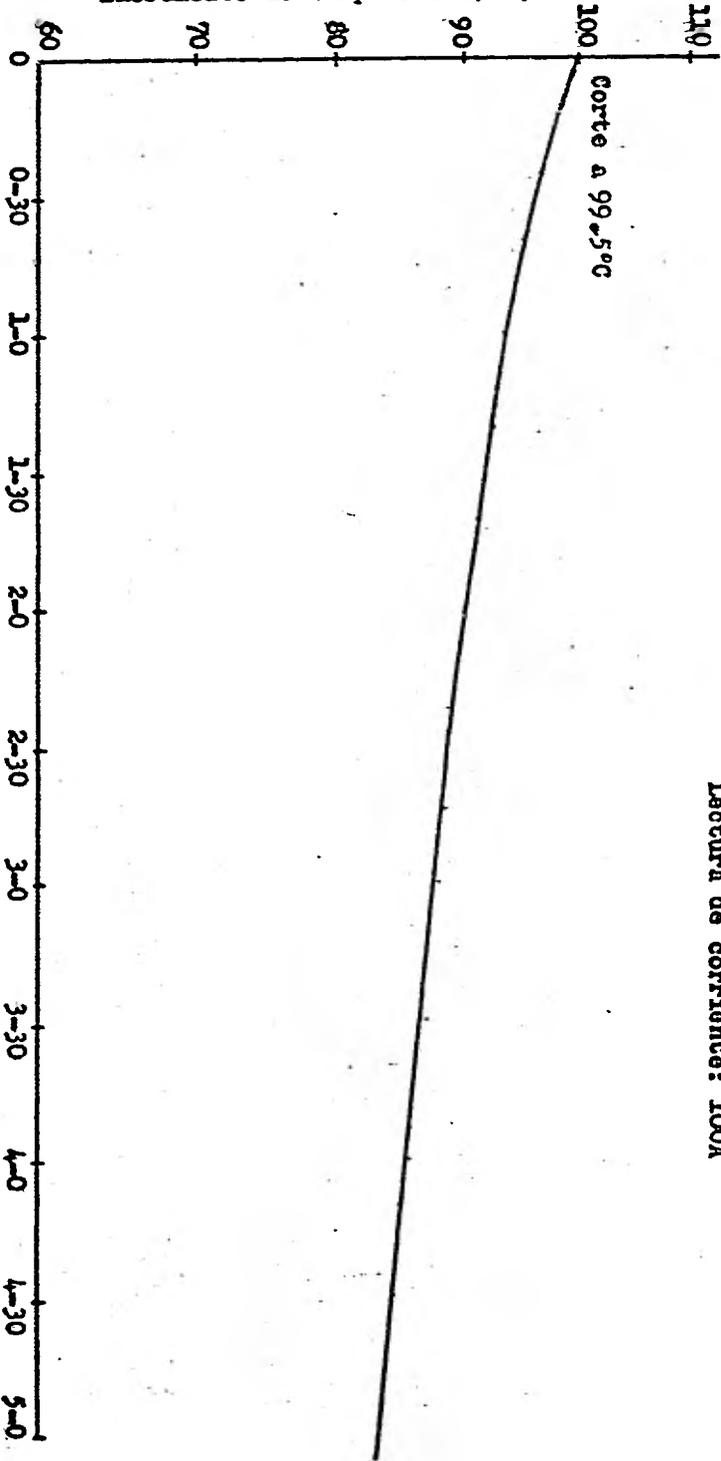
Para valores a nivel del mar-- 360 V, 44.1 A, 306 A (AVF), CP,
 Factor de rizo 3.2%



69.5°C Comutador

Para la carga,
Lectura de corriente: 100A

- 112 -
Incremento de temperatura (°C)



Tiempo después de corte		Tiempo después del corte (min.-seg.)												
	-	0-25	0-40	1-00	1-20	1-40	2-00	2-43	3-00	3-30	3-30	4-00	4-30	5-00
Caida de volt. (V)	0.406	0.562	0.558	0.556	0.554	0.552	0.550	0.548	0.547	0.545	0.543	0.541	0.539	
Incr. Temp. (°C)	-	96.5	95	93.5	92.5	91	90	88.5	88	87	85.5	84.5	83	
Temp. Ambiente (°C)	17	16.5												

OSC. D.1 Prueba de incremento de temperatura durante una hora con C.P.

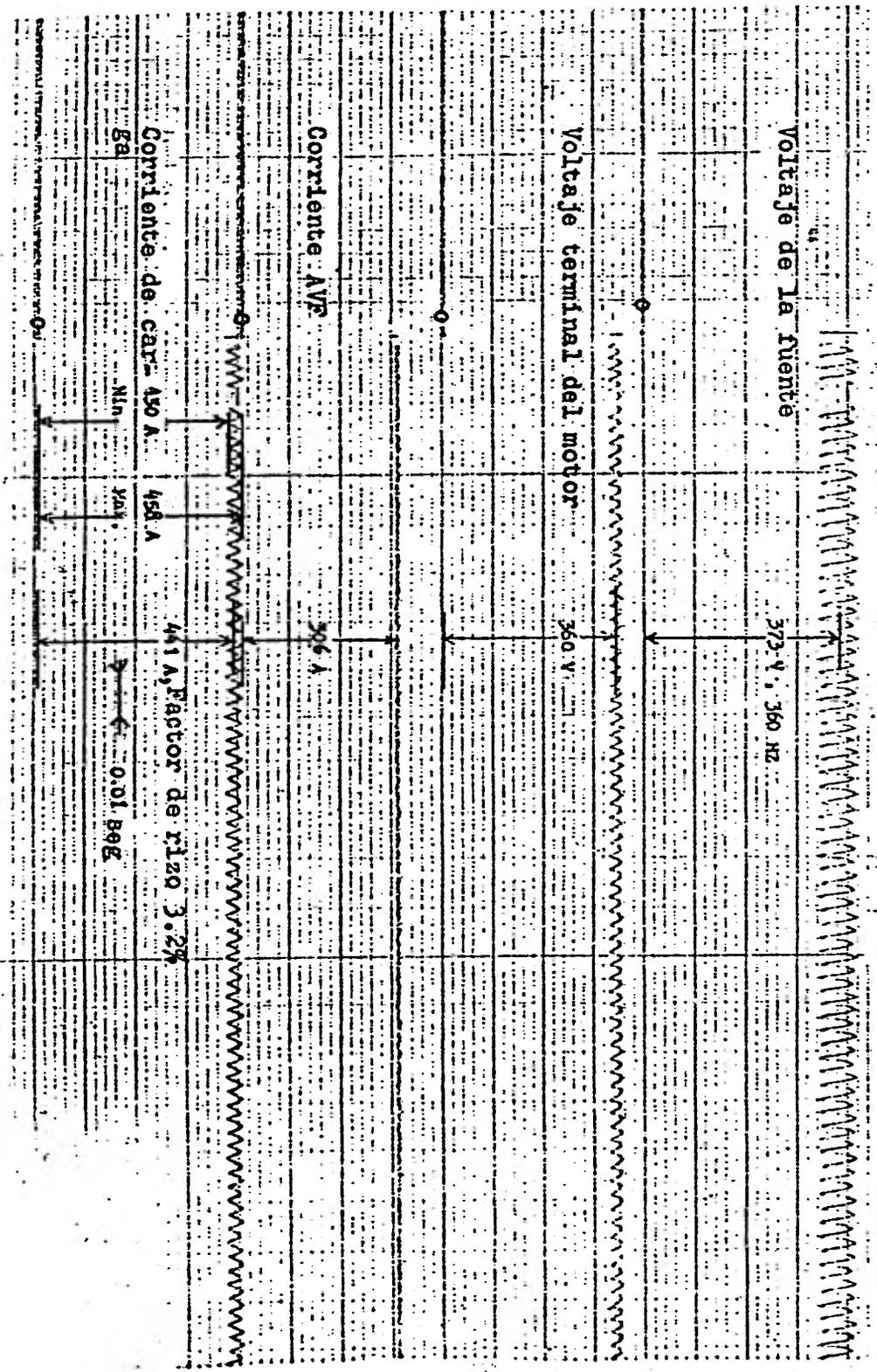


Tabla D.9

8) Prueba de incremento de temperatura continuo con CP

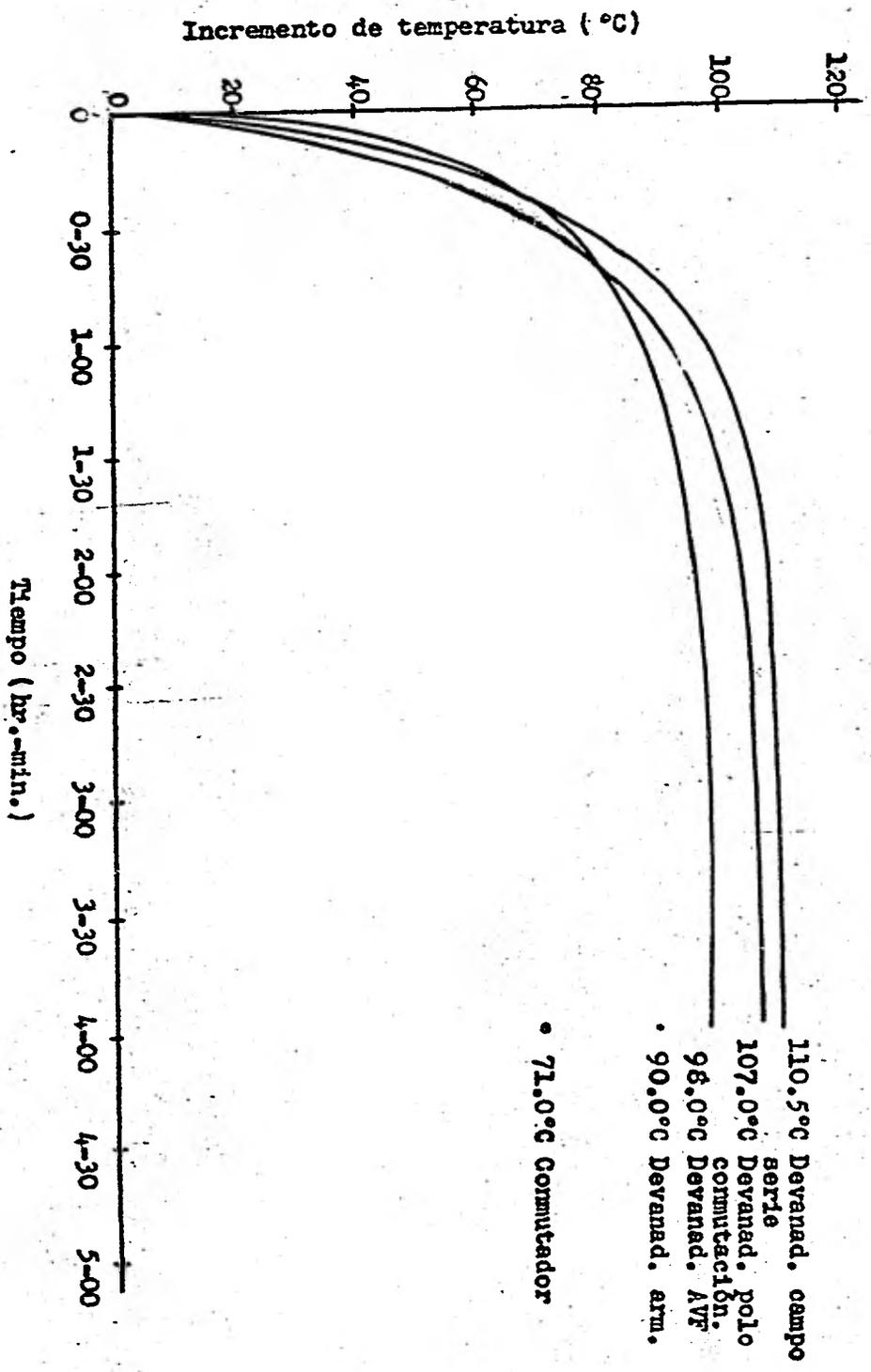
Condiciones de prueba

A valores al nivel del mar: 360V, 409A, 284A (AVF), CP,
factor de rizo: 3.3%

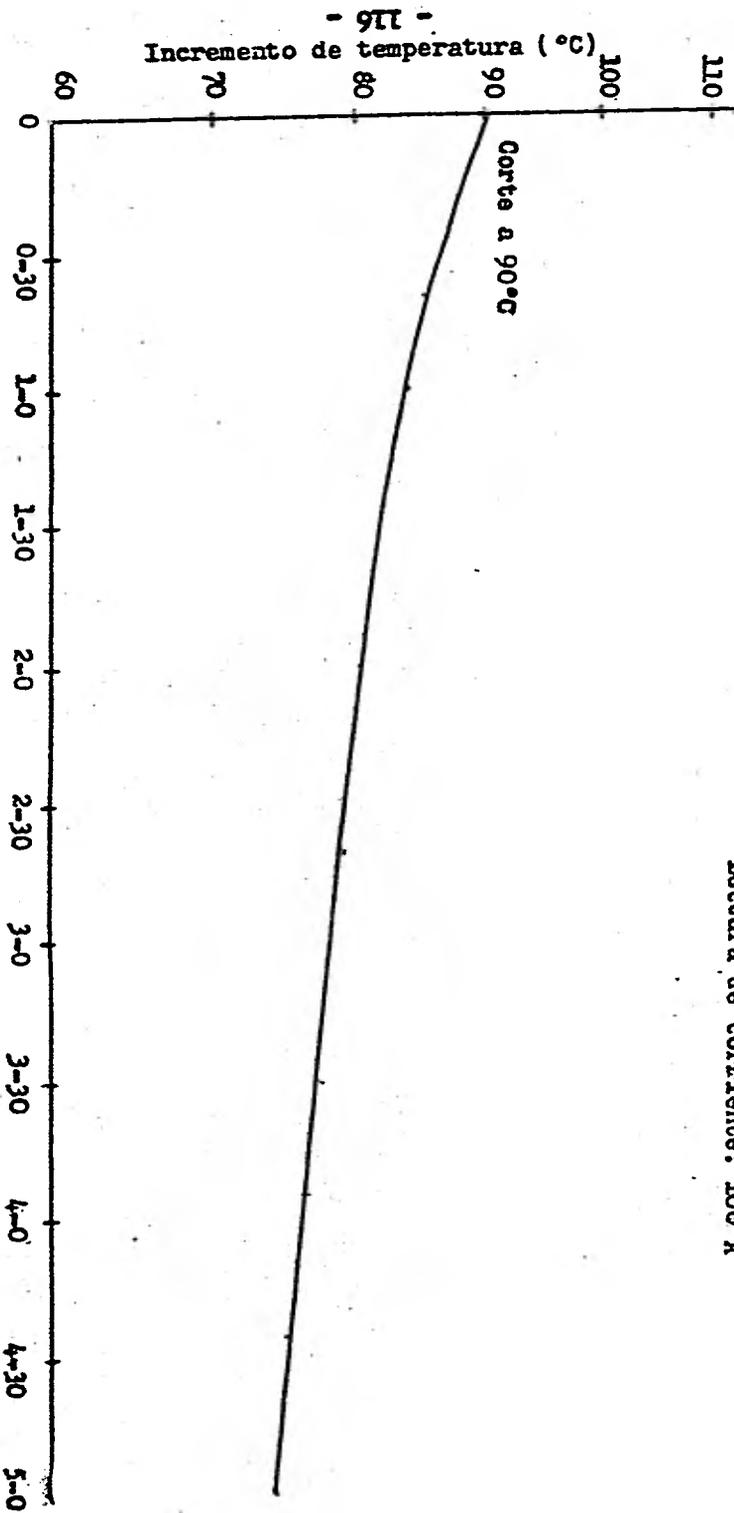
Resultados

Partes Item	Devan. campo serie	Devan. AVF	Devan. polo de commut.	Devan. armad.	Commut.	Rodamientos		Temper. ambien.
						Lado commut.	Lado piñón	
Antes de calent.	<u>1.706 V</u> 410 A	<u>3.09V</u> 285 A	<u>2.29 V</u> 410 A	-	-	-	-	17°C
Después calent. contín.	<u>2.5 V</u> 410 A	<u>4.49 V</u> 285 A	<u>3.245V</u> 410 A	-	-	-	-	24°C
Increm. de temper.	110.5°C	107°C	98°C	90°C	71°C	7°C	14°C	-
Límite increm. de temper.	180°C	180°C	180°C	160°C	105°C	-	-	-
Método de medición	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Resis- tencia	Térmóm. eléctr.	Térmóm. de alcohol	Térmóm. de alcohol	Térmóm. de alcohol

CONDICIONES DE PRUEBA: 360 V, 409 A, 284 A (AVF), CP, Factor de
 Pico 3.3%

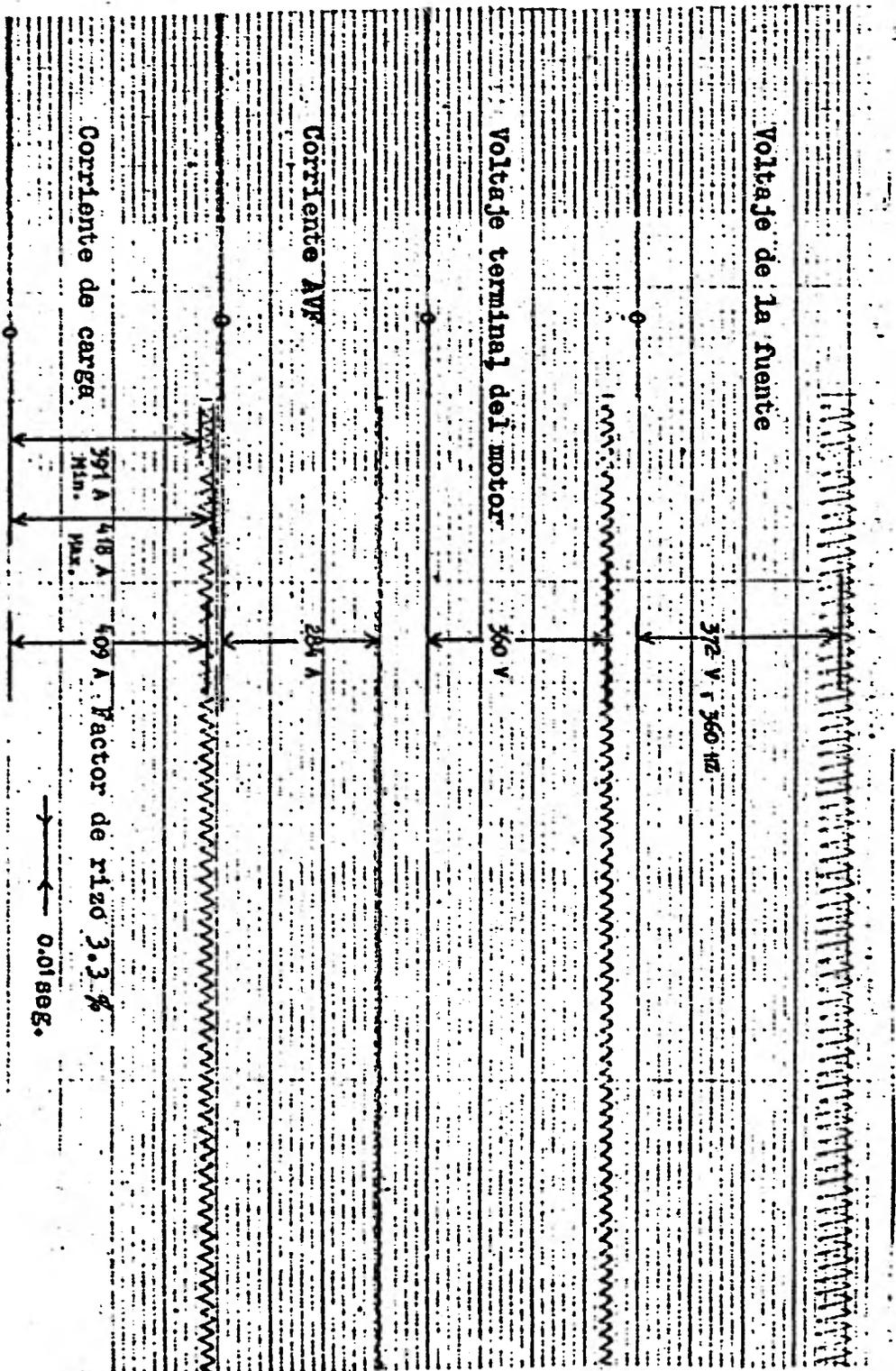


Para la curva,
Lectura de corriente: 100 A



		Tiempo después del corte (min.-seg.)											
		0-23	0-40	1-00	1-20	1-40	2-00	2-40	3-00	3-30	4-00	4-30	5-00
Tiempo después del corte	-	0.558	0.555	0.553	0.551	0.549	0.547	0.545	0.544	0.543	0.541	0.539	0.538
Caída de volt. (V)	0.406	87.5	85.5	84.0	83.0	82.0	80.5	79.5	78.5	78.0	77.0	75.5	75.0
Incr. Temp. (°C)	-												
Temp. Ambiente (°C)	17												

OSC. D. 2 Prueba de incremento continuo de temperatura con C.P.



APENDICE "E"

Prueba de conmutación bajo la condición de estado estable.

Prueba de interrupción y restauración, y prueba de variación de voltaje.

Tabla E.1

Prueba de conmutación bajo la condición de estado estable.

Condición	Resultados	
	M.R.	C.M.R.
450 V, 650 A, 100 % de C.	Satisfactorio	Satisfactorio
450 V, 500 A, 100 % de C.	Satisfactorio	Satisfactorio
450 V, 395 A, 100 % de C.	Satisfactorio	Satisfactorio
450 V, 350 A, 100 % de C.	Satisfactorio	Satisfactorio
450 V, 630 A, 35 % de C.	Satisfactorio	Satisfactorio
450 V, 550 A, 35 % de C.	Satisfactorio	Satisfactorio
450 V, 500 A, 35 % de C.	Satisfactorio	Satisfactorio

Notas:

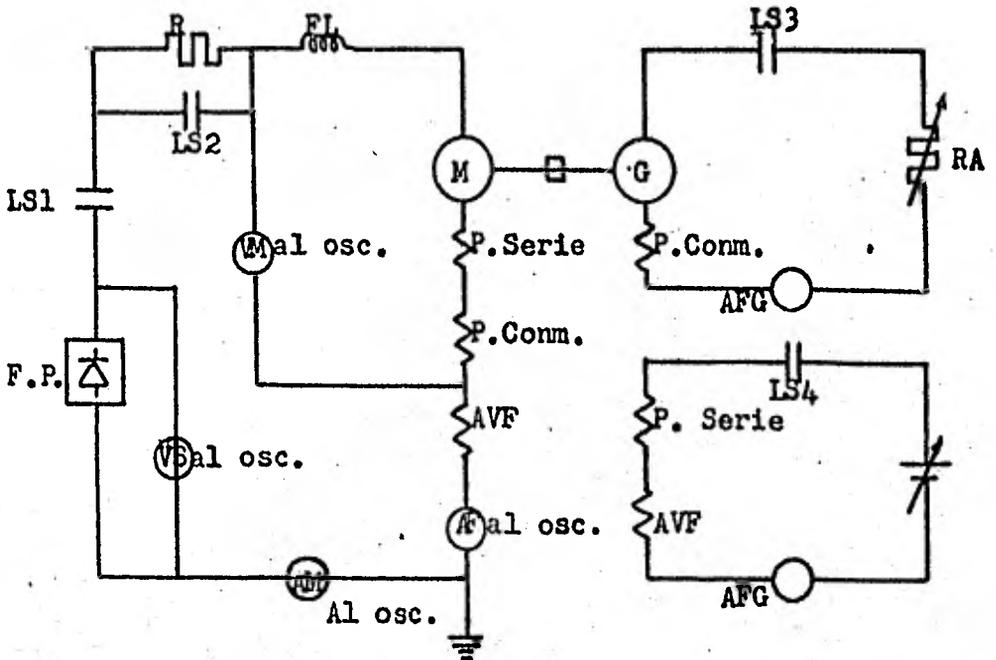
M.R. : En sentido de las manecillas del reloj

C.M.R. : En sentido contrario a las manecillas del reloj

Figura B.1

Circuito para prueba de Interrupción y Restauración y para prueba de variación de voltaje.

1) 100% de campo



VS: Voltaje suministrado por la fuente de potencia

VM: Voltaje terminal del motor

AM: Corriente de carga en el motor

AF: Corriente AVF en el motor

LS1, LS3: Interruptor de línea para interrupción y restauración.

LS2 : Interruptor de línea para voltaje de fluctuación.

R : Resistencia para voltaje de fluctuación.

FL : Reactor de filtro

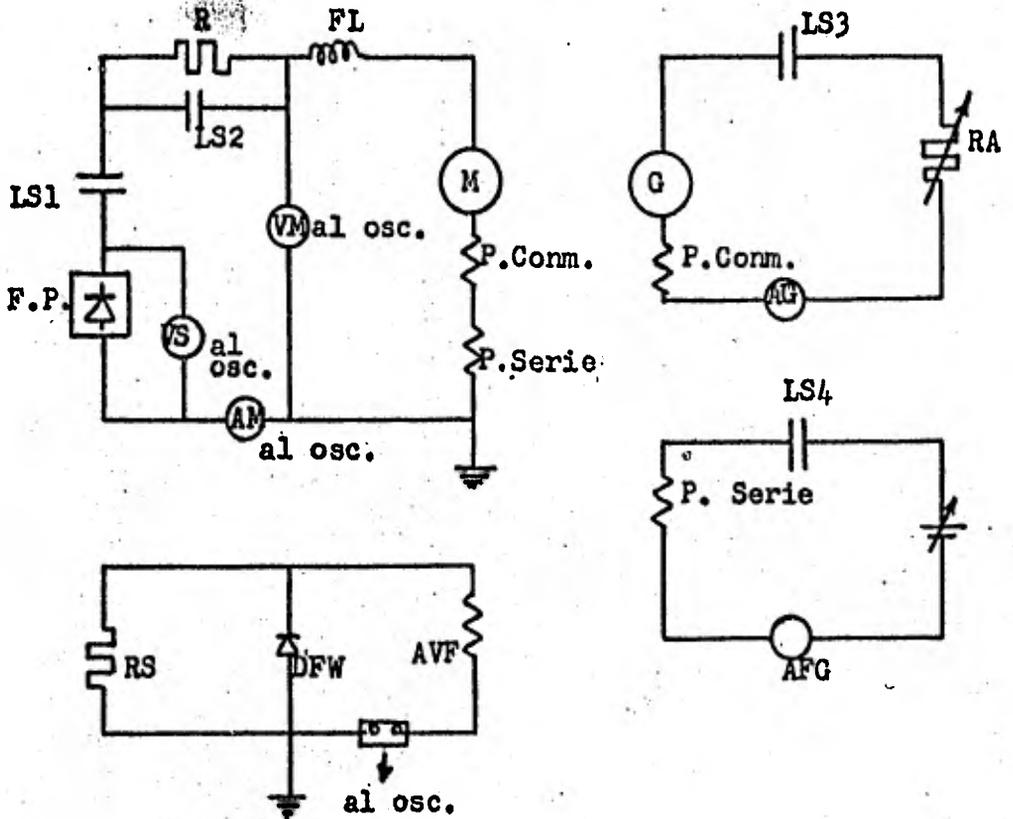
RA : Resistencia de agua

F.P. : Fuente de potencia (3 fases, onda completa)

Figura E.2

Circuito para prueba de Interrupción y Restauración y para prueba de variación de voltaje.

2) 35% de campo



VS: Voltaje suministrado por la fuente de potencia

VM: Voltaje terminal del motor

AM: Corriente de carga en el motor

AF: Corriente AVF en el motor

RS: Resistencia para el devanado AVF

LS1, LS3: Interruptor de línea para interrupción y restau.

LS2 : Interruptor de línea para voltaje de fluctuación

R : Resistencia para voltaje de fluctuación.

DFW : Diodo

FL : Reactor de filtro

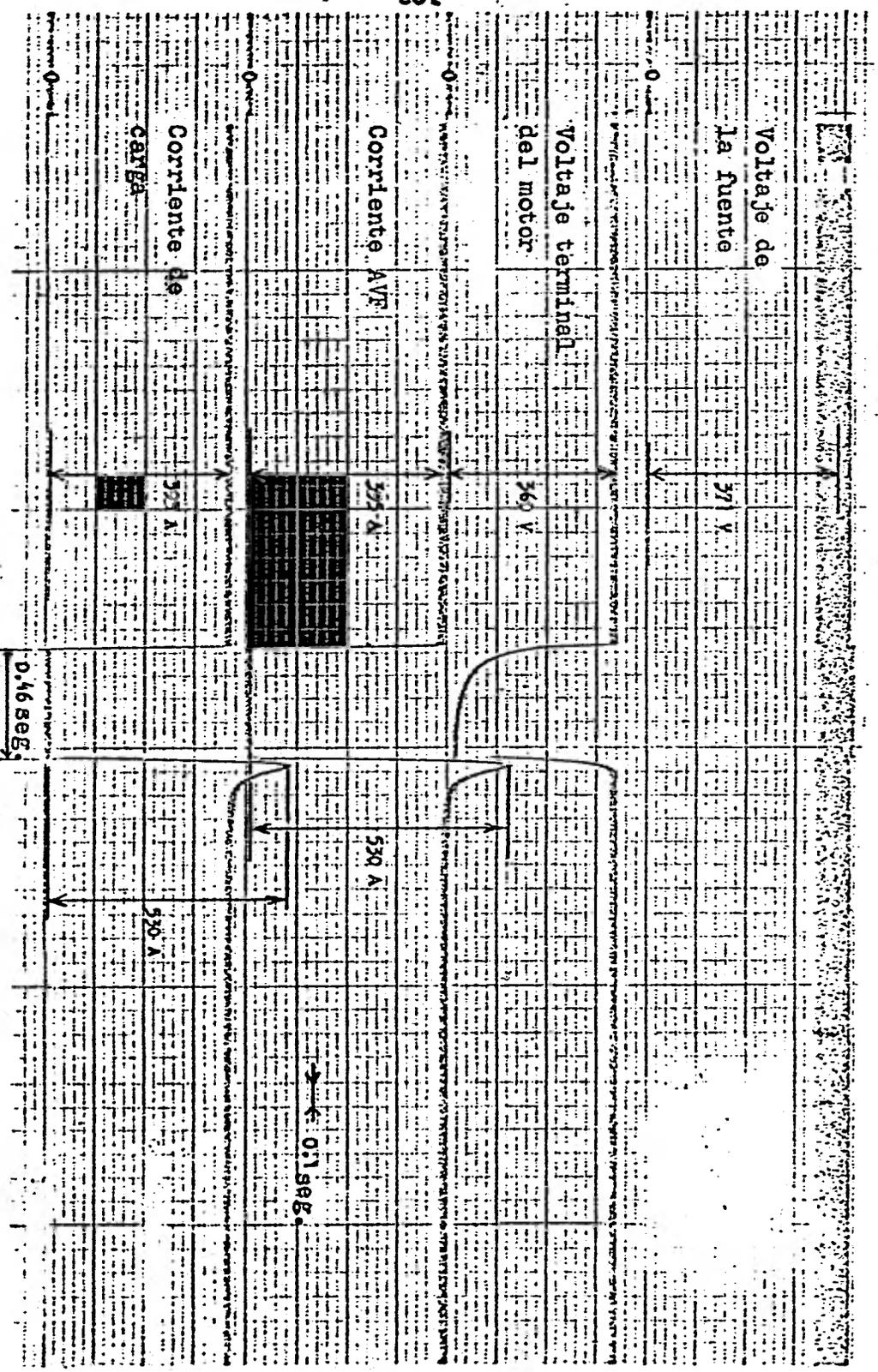
RA : Resistencia de agua

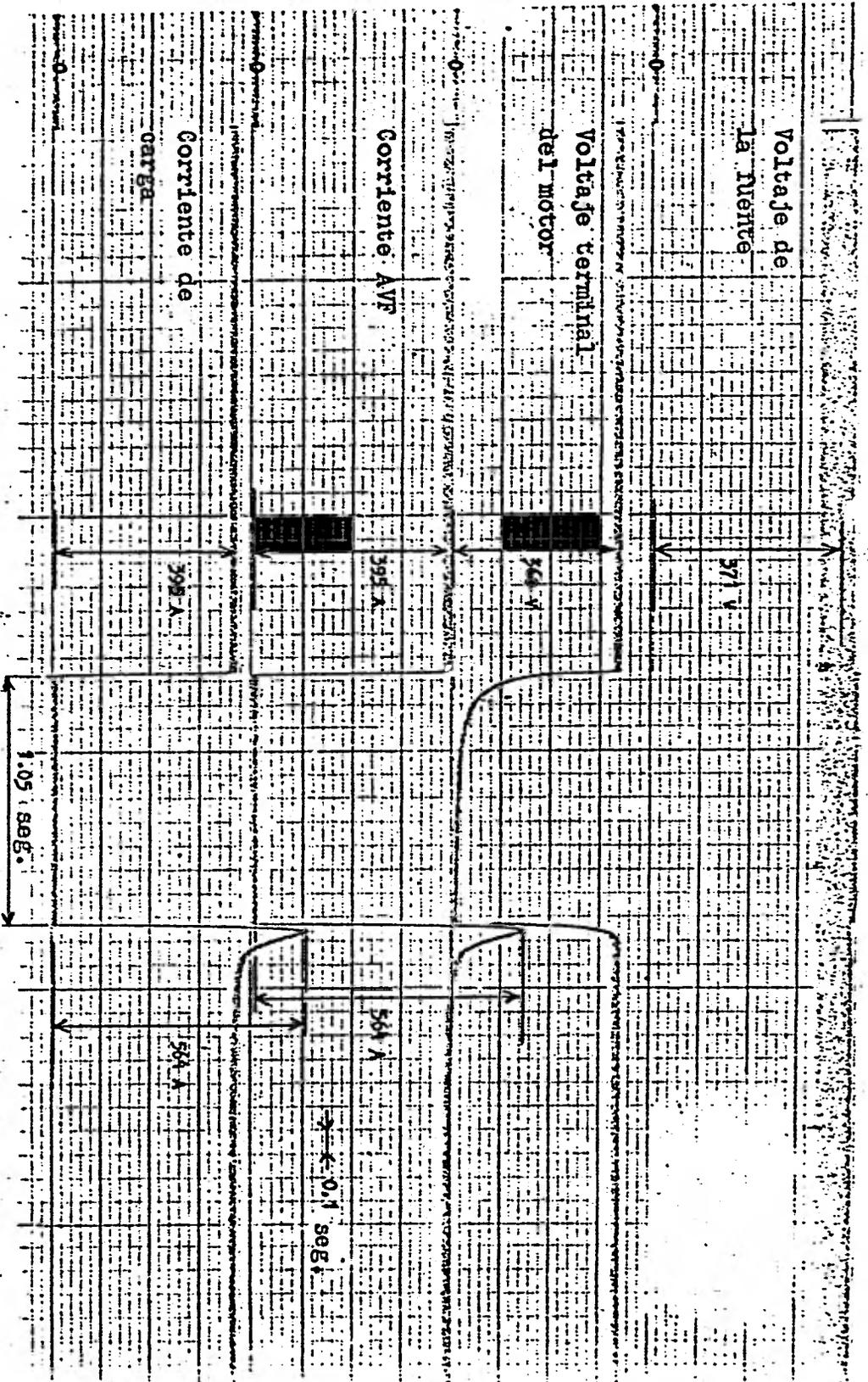
F.P. : Fuente de potencia (3 fases, onda completa)

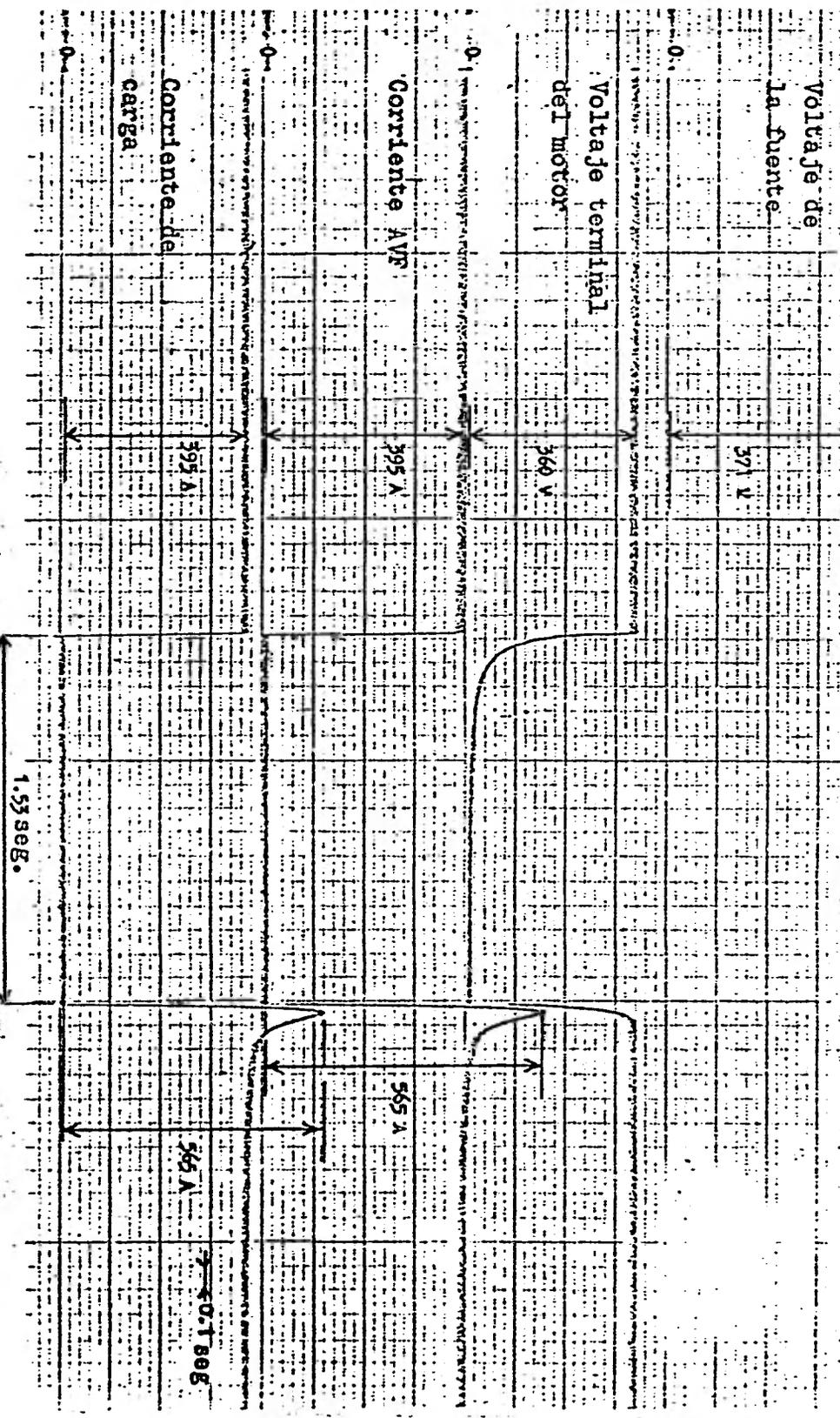
Tabla E.2
Condiciones de prueba y resultados

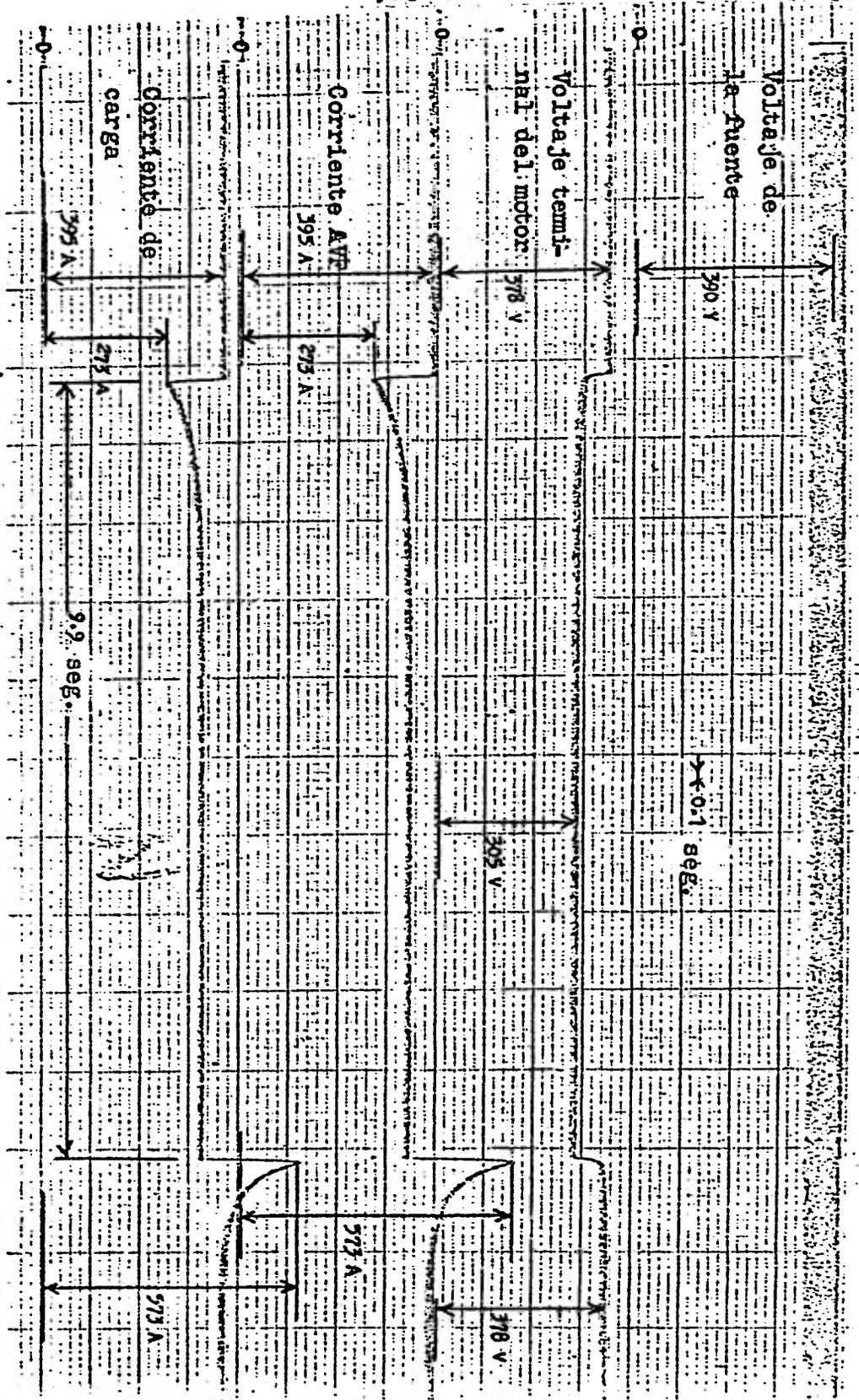
Prueba No.	Condiciones de estado estab				Periodo transitorio		Al momento de abrir interrump		Al momento de cerrar interr.		Oscilograma No.	Resultado de
	Voltaje term. (V)	Corriente carga (A)	Corriente AVF (A)	Campo (%)	Tiempo (seg)	Volt. term. (V)	Corriente carga (A)	Corriente AVF (A)	Corriente carga (A)	Corriente AVF (A)		
6-1	360	395	395	100	0.46	-	-	-	530	530	6-1	Satisfactorio
6-2	360	395	395	100	1.05	-	-	-	564	564	6-2	Satisfactorio
6-3	360	395	395	100	1.53	-	-	-	565	565	6-3	Satisfactorio
6-4	378	395	395	100	9.9	305	273	273	573	573	6-4	Satisfactorio
6-5	360	395	-	35	0.41	-	-	211	906	265	6-5	Satisfactorio
6-6	360	395	-	35	1.01	-	-	213	1031	309	6-6	Satisfactorio
6-7	360	395	-	35	1.54	-	-	213	1053	316	6-7	Satisfactorio
6-8	378	395	-	35	9.9	303	214	78	582	63	6-8	Satisfactorio

Nota: Prueba No. 6-4 y 6-8 son pruebas de variac. de volt., las otras son de interr. y rest.

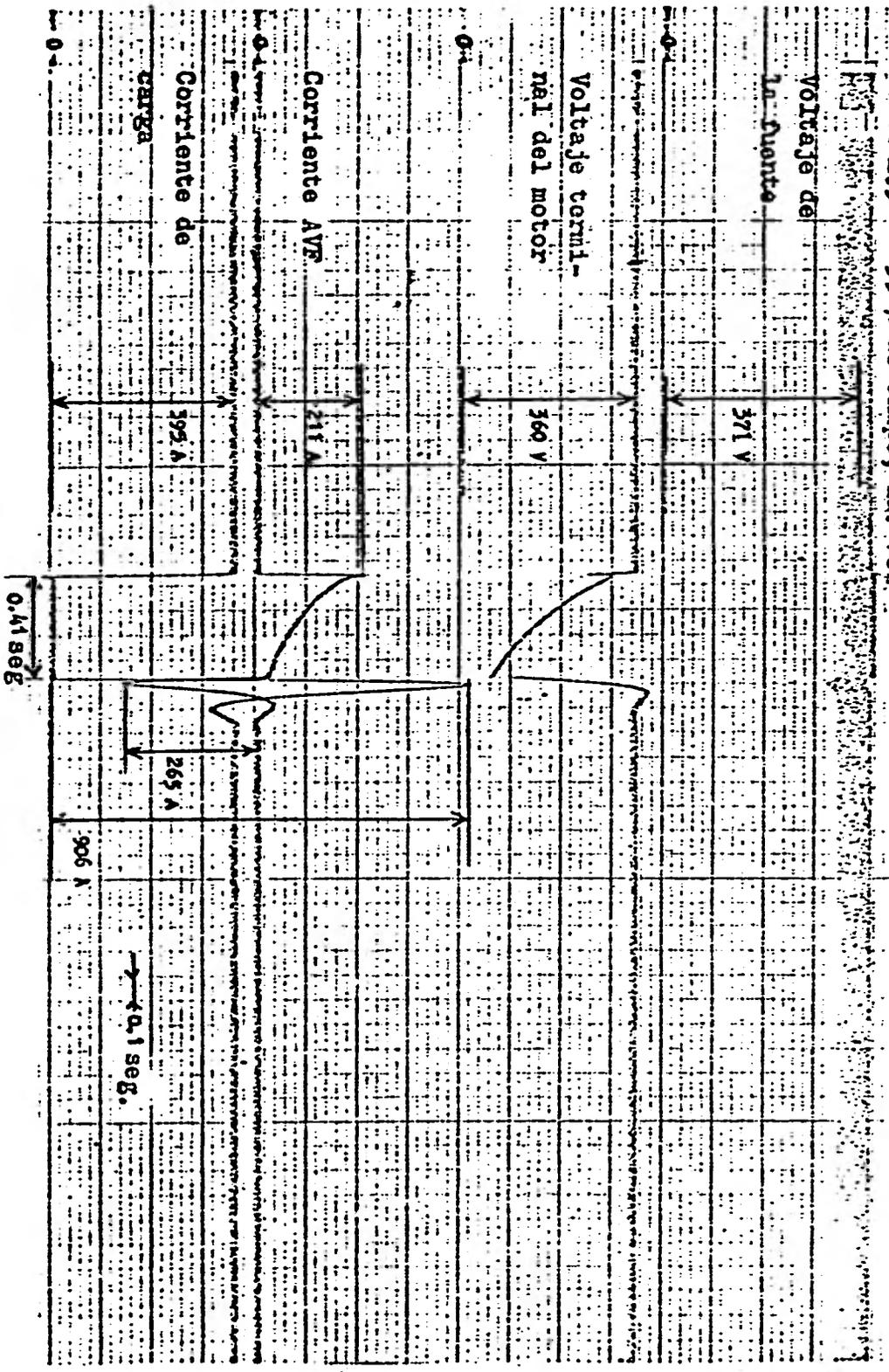


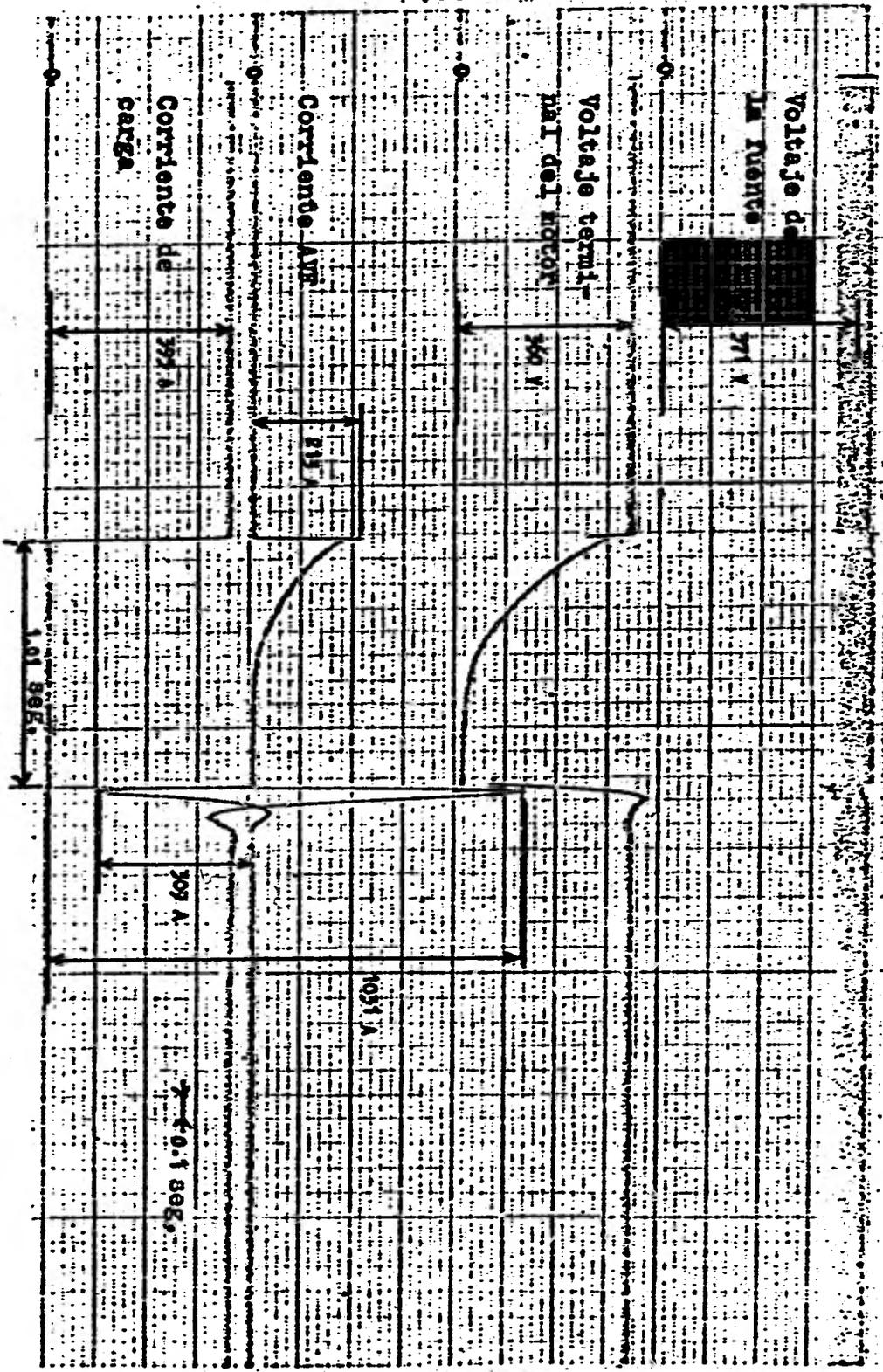


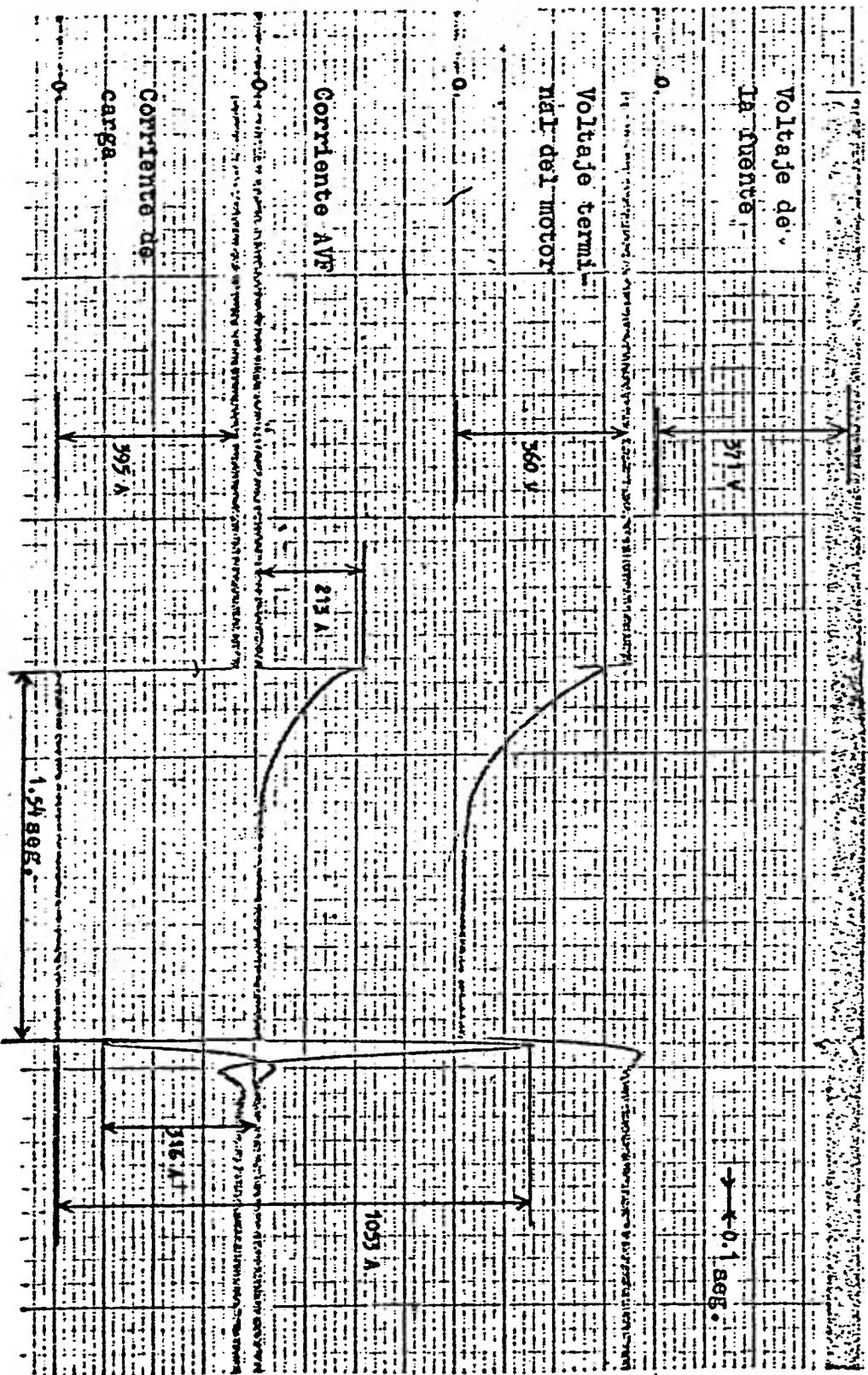




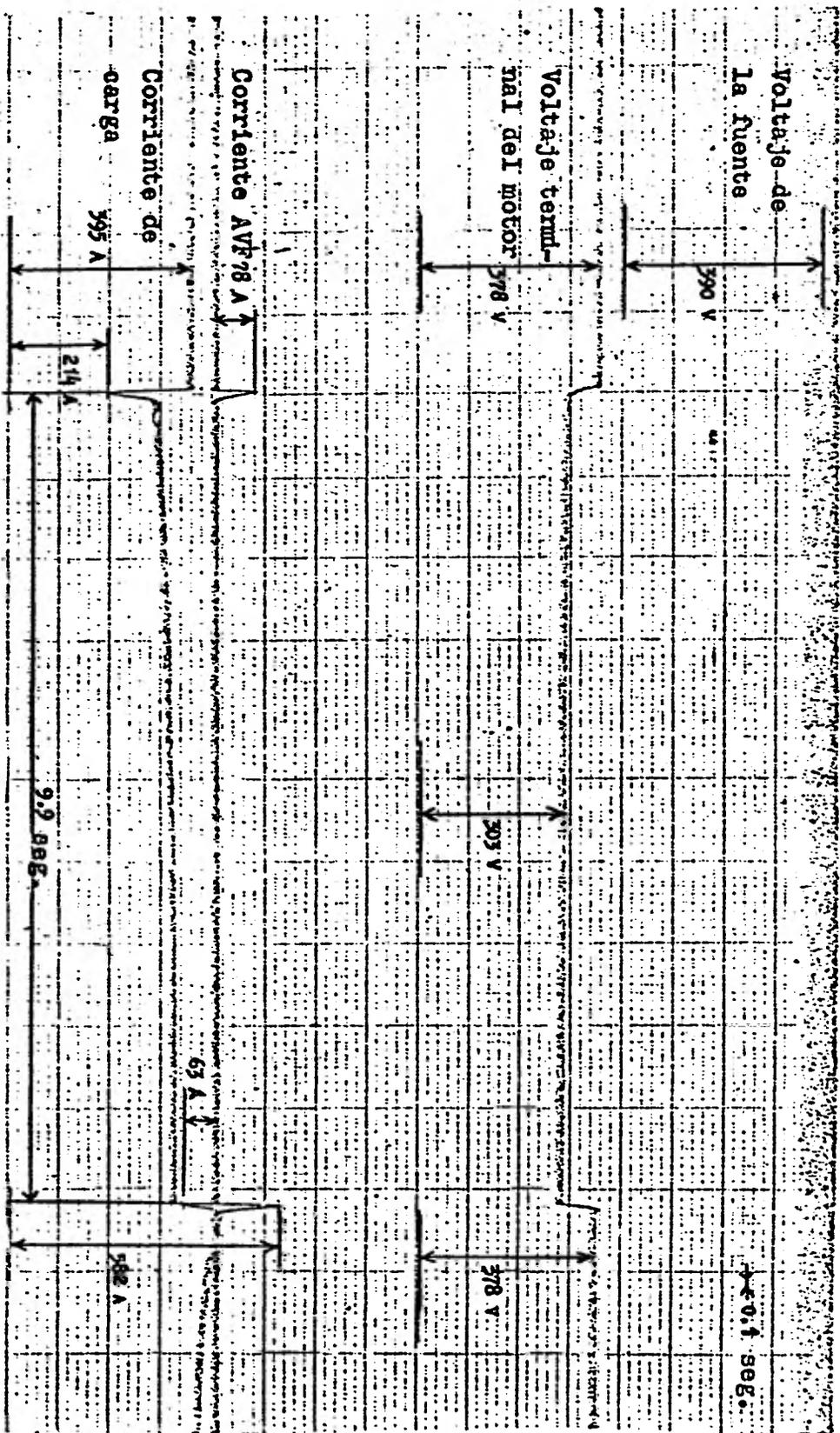
OSC. E. 5 35 % de Campo, 1a. vez







080. F. 8 35 % de Campo, variación de voltaje



APENDICE "F"

Prueba característica de velocidad

Figura F.1 Curva característica de velocidad

Voltaje terminal : 360 V

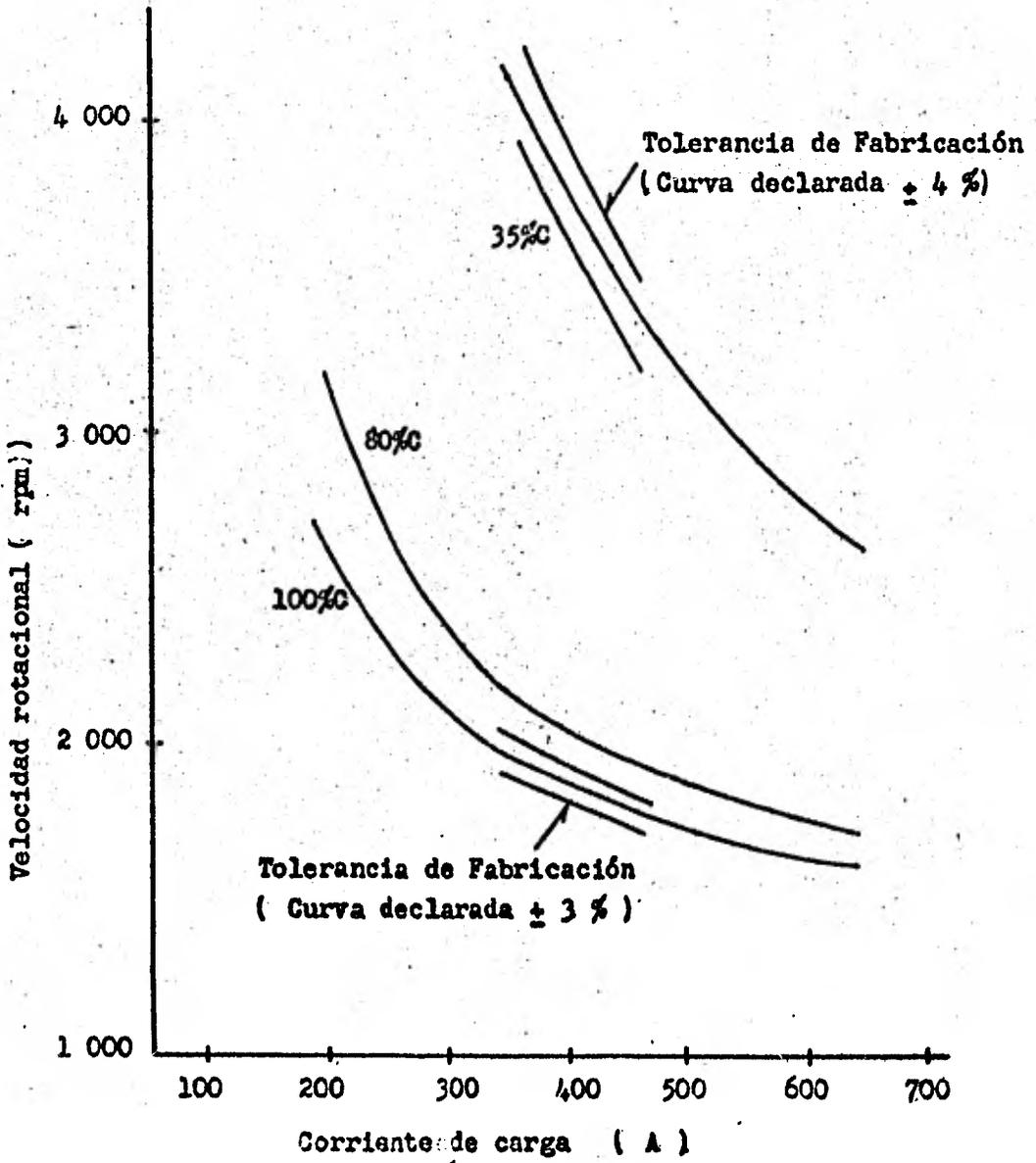


Tabla F.1

Prueba característica de velocidad

(1) 360V, 100% de campo

en rpm

Corrien. carg. Dirección (A) rotacional	200	296	395	494	650	
En sentido de manec. reloj	2 662	2 129	1 896	1 762	1 608	
En sent. cont manec. reloj	2 650	2 134	1 895	1 755	1 606	
Media	2 656	2 132	1 896	1 759	1 607	

(2) 360V, 80% de campo

en rpm

Corrien. carg. Dirección (A) rotacional	200	296	395	494	650	
En sentido de manec. reloj	3 163	2 394	2 049	1 876	1 701	
En sent. cont manec. reloj	3 188	2 410	2 061	1 880	1 712	
Media	3 176	2 402	2 055	1 878	1 707	
Corrien. AVF(A)	139	205	274	343	451	

(3) 360V, 35% de campo

en rpm

Corrien. carg. Dirección (A) rotacional	200	395	494	650		
En sentido de manec. reloj	4 094	3 809	3 196	2 612		
En sent. cont manec. reloj	4 113	3 864	3 226	2 642		
Media	4 104	3 837	3 211	2 627		

APENDICE "G"

Prueba de sobrevelocidad.

Prueba dieléctrica

- (1) Medición de la resistencia de aislamiento**
- (2) Prueba dieléctrica**
- (3) Prueba dieléctrica para la base terminal
(prueba especial)**

Prueba de arranque

Figura G.1
CIRCUITO PARA LA PRUEBA DE SOBREVELOCIDAD

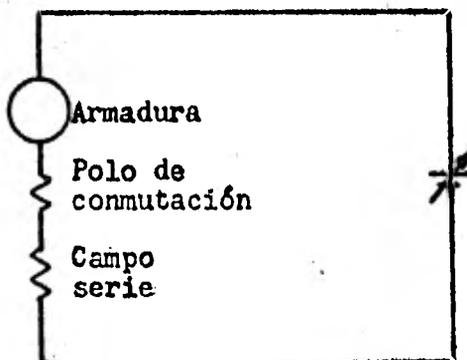
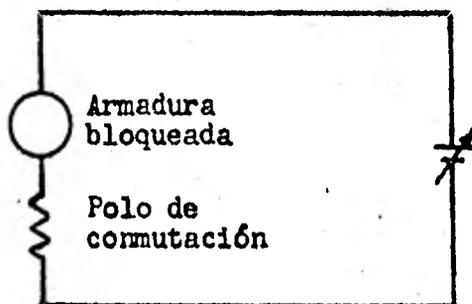


Figura G.2
CIRCUITO PARA LA PRUEBA DE ARRANQUE



Prueba de sobrevelocidad

Condiciones de prueba	Resultado
5 060 RPM, 2 min., en estado caliente	Satisfactorio

Prueba dieléctrica

Medición de la resistencia de aislamiento

Condiciones de prueba

Con el Megger de 500 V, en estado caliente

Resultados

Todos los devanados- Tierra	2000 Megohms
Devanados AVF - Los otros devanados aterizados	2000 Megohms

Prueba dieléctrica

Condiciones de prueba

60 Hz, 3.700 V RMS, 1 min., en estado caliente

Resultados

Todos los devanados- Tierra	Satisfactorio
Devanados AVF - Los otros devanados aterizados	Satisfactorio

Prueba de arranque

Condiciones de prueba	Resultado
700 A, 30 seg., en estado caliente.....	Satisfactorio

Base de terminales para la prueba dieléctrica

60 Hz, método de incremento rápido (1 - 2 KV/seg)

Figura G.3 Base de las terminales vista de planta.

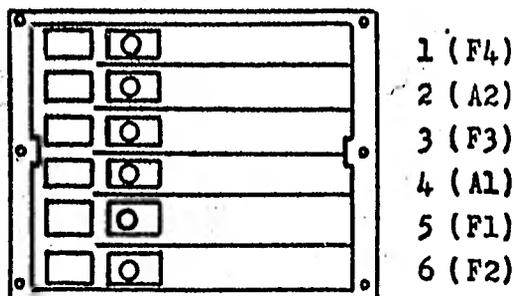


Figura G.4 Vista lateral de la base de terminales

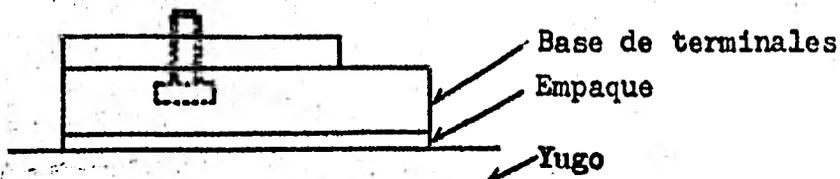


Tabla G.1 Resultados de la prueba dieléctrica a la base term.

Terminal	Con empaque	Sin empaque
1 (F4)	25.5 KV	26.5 KV
2 (A2)	23.5	-
3 (F3)	31.1	-
4 (A1)	28.0	31.1
5 (F1)	31.5	-
6 (F2)	20.0	-

La base de terminales no se rompió durante la prueba. Los valores de la tabla anterior son para el voltaje que arqueó a la superficie.

APENDICE "H"

Prueba de impedancia.

Figura H.1

4.11 Prueba de impedancia (con 60 Hz)

Circuito de prueba	Partes	Corriente (A)	Caída de voltaje (V)	Impedancia (ohms)
	Devanado de armadura	50	20.5	0.41
		75	32.8	0.44
		100	-	-
	Devanados de polos de conmutación	50	10.6	0.21
		75	16.8	0.22
		100	-	-
	Devanados del campo serie	50	38.0	0.76
		75	56.0	0.75
		100	-	-
	Devanados AVF	50	72.7	1.45
		75	107	1.43
		100	-	-
	Devanado de armadura	50	26.3	0.53
		75	36.4	0.49
		100	51.3	0.51
	Devanados de polos de conmutación	50	14.2	0.28
		75	19.6	0.26
		100	26.7	0.27
	Devanados del campo serie	50	18.8	0.38
		75	25.4	0.34
		100	35.2	0.35

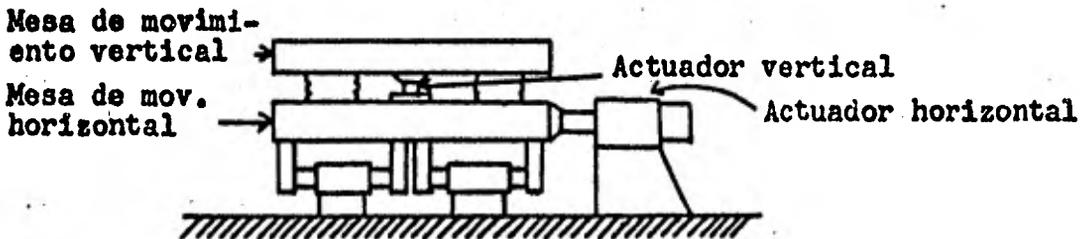
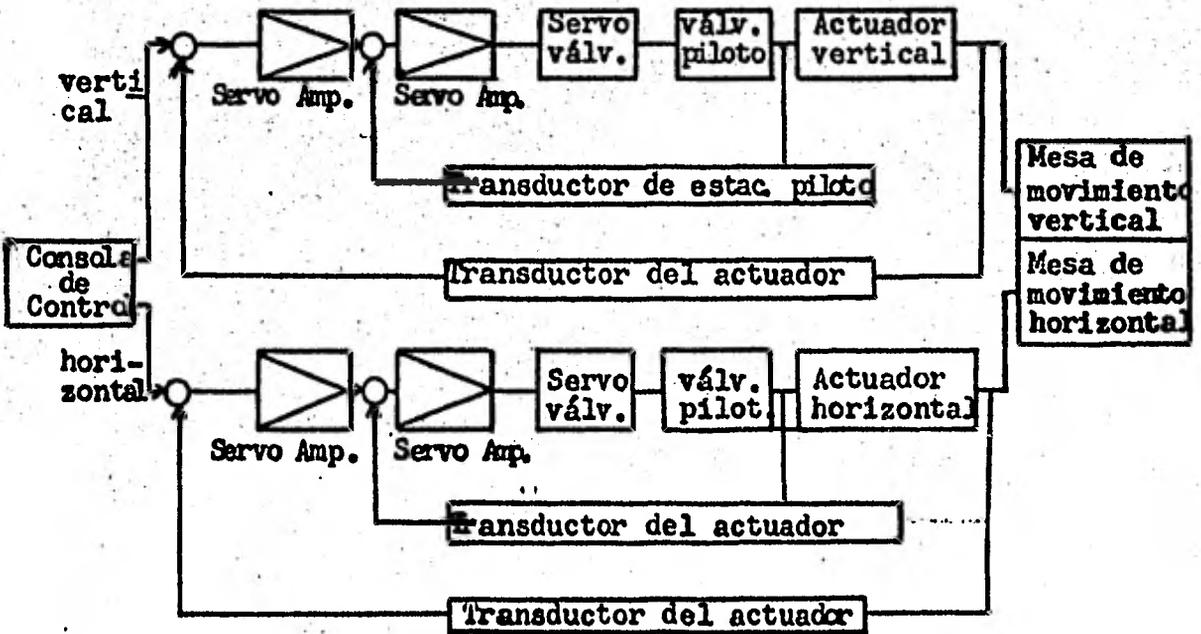
APENDICE "I"

Prueba de vibración

Figura I.1
MAQUINA DE VIBRACION HIDRAULICA

1. Características de comportamiento más sobresalientes
 - Fuerza Nominal (Carga x aceleración) 10ton.G
 - Máx. desplazamiento ±30mm
 - Carga máx. en la mesa 5tons.
 - Sentido horizontal y vertical
 - Rango de frecuencia 0.1-70 Hz
 - Tamaño de la mesa 2M x 2M
 - Forma de onda sinusoidal, aleatoria

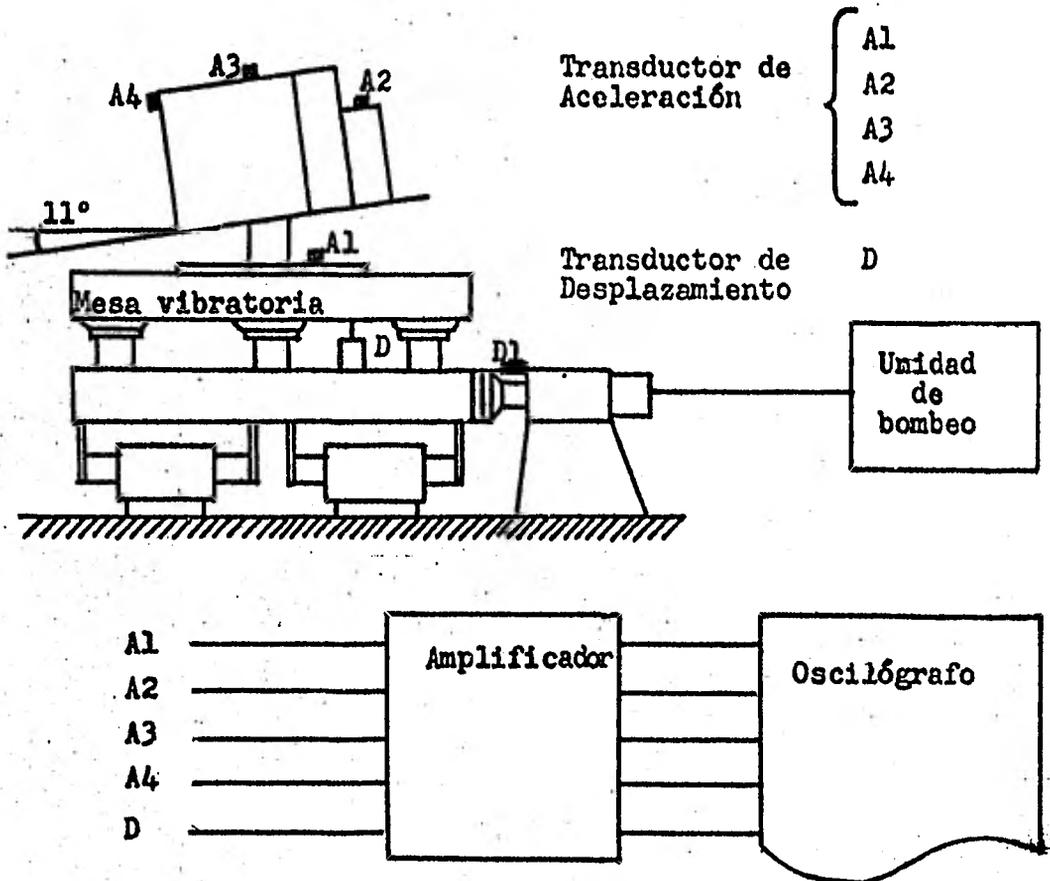
2. Diagrama de bloques



PRUEBA DE VIBRACION PARA MOTORES DE TRACCION

Figura I.2

Diagrama de bloques de la unidad de medición



Transductor de aceleración

BA -20L Shinkoh

Transductor de desplazamiento

IDS-3T Shinkoh

Amplificador

DS-6002-F Shinkoh

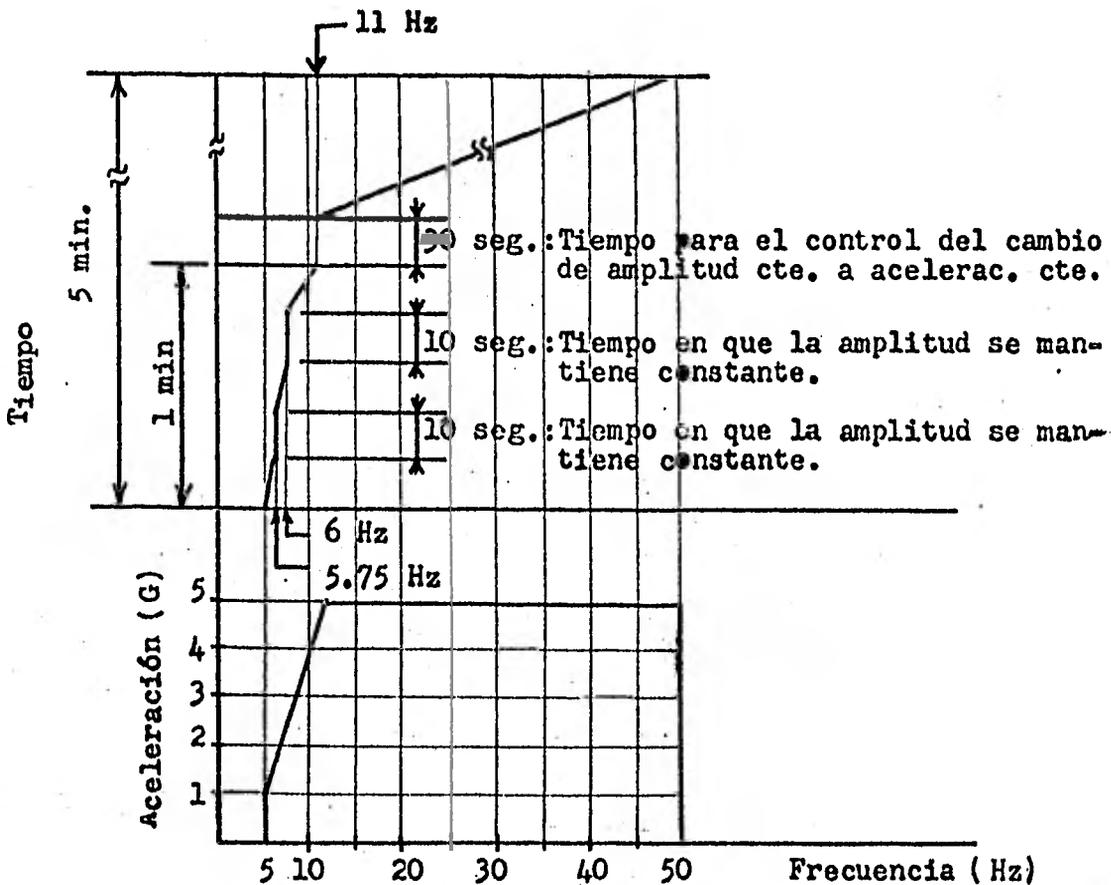
Oscilógrafo

Photocorder Yokogawa

Figura I.3

Prueba de vibración

Condiciones de prueba

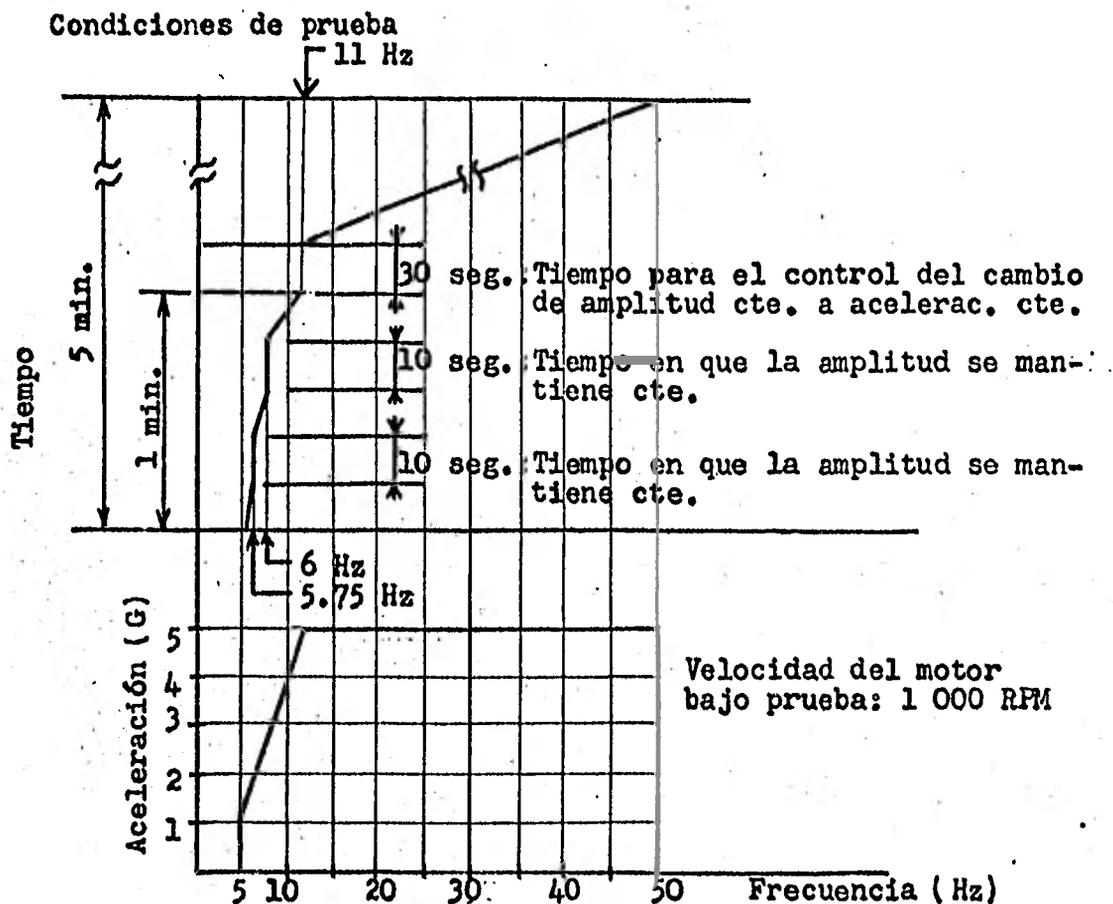


Se hizo vibrar al motor en 3 sentidos: en sentido vertical, en el sentido de la flecha de la armadura y en sentido normal (a 90°) a la flecha de la armadura en el plano horizontal; por medio de una máquina de vibración hidráulica.

Resultados de la prueba

Satisfactorios: Después de la prueba, el motor no mostraba ningún daño durante la inspección visual ni durante la prueba rotacional.

Figura I.4
Prueba de vibración

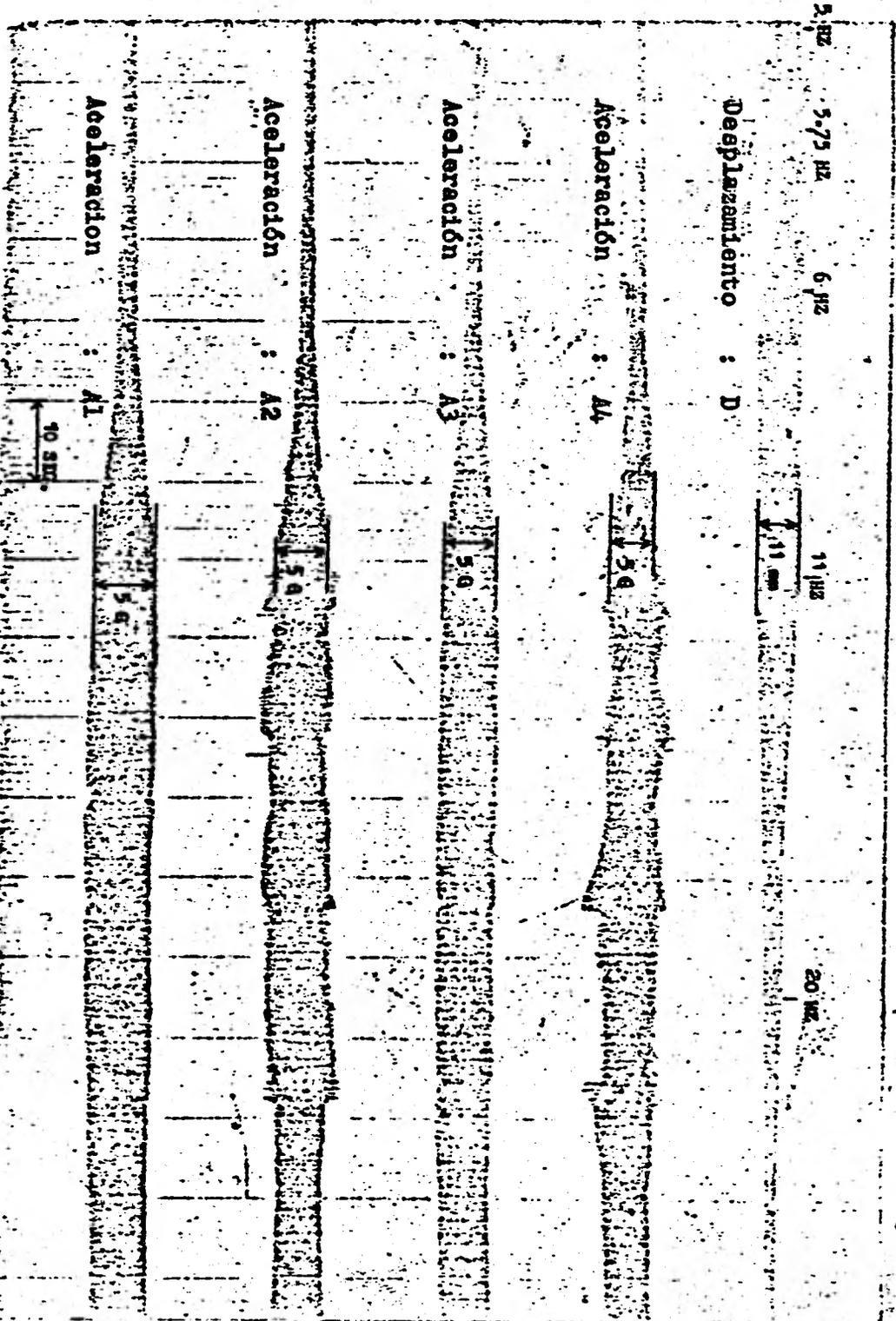


Se hizo vibrar al motor en 3 sentidos separadamente: en sentido vertical, en el sentido de la flecha de la armadura y en sentido normal (a 90°) a la flecha de la armadura en el plano horizontal; por medio de una máquina de vibración hidráulica.

Resultados de la prueba

Satisfactorios: Después de la prueba, el motor no mostraba ningún daño en la prueba rotacional, y los rodamientos no presentaban desperfectos en la inspección realizada después del desensamble.

Favor de referirse a los siguientes oscilogramas.



OSC. I.2 En sentido vertical

20 HZ 30 HZ 40 HZ 50 HZ

Desplazamiento : D

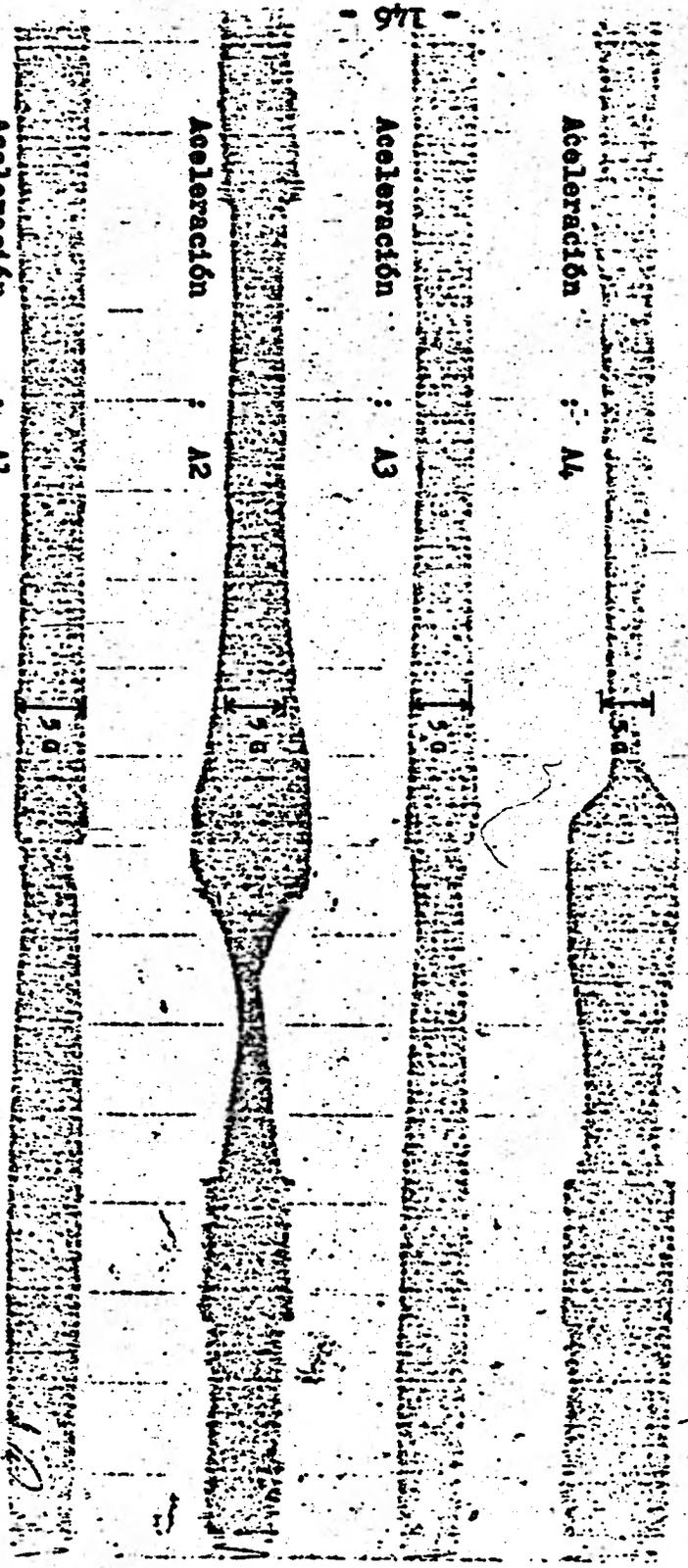
Aceleración : A4

Aceleración : A3

Aceleración : A2

Aceleración : A1

10 seg.



OSC. I.3 En sentido normal (a 90°) a la flecha de la armadura Continúa en la
 sobre el plano horizontal sig. hoja.

5 Hz 5,75 Hz 6 Hz 1 Hz

20 Hz

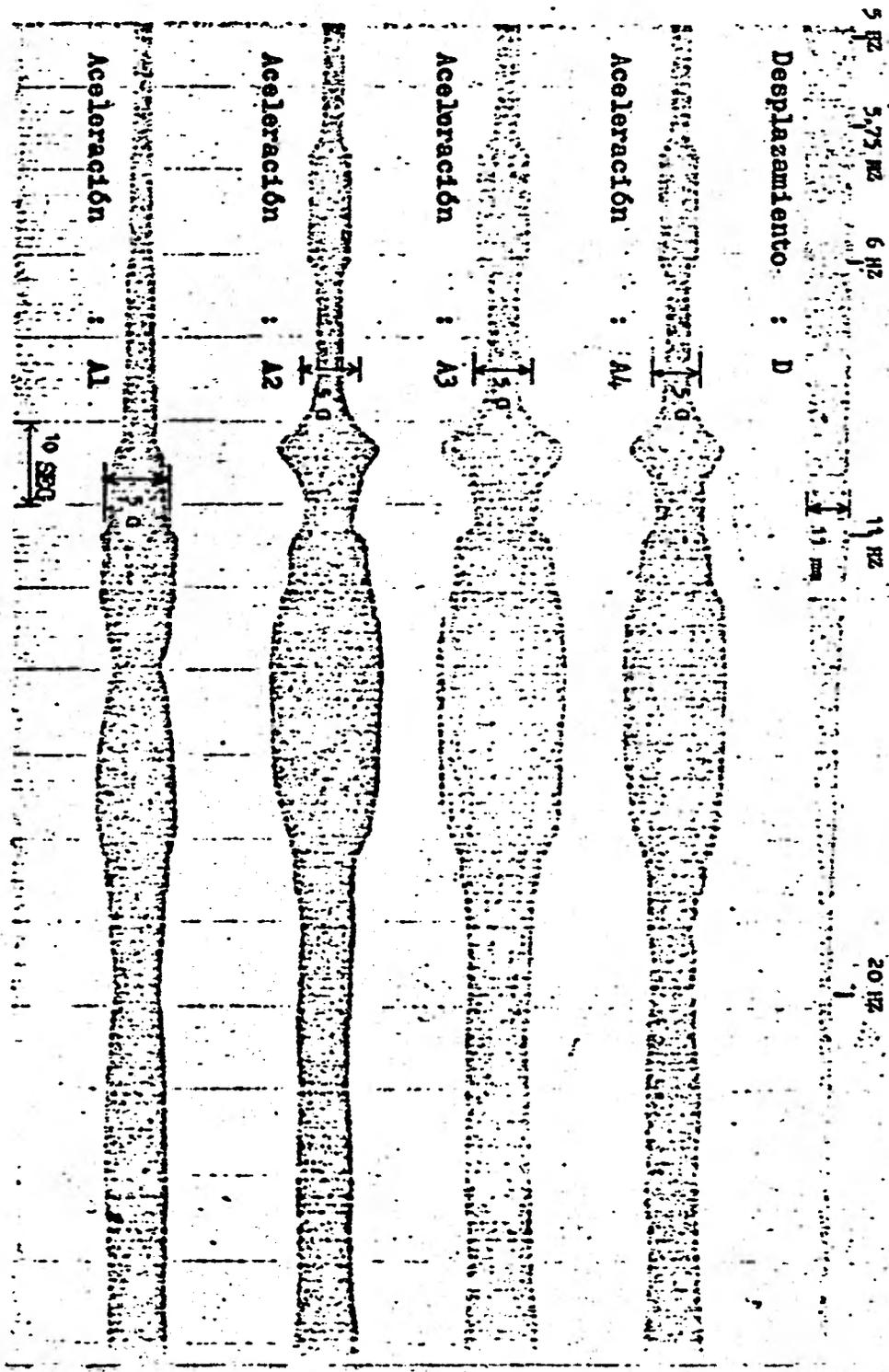
Desplazamiento : D

Aceleración : A4

Aceleración : A3

Aceleración : A2

Aceleración : A1



Osc. I.4 En sentido normal (a 90°) a la flecha de la armadura sobre el plano horizontal.

30 Hz

40 Hz

50 Hz

Desplazamiento : D

Aceleración : A4

Aceleración : A3

Aceleración : A2

Aceleración : A1

10 g's



OSC. I.5 En sentido normal (a 90°) a la flecha de la armadura sobre el plano horizontal.

9 Hz 5.75 Hz 6 Hz 11 Hz 20 Hz

Desplazamiento : D

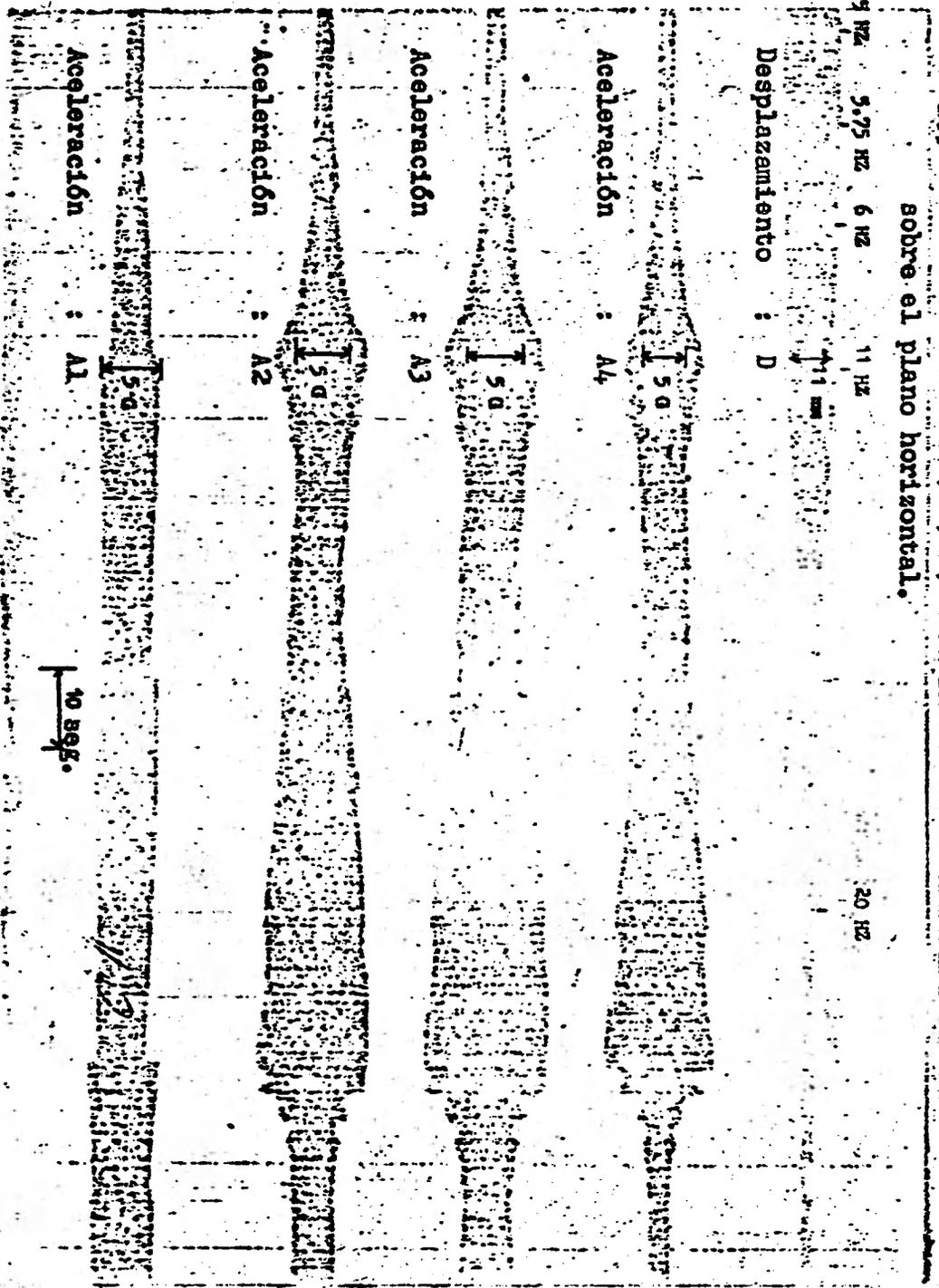
Aceleración : A4

Aceleración : A3

Aceleración : A2

Aceleración : A1

10 seg.



OSC. I.5. En sentido de la flecha de la armadura en el plano horizontal

30 Hz

40 Hz

50 Hz

Desplazamiento : D

Aceleración : A4

Aceleración : A3

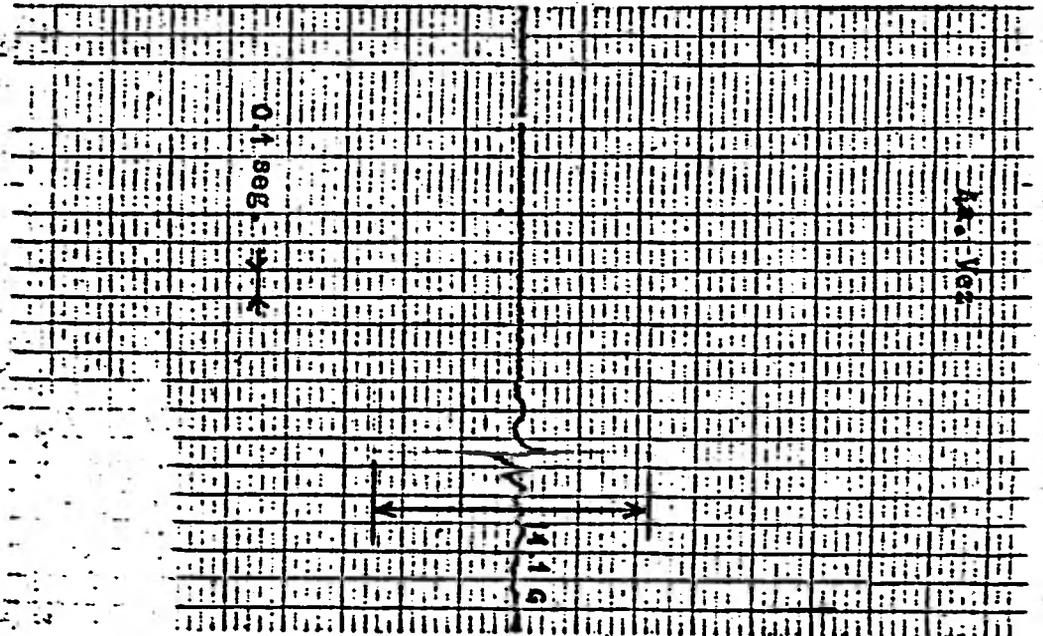
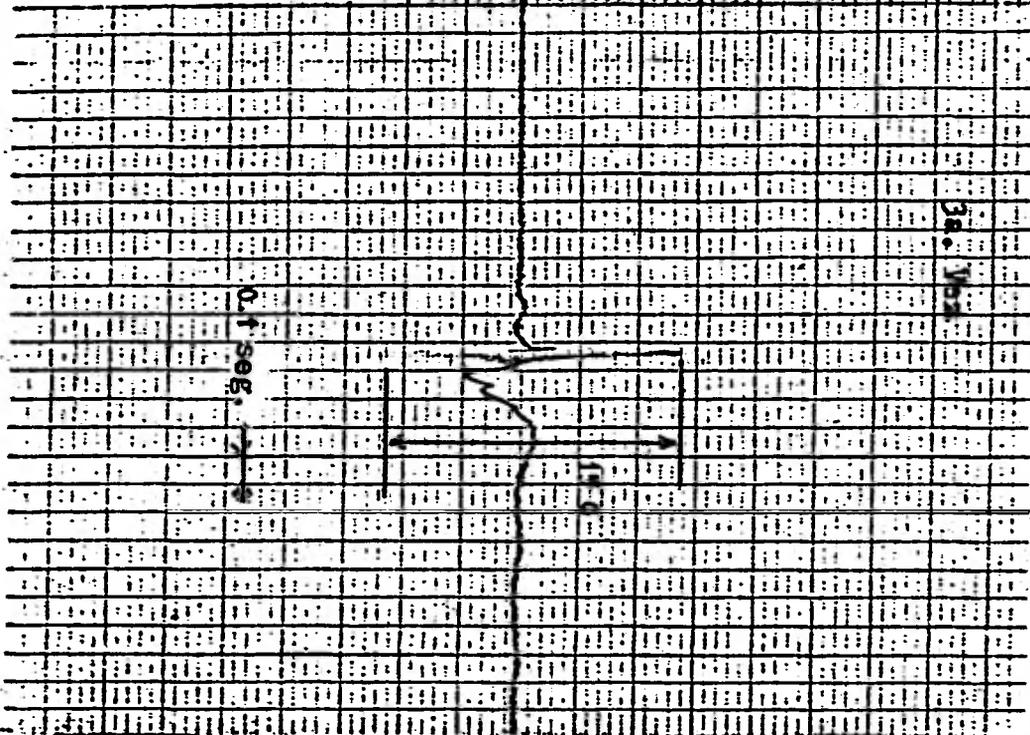
Aceleración : A2

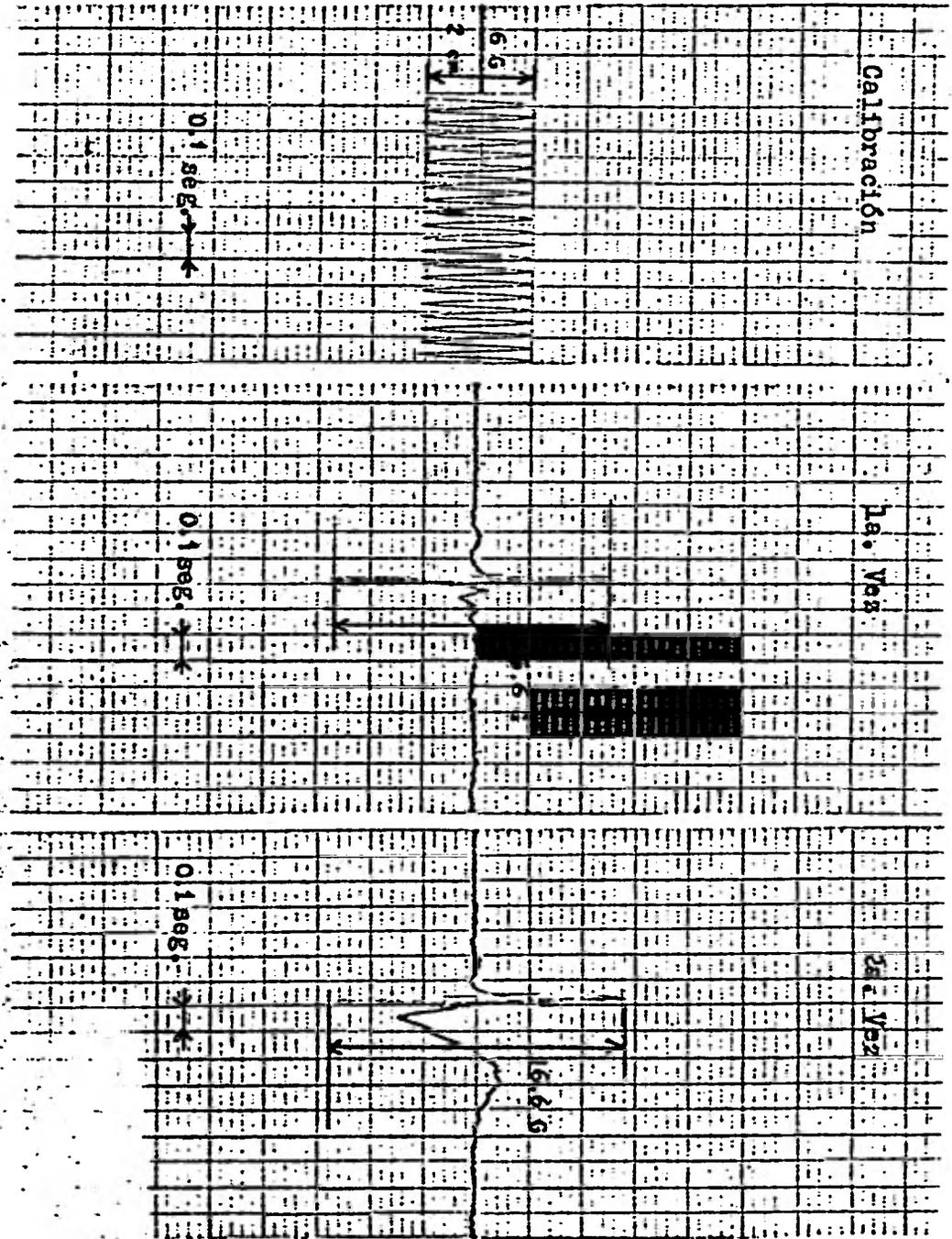
Aceleración : A1

10 seg

· APENDICE "J"

Prueba de impacto



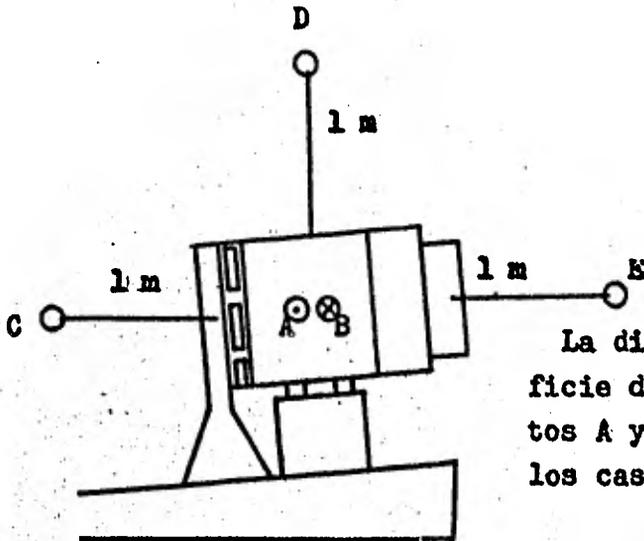


APENDICE "K"

Prueba de nivel de ruido

Figura K.1
Prueba de nivel de ruido

Puntos medidos



La distancia de la superficie del motor a los puntos A y B es la misma para los casos C, D y E.

Figura K.2
Diagrama de bloques para el circuito de medición

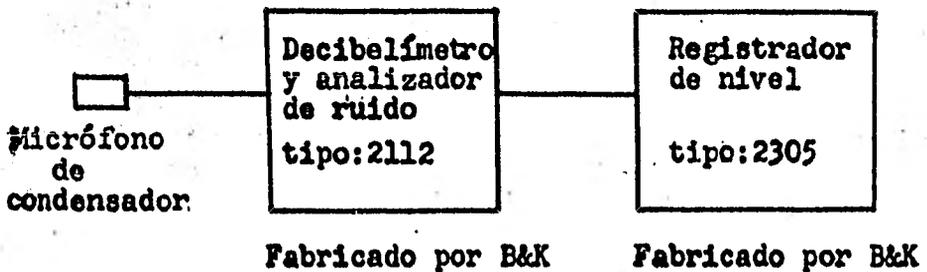


Tabla K.1

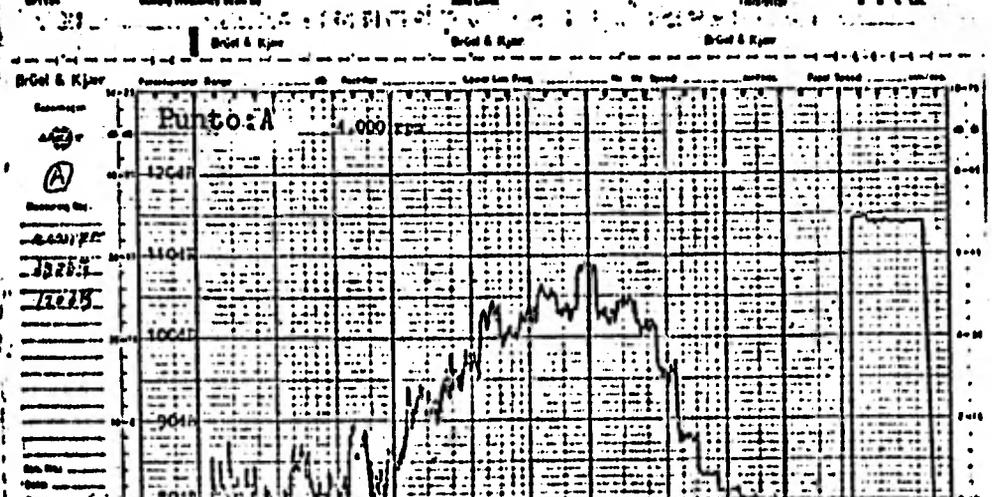
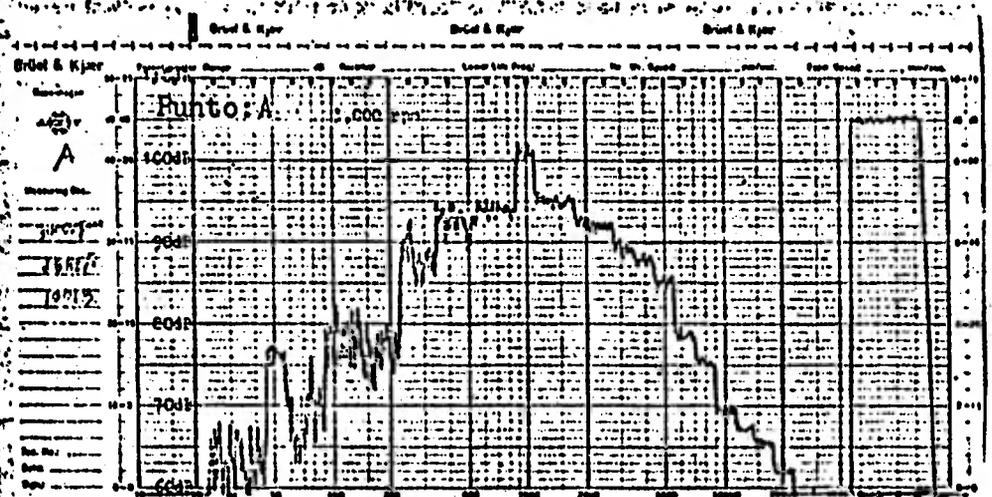
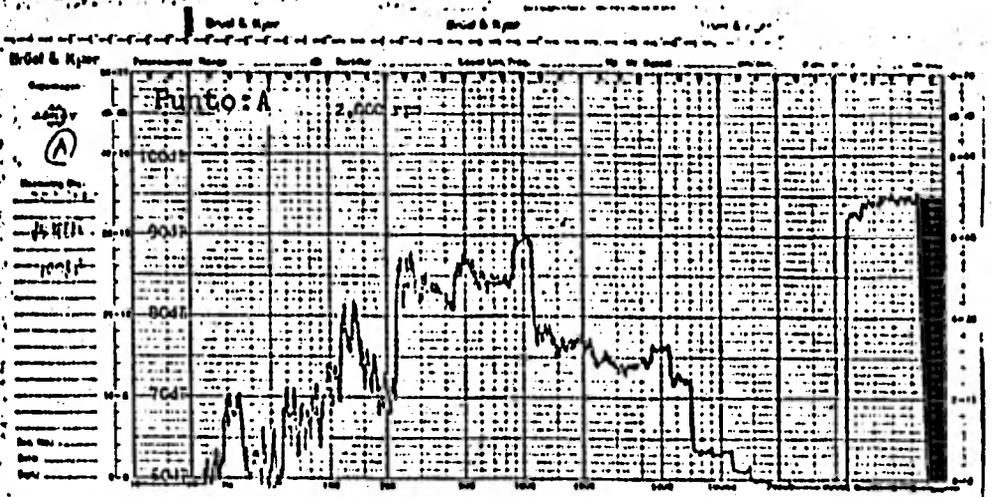
Resultados de la prueba de nivel de ruido, en dB.

Dirección rotacional: en sentido de manec. reloj

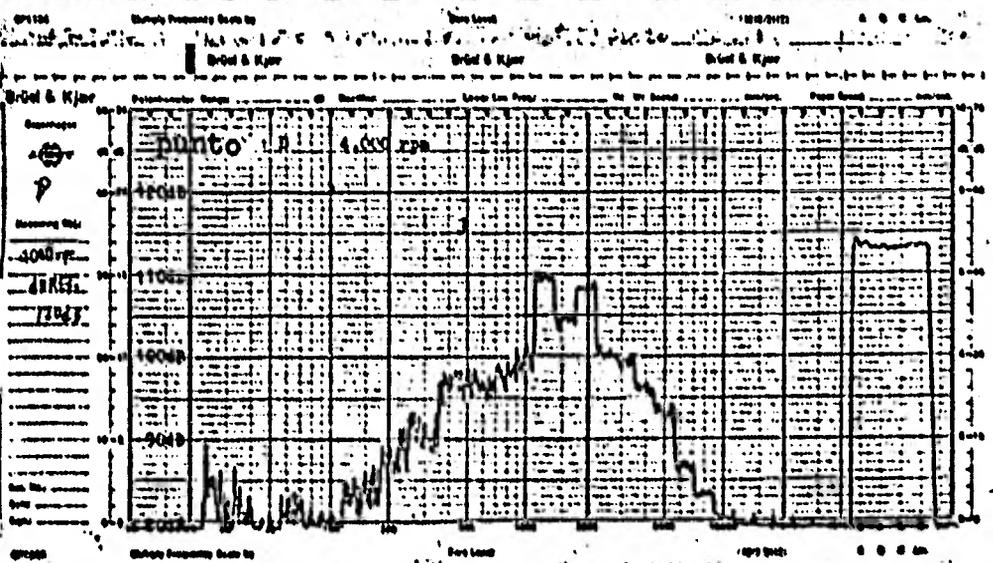
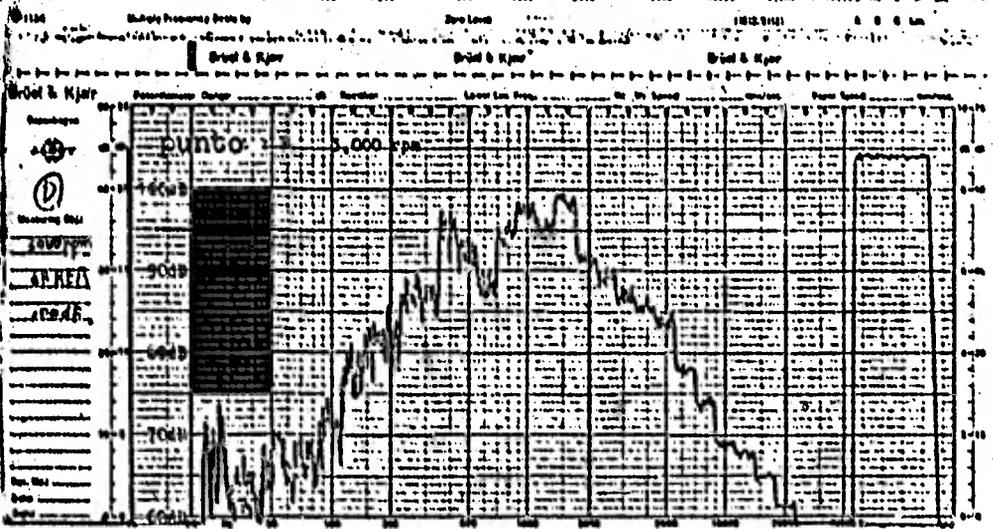
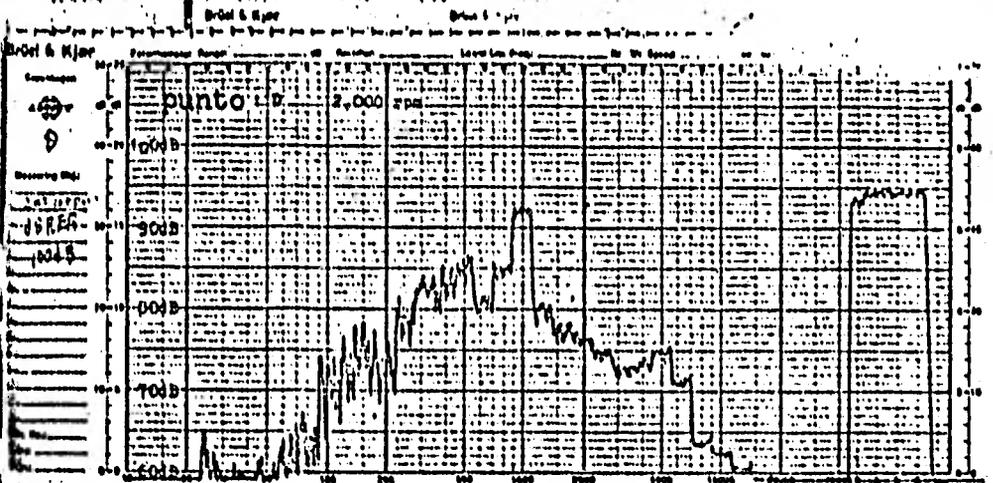
Velocidad (rpm)		4 000	3 000	2 000	0
Punto de medic.					Ruido ambiental
Rango A	A	114.5	105	92.5	46
	B	113	106	93	-
	C	112	104	89	-
	D	113.5	104	93.5	-
	E	108.5	101.5	90	46
	Promedio	112.3	104.1	91.6	46
Rango C	A	114	105	94.5	56
	B	112.5	106	95.5	-
	C	111.5	104	92	-
	D	113	104	94.5	-
	E	109	103.5	93.5	57
	Promedio	112	104.5	94	56.5

Favor de referirse a las cartas de análisis.

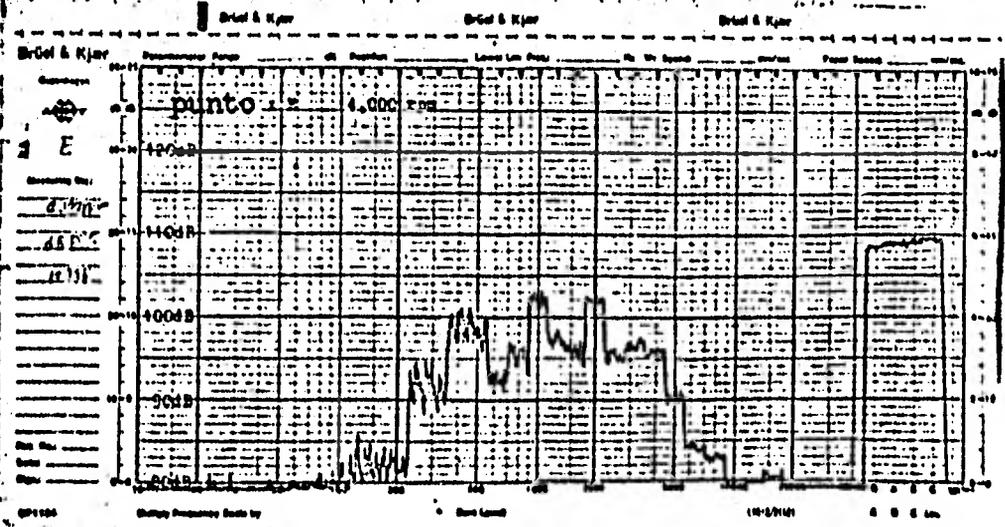
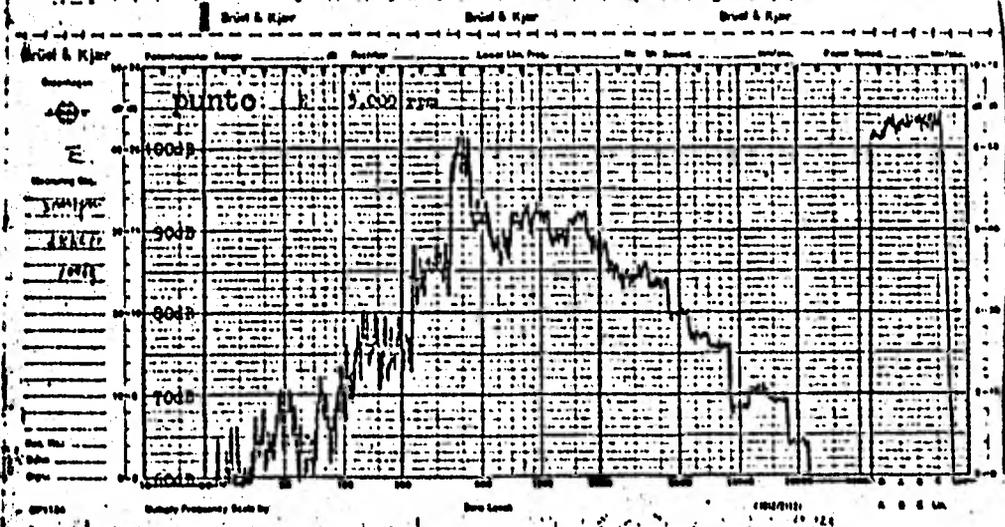
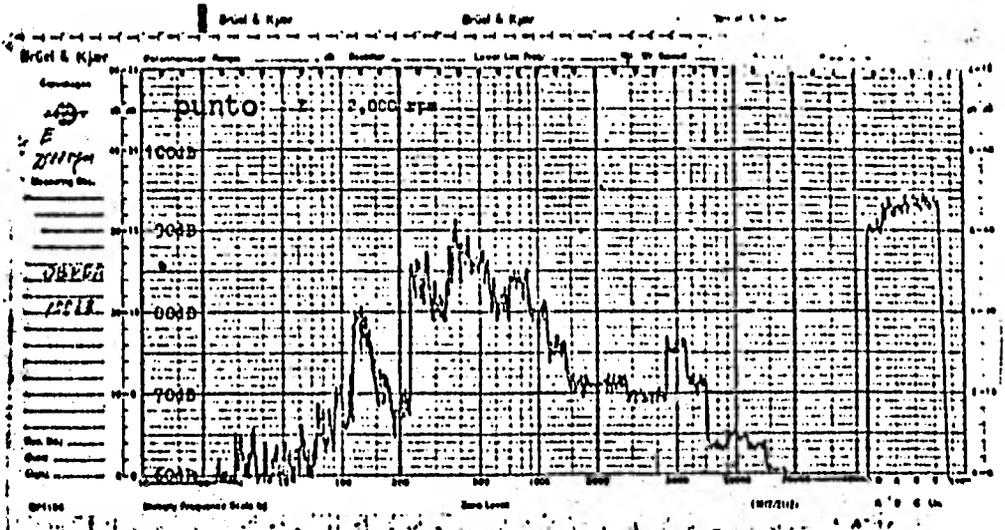
Cartas K.1 Pruebas de nivel de ruido.



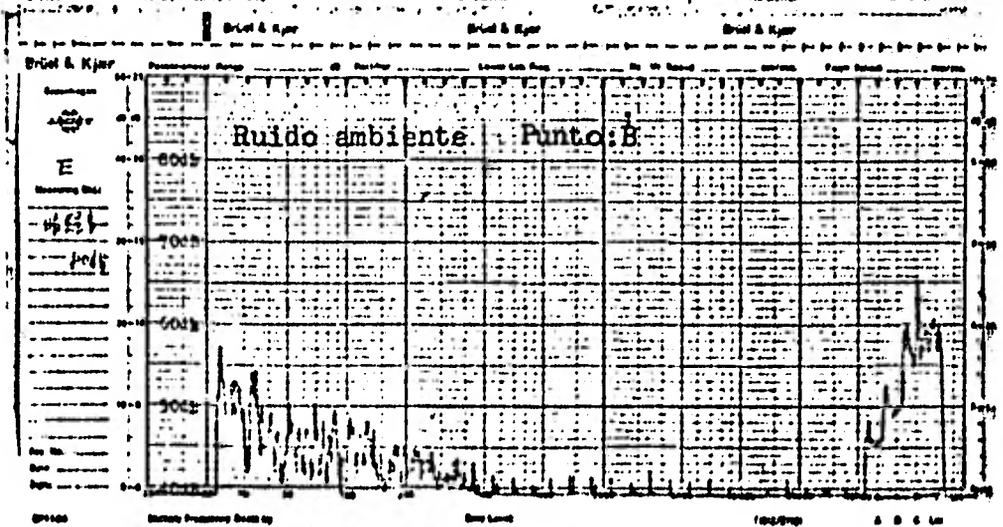
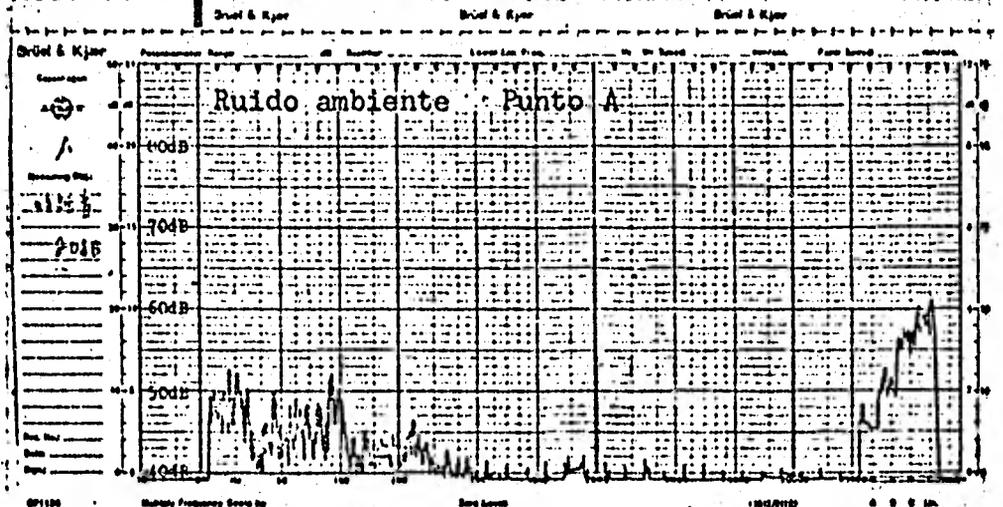
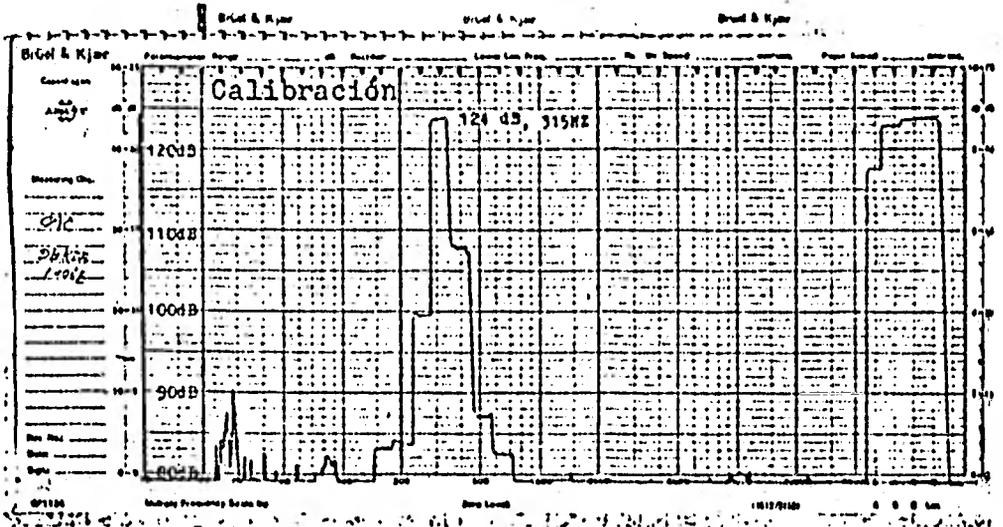
Cartas K.4 Pruebas de nivel de ruido.



Cartas K.5 Pruebas de nivel de ruido.



Cartas K.6 Pruebas de nivel de ruido.



APENDICE "L"

Medición del flujo de aire de ventilación

MEDICION Y CALCULO DE LA PRESION ESTATICA Y VOLUMEN DE AIRE

Se considera aquí que el aire de ventilación es el fluido ideal y en flujo estable se puede aplicar la siguiente ecuación

$$P_s + h_0 + \frac{1}{2} \rho v^2 = H \text{ (constante)}$$

donde

P_s : presión estática

h_0 : altura desde el plano de nivelación promedio

ρ : densidad del aire de ventilación

v : velocidad

Medición del volumen de aire

Insertando la boquilla del tubo de Pitot dentro del ducto de aire, podemos medir la presión estática (P_s) y la presión total (P_0). La suma de la presión estática y la presión dinámica da la presión total.

$$P_0 = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\therefore P_0 - P_s = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (P_0 : \text{presión total})$$

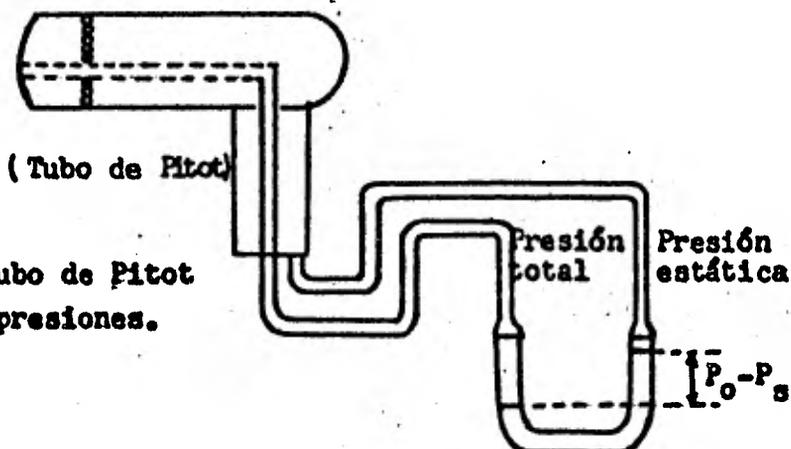


Figura L.1 Tubo de Pitot para medir las presiones.

donde

$$\rho = \frac{1.319 \times 10^{-3}}{1 - 0.00367t} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

de donde se puede inducir la siguiente igualdad,

$$\bar{v} = \sqrt{(1 + 0.00367t)15.2 P_{dm}}$$

Donde

- \bar{v} : velocidad media del aire (m/seg)
 t : temperatura del aire (°C)
 P_{dm} : presión media dinámica (mm Agua)

Generalmente se toman los puntos de lectura 9--16 en el plano seccional del ducto de aire, esto es: P_{dm1} --- P_{dm9} ó P_{dm1} --- P_{dm16} , y \bar{P}_{dm} es la media aritmética de todos ellos.

Si conocemos el area seccional del ducto de aire, sabremos el volumen de aire por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = 60 \times A \times \bar{v}$$

donde

- A ; área seccional del ducto de aire (m²)
 Q : volumen de aire (m³/min)

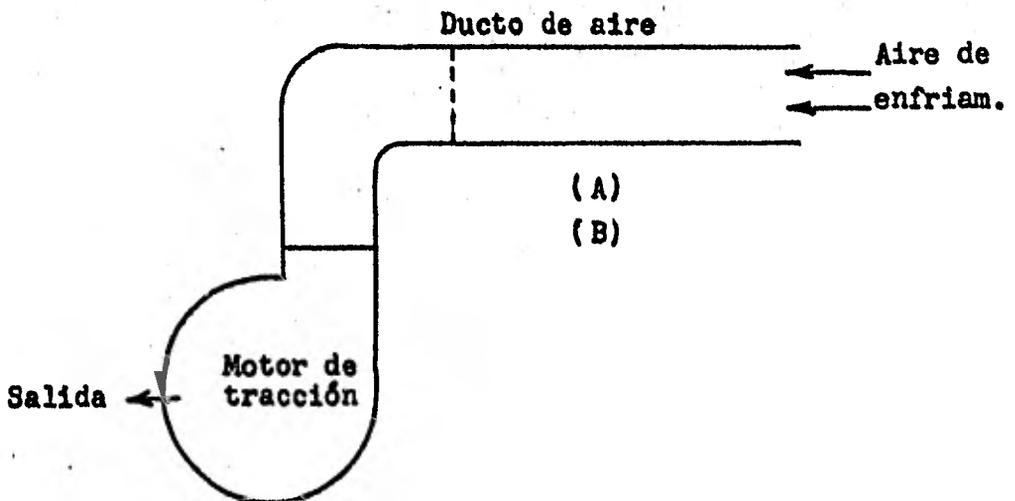
Medición de la presión estática

La presión estática se mide con el tubo de Pitot como anteriormente se mencionó, para nuestro caso el tubo en U se llenó con alcohol y entonces:

0.8 x Lectura , da la presión estática en mm de Agua.

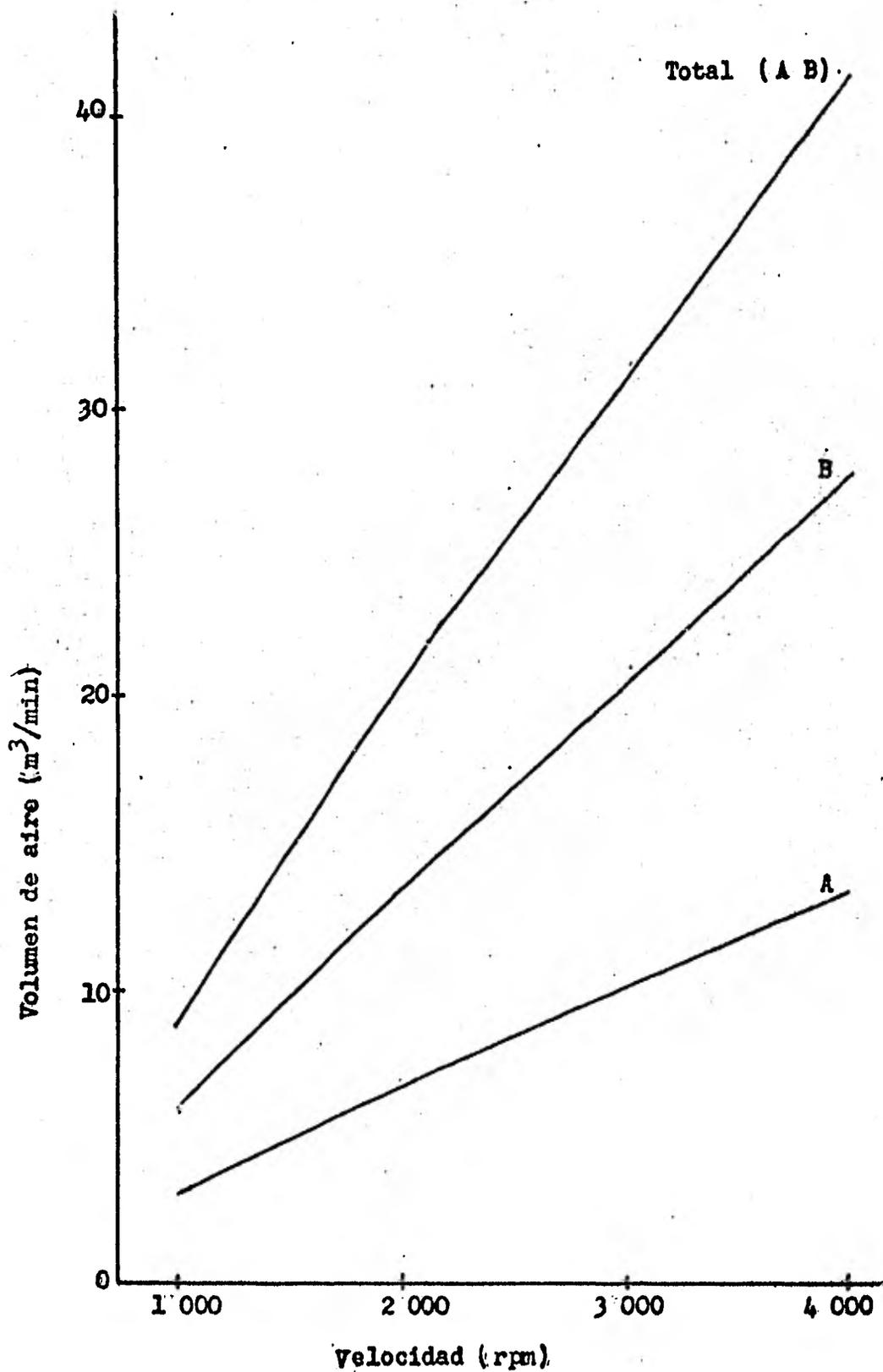
Figura L.2

Arreglo para la medición de la presión estática y p. dinámica



Velocidad rotacional (r.p.m.)		1 000		2 000		3 000		4 000	
Ducto de aire		A	B	A	B	A	B	A	B
Presión dinámica (mm Alcohol)	Relación	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
		1	2.0	2.0	9.0	15.5	22.0	42.0	36.5
	2	1.5	3.0	11.0	16.0	22.0	42.5	37.0	70.5
	3	1.0	3.0	10.0	16.5	21.0	35.0	33.0	61.0
	4	2.0	3.0	11.5	20.5	24.0	47.5	36.5	81.0
	5	2.0	3.5	11.0	19.5	21.0	45.0	40.5	77.0
	6	1.5	3.5	11.0	17.5	22.0	43.0	40.0	73.0
	7	2.0	4.0	11.5	14.5	19.0	39.0	37.0	74.0
	8	2.0	3.0	9.5	17.0	22.0	40.5	39.0	71.0
	9	1.5	3.0	8.5	16.0	20.5	37.5	38.5	62.0
Total	15.5	28.0	93.0	153.0	193.5	372.0	338.0	632.5	
Promedio	1.722	3.111	10.333	17.0	21.5	41.333	37.556	70.278	
Promedio de presión din.(mmAcua)	0.138	0.249	0.827	1.360	1.72	3.307	3.004	5.622	
Velocidad del aire (m/seg)	1.699	2.014	3.670	4.707	5.293	7.339	7.000	9.578	
Area seccional del ducto(m ²)	0.032	0.048	0.032	0.048	0.032	0.048	0.032	0.048	
Volumen de aire (m ³ /min)	2.88	5.80	7.05	13.55	10.16	21.14	13.44	27.58	
Presión estática (mm Alcohol)	Relación	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
		2	3.5	7.0	16.0	23.5	43.5	78.5	73.0
	5	3.5	7.5	19.0	33.5	43.5	80.5	74.0	138.0
8	3.0	7.0	18.5	34.0	42.5	78.5	74.0	138.0	
Promedio	3.33	7.17	18.5	33.67	43.17	79.17	73.67	138.0	
Promedio de presión est.(mmAcua)	0.27	0.57	1.48	2.69	3.45	6.33	5.89	11.04	
Temperatura del aire (°C)	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	20.0	20.0	

Figura L.3
Medición del flujo de aire



BIBLIOGRAFIA

1. RULES FOR ROTATING ELECTRICAL MACHINES FOR RAIL AND ROAD VEHICLES
International Electrotechnical Commission
Publication 349
Swiss 1971
2. AMERICAN STANDARD FOR ROTATING ELECTRIC MACHINERY
American Institute of Electrical Engineers
Publication 11
New York 1962
3. CURSO MODERNO DE MAQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS
Manuel Cortés Cherta
Editores Técnicos Asociados
Barcelona 1970
4. DESIGN OF ELECTRICAL APPARATUS
John H. Kuhlmann
John Wiley & Sons, Inc.
New York 1959
5. MAQUINAS ELECTROMECHANICAS Y ELECTROMAGNETICAS
Leander W. Matsch
Representaciones y Servicios de Ingeniería
México 1974

6. MEASURING INSTRUMENTS, GENERAL CATALOG
Yokogawa Electric Works
Tokyo 1978
7. MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS
Claudio Mataix
Madrid 1970