

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**REDISEÑO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN DE 2,4 HP
PARA USO DE LABORATORIO Y SU ANÁLISIS
USANDO MATLAB**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA
PRESENTADO POR:**

CARLOS AUGUSTO MENDOZA CARRERA

**PROMOCIÓN
2002 – I**

**LIMA – PERÚ
2005**

**REDISEÑO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN DE 2,4 HP PARA USO DE
LABORATORIO Y SU ANÁLISIS USANDO MATLAB**

*Dedico este trabajo a:
mi esposa, Xenia y mis hijos Carlos y Rocío
Por el apoyo incondicional en
mi carrera.*

SUMARIO

La optimización del motor Jaula de Ardilla de 2,4 HP es el objetivo del siguiente informe, para hacer posible este propósito ha sido necesario rediseñar el motor original.

El motor original cuyos datos de placa: 2,4 HP, 220 YY/440 Y V, 7,4/3,7 A, 1695 rpm, $\cos \phi = 0,81$, 4 polos, clase B, han sido evaluados en un laboratorio de máquinas eléctricas con el fin de obtener sus parámetros eléctricos (Torque, Potencia útil, velocidad, eficiencia, factor de potencia), para ello se realizaron los siguientes ensayos: vacío, rotor bloqueado, y por último la prueba de carga, todo esto es parte de un capítulo del informe.

Un segundo paso el motor Jaula de Ardilla original se rebobinó para obtener las nuevas condiciones de tensión 380 conexión Y y 220 conexión Δ . Sin variar su potencia y manteniendo el número de polos, aquí nuevamente se procedió a evaluar sus parámetros eléctricos procediendo igual que para el motor antes rediseñado.

Para el procedimiento y evaluación del motor Jaula de Ardilla, se contó con un banco de pruebas del laboratorio de máquinas eléctricas, apoyándose en instrumentos digitales de alta precisión (0,2), Torquímetro e instrumentos auxiliares.

Por último, como herramienta informática, el Matlab, que permitió simular y comparar con la data real y muestra gráfica necesaria para la evaluación del motor.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	01
CAPITULO I	
FUNDAMENTO TEORICO	03
1.1. Definición	03
1.2. Aspectos Constructivos	03
1.3. Principio de Funcionamiento	04
1.3.1. Arranque, vacío y trabajo con carga	05
1.4. Circuito equivalente del Motor de Inducción	06
1.4.1. Circuito Equivalente Aproximado	11
1.4.2. Determinación Experimental de los Parámetros del circuito equivalente	12
1.5. Ensayos a realizar	13
1.5.1. Medición de la resistencia óhmica de los devanados del estator	13
1.5.2. Prueba de Vacío	14
1.5.3. Prueba de Rotor Bloqueado	17
1.5.4. Prueba de Carga	20

CAPITULO II

ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

EN EL MOTOR ORIGINAL	22
2.1. Ensayos en el Motor Jaula de Ardilla	22
2.1.1. Datos de Placa del Motor	22
2.1.2. Resultados de las Mediciones de la Resistencia Óhmica de los Devanados del Estator	23
2.1.3. Mediciones de la Prueba en Vacío	23
2.1.4. Mediciones de la Prueba a Rotor Bloqueado	24
2.1.5. Mediciones la Prueba con Carga en el Eje	24
2.2. Simulación de Datos usando MATLAB para obtener los parámetros del motor	25
2.2.1. Cálculo del Circuito Equivalente (véase Anexo C programa)	25
2.2.2. Cálculo de los Parámetros Eléctricos para un determinado deslizamiento, (véase Anexo C programa)	26
2.2.3. Cálculo de los Parámetros Eléctricos, con datos de la prueba con carga, (véase Anexo C programa)	27
2.2.4. Cálculo de los Parámetros Eléctricos usando el Diagrama del Círculo (véase Anexo C programa)	32

CAPITULO III**ANALISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL**

MOTOR REDISEÑADO A 220V, CONEXIÓN TRIANGULO	36
3.1 Ensayos en el Motor Jaula de Ardilla	36
3.1.1 Datos de Placa del Motor (Supuestos)	36
3.1.2 Resultados de las Mediciones de la Resistencia Óhmica de los Devanados del Estator	37
3.1.3 Mediciones de la Prueba en Vacío	37
3.1.4 Mediciones de la Prueba a Rotor Bloqueado	38
3.1.5 Mediciones la Prueba con Carga en el Eje	38
3.2 Simulación de Datos usando MATLAB para obtener los parámetros del motor.	39
3.2.1 Cálculo del Circuito Equivalente, (véase Anexo C programa).	39
3.2.2 Cálculo de los Parámetros Eléctricos para un determinado deslizamiento, (véase Anexo C programa)	40
3.2.3 Cálculo de los Parámetros Eléctricos, con datos de la prueba con carga, (véase Anexo C programa).	41
3.2.4 Cálculo de los Parámetros Eléctricos usando el Diagrama del Círculo	47

CAPÍTULO IV**ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN**

EL MOTOR REDISEÑADO A 380 V, CONEXIÓN ESTRELLA	51
4.1 Ensayos en el Motor Jaula de Ardilla	52
4.1.1 Datos de Placa del Motor (Supuestos)	52
4.1.2 Resultados de las Mediciones de la Resistencia Óhmica de los Devanados del Estator.	52
4.1.3 Mediciones de la Prueba en Vacío	53
4.1.4 Mediciones de la Prueba a Rotor Bloqueado	53
4.1.5 Mediciones la Prueba con Carga en el Eje	54
4.2 Simulación de Datos usando MATLAB para obtener los parámetros del motor.	54
4.2.1 Cálculo del Circuito Equivalente (véase Anexo C programa)	55
4.2.2 Cálculo de los Parámetros Eléctricos para un determinado deslizamiento (véase Anexo C programa)	56
4.2.3 Cálculo de los Parámetros Eléctricos, con datos de la prueba con carga (véase Anexo C programa)	57
4.2.4 Cálculo de los Parámetros Eléctricos usando el Diagrama de Círculo.	62
CONCLUSIONES	66
ANEXOS	83

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

En el laboratorio de Electricidad y Máquinas Eléctricas, se llevan a cabo los ensayos necesarios para afianzar y reforzar el conocimiento de los cursos teóricos de Electricidad y Máquinas Eléctricas, dichos ensayos son realizados por los alumnos que participan en diferentes proyectos, tesis y todo aquel que solicite y necesite el uso de equipos, máquinas y accesorios del laboratorio.

El equipamiento básico consta de cinco mesas de trabajo, cada una equipada para distintos ensayos y con un sistema de fuentes de alimentación de las siguientes características: Fuente fija de 220VAC, fuente constante de 380VAC, fuente variable de 0 a 400VAC, fuente constante de 190VDC y fuente variable de 0 a 230VDC.

El laboratorio cuenta con un motor Jaula de Ardilla de 2,4 H.P., 220 YY / 440 Y volt, 7,4 / 3,9 A y 1695 rpm, que como observamos por las condiciones de la fuente de alimentación, siempre tendremos que utilizarlo con la tensión variable, y como el laboratorio cuenta con una sola fuente de tensión variable ello significa un inconveniente para otra experiencia que requiera de esta fuente en ese momento, al que se suma la imposibilidad de usar la conexión del motor en simple estrella (Y 440V), y ciertas condiciones de trabajo para usar la fuente de 380V que origine la sobrecarga de la máquina con el probable y sensible problema sobre su rendimiento.

Por lo expuesto es que se ha elaborado el presente informe sobre el motor con el fin de obtener sus parámetros eléctricos, sometiéndolo a las pruebas respectivas de vacío, rotor bloqueado y con carga, para posteriormente rediseñarlo (nuevo

bobinado) con el fin de obtener el motor para las condiciones de la fuente de alimentación del laboratorio (220 V / 380 V volt).

Esto sin variar potencia, número de polos. Con el motor rediseñado procederemos a obtener nuevamente sus parámetros eléctricos del motor, realizando los ensayos antes mencionados. Aplicando el Matlab como herramienta de evaluación y calcular el circuito equivalente para diferentes valores de deslizamiento.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEORICO

1.1 Definición

Se llaman máquinas asíncronas a las máquinas de corriente alterna cuya velocidad de giro N es diferente de la velocidad de sincronismo N_s .

Al igual que otras máquinas eléctricas, estas pueden funcionar como motor o generador aunque su aplicación mas difundida es como motor, denominado en este caso también motor de inducción.

En la actualidad el motor de inducción trifásico es el más utilizado en la industria debido a su robustez, larga vida, facilidad de operación y bajo costo.

1.2 Aspectos Constructivos

El motor de Jaula de Ardilla que tratamos en el presente informe está constituido por:

- Un paquete magnético estatórico (o corona estatórica) formado por láminas magnéticas de acero de 0,35 a 0,5 mm de espesor aislados entre sí, ranuras interiores y convenientemente presentadas y sujetas a una carcaza de fierro fundido o aluminio. En este paquete magnético se encuentra distribuido el devanado polifásico.
- Un paquete magnético rotórico (o corona magnética) formado por laminas magnéticas apiladas directamente sobre el eje, dicho paquete cuenta con ranuras exteriores en los que va alojado un devanado polifásico de las siguientes características:
 - En el rotor bobinado, este devanado es similar al del estator y es normalmente de doble capa, cuyos terminales van conectados a unos anillos de bronce.

- En el rotor de jaula de ardilla, las ranuras están ocupadas con barras de aluminio, cobre o bronce, cortocircuitados en sus extremos a unos anillos del mismo material.

El aislamiento es la parte no conductora del motor, su función es resistir la exigencia térmica que produce la corriente e impedir que esta fluya del conductor al paquete magnético, a esta propiedad se le denomina rigidez dieléctrica. Por lo tanto un buen aislamiento es aquel que logra mantener una alta rigidez dieléctrica por un largo periodo de tiempo.

Existen diversas clases de materiales para el aislamiento de motores, los cuales se eligen de acuerdo a la máxima temperatura que puede presentarse en el motor.

El entrehierro es el espacio libre que existe entre el estator y el rotor y debe ser lo mas pequeño posible para conseguir una alta reactancia magnetizante y así limitar la potencia reactiva absorbida por el motor y otros factores como son el ruido.

1.3 Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento del motor de inducción trifásico se basa en el concepto de campo giratorio. Las corrientes que circulan por las tres fases del estator forma un campo magnético giratorio que es de magnitud constante y gira a una velocidad angular uniforme, este campo magnético giratorio al cortar a los conductores del rotor induce en estas tensiones, debido a que el rotor esta en cortocircuito las tensiones inducidas crean corrientes rotóricas que circulan en el rotor. De acuerdo a la Ley de Lenz la dirección de la corriente tiende a oponerse a la variación del flujo magnético.

Como la variación del flujo es debido a la rotación, las corrientes inducidas se oponen al giro del campo establecido por el estator. Así las corrientes rotóricas establecen una f.m.m. giratoria la cual reacciona con la f.m.m. giratoria estática produciendo un par de giro sobre el rotor cuyo sentido será el del campo magnético giratorio estático. Todo este proceso de conversión de energía se realiza en el entrehierro.

1.3.1 Arranque, Vacío y Trabajo con Carga

Cada vez que el motor es arrancado y puesto en marcha siempre desarrolla las mismas características naturales de torque y corriente en función de la velocidad de giro, sin embargo, debe distinguirse tres casos de arranque:

- a) Cuando el motor arranca en vacío, es decir, sin carga mecánica acoplada al eje. Evidentemente, estas son las mejores condiciones para la puesta en marcha del motor por cuanto el arranque se produce rápidamente en vista de la ausencia de torque resistente.
- b) Cuando el motor arranca con carga, la cual puede ser ligera, plena o incluso una sobrecarga. Las condiciones para la puesta en marcha son tanto más difíciles. El motor se tardará cada vez más en accionar la respectiva carga. El torque y la corriente de arranque es el mismo para cualquier carga; así mismo, el tiempo que dura la puesta en marcha aumenta con la carga y los tiempos largos de arranque contribuyen al recalentamiento de la maquina poniendo en peligro la vida del aislamiento.
- c) Por último, los continuos arranques y paradas del motor en el accionamiento del tipo intermitente ocasionan que el motor trabaje en las regiones de velocidades bajas, donde precisamente las corrientes son elevadas con el consiguiente recalentamiento de la máquina al no darle tiempo para que se enfríe.

Cuando el motor trabaja en vacío alcanza la mayor velocidad posible, la cual no llega a la velocidad de sincronismo. En la región de trabajo normal, luego que el motor fue puesto en marcha, el torque del motor se equilibra con el torque resistente de la carga. Conforme va aumentando la carga del motor va disminuyendo en forma proporcional su velocidad hasta alcanzar la nominal con una carga plena.

El motor también puede trabajar sobrecargado en periodos de tiempo de corta duración, el máximo especificado por el fabricante para el tipo del motor. Las sobrecargas duraderas producen recalentamiento de la máquina.

Velocidad Síncrona

Se denomina velocidad síncrona (N_s) a la velocidad del campo magnético giratorio del estator, la cual se deduce en función a la frecuencia (f) y del número de polos (p):

$$N_s = \frac{120f}{p} \text{ (rpm)} \quad (1,1)$$

El Deslizamiento

Como las frecuencias de las cantidades eléctricas son proporcionales a las velocidades relativas de los campos con respecto a sus respectivos devanados, se tendrá que:

$$\frac{f_r}{N_s - N} = \frac{f}{N_s} \quad (1,2)$$

$$f_r = \frac{N_s - N}{N_s} f = sf \quad (1,3)$$

El valor importante $s = (N_s - N)/N_s$ se conoce con el nombre de deslizamiento y es muy importante para el estudio de la máquina asíncrona; de esta relación se obtiene:

$$N = N_s(1 - s) \quad (1,4)$$

Para que haya producción de torque a cualquier velocidad del rotor es necesario que los campos giratorios del rotor y estator se desplacen a la misma velocidad, excepto cuando el rotor alcanza la velocidad síncrona por cuanto, al no haber movimiento relativo entre el campo giratorio del estator y el rotor no se inducen f.e.m. en el rotor. Esta es la gran diferencia con respecto a las máquinas síncronas en las que solo se produce torque a la velocidad de sincronismo.

1.4 Circuito Equivalente del Motor de Inducción

El circuito equivalente constituye la herramienta más útil para estudiar el funcionamiento del motor de inducción, así como para calcular todos los parámetros relacionados, una vez que se han determinado las constantes del circuito.

El circuito equivalente tiene ventajas innegables si se compara con otros métodos, ya que permite visualizar con toda claridad la forma en que se interrelacionan las reactancias y las resistencias del estator y rotor, y cómo afectan el comportamiento del motor. Por otra parte, el circuito constituye una base ideal para realizar el cálculo sistematizado de todos los valores que definen el funcionamiento del motor en cualquiera de las etapas de operación: arranque, plena carga, marcha en vacío o sin carga.

Con frecuencia se compara el motor de inducción con un transformador, con base en el hecho de que las corrientes en el secundario o rotor son inducidas, pero no debe perderse de vista que no lo son por la variación cíclica del voltaje aplicado, como ocurre en un transformador, sino por la acción de un campo magnético rotatorio que no cambia de magnitud. Sin embargo, lo que se conoce como circuito equivalente es prácticamente el mismo que el de un transformador, con la salvedad que la impedancia de la carga ha sido sustituida por una resistencia variable, como se muestra en la fig. 1.1:

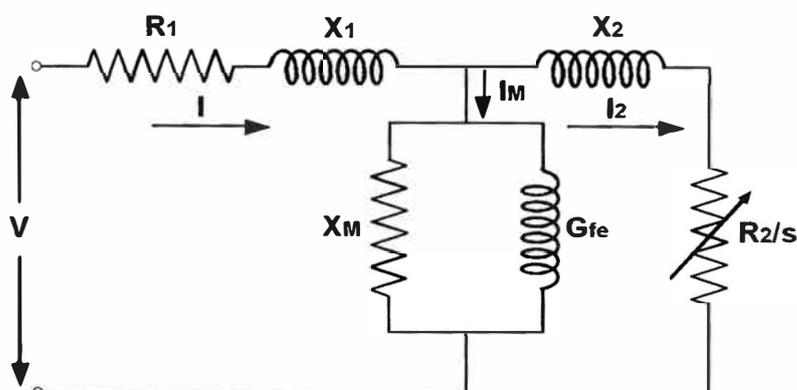


Fig. 1.1: Circuito equivalente de un motor de inducción

Donde:

V : tensión aplicada al motor

I : corriente de línea que circula por el estator

- R_1 : resistencia del devanado del estator
- X_1 : reactancia local (o de dispersión) del estator
- I_M : corriente magnetizante
- X_M : reactancia de magnetización
- G_{fe} : conductancia que representa las pérdidas en el hierro.
- X_2 : reactancia local (o de dispersión) del rotor referida al estator
- R_2 : resistencia del devanado del rotor
- S : deslizamiento
- I_2 : corriente que circula por la resistencia R_2 del rotor

La rama magnetizante puede sustituirse por una resistencia y una reactancia en serie equivalentes para simplificar el circuito.

La primera suposición en que se basa el circuito equivalente es que el voltaje, la potencia y la corriente en cada fase son iguales de manera que una fase puede representar a todo el motor.

Si la máquina está conectada en delta, en el circuito se representa el valor de una fase de la estrella equivalente; (V) representa el voltaje al neutro; (I), la corriente de línea que circula por el estator, ocasionando una caída de voltaje $I (R_1 + j X_1)$; I_M es también la corriente magnetizante; I_2 es la corriente que circula por la resistencia R_2 del rotor. El flujo de la energía que se transmite podría representarse como sigue:

Potencia de Entrada

Pérdidas en el cobre del estator

Pérdidas en el hierro

Potencia transferida al entrehierro

Potencia de entrada al rotor

Pérdidas en el rotor

Potencia de salida

Examinado el circuito puede verse que la potencia de entrada al rotor es equivalente a la potencia disipada en la resistencia R_2/s ; es decir,

$$\text{Potencia de entrada al motor} = PER = \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 \quad (\text{por fase})$$

$$PER = 3 \cdot \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 \quad (\text{para las 3 fases}) \quad (1,4)$$

Y como las pérdidas totales en el rotor están dadas por:

$$PTR = 3 \cdot R_2 \cdot I_2^2 \quad (1,5)$$

La potencia de salida sería el resultado de restar la ecuación (1,5) de la (1,4); es decir,

$$PS = 3 \cdot \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 - 3 \cdot R_2 \cdot I_2^2 \quad (1,6)$$

Reagrupando los términos nos queda la expresión:

$$PS = 3 \cdot \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 \cdot (1 - s) \quad (1,7)$$

El torque se puede representarse como T, y la velocidad como n (en revoluciones por minuto, rpm), de modo que la potencia de salida será:

$$PS = \frac{T \cdot n}{K} \quad (1,8)$$

Donde K es una constante dimensional que depende de las unidades de T. Igualando las expresiones (1,7) y (1,8) se obtiene:

$$\frac{T \cdot n}{K} = 3 \cdot \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 \cdot (1 - s) \quad (1,9)$$

Despejando el torque de la expresión (1,9) queda lo siguiente:

$$T = \frac{K}{n} \cdot 3 \cdot \frac{R_2 \cdot I_2^2}{s} \cdot (1-s) = \frac{K}{n/(1-s)} \cdot 3 \cdot \frac{R_2 \cdot I_2^2}{s} \quad (1.10)$$

Como $n / (1 - s)$ es la velocidad síncrona del motor, n_s , se tiene finalmente:

$$T = \frac{K}{n_s} \cdot 3 \cdot \frac{R_2 \cdot I_2^2}{s} \quad (1.11)$$

Por otro lado, comparando las expresiones (1,4) y (1,5), puede apreciarse que:

$$PTR = s \cdot PER \quad (1.12)$$

Lo que equivale a decir que las pérdidas en el rotor son iguales al deslizamiento multiplicado por la potencia que entra al rotor; esto confirma que no es conveniente trabajar con un deslizamiento elevado, pues de este modo las pérdidas se incrementan.

Es oportuno ahora regresar al circuito equivalente para examinarlo en forma cualitativa bajo ciertas condiciones de funcionamiento. En el arranque, el deslizamiento tiene el valor de 1, por lo que R_2/s tiene su valor mínimo y su magnitud es comparable a la reactancia X_2 ; de este modo la corriente en el circuito del rotor será alta y su factor de potencia será bajo.

En operación normal R_2/s es mayor que en el arranque, si el deslizamiento vale un 3%, R_2/s será 33 veces más que en el arranque, de modo que el circuito del rotor se volverá notablemente resistivo y su factor de potencia será comparativamente alto.

El par máximo ocurre aproximadamente a un deslizamiento tal que R_2/s tenga el mismo valor numérico que la impedancia:

$$\sqrt{R_1^2 - (X_1 + X_2)^2}$$

Lo cual sólo puede suceder a un deslizamiento elevado. Si este deslizamiento fuera por ejemplo del 16%, R_2/s valdría sólo seis veces más que en condiciones de rotor bloqueado, por lo que la corriente sería elevada y el factor de potencia bajo, debido a las razones ya expuestas.

En condiciones de marcha sin carga, el deslizamiento sería menor, y por tanto, R_2/s tendría un valor muy alto, lo que permite considerar que el circuito del rotor está abierto y sólo circula corriente por el estator. Como la reactancia $X_1 + X_M$ es mucho mayor que R , la corriente de marcha libre tendrá por necesidad un factor de potencia muy reducido.

1.4.1 Circuito Equivalente Aproximado

El cálculo puede realizarse en forma más expedita, sin pérdida apreciable de precisión, si se utiliza el circuito aproximado de la figura (1.2), en el cual la resistencia que representa las pérdidas en el hierro se ha colocado directamente a la entrada del circuito y su valor es:

$$R_M = \frac{V^2}{P_{Fe}} \quad (1,13)$$

Donde P_{Fe} representa las pérdidas en el hierro. Otra modificación que conviene hacer en este circuito consiste en expresar todos los valores por fase tomando como punto de partida la potencia nominal del motor expresada en watt y definiendo las siguientes expresiones por fase:

P_F : potencia de fase

V_F : voltaje de fase (voltaje por fase)

$$I_F = \frac{P_F}{3 \cdot V_F} \quad \text{corriente de fase}$$

$$Z_F = \frac{V_F}{I_F} \quad \text{impedancia de fase}$$

$$n_F = \frac{120 \cdot f}{P} \text{ velocidad } (f = \text{frecuencia, } p = \text{numero de polos})$$

$$T_F = K \cdot \frac{P_F}{n_F} \text{ torque por fase } (K \text{ constante})$$

Con estas modificaciones es posible realizar un cálculo bastante rápido de las condiciones de operación de un motor si se conocen los valores de las resistencias y reactancias que deben insertarse en el circuito, y cuya determinación experimental se presenta más adelante.

Es necesario destacar que las “constantes” del circuito equivalente no son invariables en realidad, pues dependen de la saturación del circuito magnético y del deslizamiento, lo cual debe tenerse presente al desarrollar un programa completo de cálculo, figura 1.2.

1.4.2 Determinación Experimental de los Parámetros del circuito equivalente

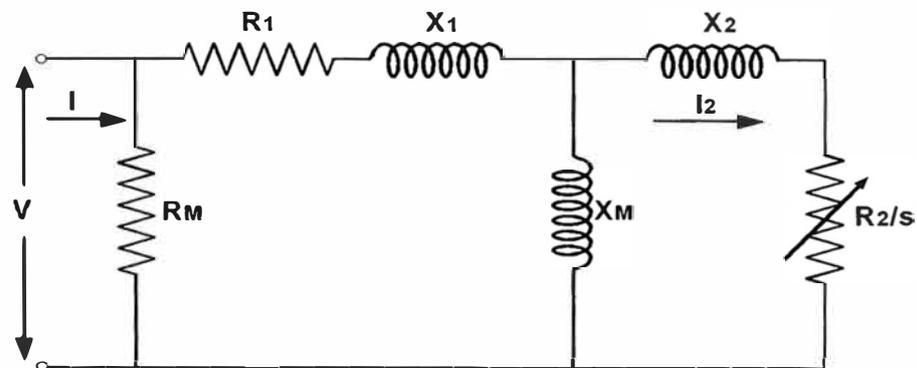


Fig. 1.2: Circuito equivalente aproximado del motor de inducción

Los valores que deben insertarse en el circuito para evaluar el comportamiento del motor en cualquier condición pueden obtenerse básicamente por tres pruebas similares a las correspondientes en el caso de un transformador:

- a) Medición de la resistencia óhmica del devanado.

- b) Medición de la corriente y la potencia en vacío, de preferencia a varios valores de voltaje.
- c) Medición de la corriente y la potencia a rotor bloqueado

1.5. Ensayos a Realizar

1.5.1 Medición de la resistencia óhmica de los devanados del estator

El primer paso de la práctica consistirá en medir la resistencia estatórica de los devanados del estator, por los métodos ya mencionados en las prácticas anteriores. Para ello se tendrá en cuenta la bornera de conexiones (caja de conexiones) del motor, si tienen disponible los terminales por fase o están conectados en estrella o triángulo. Para tomar en consideración las posibles variaciones entre las fases, es conveniente medir la resistencia entre los tres pares de terminales y obtener el valor promedio de las tres mediciones.

Si la conexión del estator es en estrella (figura 1.3a), la resistencia por fase será la mitad del valor medido. Si la conexión del estator es en delta, la medición entre terminales corresponderá a la de una fase en paralelo con los dos restantes (figura 1.3b), por lo que la resistencia por fase será en este caso 1,5 veces el valor medido, también los tres pares de terminales se puede conectar en serie (figura 1.3c).

Es necesario también medir la temperatura ambiente a la cual debe haber estado expuesto el motor. Con este valor de temperatura es posible corregir el valor de resistencia a la temperatura de operación del motor.

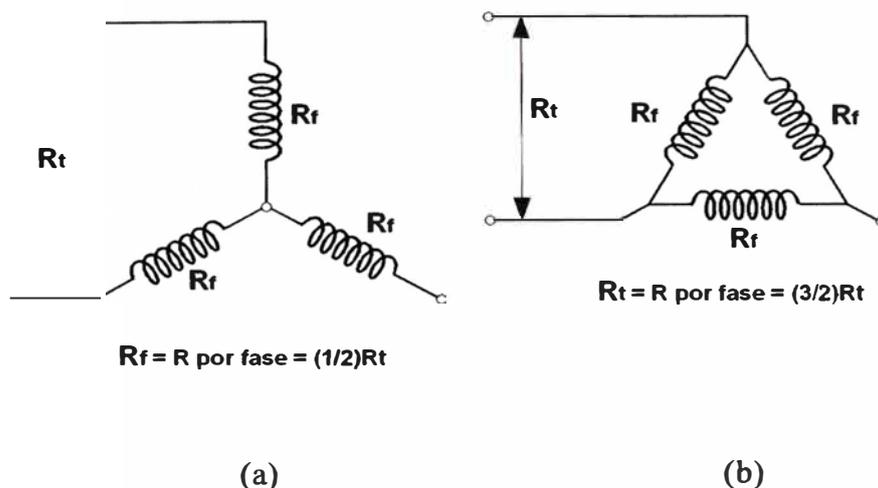


Fig. 1.3a: Medición de la resistencia del estator en (Y). Fig. 1.3b: Medición en (Δ)

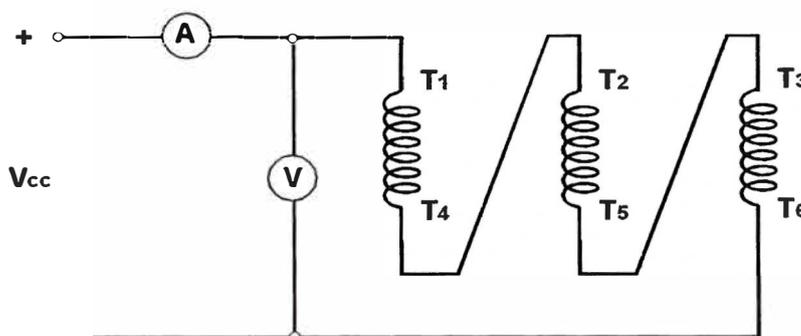


Fig. 1.3c: Medición de la resistencia del estator método voltímetro / amperímetro

Los valores de resistencia y temperatura medidos se anotan en la tabla 1 (véase anexo).

1.5.2 Prueba en Vacío

Este método se realizó basándose en la Norma NTP-IEC 60034-2:2002 Máquinas eléctricas rotativas parte 2: Método para la determinación de las pérdidas y la eficiencia de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción) y métodos de ensayo aceptado por la misma.

Con respecto a las características de los instrumentos utilizados véase el anexo B.

En esta prueba el eje del motor no debe tener ninguna carga mecánica. Se aplica una tensión nominal a frecuencia nominal al estator de tal modo, que el motor gire sin carga. Se toman las medidas de tensión, corriente y potencia del estator.

Debido al bajo valor de deslizamientos en vacío, la resistencia dinámica es tan alta, que la corriente del rotor en vacío es despreciable.

Para la prueba de vacío de un motor trifásico, los instrumentos de medición se colocan en la forma indicada en la figura 1.4:

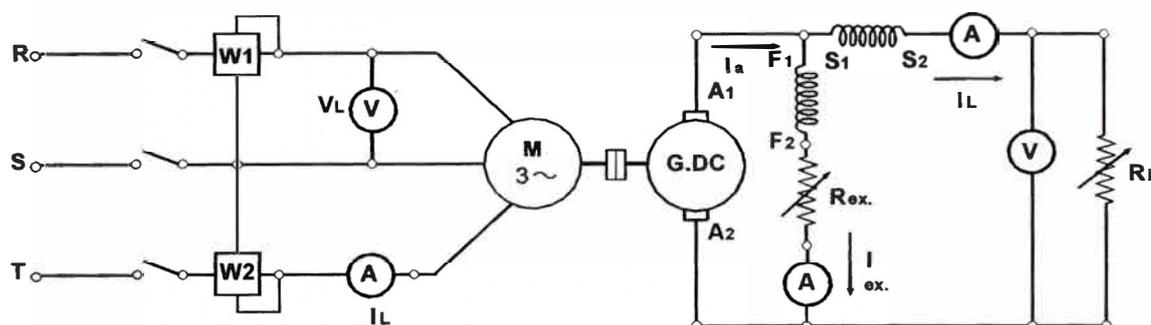


Fig. 1.4: Diagrama circuitual de un motor jaula de ardilla y un generador DC Tipo compuesto

Donde:

V_0 : Tensión de línea (V)

I_0 : Corriente de línea (A)

P_0 : Potencia de pérdidas totales en el hierro (W)

R_{eq} : Resistencia equivalente monofásico del estator (Ω)

Los valores medidos se anotan en la tabla 2 (véase anexo).

Es posible trazar una gráfica de la tensión aplicada y la potencia de pérdidas. De tal gráfica puede deducirse el valor de las pérdidas mecánicas, y una vez conocidas éstas, se pueden evaluar las pérdidas magnéticas (en el hierro) por diferencia:

$$P_{Fe} = \text{Pérd. Magnéticas} = (\text{Pot. sin Carga}) - (\text{Perd. Mec.}) - (\text{Pérd. Elec. en el estator})$$

Como las pérdidas magnéticas se suponen constantes, el valor de la resistencia que se usará para representarlas en el circuito equivalente es:

$$R_M = \frac{1}{P_{Fe}/P_F} \quad (\text{por fase}) \quad (1.14)$$

Por su parte, el cociente de las lecturas de voltaje nominal y corriente sin carga corresponde de manera aproximada al valor de la reactancia en vacío, de la cual es posible deducir la reactancia de magnetización restándole X_1 cuando se obtenga su valor. Con base en la figura 4:

$$X_{ev} = \frac{V}{I_{ev}} \quad (1.15)$$

$$X_M = X_{ev} - X_1 \quad (1.16)$$

Donde el subíndice ev significa en vacío.

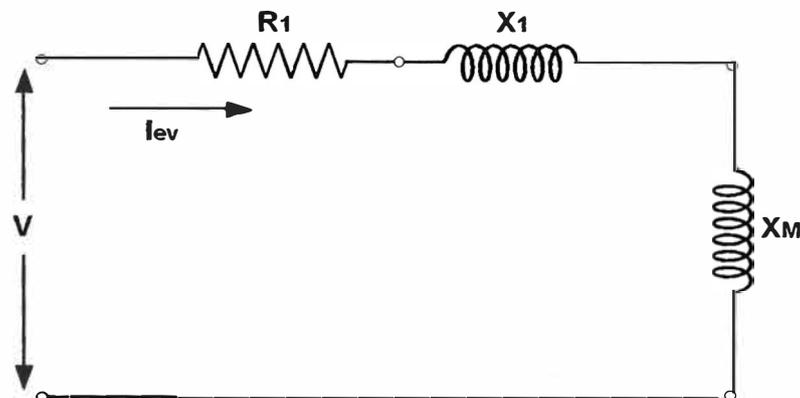


Fig. 1.5: Circuito equivalente aproximado para operación en vacío

1.5.3 Prueba de Rotor Bloqueado

Se aplica al estator una tensión reducida a la frecuencia nominal. Estando el rotor bloqueado. La tensión se ajusta para producir aproximadamente una corriente nominal.

Para la prueba de rotor bloqueado del motor trifásico jaula de ardilla se representa el circuito eléctrico con los instrumentos de medición colocados en la forma que aparece en la figura 1.6.

Donde será:

V_{cc} : Tensión de línea reducida a rotor bloqueado (V)

I_{cc} : Corriente de línea reducida a rotor bloqueado (A)

P_{cc} : Potencia de pérdidas totales en el cobre (W)

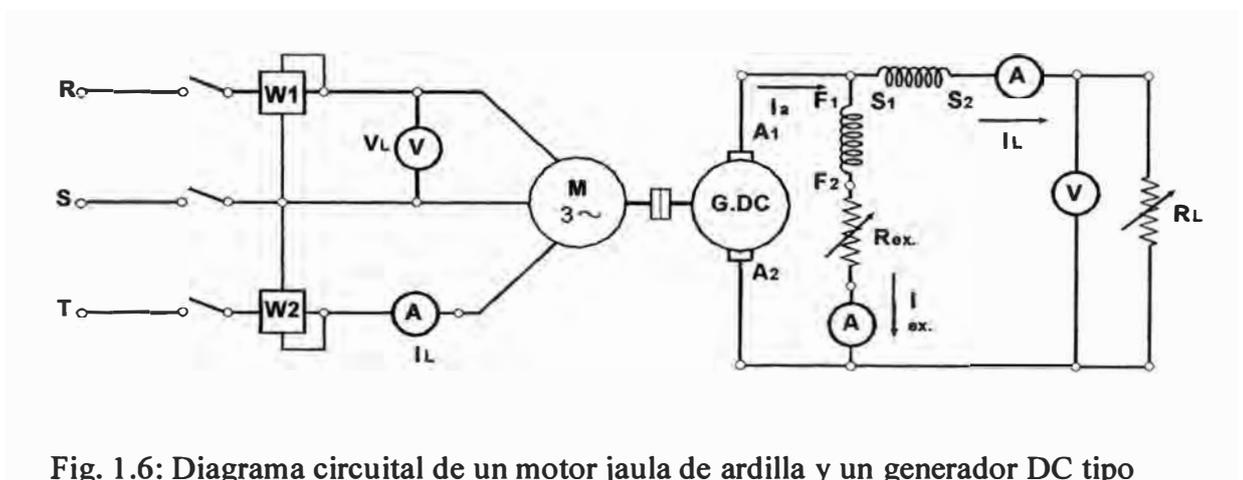


Fig. 1.6: Diagrama circuital de un motor jaula de ardilla y un generador DC tipo compuesto

Los valores medidos se anotan en la tabla 3 (véase anexo).

En teoría, si se supone que X_M es mucho mayor que $X_1 + X_2$, es posible calcular el valor de la reactancia de dispersión conjunta del estator y el rotor a partir de las lecturas de potencia (watt) y corriente (ampere) a rotor bloqueado conforme a la ecuación (1,17).

$$X_1 + X_2 = \sqrt{\left(\frac{V}{I_{rb}}\right)^2 - \left(\frac{W_{rb}}{I_{rb}^2}\right)^2} \quad (1,17)$$

Donde V es el voltaje aplicado por fase, W_{rb} son los watt por fase a rotor bloqueado, e I_{rb} es la corriente.

Sin embargo, debido a la saturación de las trayectorias magnéticas, el valor de $X_1 + X_2$ así calculado sólo sería aplicable a las condiciones de rotor bloqueado, y no podría utilizarse en el circuito para otro punto de la curva de operación.

De las lecturas a rotor bloqueado puede calcularse también el valor de la resistencia del rotor, R_2 , conforme a la expresión:

$$R_2 = \frac{W_{rb}}{I_{rb}^2} - R_1 \quad (1,18)$$

Nuevamente, debe hacerse notar que el valor de R_2 así obtenido sólo correspondería a las condiciones de arranque, debido a las diferencias en la distribución de la corriente en las barras del rotor entre dichas condiciones y las de operación normal.

La norma IEEE 112 (de Estados Unidos) establece que la prueba a rotor bloqueado debe hacerse con frecuencia reducida, que no exceda del 25% de la frecuencia de línea y aplicando un voltaje ajustado de tal modo que la corriente a rotor bloqueado sea la misma. En estas condiciones la ecuación (12) pasa a ser:

$$X_1 + X_2 = \frac{f}{V_{prueba}} \sqrt{\left(\frac{f_{prueba}}{I_{rb}}\right)^2 - \left(\frac{W_{rb}}{I_{rb}^2}\right)^2} \quad (1,19)$$

Donde V_{prueba} y f_{prueba} serían el voltaje y la frecuencia utilizados. Como es necesario efectuar una separación de la reactancia total de dispersión en sus dos componentes, X_1 y X_2 , y esto no puede hacerse en forma experimental, se acostumbra a dividir el

valor $X_1 + X_2$ conforme a las proporciones siguientes, basadas también en la norma IEEE 112:

Para motores de diseño A:

$$\frac{X_1}{X_2} = 1 \quad (1.20)$$

Para motores de diseño B:

$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{2}{3} \quad (1.21)$$

Para motores de diseño C:

$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{3}{7} \quad (1.22)$$

Para motores de diseño D:

$$\frac{X_1}{X_2} = 1 \quad (1.23)$$

La norma IEEE 112 proporciona un método iterativo para obtener un valor exacto de R_2 utilizando para el cálculo el propio circuito equivalente.

En la práctica, un método que produce resultados muy congruentes con la realidad consiste en efectuar dos pruebas a rotor bloqueado, a una frecuencia nominal y otra al 25% de dicha frecuencia, y utilizar los valores $X_1 + X_2$ y de R_2 de la primera prueba a fin de calcular las condiciones de arranque, y los valores obtenidos de la segunda prueba para otros puntos de la curva de operación.

En ambos casos es conveniente realizar las lecturas con la mayor rapidez posible ya que está sometido a una corriente muy intensa durante un lapso mayor que en la operación normal.

1.5.4 Prueba de Carga

La carga se logra acoplando al motor un generador de corriente continua que disipa su energía en una resistencia variable. Se realizarán ensayos para intensidades de $25\% I_N$, $50\% I_N$, $75\% I_N$, siendo I_N la corriente nominal.

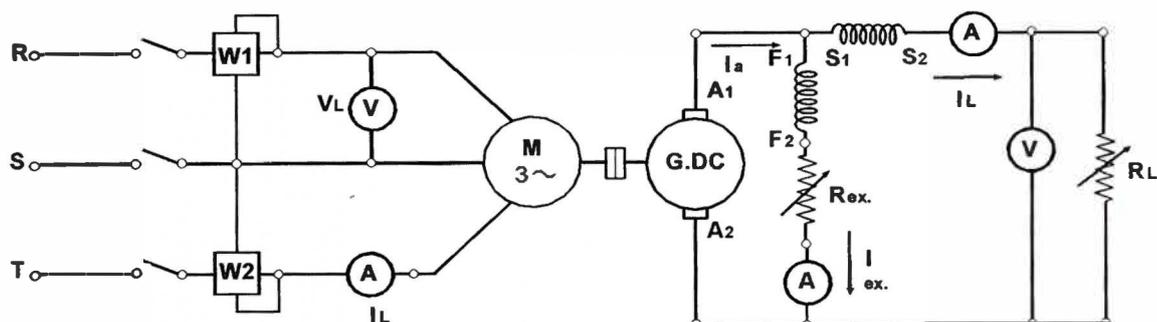


Fig. 1.7: Diagrama circuital de un motor jaula de ardilla y un generador DC tipo compuesto

Los resultados de las mediciones se anotan en la tabla 4 (véase anexo).

Los ensayos tradicionales de vacío y rotor bloqueado aplicados a la máquina de inducción no pueden determinar completamente los seis parámetros del circuito equivalente clásico. Cada uno de estos ensayos puede establecer tan solo dos ecuaciones independientes. Son necesarios ensayos adicionales para la determinación precisa de todos los parámetros. La medida directa de la resistencia de las bobinas del estator elimina una incógnita, pero todavía es necesaria una ecuación adicional. Considerar que las reactancias de dispersión del estator y la del rotor referida al estator son iguales, proporciona una de las aproximaciones más generalizadas. Si se requiere mayor exactitud es necesario realizar alguna prueba adicional tal como el ensayo de la máquina en un punto de operación cercano al nominal.

En cualquier caso, es un buen criterio determinar cada parámetro de aquel ensayo que lo representa o sensibiliza mejor. Los parámetros de la rama de magnetización son protagonistas durante la prueba de vacío. La reactancia de dispersión es la limitante fundamental de la corriente durante el ensayo a rotor bloqueado. La resistencia del rotor es la responsable de la transferencia de potencia y par

electromecánico al eje de la máquina, por esta razón los ensayos en carga y los datos nominales de placa suministran información valiosa sobre este importante parámetro.

CAPITULO II

ANALISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL MOTOR ORIGINAL

El objetivo de estos ensayos es obtener del laboratorio una serie de datos (tablas) para la prueba de vacío, rotor bloqueado y con carga.

Este método directo de ensayo nos permite; para las condiciones nominales de la prueba de vacío, rotor bloqueado; obtener el circuito equivalente aquí nos asistimos del Matlab.

De las prueba con carga tenemos una tabla un Excel con los datos tomados durante el laboratorio, nuevamente nos asistimos del Matlab para obtener datos calculados y compararlos con nuestros datos tomados del laboratorio (véase la tabla de Excel).

A continuación el Matlab nos permite evaluar una serie de gráficos como resultado del ensayo.

Por último a modo de comparación para obtener una mejor evaluación de nuestro ensayo nuevamente el Matlab nos sirve como herramienta de apoyo, aplicando el método indirecto y el diagrama del círculo (véase gráficos y datos obtenidos).

2.1 Ensayos en el Motor Jaula de Ardilla

2.1.1 Datos de Placa del Motor

Motor Jaula de Ardilla

2,4 HP

220YY / 440Y V

1695 rpm

$\text{Cos}\phi = 0,81$

7,4/3,7 A

4 Polos

Clase B

2.1.2 Resultados de las Mediciones de la Resistencia Óhmica de los Devanados del Estator

Con respecto a las características de los instrumentos utilizados véase el anexo B.

Tabla N° 2.1: Resistencia Ohmica

Devanado	Terminales del motor	R (Ω)	R (Ω) 75°C
Estator	1 y 4	1,3	1,5527
	5 y 2	1,3	1,5527
	3 y 6	1,3	1,5527
Temperatura ambiente :			20 °C
Humedad relativa :			95%

2.1.3 Mediciones de la Prueba en Vacío

Tabla N° 2.2: Prueba en Vacío

V ₀ (V)	I ₀ (A)	P ₀ (W)	S ₀ (VA)	Cosφ
5,4	0,80	4,0		
25,6	0,63	6,8		
50,0	1,14	12,0		
80,8	1,94	20,1		
100,0	2,54	26,0		
127,1	3,68	48,0		0,1074

2.1.4 Mediciones de la Prueba a Rotor Bloqueado

Tabla N° 2.3: Prueba de rotor bloqueado

V_{CC} (V)	I_{CC} (A)	P_{CC} (W)	S_{CC} (VA)	Cosφ
7,90	2,0	10,36		
12,10	3,0	24,10		
16,29	4,0	43,04		
20,61	5,1	68,70		
24,10	6,0	94,00		
29,56	7,4	142,00	218,74	0,6491

2.1.5 Mediciones la Prueba con Carga en el Eje

Tabla N° 2.4: Prueba de carga

V (V)	I (A)	P (W)	S (VA)	FP	T (N.m)	N (rpm)
127,4	3,73	123	478	0,25	1	1787
127,4	3,92	200	500	0,39	2	1780
127,4	4,18	270	532	0,50	3	1769
127,4	4,5	339	575	0,59	4	1762
127,4	4,94	420	626	0,67	5	1753
127,4	5,26	500	670	0,74	6	1743
127,4	5,75	552	732	0,75	7	1734
127,4	6,30	636	806	0,78	8	1724
127,4	6,90	718	871	0,81	9	1714
127,4	7,40	783	936	0,83	9,8	1703

2.2. Simulación de Datos usando MATLAB para obtener los parámetros del motor

El procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio para obtener el circuito equivalente y para el cálculo de los parámetros del motor se realiza con un programa desarrollado en MATLAB. Este programa presenta un menú inicial, en el cual se tienen opciones para calcular el circuito equivalente del motor de inducción, también los valores de corriente, tensión, torque, etc. para un determinado deslizamiento, y por último se puede hacer una comparación de los datos de la prueba con carga obtenidos en el laboratorio con los resultados a partir del circuito equivalente, a continuación se muestra el menú inicial del programa:

```
-----
PROGRAMA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS
Y GRÁFICAS REPRESENTATIVAS DEL MOTOR DE INDUCCION
-----
```

Cálculos	Opc.
-----	-----
Calcular Circuito Equivalente	1
Calcular Valores para un s	2
Prueba con carga (C.Equiv - Datos Lab.)	3
Salir	0

Seleccione una opción del menú:

A continuación se realiza el procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio.

2.2.1 Cálculo del Circuito Equivalente (véase Anexo C programa)

```
-----
CALCULO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
-----
```

Datos de la Maquina

```
-----
Nro. de polos: 4
Resistencia : 1.3
```

Prueba en Vacío

```
-----
Potencia      : 48
Corriente     : 3.68
Tensión       : 127.4
Perd. Mec.    : 4
```

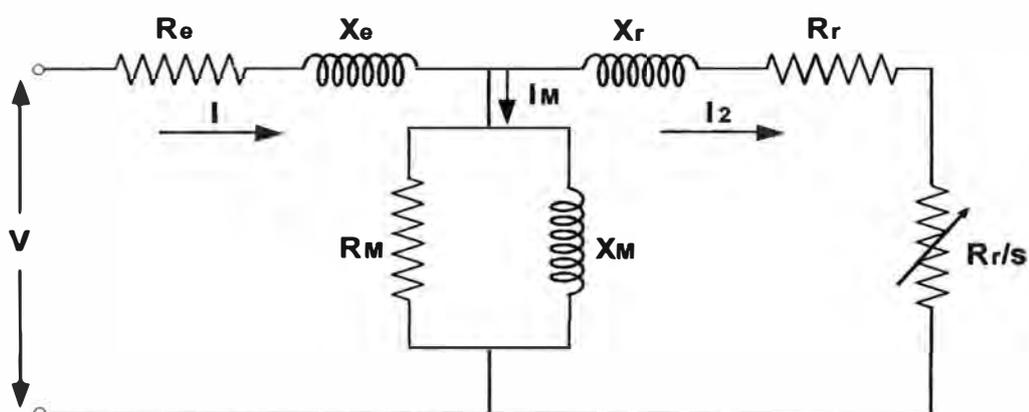
Prueba a Rotor Bloqueado

```
-----
```

Potencia : 142
 Tension : 29.56
 Corriente : 7.4

Circuito Equivalente Calculado

Re : 1.5574
 Xe : 1.5192
 Rm : 622.2341
 Xm : 32.5337
 Rr : 1.0357
 Xr : 1.5192



2.2.2 Cálculo de los Parámetros Eléctricos para un determinado deslizamiento (véase Anexo C programa)

CALCULO DE VALORES PARA UN S

Datos de la Máquina

Deslizamiento : 0.0513

Máquina de Inducción

Deslizamiento s : 0.0513
 Velocidad Asinc. n : 1707.6600
 Torque Electrom. T : 10.1166
 Corriente Estat. Ie: 6.9293
 Corriente Magne. Im: 3.3396
 Corriente Rotor Ir: 5.6110
 Pot. Mecánica Pm: 1809.1009

Tabla 2.5: De la prueba con carga (diferentes valores de deslizamiento)

Vfase	T (N.m)	N (rpm)	s (%)	P2 (W)	efic. (%)
127,4	1	1791,9	0,0045	188,61	0,499
127,4	1,9	1784,88	0,0084	346,86	0,630
127,4	3,1	1773,9	0,0145	584,68	0,710
127,4	4	1766,88	0,0184	730,57	0,734
127,4	4,9	1757,88	0,0234	910,64	0,751
127,4	6	1747,8	0,0290	1103,12	0,760
127,4	7	1738,8	0,0340	1266,88	0,763
127,4	8	1728,72	0,0407	1441,37	0,763
127,4	8,9	1718,82	0,0451	1603,74	0,761
127,4	9,9	1707,66	0,0513	1776,33	0,756

2.2.3 Cálculo de los Parámetros Eléctricos, con datos de la prueba con carga (véase Anexo C programa)

PRUEBA CON CARGA

Datos obtenidos en el Laboratorio

Ingrese los datos obtenidos de la siguiente manera

[V I1 P n T] : [127..

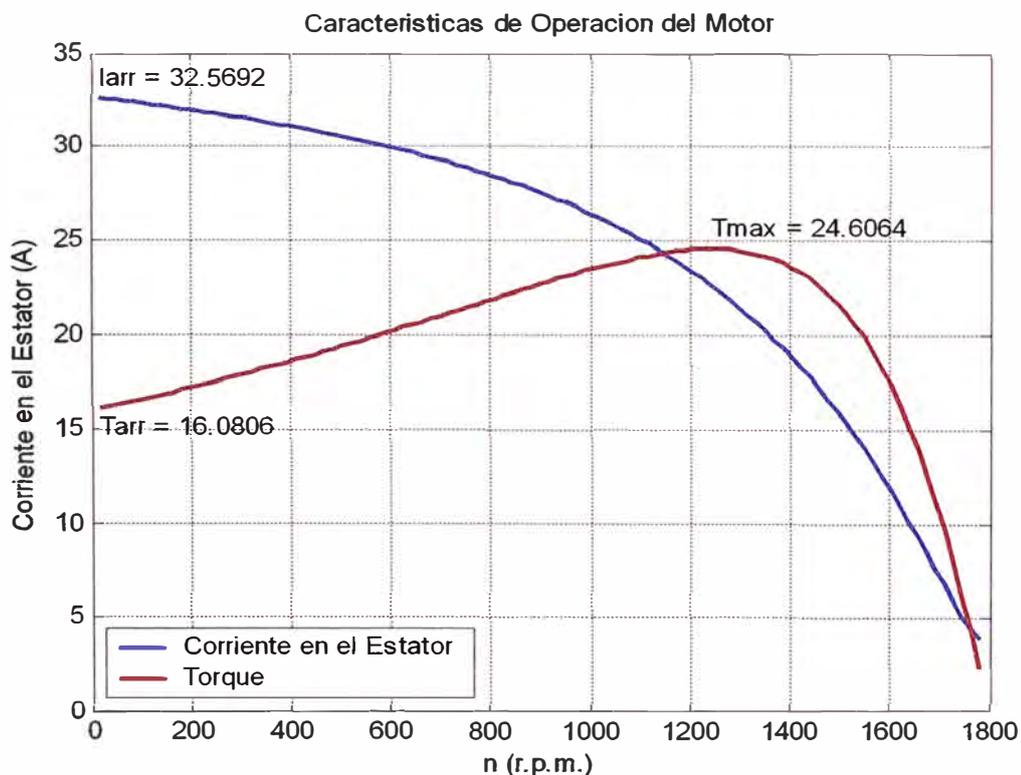
Ingresa la velocidad sincronía en rpm, ns = 1795

V (V)	I_1 (A)	P (W)	n (RPM)	T (N-m)
127.40	7.40	2349.0	1701.0	9.8
127.40	6.90	2154.0	1715.0	9.0
127.40	6.30	1908.0	1722.0	8.0
127.40	5.75	1656.0	1736.0	7.0
127.40	5.26	1500.0	1745.0	6.0
127.40	4.94	1260.0	1751.0	5.0
127.40	4.50	1017.0	1762.0	4.0
127.40	4.18	810.0	1769.0	3.0
127.40	3.92	600.0	1780.0	2.0
127.40	3.73	369.0	1787.0	1.0

Tabla 2.6: Resultados de la simulación (Prueba con carga)

P_i (W)	T (N-m)	P_o (W)	Slip	pf	Eff
2349.00	9.80	1747.71	0.051	0.831	74.40
2154.00	9.00	1615.41	0.045	0.817	75.00
1908.00	8.00	1444.29	0.040	0.792	75.70
1656.00	7.00	1271.09	0.034	0.754	76.76
1500.00	6.00	1095.16	0.029	0.746	73.01
1260.00	5.00	917.87	0.023	0.667	72.85
1017.00	4.00	738.06	0.018	0.591	72.57
810.00	3.00	555.75	0.014	0.507	68.61
600.00	2.00	372.80	0.008	0.400	62.13
369.00	1.00	187.13	0.004	0.259	50.71

Gráficas Obtenidas: Con el apoyo del Matlab a partir de los datos calculados (Circuito equivalente) y los datos medidos y de la prueba con carga, se obtiene los siguientes gráficos



Gráfica 2.1: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad

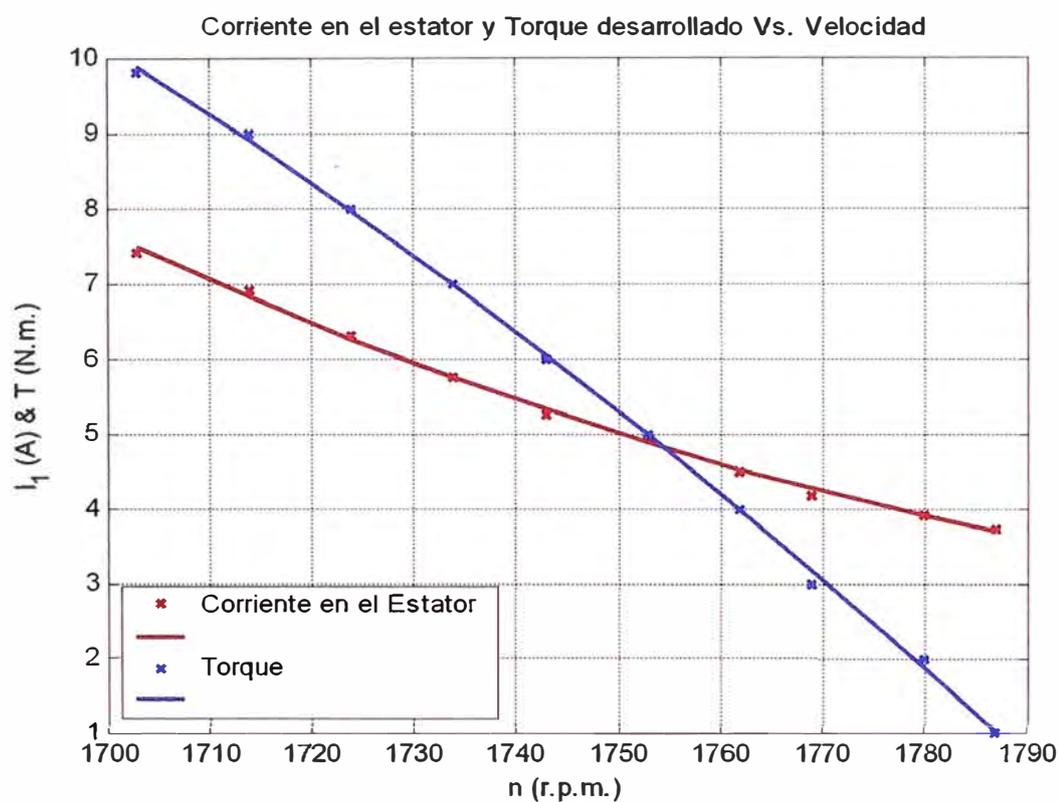
Obteniendo de las graficas los siguientes valores:

I_{arranque} : 32,5692 A

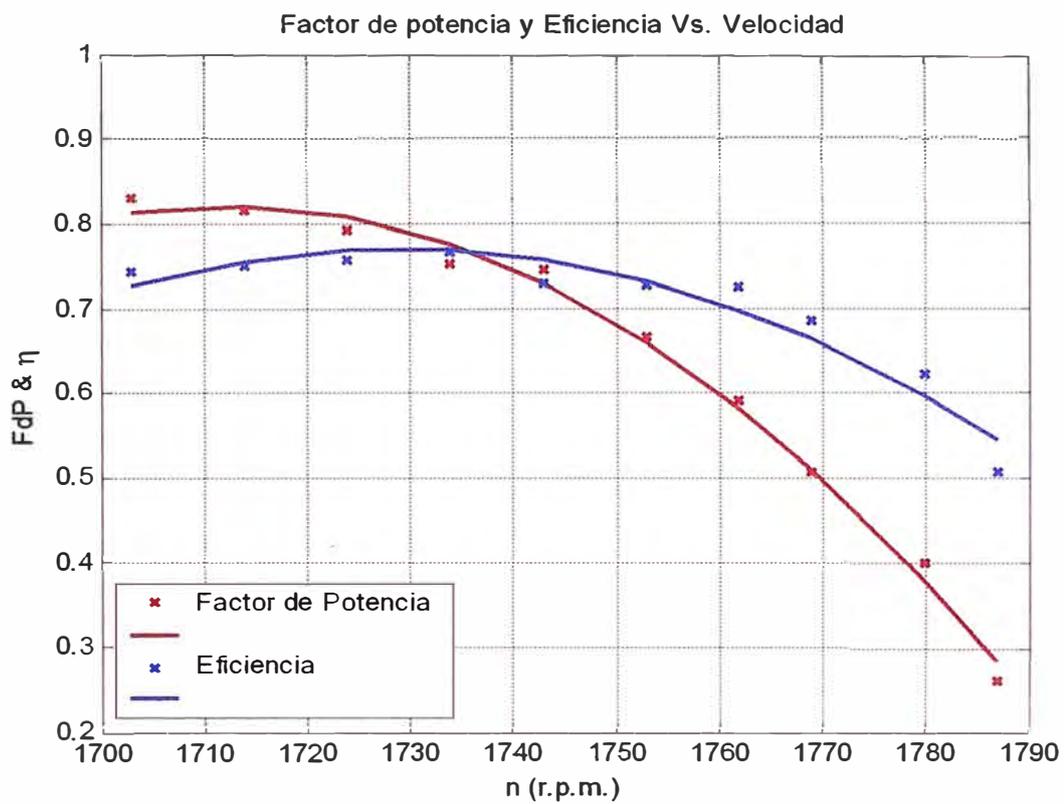
T_{arranque} : 16,00806 N.m

$T_{\text{máximo}}$: 24,6064 N.m

Gráficas Obtenidas de la Prueba con Carga con Valores tomados del Laboratorio:

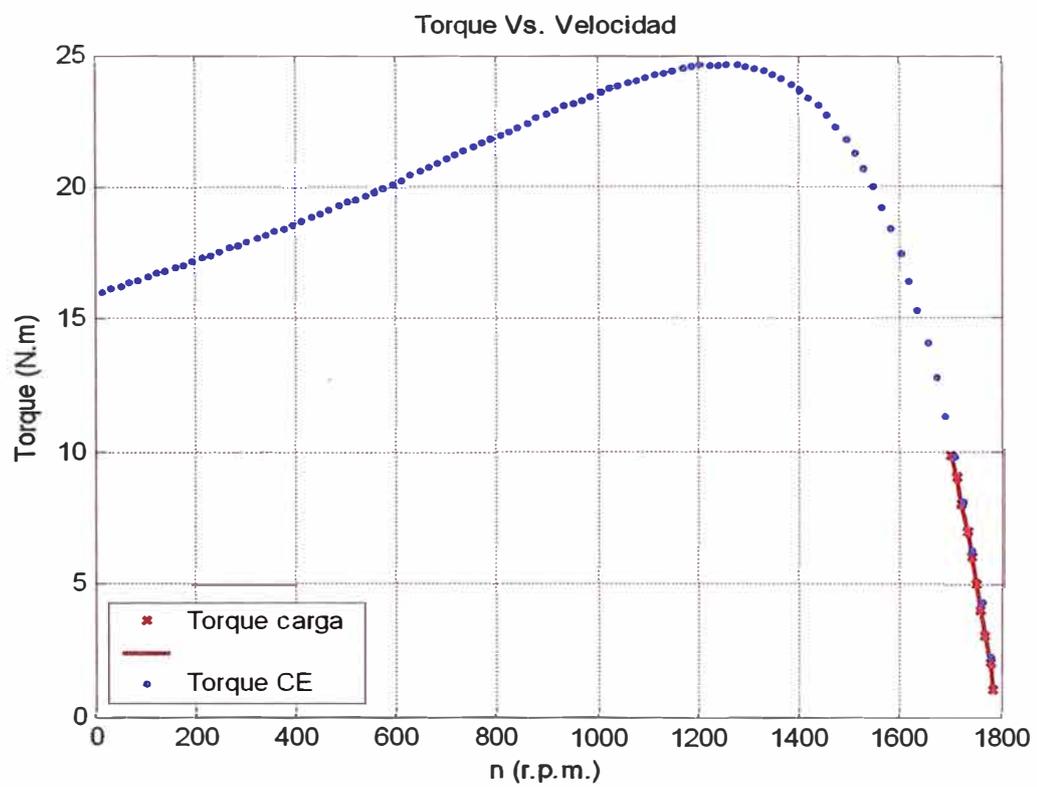


Gráfica 2.2: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad, obtenida de la prueba con carga



Grafica 2.3: Factor de potencia y Eficiencia Vs Velocidad, obtenida de la prueba con carga

Gráficas de Comparación de Valores de Medición de Laboratorio Vs Circuito Equivalente:



Gráfica 2.4: Comparación de los valores medidos (prueba con carga) en la gráfica calculada en Matlab

2.2.4. Cálculo de los Parámetros Eléctricos usando el Diagrama del Círculo (véase Anexo C programa)

A continuación se realiza el cálculo de los parámetros eléctricos con la ayuda del diagrama del círculo.

CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA CON EL DIAGRAMA DEL CIRCULO

Nota :

El separador de la parte entera y el decimal es el punto.
Todos los datos ingresados esta a la temperatura convencional.

DATOS DE PLACA Y PRUEBA DE LA MAQUINA :

Potencia nominal [W] = 1790.4
Frecuencia nominal [Hz] = 60
Tensión nominal [V] = 220
Corriente nominal [A] = 7.4
Numero/par de polos = 2
Corriente de arranque [A] = 32.5
Factor de potencia en cortocircuito = 0.6491
Corriente absorbida de vacío [A] = 3.68
Factor de potencia en vacío = 0.1074
Resistencia de una fase del estator en Y [Ohm] = 1.5527

DATOS DE PLACA Y PRUEBA

Potencia nominal : 1790.4 W
Frecuencia nominal : 60 Hz
Tensión nominal : 220.0 V
Corriente nominal : 7.40 A
Numero/par de polos : 2
Corriente de arranque : 32.50 A
FdP en cortocircuito : 0.6491
Corriente de vacío : 3.68 A
FdP en vacío : 0.1074
R de fase del estator en Y : 1.5527 Ohm

Pérdidas constantes : 150.5992 W
Resistencia equiv. trasv. a lado del estator : 321.3828 Ohm
Reactancia equiv. trasv. a lado del estator : 34.7173 Ohm
Pérdidas del Cu : 416.7616 W
Resistencia equiv. longit. a lado del estator : 2.5369 Ohm
Reactancia equiv. longit. a lado del estator : 2.9731 Ohm
Rendimiento convencional a p. c. : 0.7556
Torque convencional CEI : 9.4981

Presionar la tecla enter ...

RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Comportamiento al arranque a plena tensión:

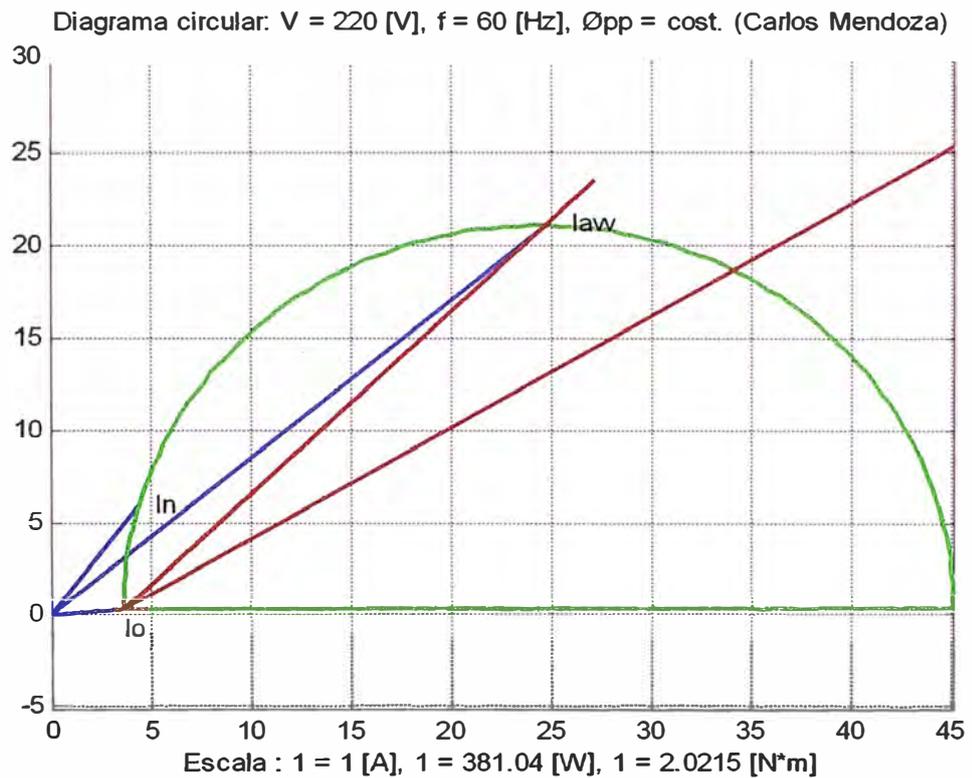
corriente absorbida : 32.50 A
 factor de potencia : 0.6491 r
 Torque en este punto : 16.23 N.m

Comportamiento con corriente absorbida nominal:

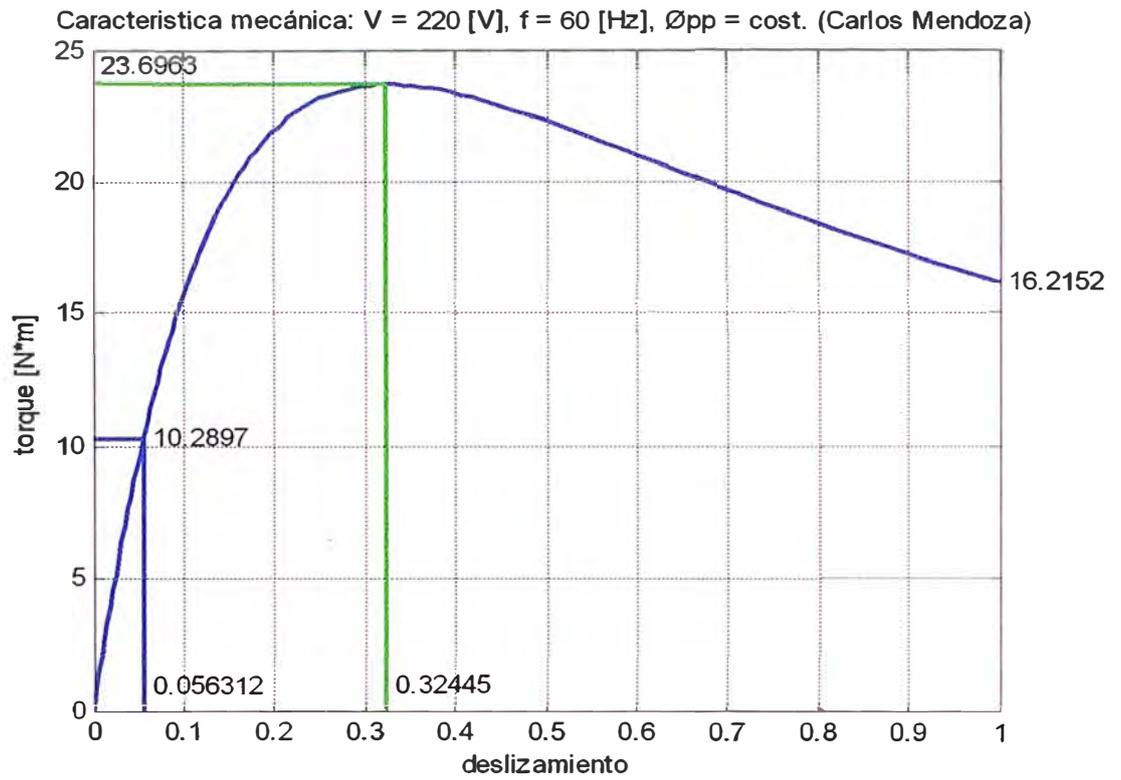
factor de potencia : 0.8026 r
 potencia absorbida : 2262.95 W
 potencia entregada : 1829.26 W
 Torque de ajuste o nominal : 10.29 N.m
 rendimiento : 0.8084
 deslizamiento : 0.0566
 velocidad : 1698.05 r.p.m.

Torque máximo desarrollado :

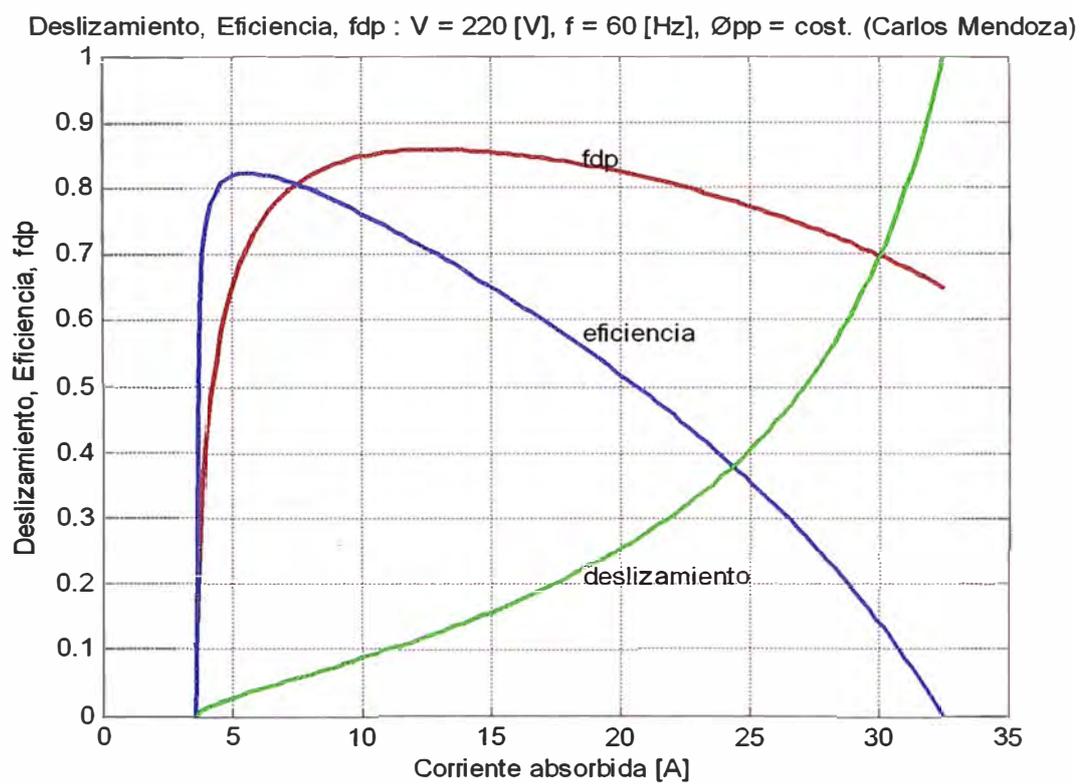
deslizamiento a máximo torque : 0.3252
 Torque máximo : 23.6667 N.m



Grafica 2.5: Diagrama del círculo



Gráfica 2.6: Características mecánicas del motor original, usando el diagrama del círculo



Gráfica 2.7: Curva de deslizamiento, Eficiencia, factor de potencia, usando el diagrama del círculo

CAPITULO III

ANALISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL MOTOR REDISEÑADO A 220V, CONEXIÓN TRIANGULO

El objetivo de estos ensayos es obtener del laboratorio una serie de datos (tablas) para la prueba de vacío, rotor bloqueado y con carga.

Este método directo de ensayo nos permite; para las condiciones nominales de la prueba de vacío, rotor bloqueado; obtener el circuito equivalente aquí nos asistimos del Matlab.

De las prueba con carga tenemos una tabla un Excel con los datos tomados durante el laboratorio, nuevamente nos asistimos del Matlab para obtener datos calculados y compararlos con nuestros datos tomados del laboratorio (véase la tabla de Excel).

A continuación el Matlab nos permite evaluar una serie de gráficos como resultado del ensayo.

Por último a modo de comparación para obtener una mejor evaluación de nuestro ensayo nuevamente el Matlab nos sirve como herramienta de apoyo, aplicando el método indirecto y el diagrama del círculo (véase gráficos y datos obtenidos).

3.1 Ensayos en el Motor Jaula de Ardilla

3.1.1 Datos de Placa del Motor (Supuestos)

Motor Jaula de Ardilla

2,4 HP

220 Δ / 380Y V

1695 rpm

$\text{Cos}\phi = 0,81$

7,4 / 3,6 A

4 Polos

Clase B

3.1.2 Resultados de las Mediciones de la Resistencia Óhmica de los Devanados del Estator

Tabla 3.1: Resistencia Ohmica

Devanado	Terminales	R (Ω)	R (Ω) 75°C
Estator	1 y 4	1,2	1,4376
	5 y 2	1,2	1,4376
	3 y 6	1,2	1,4376
Temperatura ambiente: 20 °C			

3.1.3 Mediciones de la Prueba en Vacío

Tabla 3.2: Prueba en Vacío

V ₀ (V)	I ₀ (A)	P ₀ (W)	S ₀ (VA)	Cosφ
15,48	0,45	10,8		0,7630
20,36	0,42	11		0,6650
39,93	0,55	15		0,3230
80,80	1,01	28		0,1490
120,44	1,53	50		0,1225
161,08	2,13	78		0,1195
201,02	2,89	119		0,1080
220,85	3,43	152		0,1050

3.1.4 Mediciones de la Prueba a Rotor Bloqueado

Tabla 3.3: Prueba de rotor bloqueado

V_{cc} (V)	I_{cc} (A)	P_{cc} (W)	S_{cc} (VA)	Cosφ
13,515	1,925	28,33		
20,465	2,930	65,10		
28,790	4,130	129,93		
35,360	5,070	196,75		
41,745	6,010	275,19		
51,050	7,400	414,56	758,12	0,55

3.1.5 Mediciones la Prueba con Carga en el Eje

Tabla 3.4: Prueba de carga

V (V)	I (A)	P (W)	S (VA)	FP	T (N.m)	N (rpm)
220	3,47	125,33	508,67	0,25	1	1791
220	3,60	194,00	507,33	0,37	2	1781
220	3,84	260,33	550,33	0,47	3	1772
220	4,13	329,33	605,00	0,55	4	1764
220	4,47	396,33	654,33	0,61	5	1754
220	4,88	465,67	715,00	0,66	6	1745
220	5,34	538,67	784,00	0,70	7	1735
220	5,83	613,33	857,67	0,72	8	1724
220	6,35	691,67	938,67	0,74	9	1715
220	6,93	768,67	1020,33	0,76	10	1704
220	7,26	811,67	1069,33	0,77	10,5	1698

3.2 Simulación de Datos usando MATLAB para obtener los parámetros del motor

El procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio para obtener el circuito equivalente y para el cálculo de los parámetros del motor se realiza con un programa desarrollado en MATLAB. Este programa presenta un menú inicial, en el cual se tienen opciones para calcular el circuito equivalente del motor de inducción, también los valores de corriente, tensión, torque, etc. para un determinado deslizamiento, y por último se puede hacer una comparación de los datos de la prueba con carga obtenidos en el laboratorio con los resultados a partir del circuito equivalente, a continuación se muestra el menú inicial del programa:

```
-----
PROGRAMA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS
Y GRAFICAS REPRESENTATIVAS DEL MOTOR DE INDUCCION
-----
```

Calculos	Opc.
-----	-----
Calcular Circuito Equivalente	1
Calcular Valores para un s	2
Prueba con carga (C.Equiv - Datos Lab.)	3
Salir	0

Seleccione una opcion del menu :

A continuación se realiza el procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio.

3.2.1 Cálculo del Circuito Equivalente (véase Anexo C programa)

```
CALCULO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
-----
```

```
Datos de la Máquina
-----
```

```
Nro de polos: 4
Resistencia : 1.2
```

```
Prueba en Vacío
-----
```

```
Potencia      : 50.66
```

Corriente : 3.43
 Tensión : 127.01
 Perd. Mec. : 3.6

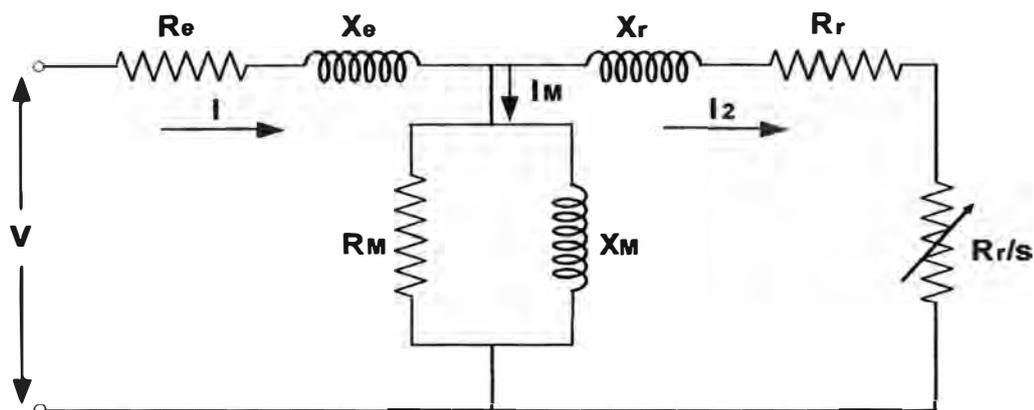
Prueba a Rotor Bloqueado

Potencia : 138.18
 Tension : 29.47
 Corriente : 7.44

Circuito Equivalente Calculado

Considerando la clase B

R_e : 1.4376
 X_e : 1.5377
 R_m : 475.9901
 X_m : 35.1299
 R_r : 1.0587
 X_r : 1.5377



3.2.2 Cálculo de los Parámetros Eléctricos para un determinado deslizamiento
(véase Anexo C programa)

CALCULO DE VALORES PARA UN S

Datos de la Maquina

Deslizamiento : 0.0556

Maquina de Inducción

 Deslizamiento s : 0.0556
 Velocidad Asinc. n : 1699.9200
 Torque Electrom. T : 10.6783
 Corriente Estat. Ie: 7.1906
 Corriente Magne. Im: 3.1832
 Corriente Rotor Ir: 5.9359
 Pot. Mecánica Pm: 1871.28

Tabla 3.5: De la prueba con carga (diferentes valores de deslizamiento)

Vfase	T (N.m)	N (rpm)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)
220	0,9	1792,98	0,0039	160,27	0,490
220	2	1782,90	0,0095	382,65	0,666
220	3,1	1773,90	0,0145	573,46	0,724
220	4	1765,98	0,0189	735,34	0,750
220	5,1	1755,90	0,0245	933,26	0,767
220	6	1746,90	0,0295	1102,34	0,774
220	7	1737,00	0,0350	1280,10	0,777
220	8,1	1725,84	0,0412	1470,20	0,777
220	9	1716,84	0,0462	1615,81	0,774
220	10	1705,86	0,0523	1784,28	0,770
220	10,5	1699,92	0,0556	1871,28	0,767

**3.2.3 Cálculo de los Parámetros Eléctricos, con datos de la prueba con carga
 (véase Anexo C programa)**

PRUEBA CON CARGA

Datos obtenidos en el Laboratorio

Ingrese los datos obtenidos de la siguiente manera [V I1 P1 P2 n T]
: [220..

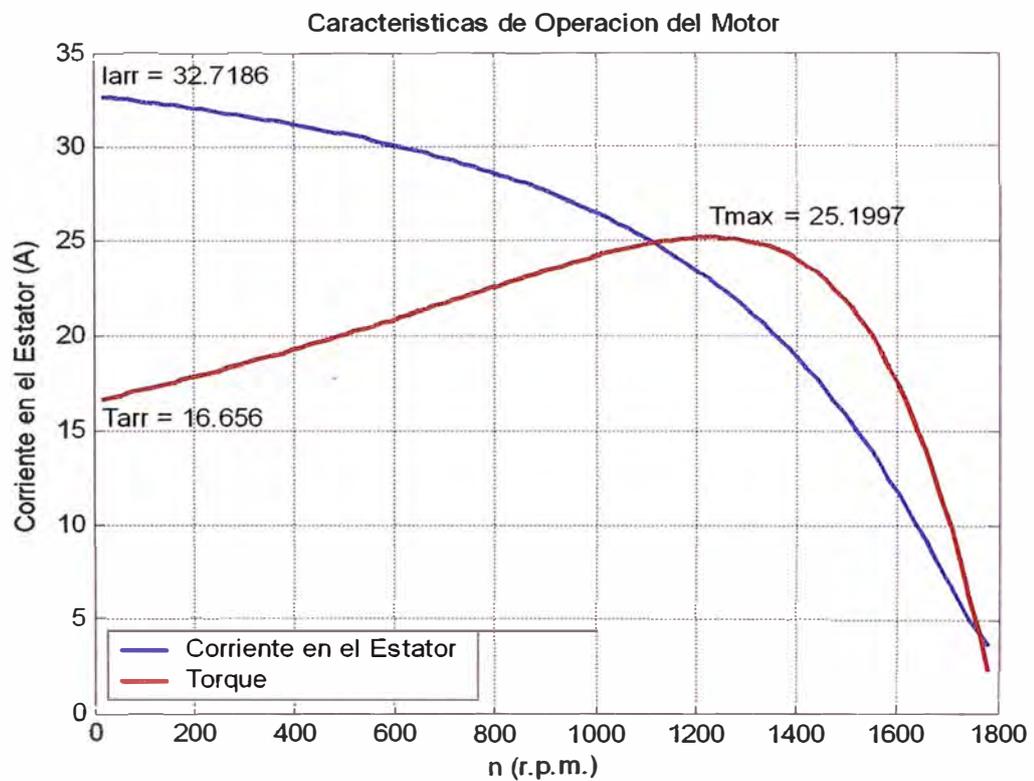
Ingresar la velocidad síncrona en RPM, $n_s = 1798$

V(V)	I ₁ (A)	P ₁ (W)	P ₂ (W)	n(RPM)	T(N-m)
220.00	7.26	1548.00	887.00	1698.00	10.50
220.00	6.93	1478.00	828.00	1704.00	10.00
220.00	6.35	1346.00	729.00	1715.00	9.00
220.00	5.83	1225.00	615.00	1724.00	8.00
220.00	5.34	1113.00	503.00	1735.00	7.00
220.00	4.88	1004.00	393.00	1745.00	6.00
220.00	4.47	896.00	293.00	1754.00	5.00
220.00	4.13	797.00	191.00	1764.00	4.00
220.00	3.84	699.00	82.00	1772.00	3.00
220.00	3.60	607.00	-25.00	1781.00	2.00
220.00	3.47	512.00	-136.00	1791.00	1.00

Tabla 3.6: Resultados de la simulación (Prueba con carga)

P _i (W)	T(N-m)	P ₀ (W)	Slip	pf	Eff
2435.00	10.50	1867.05	0.056	0.762	76.68
2306.00	10.00	1784.42	0.052	0.756	77.38
2075.00	9.00	1616.35	0.046	0.743	77.90
1840.00	8.00	1444.29	0.041	0.717	78.49
1616.00	7.00	1271.82	0.035	0.688	78.70
1397.00	6.00	1096.42	0.029	0.651	78.48
1189.00	5.00	918.39	0.024	0.605	77.24
988.00	4.00	738.90	0.019	0.544	74.79
781.00	3.00	556.69	0.014	0.462	71.28
582.00	2.00	373.01	0.009	0.367	64.09
376.00	1.00	187.55	0.004	0.246	49.88

Gráficas Obtenidas: Con el apoyo del Matlab a partir de los datos calculados (Circuito equivalente) y los datos medidos y de la prueba con carga, se obtiene los siguientes gráficos

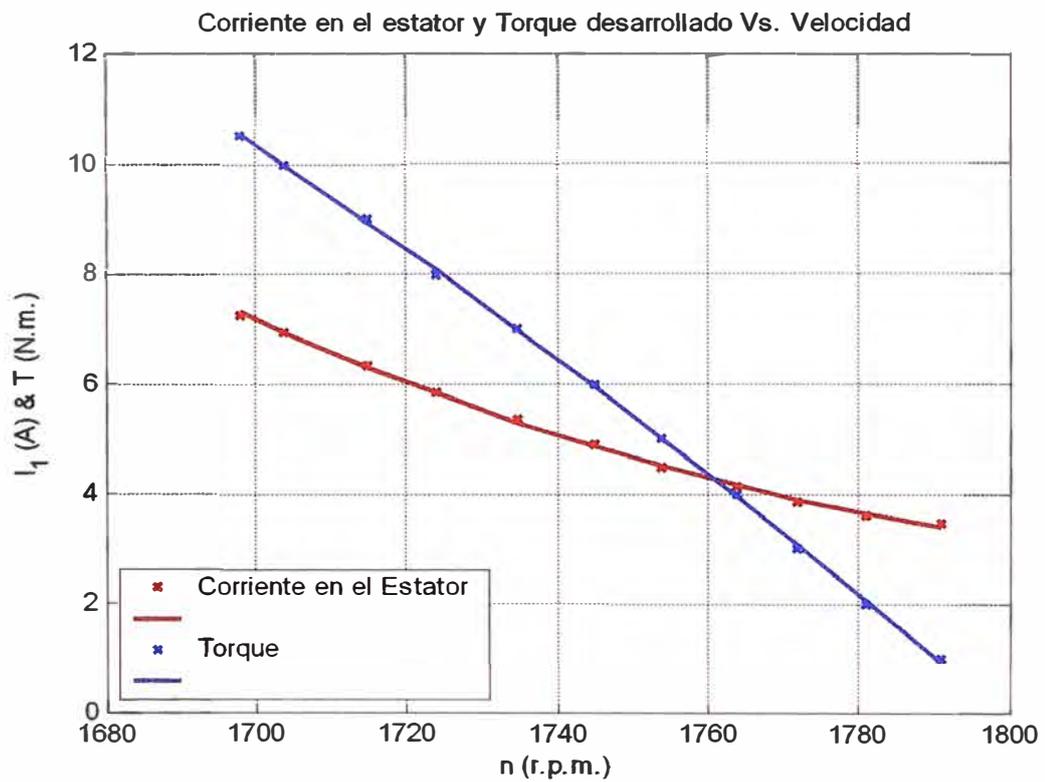


Gráfica 3.1: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad

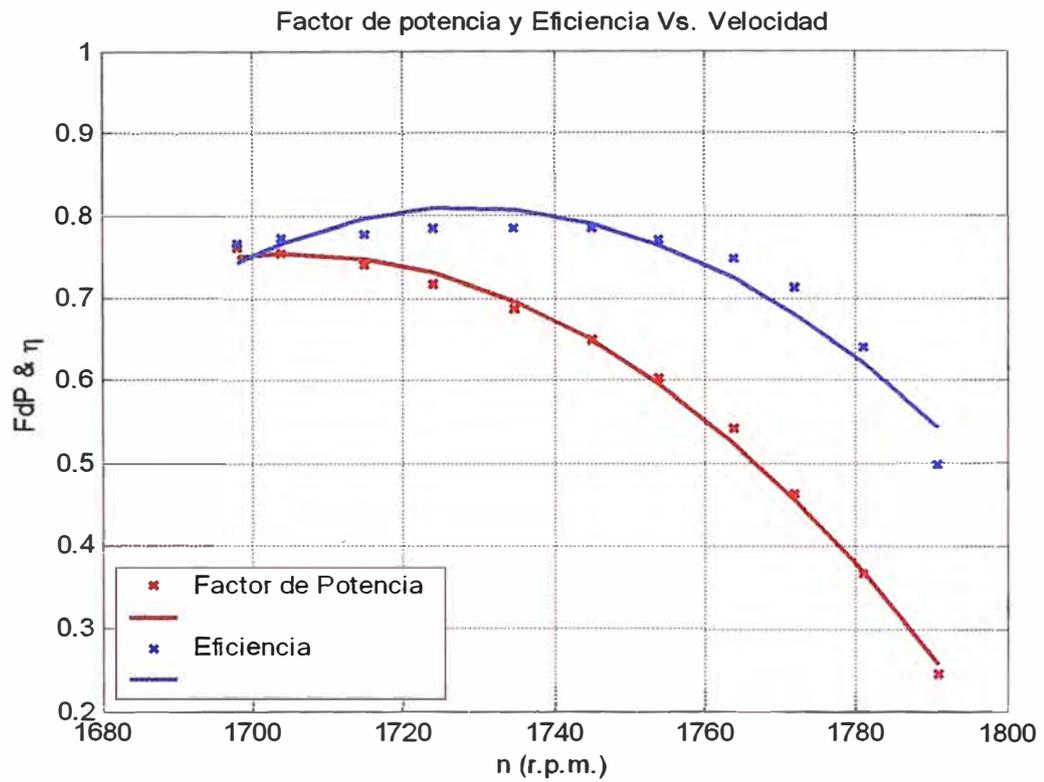
Obteniendo de las graficas los siguientes valores:

$I_{arranque}$: 32,7186 A
 $T_{arranque}$: 16,656 N.m
 $T_{máximo}$: 25,1997 N.m

Gráficas Obtenidas de la Prueba con Carga con Valores tomados del Laboratorio:

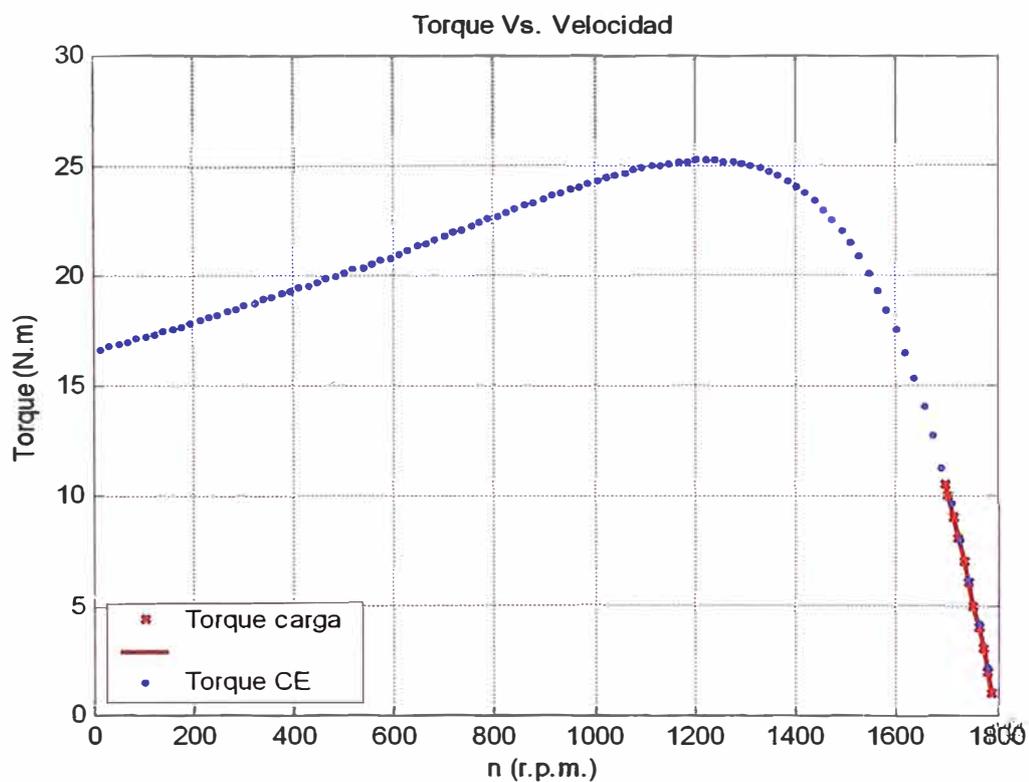


Gráfica 3.2: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad, obtenida de la prueba con carga



Gráfica 3.3: Factor de potencia y Eficiencia Vs Velocidad, obtenida de la prueba con carga

Gráficas de Comparación de Valores de Medición de Laboratorio Vs Circuito Equivalente:



Gráfica 3.4: Comparación de los valores medidos (prueba con carga) en la gráfica calculada en Matlab

3.2.4 Cálculo de los Parámetros Eléctricos usando el Diagrama del Círculo

(véase Anexo C programa)

A continuación se realiza el cálculo de los parámetros eléctricos con la ayuda del diagrama del círculo.

CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA CON EL DIAGRAMA DEL CIRCULO

Nota :

El separador de la parte entera y el decimal es el punto.
Todos los datos ingresados esta a la temperatura convencional.

DATOS DE PLACA Y PRUEBA DE LA MAQUINA:

```

-----
Potencia nominal [W ] = 1790.4
Frecuencia nominal [Hz] = 60
Tensión nominal [V ] = 220
Corriente nominal [A ] = 7.4
Numero/par de polos = 2
Corriente de arranque [A] = 32.6678
Factor de potencia en cortocircuito = 0.55
Corriente absorbida de vacío [A] = 3.43
Factor de potencia en vacío = 0.1050
Resistencia de una fase del estator en Y [Ohm] = 1.4376

```

DATOS DE PLACA Y PRUEBA

```

-----
Potencia nominal : 1790.4 W
Frecuencia nominal : 60 Hz
Tensión nominal : 220.0 V
Corriente nominal : 7.40 A
Numero/par de polos : 2
Corriente de arranque : 32.67 A
FdP en cortocircuito : 0.5500
Corriente de vacío : 3.43 A
FdP en vacío : 0.1050
R de fase del estator en Y : 1.4376 Ohm

Pérdidas constantes : 137.2316 W
Resistencia equiv. trasv. a lado del estator : 352.6886 Ohm
Reactancia equiv. trasv. a lado del estator : 37.2381 Ohm
Pérdidas del Cu : 351.3195 W
Resistencia equiv. longit. a lado del estator : 2.1385 Ohm
Reactancia equiv. longit. a lado del estator : 3.2473 Ohm
Rendimiento convencional a p. c. : 0.7817
Torque convencional CEI : 9.4981

```

Presionar la tecla enter ...

RESUMEN DE LOS RESULTADOS

 Comportamiento al arranque a plena tensión:

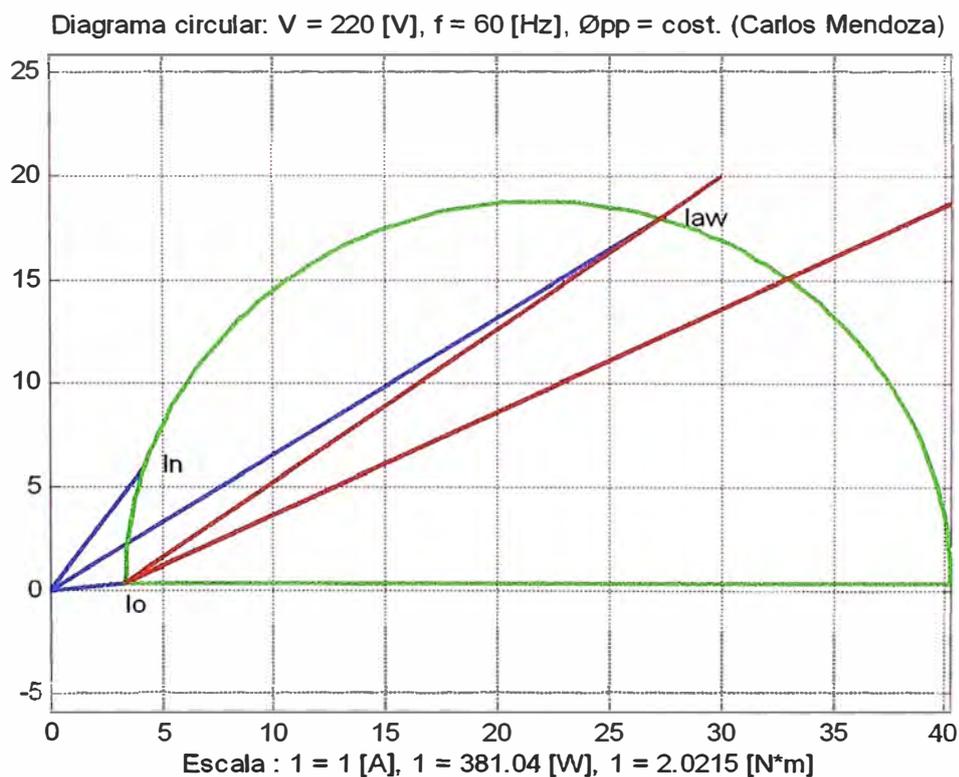
corriente absorbida : 32.67 A
 factor de potencia : 0.5500 r
 Torque en este punto : 11.67 N.m

Comportamiento con corriente absorbida nominal:

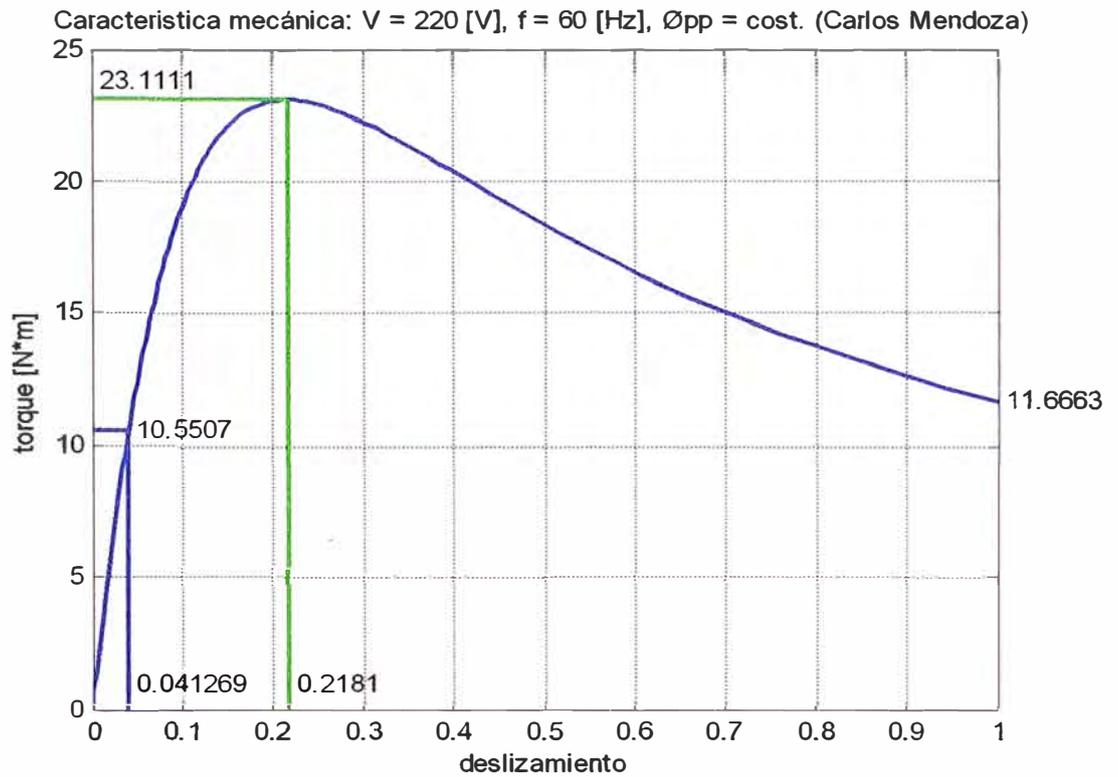
factor de potencia : 0.8137 r
 potencia absorbida : 2294.25 W
 potencia entregada : 1906.62 W
 Torque de ajuste o nominal : 10.55 N.m
 rendimiento : 0.8310
 deslizamiento : 0.0413
 velocidad : 1725.72 r.p.m.

Torque máximo desarrollado :

deslizamiento a máximo torque : 0.2181
 Torque máximo : 23.1111 N.m



Gráfica 3.5: Diagrama del círculo



Gráfica 3.6: Características mecánicas del motor original, usando el diagrama del círculo

CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL MOTOR REDISEÑADO A 380V, CONEXIÓN ESTRELLA

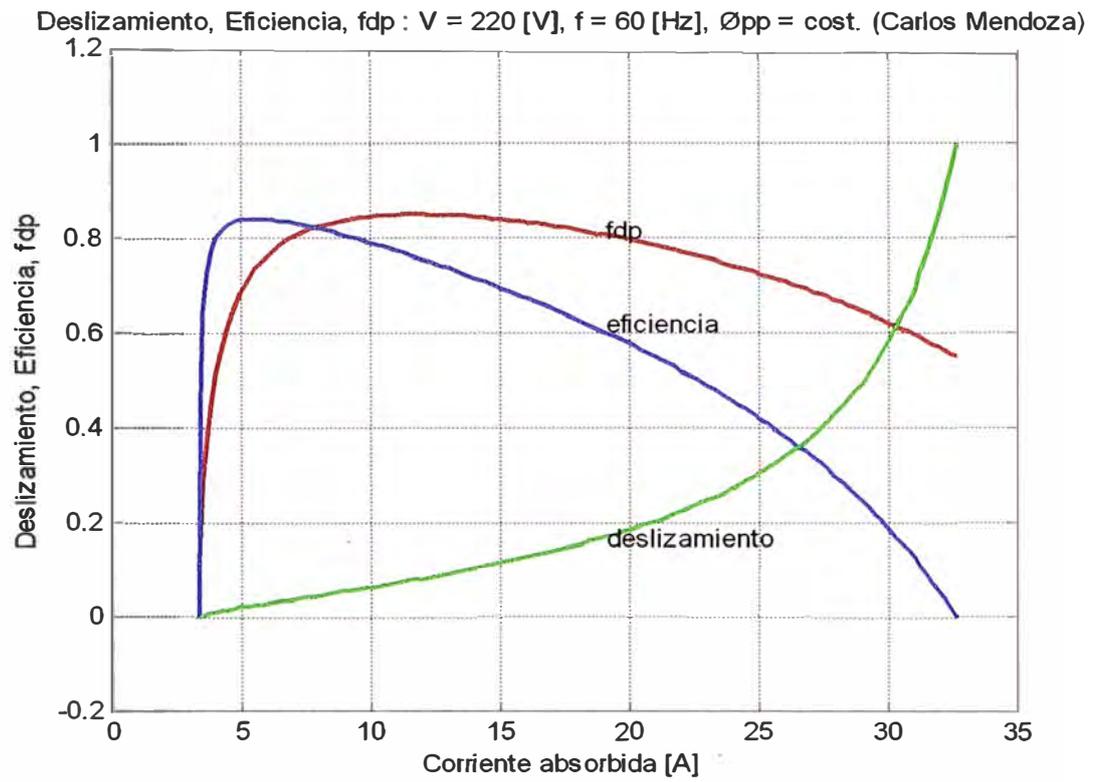
El objetivo de estos ensayos es obtener del laboratorio una serie de datos (tablas) para la prueba de vacío, rotor bloqueado y con carga.

Este método directo de ensayo nos permite; para las condiciones nominales de la prueba de vacío, rotor bloqueado; obtener el circuito equivalente aquí nos asistimos del Matlab.

De las prueba con carga tenemos una tabla un Excel con los datos tomados durante el laboratorio, nuevamente nos asistimos del Matlab para obtener datos calculados y compararlos con nuestros datos tomados del laboratorio (véase la tabla de Excel).

A continuación el Matlab nos permite evaluar una serie de gráficos como resultado del ensayo.

Por último a modo de comparación para obtener una mejor evaluación de nuestro ensayo nuevamente el Matlab nos sirve como herramienta de apoyo, aplicando el método indirecto y el diagrama del círculo (véase gráficos y datos obtenidos)



Gráfica 3.6: Curva de deslizamiento, Eficiencia, factor de potencia, usando el diagrama del círculo

4.1 Ensayos en el Motor Jaula de Ardilla

4.1.1 Datos de Placa del Motor (Supuestos)

Motor Jaula de Ardilla

2,4 HP

220 Δ / 380Y V

1695 rpm

Cos ϕ = 0,81

7,4 / 3,6 A

4 Polos

Clase B

4.1.2 Resultados de las Mediciones de la Resistencia Óhmica de los Devanados del Estator

Tabla 4.1: Resistencia Ohmica

Devanado	Terminales	R (Ω)	R (Ω) 75°C
Estator	1 y 4	3,3	3,9534
	2 y 5	3,3	3,9534
	3 y 6	3,3	3,9534
Temperatura ambiente: 20 °C			

4.1.3 Mediciones de la Prueba en Vacío

Tabla 4.2: Prueba en Vacío

V_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)	S_0 (VA)	$\text{Cos}\phi$
21,88	0,29	9,6	12,5	0,762
49,80	0,26	11,8	25	0,419
99,80	0,44	19	86	0,178
149,90	0,64	30	190	0,123
200,45	0,87	44	349	0,101
250,00	1,12	66	557	0,091
299,88	1,40	90	838	0,075
349,80	1,78	121	1243	0,070
379,71	2,04	144	1559	0,069

4.1.4 Mediciones de la Prueba a Rotor Bloqueado

Tabla 4.3: Prueba de rotor bloqueado

V_{cc} (V)	I_{cc} (A)	P_{cc} (W)	S_{cc} (VA)	$\text{Cos}\phi$
10,82	0,54	6,08	5,6	0,499
21,51	1,05	23,90	45,5	0,518
30,86	1,50	48,90	93,6	0,520
51,47	2,51	136,83	259,0	0,528
73,25	3,59	280,00	525,6	0,534
91,60	4,39	408,88	768,9	0,537

4.1.5 Mediciones la Prueba con Carga en el Eje

Tabla 4.4: Prueba de carga

V (V)	I (A)	P (W)	S (VA)	FP	T (N.m)	N (rpm)
380	2,07	123,00	527,33	0,23	1	1790
380	2,16	187,00	543,00	0,33	2	1781
380	2,30	258,33	583,00	0,43	3	1772
380	2,47	327,33	626,67	0,52	4	1764
380	2,68	397,33	679,67	0,57	5	1755
380	2,93	469,00	742,67	0,62	6	1747
380	3,18	535,33	808,00	0,66	7	1736
380	3,46	608,67	876,67	0,69	8	1726
380	3,80	695,67	965,33	0,71	9	1715
380	4,12	761,67	1041,00	0,73	10	1704
380	4,29	809,00	1084,67	0,75	10,5	1700

4.2 Simulación de Datos usando MATLAB para obtener los parámetros del motor

El procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio para obtener el circuito equivalente y para el cálculo de los parámetros del motor se realiza con un programa desarrollado en MATLAB. Este programa presenta un menú inicial, en el cual se tienen opciones para calcular el circuito equivalente del motor de inducción, también los valores de corriente, tensión, torque, etc. para un determinado deslizamiento, y por último se puede hacer una comparación de los datos de la prueba con carga obtenidos en el laboratorio con los resultados a partir del circuito equivalente, a continuación se muestra el menú inicial del programa:

PROGRAMA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS
Y GRAFICAS REPRESENTATIVAS DEL MOTOR DE INDUCCION

Cálculos	Opc.
Calcular Circuito Equivalente	1
Calcular Valores para un s	2
Prueba con carga (C.Equiv - Datos Lab.)	3
Salir	0

Seleccione una opción del menú :

A continuación se realiza el procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio.

4.2.1 Cálculo del Circuito Equivalente (véase Anexo C programa)

CALCULO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

Datos de la Maquina

Nro de polos: 4
Resistencia : 3.3

Prueba en Vacío

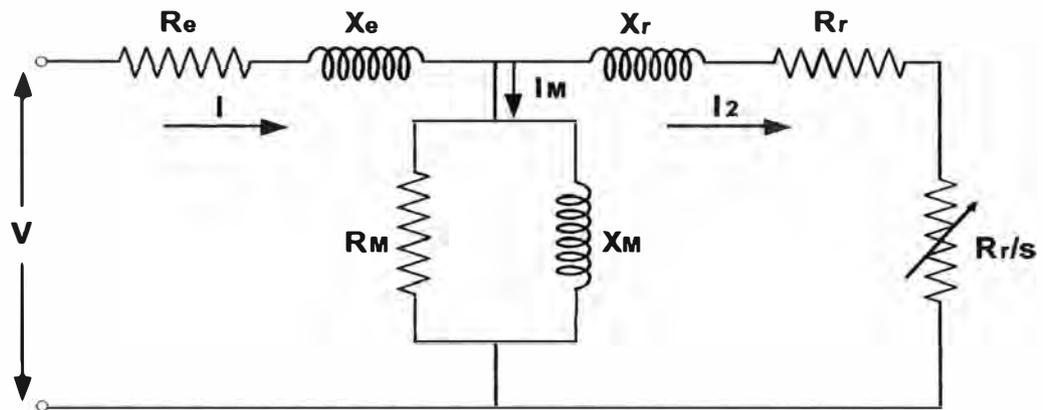
Potencia : 48
Corriente : 2.043
Tensión : 220
Perd. Mec. : 3.6

Prueba a Rotor Bloqueado

Potencia : 136.29
Tensión : 52.92
Corriente : 4.385

Circuito Equivalente Calculado

Re : 3.9534
Xe : 4.8838
Rm : 1538.2758
Xm : 103.4070
Rr : 3.1346
Xr : 4.8838



4.2.2 Cálculo de los Parámetros Eléctricos para un determinado deslizamiento (véase Anexo C programa)

CALCULO DE VALORES PARA UN S

Datos de la Maquina

Deslizamiento : 0.0545

Maquina de Inducción

Deslizamiento s : 0.0545
 Velocidad Asinc. n : 1701.9000
 Torque Electrom. T : 10.6573
 Corriente Estat. Ie: 4.1735
 Corriente Magne. Im: 1.9036
 Corriente Rotor Ir: 3.4121
 Pot. Mecánica Pm: 1866.77

Tabla 4.5: De la prueba con carga (diferentes valores de deslizamiento)

VL	T (N.m)	N (rpm)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)
380	1	1792,08	0,0044	181,79	0,531
380	2,1	1782,9	0,0095	385,72	0,679
380	3,1	1773,9	0,0145	578,53	0,736
380	4	1775,88	0,0189	742,33	0,761
380	5	1756,98	0,0239	921,79	0,776
380	5,9	1748,88	0,0284	1077,22	0,783
380	7	1737,9	0,0345	1278,75	0,787
380	8	1728	0,0400	1451,48	0,786
380	9,1	1716,84	0,0462	1636,09	0,783
380	10,1	1705,86	0,0523	1807,44	0,779
380	10,5	1701,9	0,0547	1866,77	0,777

4.2.3 Cálculo de los Parámetros Eléctricos, con datos de la prueba con carga (véase Anexo C programa)

PRUEBA CON CARGA

Datos obtenidos en el Laboratorio

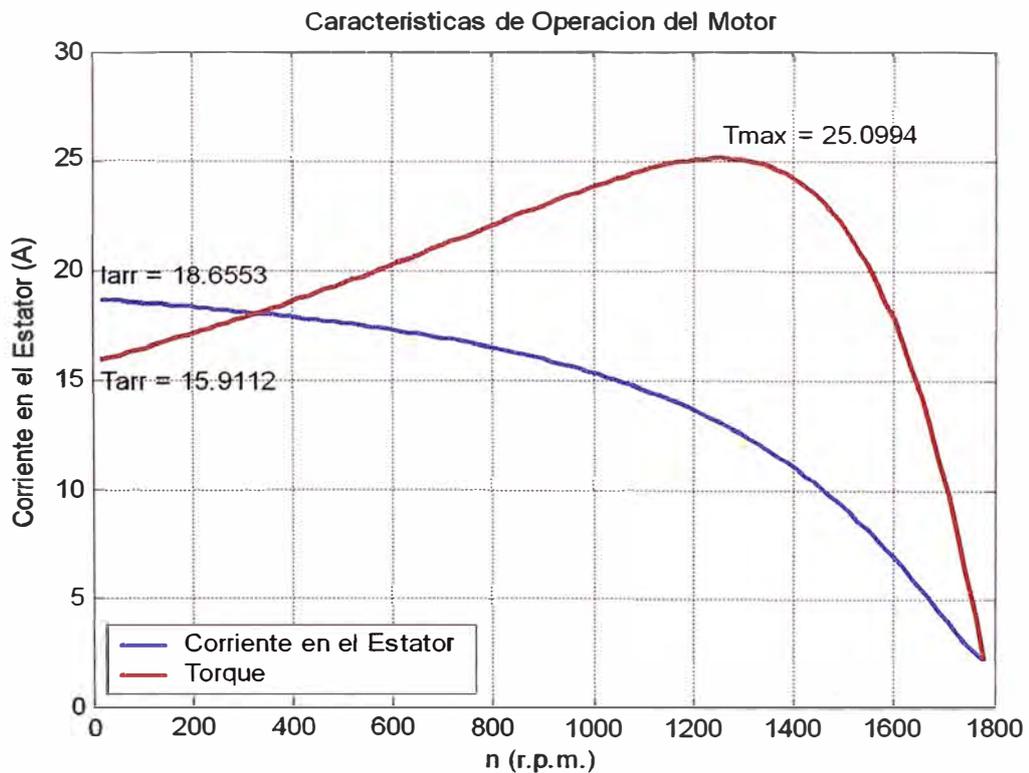
Ingrese los datos obtenidos de la siguiente manera [V I1 P1 P2 n T]
: [380.. Ingresar la velocidad sincrona en RPM, ns = 1798

V (V)	I_1 (A)	P_1 (W)	P_2 (W)	n (RPM)	T (N-m)
380.00	4.29	1676.00	751.00	1700.00	10.50
380.00	4.12	1596.00	689.00	1704.00	10.00
380.00	3.80	1469.00	598.00	1715.00	9.00
380.00	3.46	1336.00	490.00	1726.00	8.00
380.00	3.18	1211.00	395.00	1736.00	7.00
380.00	2.93	1110.00	297.00	1747.00	6.00
380.00	2.68	992.00	200.00	1755.00	5.00
380.00	2.47	885.00	97.00	1764.00	4.00
380.00	2.30	781.00	-6.00	1772.00	3.00
380.00	2.16	669.00	-108.00	1781.00	2.00
380.00	2.07	576.00	-207.00	1790.00	1.00

Tabla 4.6: Resultados de la simulación (Prueba con carga)

P_i (W)	T (N-m)	P_o (W)	Slip	pf	Eff
2427.00	10.50	1869.25	0.055	0.744	77.02
2285.00	10.00	1784.42	0.052	0.730	78.09
2067.00	9.00	1616.35	0.046	0.716	78.20
1826.00	8.00	1445.97	0.040	0.694	79.19
1606.00	7.00	1272.55	0.034	0.665	79.24
1407.00	6.00	1097.67	0.028	0.632	78.02
1192.00	5.00	918.92	0.024	0.585	77.09
982.00	4.00	738.90	0.019	0.523	75.24
775.00	3.00	556.69	0.014	0.443	71.83
561.00	2.00	373.01	0.009	0.342	66.49
369.00	1.00	187.45	0.004	0.235	50.80

Graficas Obtenidas: Con el apoyo del Matlab a partir de los datos calculados (Circuito equivalente) y los datos medidas y de la prueba con carga, se obtiene los siguientes gráficos

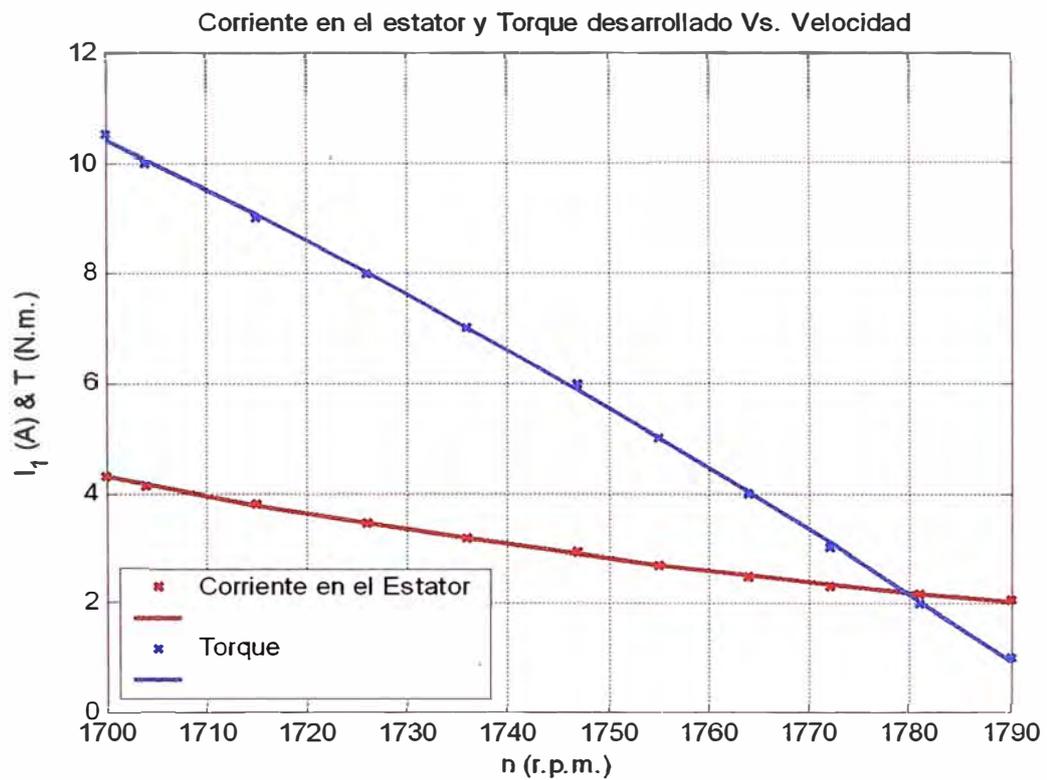


Gráfica 4.1: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad

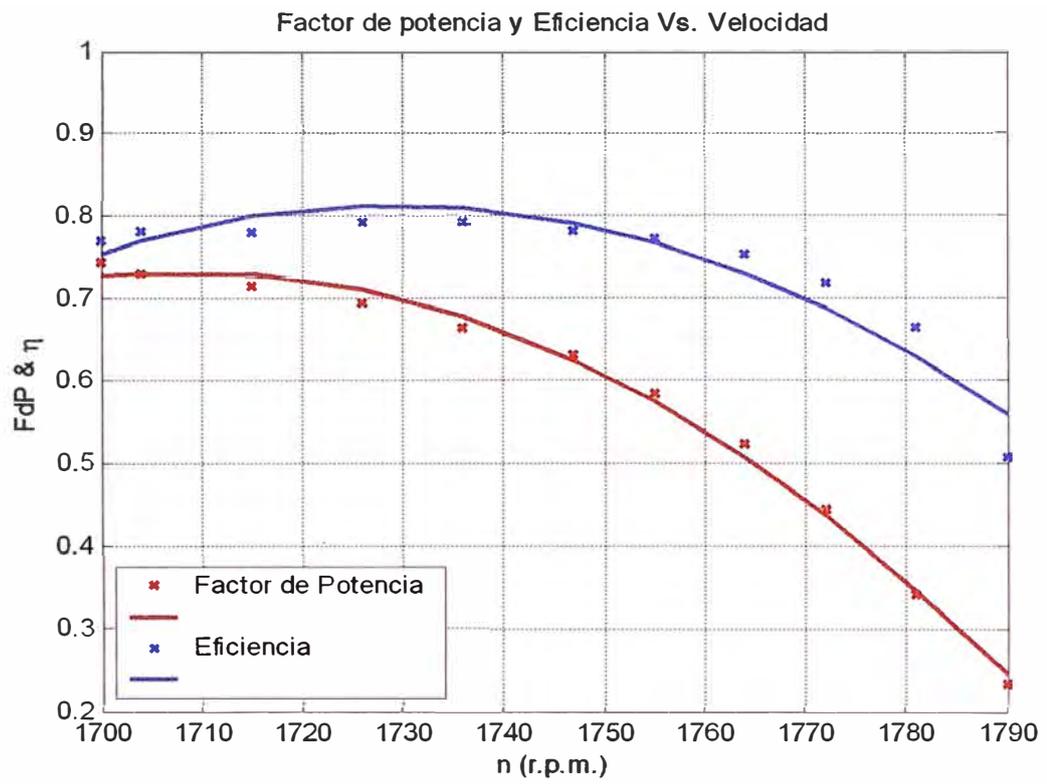
Obteniendo de las gráficas los siguientes valores:

I_{arranque} : 18,6553 A
 T_{arranque} : 15,9112 N.m
 $T_{\text{máximo}}$: 25,0994 N.m

Gráficas Obtenidas de la Prueba con Carga con Valores tomados del Laboratorio:

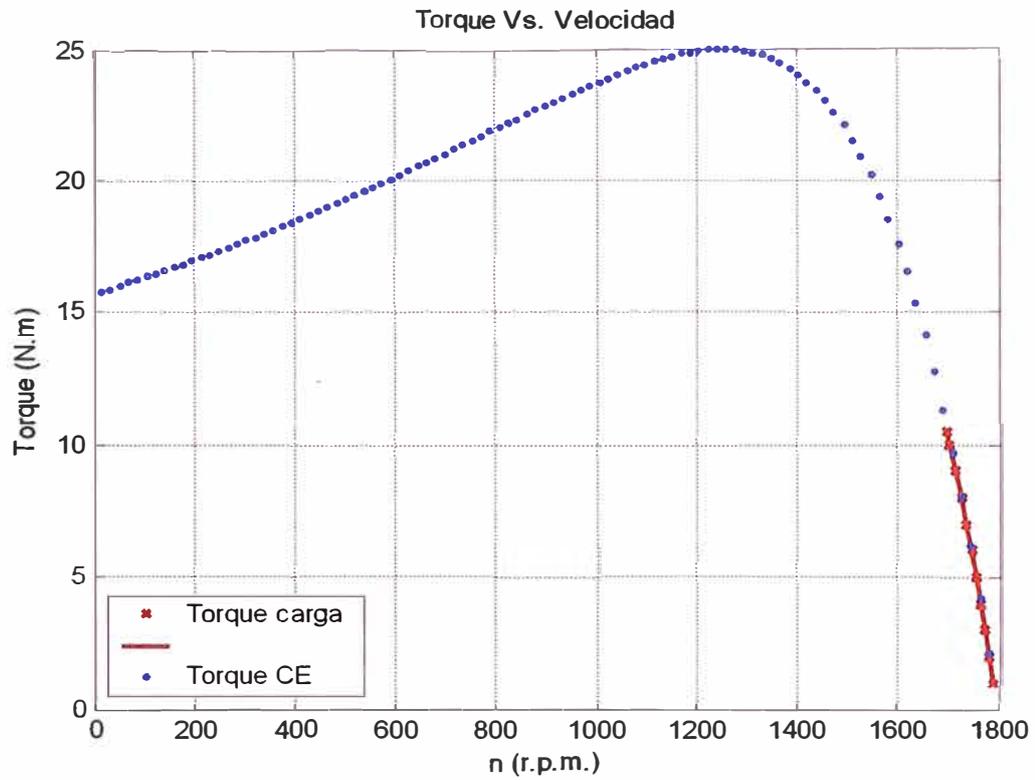


Gráfica 4.2: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad, obtenida de la prueba con carga



Gráfica 4.3: Factor de potencia y Eficiencia Vs Velocidad, obtenida de la prueba con carga

Gráficas de Comparación de Valores de Medición de Laboratorio Vs Circuito Equivalente:



Gráfica 4.4: Comparación de los valores medidos (prueba con carga) en la gráfica calculada en Matlab

4.2.4 Cálculo de los Parámetros Eléctricos usando el Diagrama del Círculo (véase Anexo C programa)

A continuación se realiza el cálculo de los parámetros eléctricos con la ayuda del diagrama del círculo.

CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA CON EL DIAGRAMA DEL CIRCULO

Nota :

El separador de la parte entera y el decimal es el punto.
Todos los datos ingresados esta a la temperatura convencional.

DATOS DE PLACA Y PRUEBA DE LA MAQUINA:

```

Potencia nominal [W] = 1790.4
Frecuencia nominal [Hz] = 60
Tensión nominal [V] = 380
Corriente nominal [A] = 2.3
Numero/par de polos = 2
Corriente de arranque = [A] = 18.6553
Factor de potencia en cortocircuito = 0.537
Corriente absorbida de vacío [A] = 2.04
Factor de potencia en vacío = 0.069
Resistencia de una fase del estator en Y [Ohm] = 3.9534

```

DATOS DE PLACA Y PRUEBA

```

Potencia nominal : 1790.4 W
Frecuencia nominal : 60 Hz
Tensión nominal : 380.0 V
Corriente nominal : 2.30 A
Numero/par de polos : 2
Corriente de arranque : 18.66 A
FdP en cortocircuito : 0.5370
Corriente de vacío : 2.04 A
FdP en vacío : 0.0690
R de fase del estator en Y : 3.9534 Ohm

Pérdidas constantes : 92.6426 W
Resistencia equiv. trasv. a lado del estator : 1558.6782 Ohm
Reactancia equiv. trasv. a lado del estator : 107.8057 Ohm
Pérdidas del Cu : 100.2270 W
Resistencia equiv. longit. a lado del estator : 6.3155 Ohm
Reactancia equiv. longit. a lado del estator : 9.9211 Ohm
Rendimiento convencional a p. c. : 0.8982
Torque convencional CEI : 9.4981

```

Presionar la tecla enter
....

RESUMEN DE LOS RESULTADOS

 Comportamiento al arranque a plena tensión :

corriente absorbida : 18.66 A
 factor de potencia : 0.5370 r
 Torque en este punto : 12.90 N.m

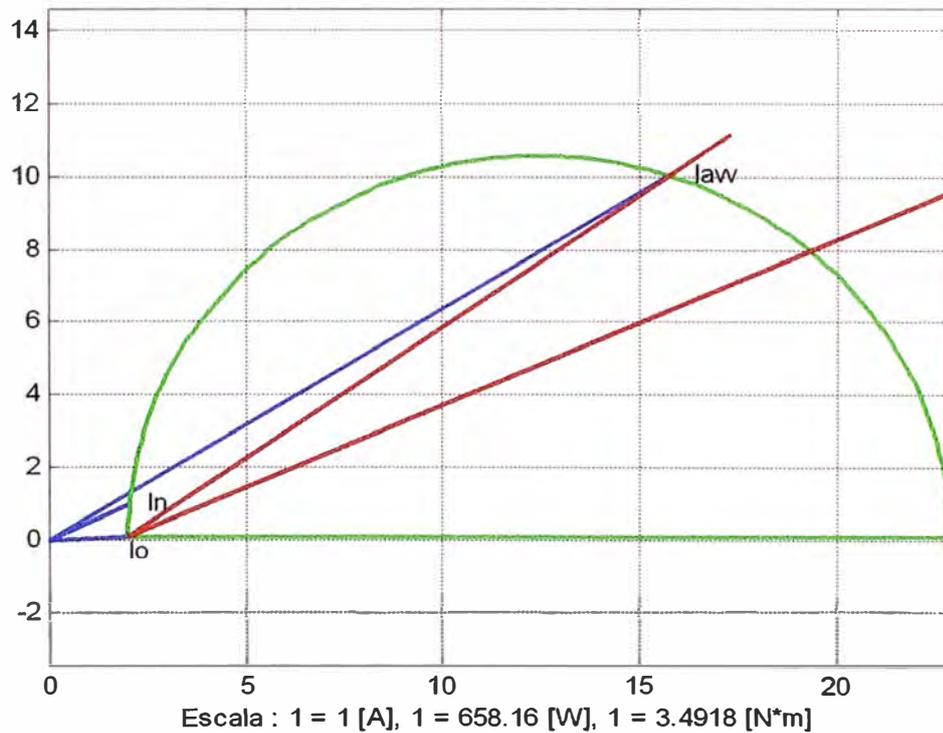
Comportamiento con corriente absorbida nominal :

factor de potencia : 0.4352 r
 potencia absorbida : 658.83 W
 potencia entregada : 549.30 W
 Torque de ajuste o nominal : 2.95 N.m
 rendimiento : 0.8337
 deslizamiento : 0.0114
 velocidad : 1779.53 r.p.m.

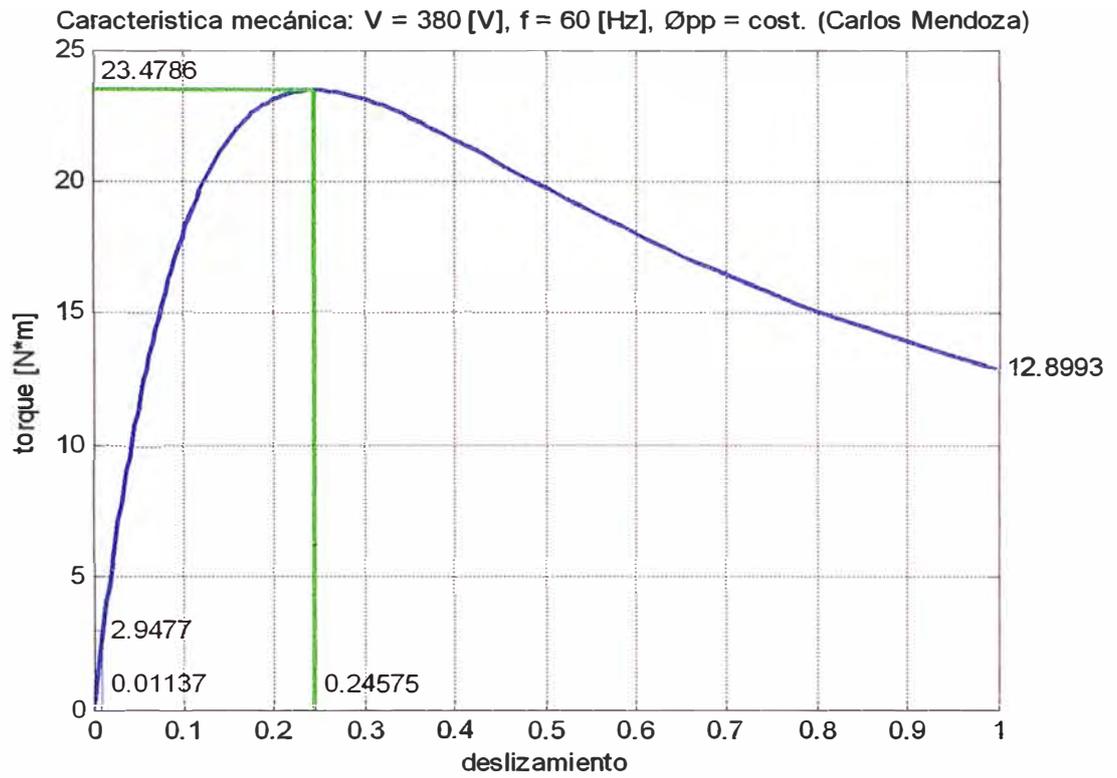
Torque máximo desarrollado :

deslizamiento a máximo torque : 0.2458
 Torque máximo : 23.4786 N.m

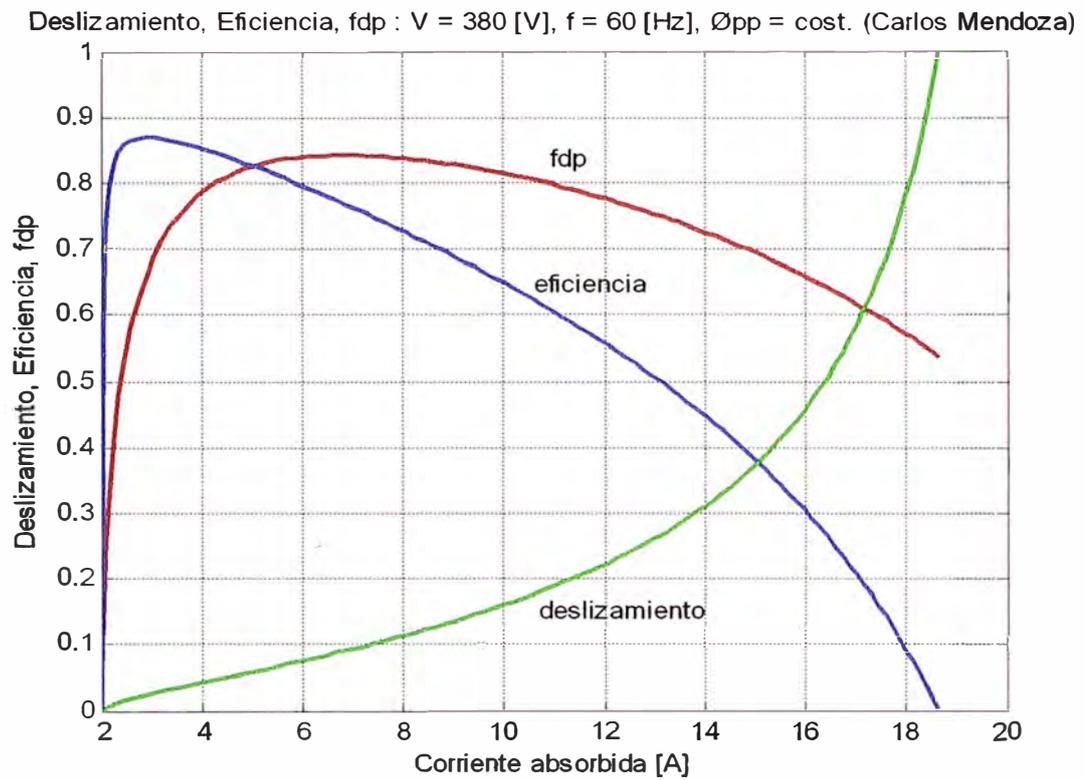
Diagrama circular: $V = 380$ [V], $f = 60$ [Hz], $\varnothing_{pp} = \text{const.}$ (Carlos Mendoza)



Gráfica 4.5: Diagrama del círculo



Gráfica 4.6: Características mecánicas del motor original, usando el diagrama del círculo



Gráfica 4.7: Curva de deslizamiento, Eficiencia, factor de potencia, usando el diagrama del círculo

CONCLUSIONES

1. Obsérvese el caso del motor rediseñado en donde las pérdidas por efecto Joule se redujeron en un 10% al incrementarse la sección del conductor del estator (de 21AWG a 20AWG), como se muestra:

Pérdidas en el cobre	Tipo de conexión
520,38 W	Conexión YY- 220 V (motor original)
466,99 W	Conexión Δ 220 V / y Y 380 V (motor rediseñado)

Tabla 1: Datos de pérdidas del motor Jaula de Ardilla

De igual manera el Torque se incrementa ligeramente en un 7%, con respecto al motor original, como se muestra:

Torque en N.m	Tipo de conexión
9,8 N.m	Conexión YY- 220 V (motor original)
10,5 N.m	Conexión Δ 220 V / y Y 380 V (motor rediseñado)

Tabla 2: Datos de Torque del motor Jaula de Ardilla

2. Se observa un incremento de las pérdidas en el hierro (f_e); al cual daremos un breve análisis:

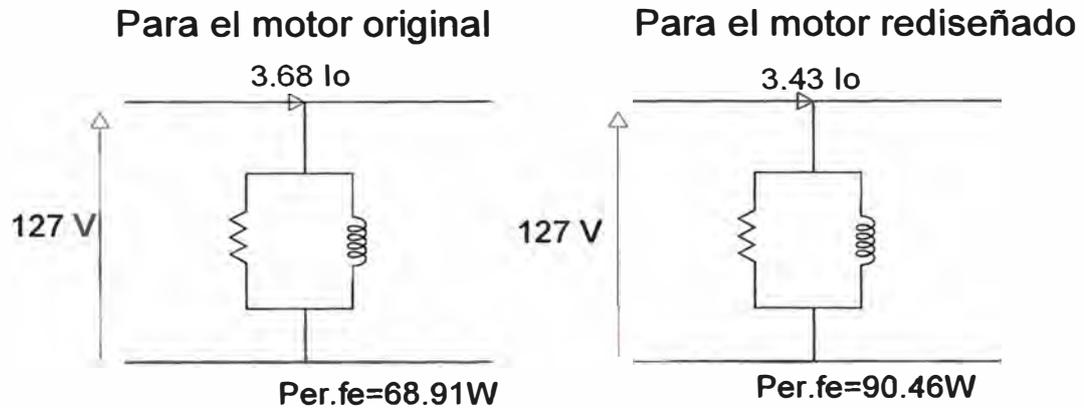


Fig. 1: Circuito equivalente en vacío de los motores Jaula de Ardilla

Sabemos que las pérdidas f_e , ocurren en las láminas de acero principalmente del estator y rotor por lo que (frecuencias en el rotor son muy bajas, por lo tanto las pérdidas son despreciables); ellos se deben a las corrientes de Eddy y por Histéresis, que varían con la densidad del flujo y la frecuencia. En este caso las pérdidas en el núcleo magnético se incrementan debido a que el motor opera con inducciones más altas que las del motor antes de ser rebobinado.

Así, $P_{fe} = fB^2 + f^2B$ las pérdidas por histéresis y corriente parásitas.

Donde $B = \Phi / A$

$$\text{Caso (1) como } B_e = \frac{V_{fase} \times P_{pares-polos}}{4,44 f \times D_{rotor} \times L_{long.nucleo} \times K_{bobina} \times N_{espiras-fase}}$$

$$\Phi(127 / YY)$$

$$B_e = \frac{127 \times 2}{4,44 \times 60 \times 0,083 \times 0,102 \times 0,96 \times 3 \times 46} \quad T \quad (I)$$

$$B_e = 0,8501 \quad T \quad \text{antes del rediseño}$$

$\emptyset(220/\Delta)$

$$Be = \frac{127 \times 2}{4,44 \times 60 \times 0,083 \times 0,102 \times 0,96 \times 3 \times 40} T \quad (II)$$

$$Be = 0,9776 T \quad \text{después del rediseño}$$

Donde:

$f = \text{frecuencia} \quad (Hz)$

$N = \text{número} - \text{devueltas}$

$\emptyset = \text{flujo} - \text{magnético} \quad (Wb)$

$B = \text{inducción} - \text{magnética} \quad (Wb / m^2)$

$A = \text{area} - \text{de} - \text{la} - \text{sección} - \text{transversal} \quad (m^2)$

De las expresiones (I) y (II) podemos ver un aumento en el flujo \emptyset (YY/127) a \emptyset ($\Delta/220$) (Se incrementa la inducción B como se ve en el gráfico 1) y con ello las pérdidas en el fe y por consiguiente una reducción del factor de potencia, para condiciones nominales.

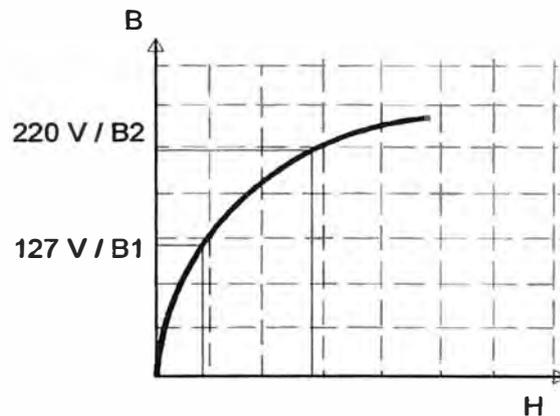


Gráfico 1: Densidad de flujo magnético Vs Intensidad de flujo magnético

En las nuevas condiciones nominales de funcionamiento del motor no existirán inconvenientes; dado que según el gráfico 1, aún el fe no se satura; pero es posible que la tensión oscile, por lo tanto para verificar experimentaremos el comportamiento de la máquina para tensiones superiores a la nominal (véase la Tabla 3).

Tensión (V)	I _o (A)	Pot. Activa (W)	Pot. Aparente (VA)	Cos Ø
220	3,465	148	1525	0,0955
230	3,795	167	1750	0,094
240	4,215	190	2043	0,093

Tabla 3: Valores de corriente de vacío (I_o), Potencia activa (W), Potencia Aparente (VA) y Factor de potencia (f.d.p.), para diferentes valores de tensión

En esta tabla se observa que la corriente se incrementa debido al incremento de la tensión, pero no en valores que nos indiquen que el núcleo del motor se pueda saturar.

Análisis Usando el Diagrama del círculo

Un diagrama circular por lo general se basa en un simplificado circuito equivalente de motor que coloca la derivación magnetizante delante del devanado del estator. La parte restante del circuito entonces queda tratada como una simple reactancia fija en serie con resistencia variable.

Según varía el voltaje aplicado (considerado constante, no afectado por la corriente magnetizante), el fasor de corriente tiene que trazar un semicírculo. Un punto en este semicírculo queda fijado en vacío por la corriente y el factor de potencia, un segundo punto queda fijado por las mismas cantidades a rotor bloqueado. Entonces por la simple geometría se localiza el centro (véase Fig.2).

Las resistencias medidas se usan para localizar las llamadas líneas de Torque o par y potencia de salida en el diagrama, de las cuales el rendimiento del motor puede calcularse para cualquier corriente de carga. El Torque máximo o par motor crítico se indica por aquel punto en el círculo más distante de la línea de torque. Todas las distancias verticales en el diagrama, paralelas al fasor de voltaje aplicado, representan corrientes en fase con el voltaje, y por lo tanto potencia (o sea en watt, fácilmente convertible a unidades mecánicas).

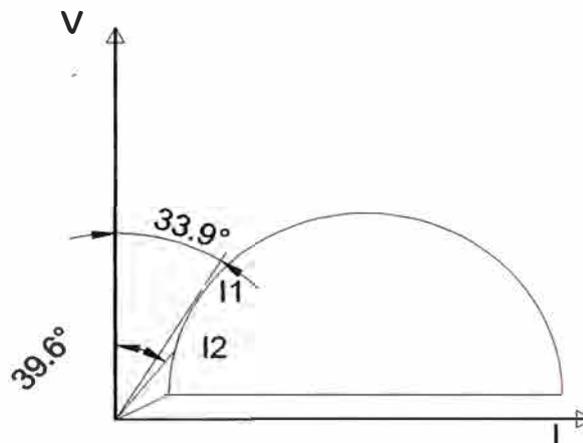


Fig. 2: Diagrama del círculo

Para el motor original conexión YY 220 V, tenemos una corriente I nominal o corriente absorbida (I_1) de 7,4 ampere a f.d.p. de 0,83 fijada en el semicírculo como se muestra en la Fig. 2, comparamos con la corriente absorbida (I_2), también fijada en el semicírculo para el motor rediseñado conexión Δ 220 V, de 7,26 ampere a f.d.p. 0,77.

Como se observa, luego del rediseño del motor Jaula de Ardilla, para la misma potencia nominal, se incrementa ligeramente el Torque, la nueva corriente nominal I_2 es ligeramente menor que I_1 , y por consiguiente se reduce el factor de potencia de 0,83 a 0,77 (véase la tabla 4).

Factor de potencia	Tipo de conexión
0,83	Conexión YY 220 V (motor original)
0,77	Conexión Δ 220 V (motor rediseñado)
0,75	Conexión Y 380 V (motor rediseñado)

Tabla 4: Valores hallados desde el circuito equivalente

3. La aplicación de diferentes protocolos que recomiendan las Normas; establecen valores de eficiencia dependiendo de la forma en que las pérdidas son evaluadas.

Por ejemplo:

- ✓ Según norma IEC 34-2 Standard, las pérdidas adicionales asumidas a plena carga es arbitrariamente el 0,5% de la potencia nominal consumida.
- ✓ En la norma JEC-37 las pérdidas mecánicas son totalmente ignoradas cuando evaluamos la eficiencia del motor.
- ✓ Con la norma NEMA Standard las pérdidas totales son medidas y bajo este método es posible inferir las pérdidas adicionales.

Como se puede apreciar en el cuadro adjunto, se ha mejorado la eficiencia debido a una mejor utilización de la potencia.

HP	JEC-37 Diagrama Circular	IEC-34-2 Método indirecto (pérdidas totales)	IEEE 112-B Método directo	
2,4	0,80608	0,75349	0,744	Motor original YY 220 V
2,4	0,82837	0,77919	0,763	Motor rediseñado Δ 220 V
2,4	0,84706	0,79534	0,770	Motor rediseñado Y 380 V

Tabla 5: Valores de eficiencia según método utilizado para el motor analizado

4. El objetivo inicial fue usar el motor con las condiciones existentes en un laboratorio cuyas tensiones de línea son 380 V/220 V, cabe señalar que es un motor de laboratorio cuyo funcionamiento no es permanente (dado que funciona solo durante las pruebas).

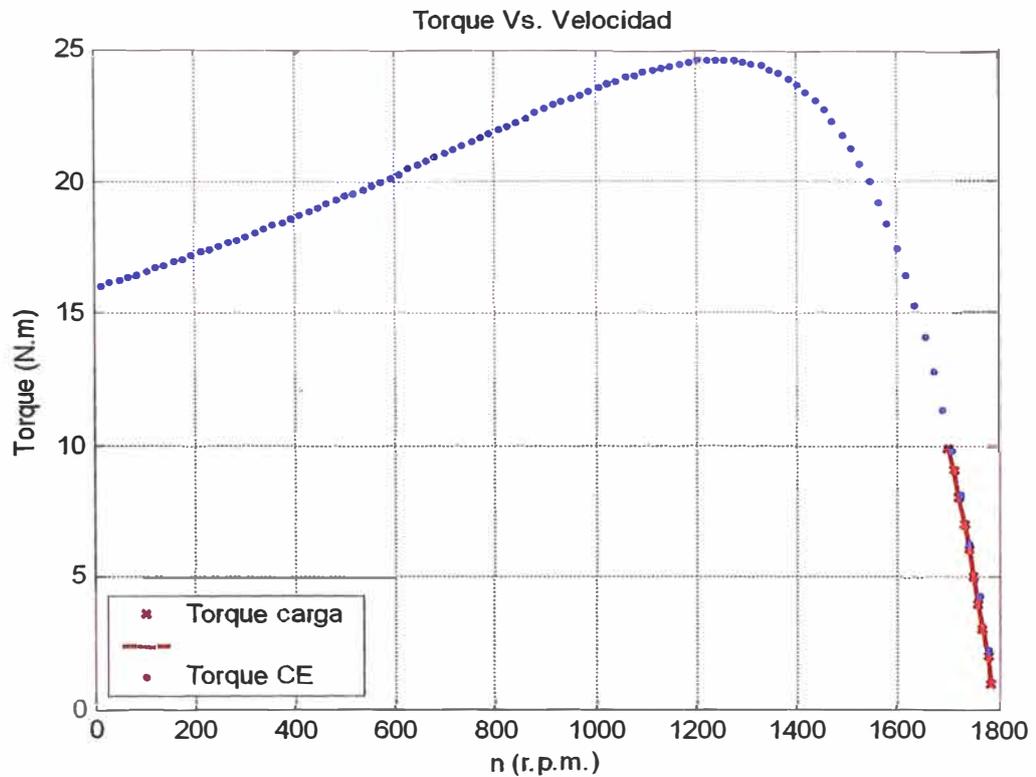
Sin embargo los ensayos en el laboratorio nos permiten a tener una idea de qué sucedería con este motor trabajando en régimen permanente; y en condiciones de sobrevoltaje.

En lo que respecta a costos del rebobinado, debido a las características del motor con el que se ha trabajado (baja potencia) no es muy recomendable, ya que se puede conseguir un motor de mayor eficiencia dentro de los costos razonables del mercado. Sin embargo, el rebobinado o rediseño del mismo no sería un problema de costos si se realizase en motores de potencias mayores.

El objetivo de este trabajo era la verificación de las características del motor rediseñado, usando para ello instrumental digital adecuado y verificar los resultados mediante el uso de herramientas informáticas, específicamente el Matlab5

Contrastarlo con los valores obtenidos en el Diagrama del círculo, en este caso observando los resultados podemos concluir que son muy aproximados.

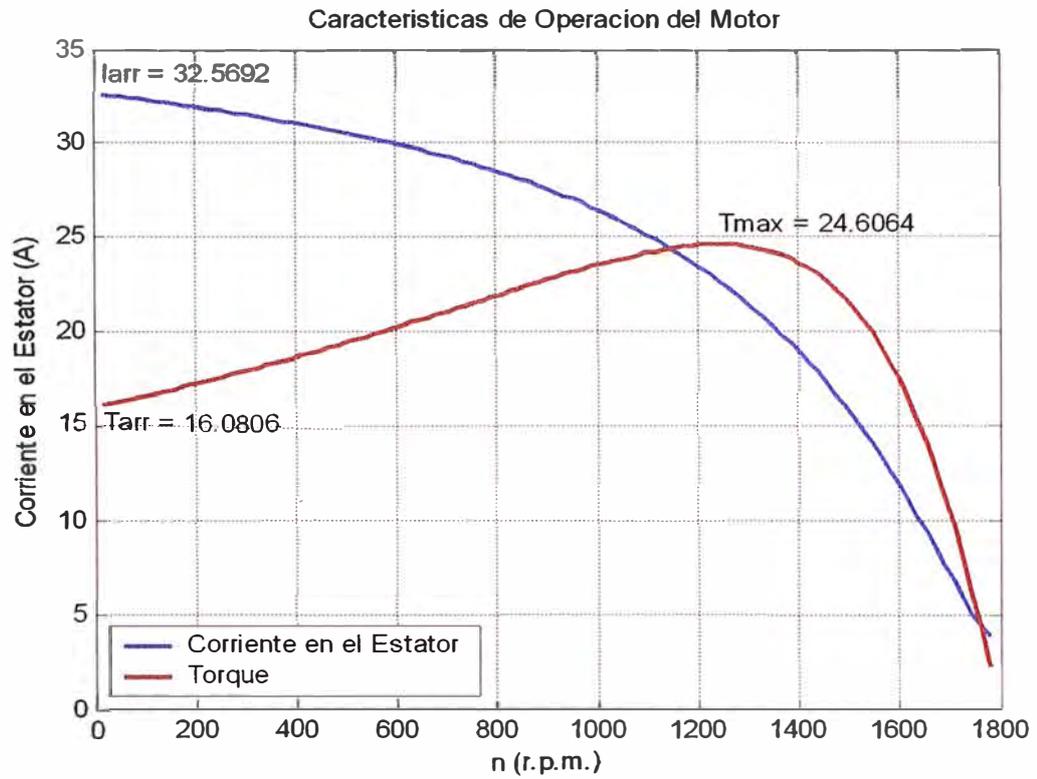
5. Comparación de curvas del Circuito Equivalente Vs. Ensayos en carga del motor Jaula de Ardilla.



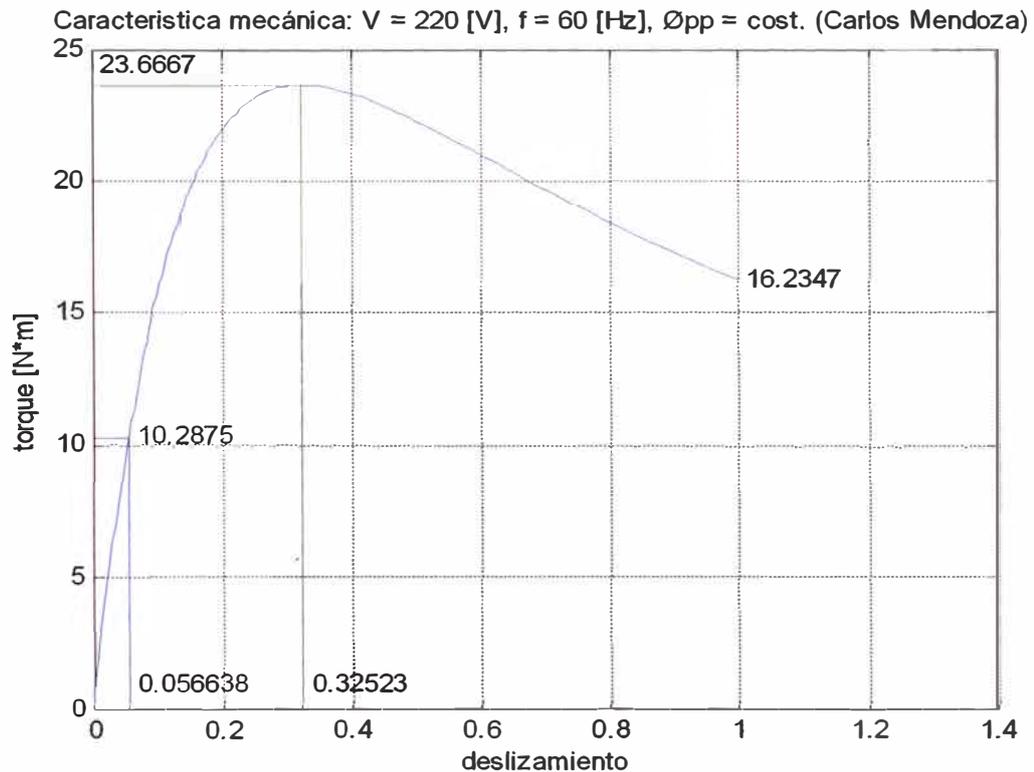
Gráfica 2: Comparación de los valores medidos (prueba con carga) en la gráfica calculada en Matlab

Esta gráfica nos permite, comparar entre los datos calculados (a partir del circuito equivalente; prueba de vacío y rotor bloqueado) de donde se obtiene la curva Torque vs. Velocidad, y los datos tomados o medidos a partir de la prueba con carga (véase la zona de trabajo), encontrándose ambos coincidentes, estas características se aprecian en los 3 casos medidos y simulados con Matlab (Motor original YY 220 V, Motor rediseñado Δ 220 V, Motor rediseñado Y 380 V).

6. Otras gráficas obtenidas con el desarrollo de las simulaciones:



Gráfica 3: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad

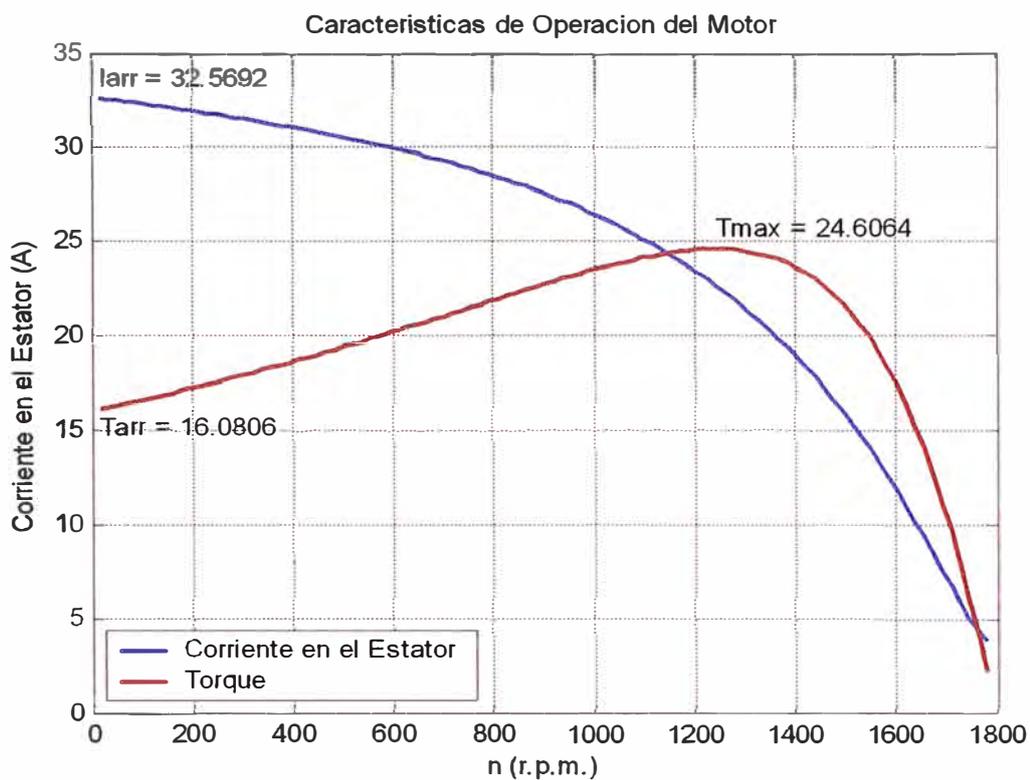


Gráfica 4: Características mecánicas del motor original, usando el diagrama del círculo

De los gráficos 3 y 4 observe las coincidencias al trazar la curva Torque vs. Velocidad (Aquí a partir de los datos calculados para el circuito equivalente gráfica 3 y la gráfica 4 que corresponde al uso del Diagrama del círculo), véase las coincidencias del Torque de arranque, el Torque máximo y Torque nominal; este caso es para Motor original YY 220 V.

Nuevamente concluimos que estas características se aprecian en los 3 casos medidos y simulados con Matlab (Motor original YY 220 V, Motor rediseñado Δ 220 V, Motor rediseñado Y 380 V).

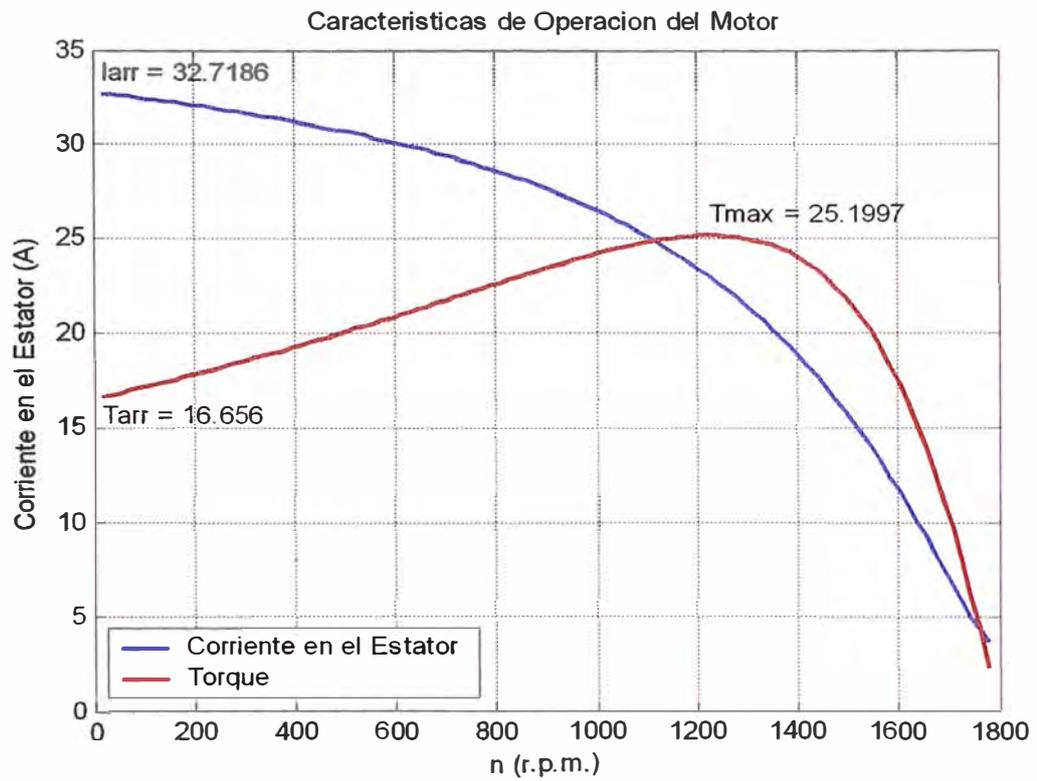
7. Comparando la performance de la máquina antes y después del rediseño



Gráfica 5: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad
(Motor original)

Obteniendo de las graficas los siguientes valores:

$I_{arranque}$: 32,5692 A
$T_{arranque}$: 16,0806 N.m
$T_{máximo}$: 24,606 N.m
$T_{nominal}$: 9,873 N.m

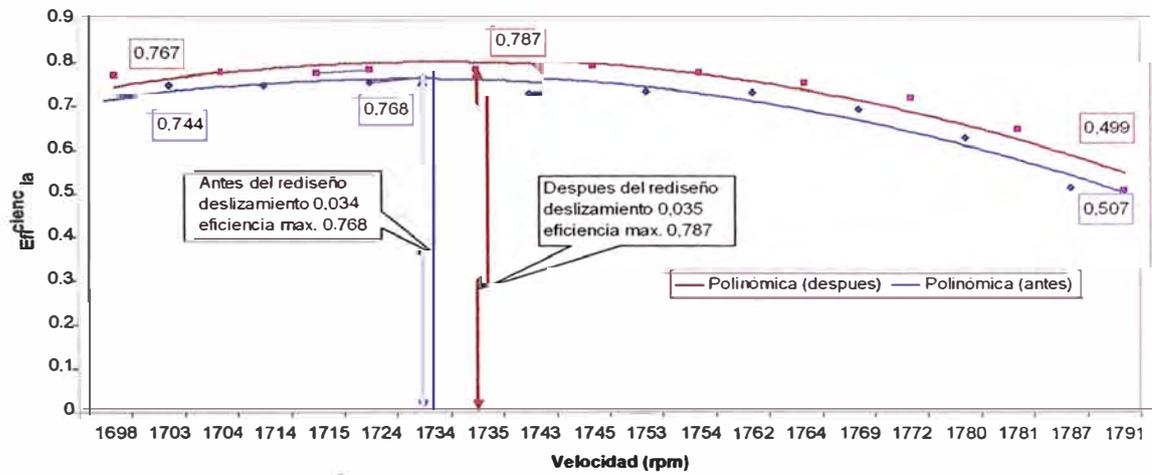


Gráfica 6: Corriente de arranque y Torque desarrollado Vs Velocidad
(Motor rediseñado)

Obteniendo de las graficas los siguientes valores:

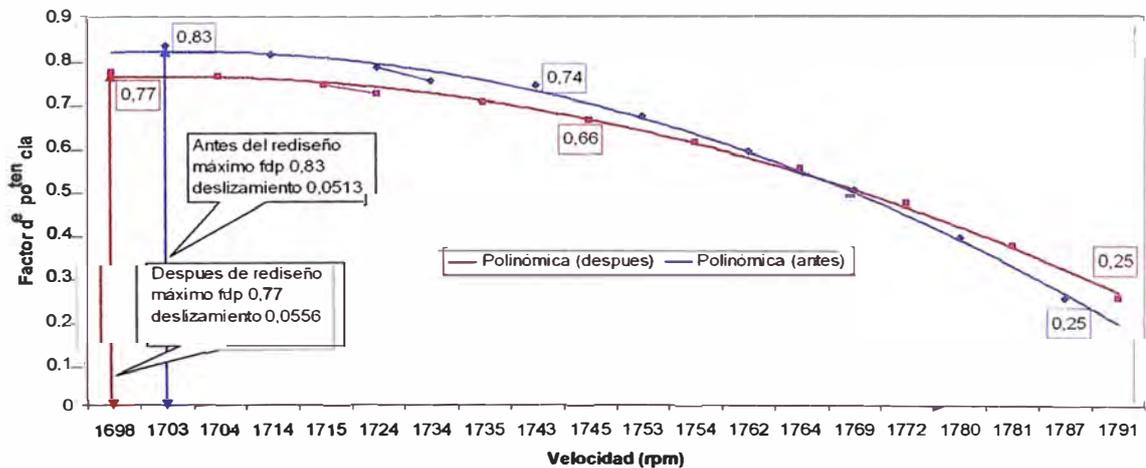
$I_{arranque}$: 32,7186 A
$T_{arranque}$: 16,656 N.m
$T_{máximo}$: 25,1997 N.m
$T_{nominal}$: 10.5132 N.m

COMPARANDO EFICIENCIAS DE LA MÁQUINA



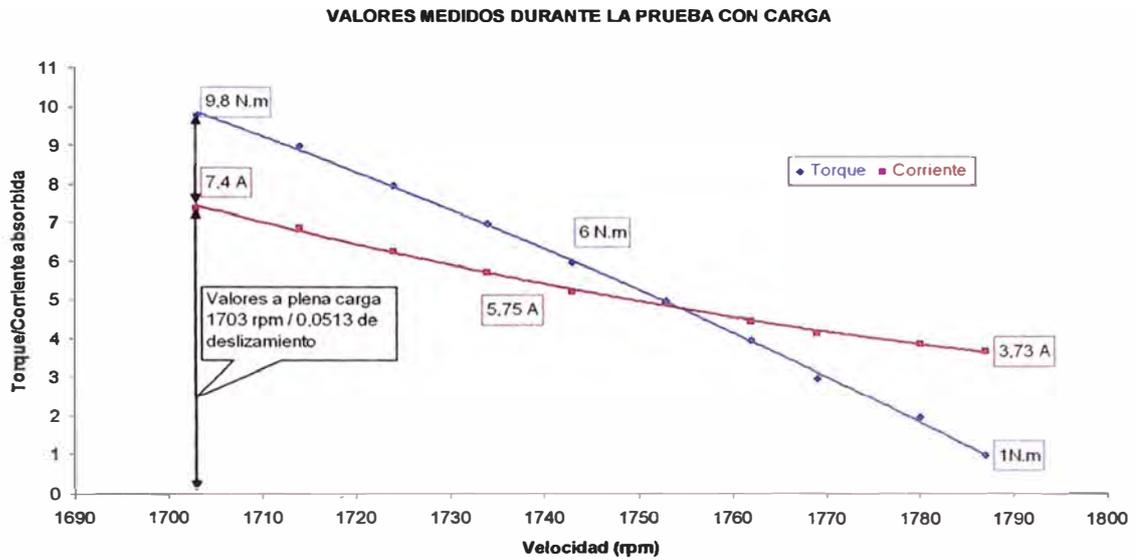
Gráfica 7: Eficiencias Vs Velocidad
(Motor original y motor rediseñado)

COMPARANDO FDP DE LA MÁQUINA

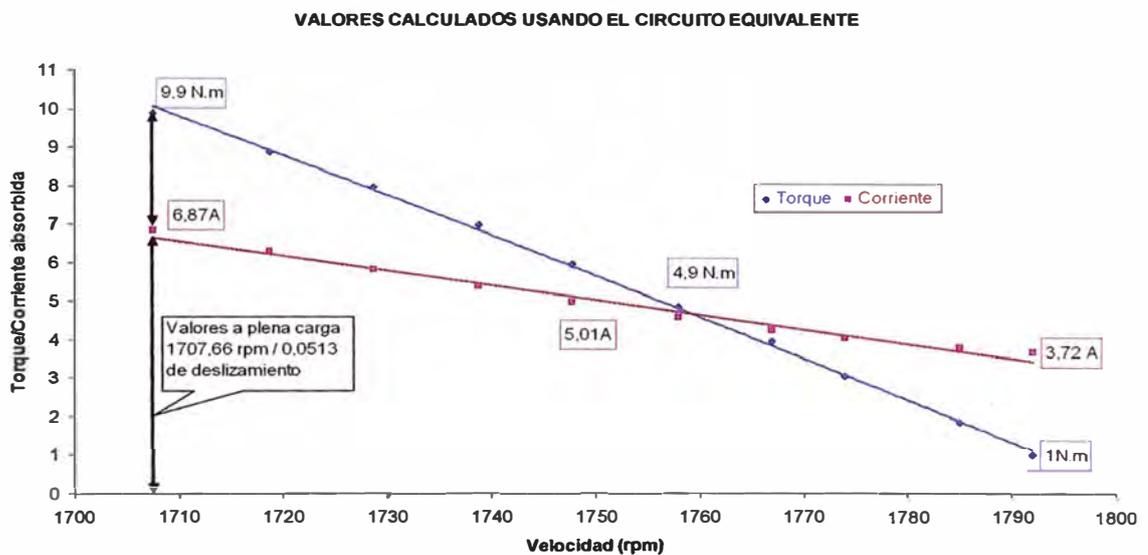


Gráfica 8: Factor de Potencia Vs Velocidad
(Motor original y motor rediseñado)

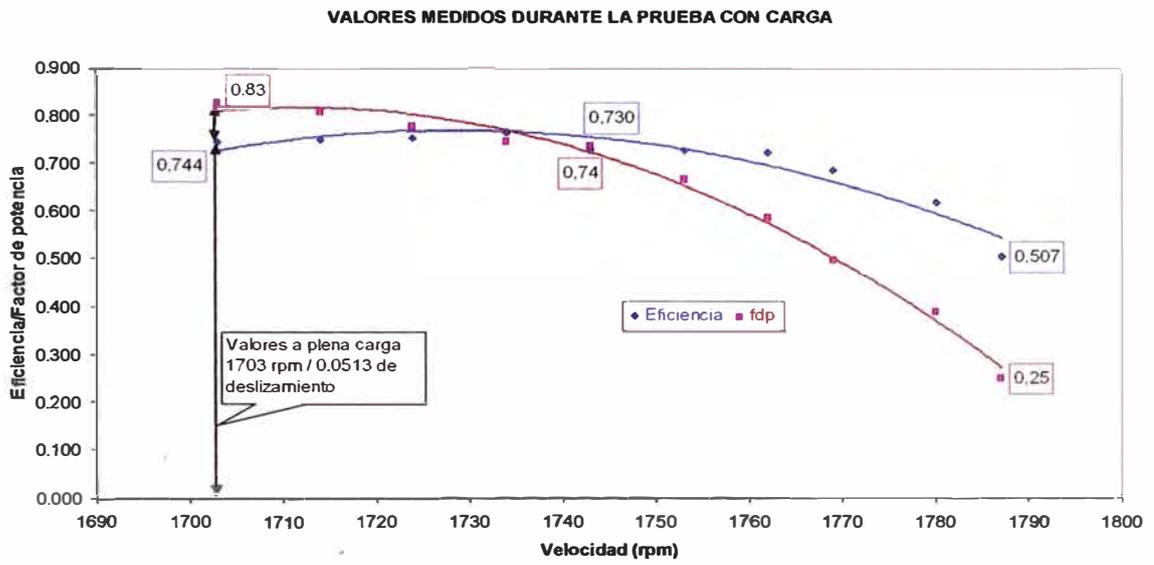
8. Comparando la performance de la máquina antes y después del rediseño (Con valores medidos durante la prueba y valores calculados con el circuito equivalente)



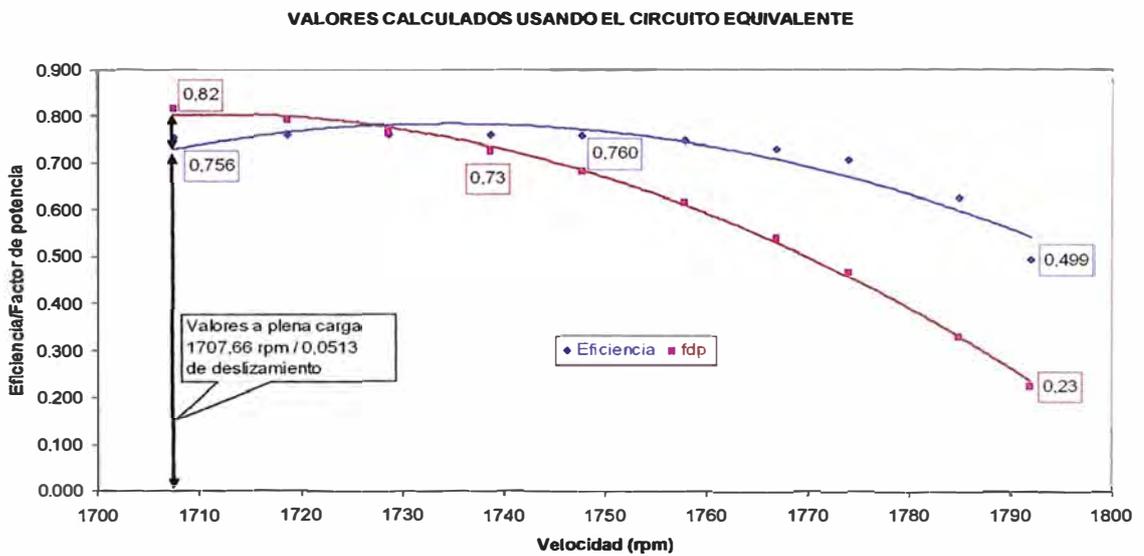
Gráfica 9: Torque/Corriente absorbida Vs Velocidad
(Valores medidos durante la prueba con carga/motor original)



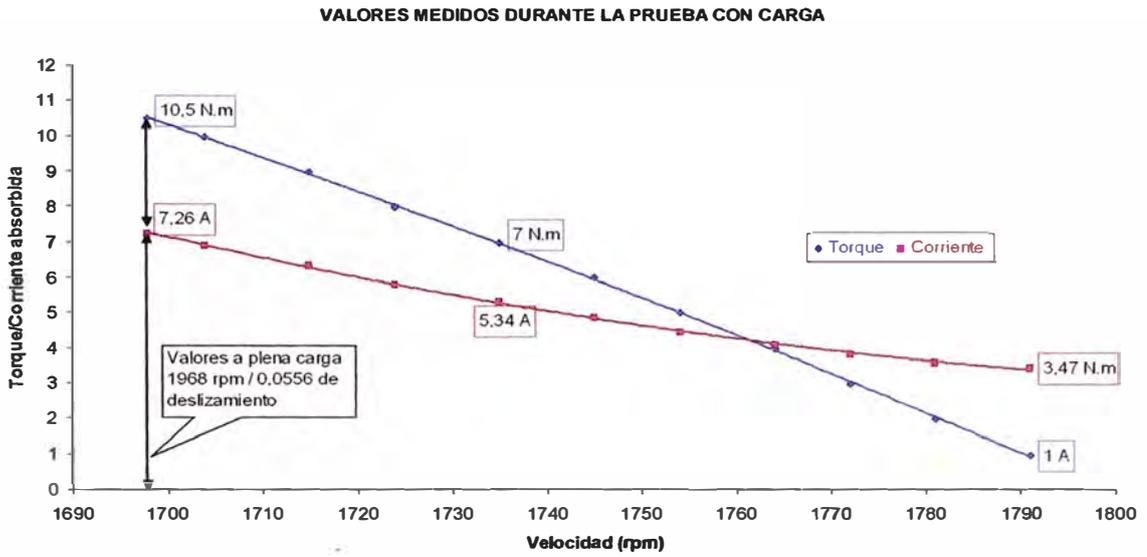
Gráfica 10: Torque/Corriente absorbida Vs Velocidad
(Valores calculados usando el circuito equivalente/motor original)



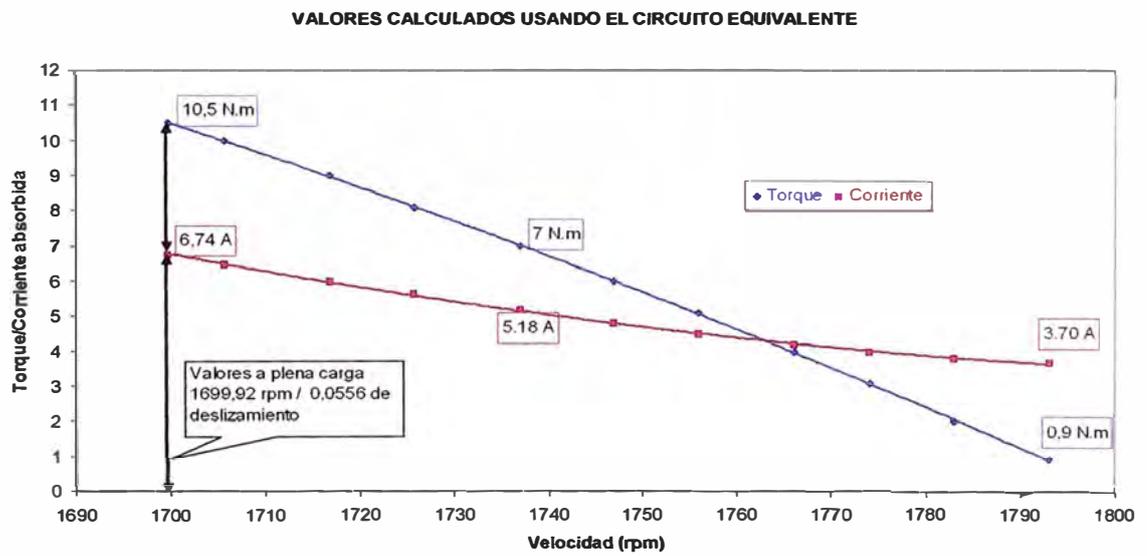
Gráfica 11: Eficiencia/Factor de potencia Vs Velocidad
(Valores medidos durante la prueba con carga/motor original)



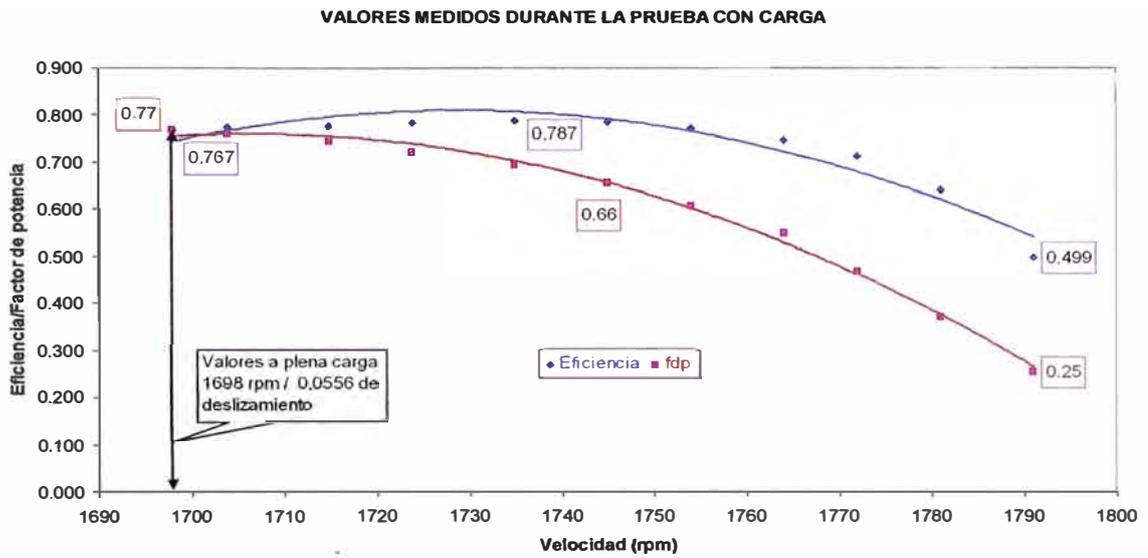
Gráfica 12: Eficiencia/Factor de potencia Vs Velocidad
(Valores calculados usando el circuito equivalente/motor original)



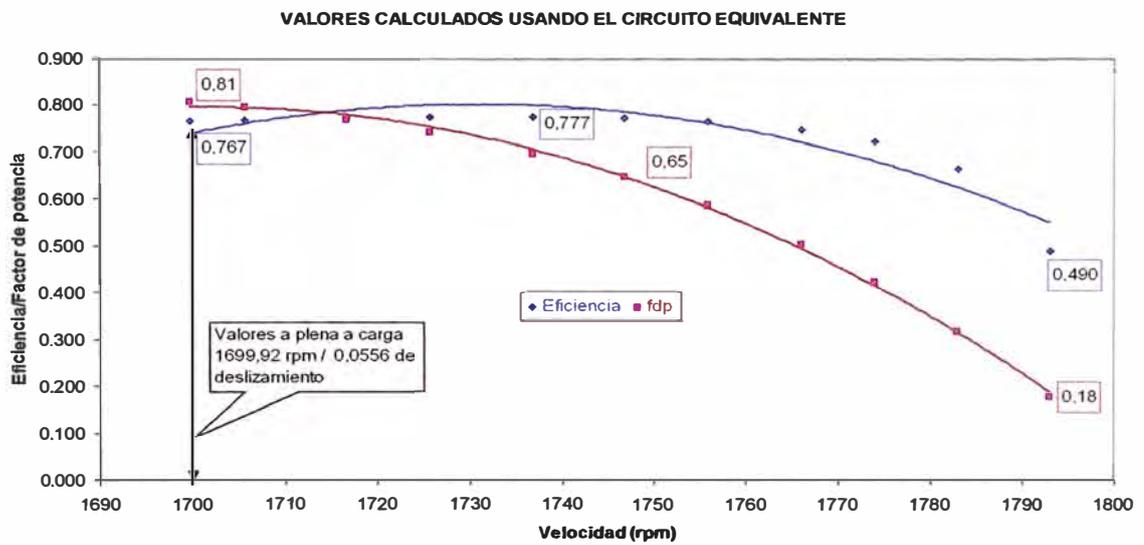
Gráfica 13: Torque/Corriente absorbida Vs Velocidad
(Valores medidos durante la prueba con carga/motor rediseñado)



Gráfica 14: Torque/Corriente absorbida Vs Velocidad
(Valores calculados usando el circuito equivalente/motor rediseñado)



Gráfica 15: Eficiencia/Factor de potencia Vs Velocidad
(Valores medidos durante la prueba con carga/motor rediseñado)



Gráfica 16: Eficiencia/Factor de potencia Vs Velocidad
(Valores calculados usando el circuito equivalente/motor rediseñado)

ANEXOS

ANEXO A: TABLAS USADAS PARA LAS PRUEBAS

Tabla N° 1: Medición de la resistencia del devanado estático

Devanado	Terminales	R (Ω)	R (Ω) 75°C
Estator			
Temperatura ambiente: °C			

Tabla N° 2: Mediciones de la Prueba en Vacío

V ₀ (V)	I ₀ (A)	P ₀ (W)	S ₀ (VA)	Cosφ

Tabla N° 3: Mediciones de la Prueba a Rotor Bloqueado

V _{cc} (V)	I _{cc} (A)	P _{cc} (W)	S _{cc} (VA)	Cosφ

Tabla N° 4: Mediciones de la Prueba con Carga

V (V)	I (A)	P (W)	S (VA)	FP	T (N.m)	n (rpm)

ANEXO B: INSTRUMENTOS USADOS PARA ESTA EXPERIENCIA

✓ *Motor Jaula de Ardilla*

✓ *Datos de Placa*

3~ Mot. 1LA3	096-4 YB60
Tño 90L	NrTC211058
Form. con. B3	IP44 CI. Rotor 16
2,4 HP	CI. A(s).B

✓ *WT 210 Digital Power Meter Yokogawa 1Φ / clase 0.2*

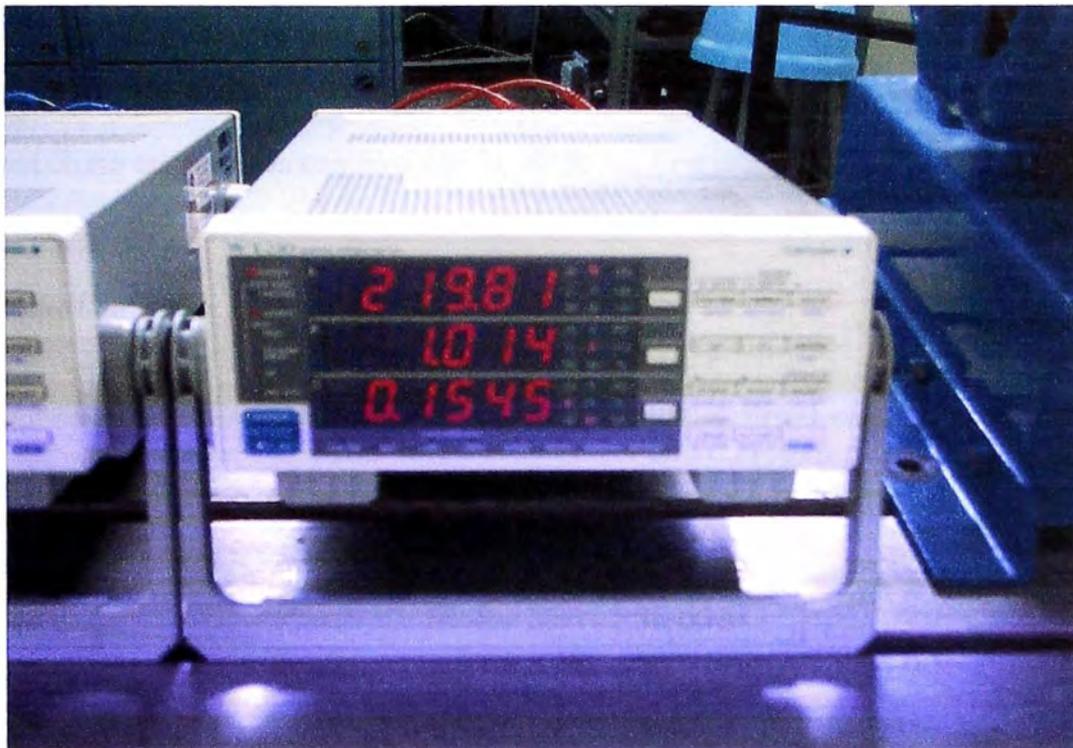
✓ *DT-2073 Tachometer Japan*

✓ *Digital Micro-Ohmmeter MPK 253/ 2000μΩ(10A)-200Ω(1mA) / clase 0.2*

✓ *Newtonmeter 0-30 N.m*

Gen-Comp	Motor-Comp
2,7 KW	2,5 KW
1470 r/min	1100/3000 r/min
230 V 11,7 A	Clase B
Exc. 220 V	220 V 13,7 A
Sen 201 IEC34-1	Exc.220 V Exc. A
	Sen 2601 IEC34-1

WT 210 DIGITAL POWER METER YOKOGAWA 1 Φ CLASE 0.2



ANEXO C: CARACTERISTICAS DEL MOTOR ORIGINAL Y DEL MOTOR REDISEÑADO

En esta parte se presentan los datos de placa del motor y sus características iniciales, así como también los cambios que le afectaron después del rediseño.

Datos de Placa

3~ Mot. 1LA3	096-4 YB60
Tño 90L	NrTC211058
Form. con. B3	IP44 CI. Rotor 16
2,4 HP	CI. A(s).B

Motor Marca Siemens			
Magnitud	Unidad	Antes	Después
Parte Eléctrica:			
Potencia	HP	2,4	
Tensión	V	220 YY / 440 Y	220 Δ / 380 Y
Corriente	A	7,4 / 3,7	7.4/ 3.6
cosφ		0,81	
Frecuencia	c/s	60	
Velocidad	rpm	1700	
Parte Física:			
Corona	mm	13	
Diámetro Exterior	mm	134	
Diámetro Interior	mm	83	
Ranuras	mm	36	
Longitud núcleo axial	mm	102	
Polos		4	

Parámetros del Bobinado Concéntrico

Magnitud	Unidad	Antes	Después
Numero de Conductor	AWG	21	20
Paso 8	vueltas	46	40
Paso 10	vueltas	46	40
Paso 12	vueltas	46	40
Numero de Capas			1
Numero de Terminales		9	6
Conexión Interior			Serie

Parámetros del Bobinado (Campo Magnético)

Magnitud	Símb	Und	Antes	Después
Factor de bobinado concéntrico	fb		0,96	0,96
Constante de conexión	a		2	1,73
	m		3	3
Total de conductores en la ranura	Z_1		46	40
Inducción – entrehierro	B_0	tesla	0,8518	0,9776
Inducción – corona	B_c	tesla	1,5434	1,7749
Inducción – diente	B_{d1}	tesla	1,7509	2,0136
Densidad de corriente admisible	J	A/mm^2		
Área máxima donde cabe el conductor	A_m		31	31
Área que estamos usando de acuerdo al numero de vueltas	A_r		28	31
Densidad de flujo de corriente por el área del conductor	$D_x A$		2118	1951

Cálculos del bobinado del Motor

Tipo de bobinado	: Bobinado concéntrico por polos con 36 ranuras y 4 polos
Forma	: Concéntrico por polos con bobinas distribuidas
Numero de ranuras (K)	: 36
Numero de polos (2p)	: 4
Numero de fases (q)	: 3
Numero de ranuras por polo y fase	: $Kpq = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$
Numero de bobinas	: $B = \frac{K}{3} = \frac{36}{3} = 12$
Numero de grupos de bobinado	: $G = 2pq = 4 \times 3 = 12$
Numero de bobinas por grupo	: $U = \frac{B}{G} = 1$
Amplitud del grupo	: $M = (q - 1) \times 2U = (3 - 1) \times 2 = 4$
Paso de principios	: $Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{36}{3 \times 2} = 6$
Tipo de hilo inicialmente	: cobre esmaltado # 21 AWG
Inducción en el entrehierro	:

$$Be = \frac{V_{fase} \times P_{pares-polos}}{4,44 f \times D_{rotor} \times L_{long.nucleo} \times K_{bobina} \times N_{espiras-fase}}$$

$$Be = \frac{127 \times 2}{4,44 \times 60 \times 0,083 \times 0,102 \times 0,96 \times 3 \times 46} \quad T$$

$$Be = 0,8501 \quad T \text{ antes del rediseño}$$

$$Be = \frac{127 \times 2}{4,44 \times 60 \times 0,083 \times 0,102 \times 0,96 \times 3 \times 40} \quad T$$

$$Be = 0,9776 \quad T \text{ después del rediseño}$$

Inducción en la corona

$$B_C = \frac{1,05 \times D_{rotor}}{P_{polos} \times h_{carcasa}} \times Be \quad T$$

$$Bc = \frac{1,05 \times 0,083}{4 \times 12} \times 0,8501 \quad T$$

$$Bc = 1,5429 \quad T \quad \text{antes del diseño}$$

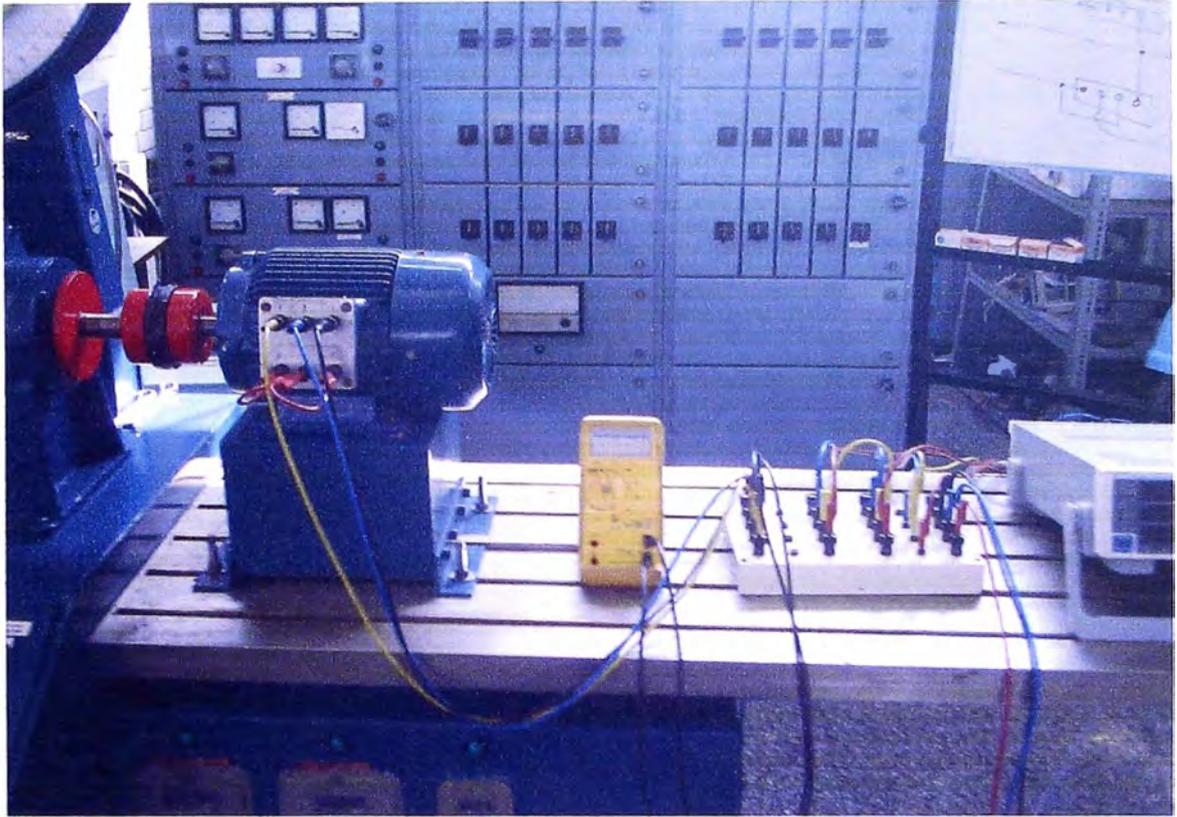
$$Bc = \frac{1,05 \times 0,083}{4 \times 12} \times 0,9776 \quad T$$

$$Bc = 1,7749 \quad T \quad \text{después del rediseño}$$

Par Nominal

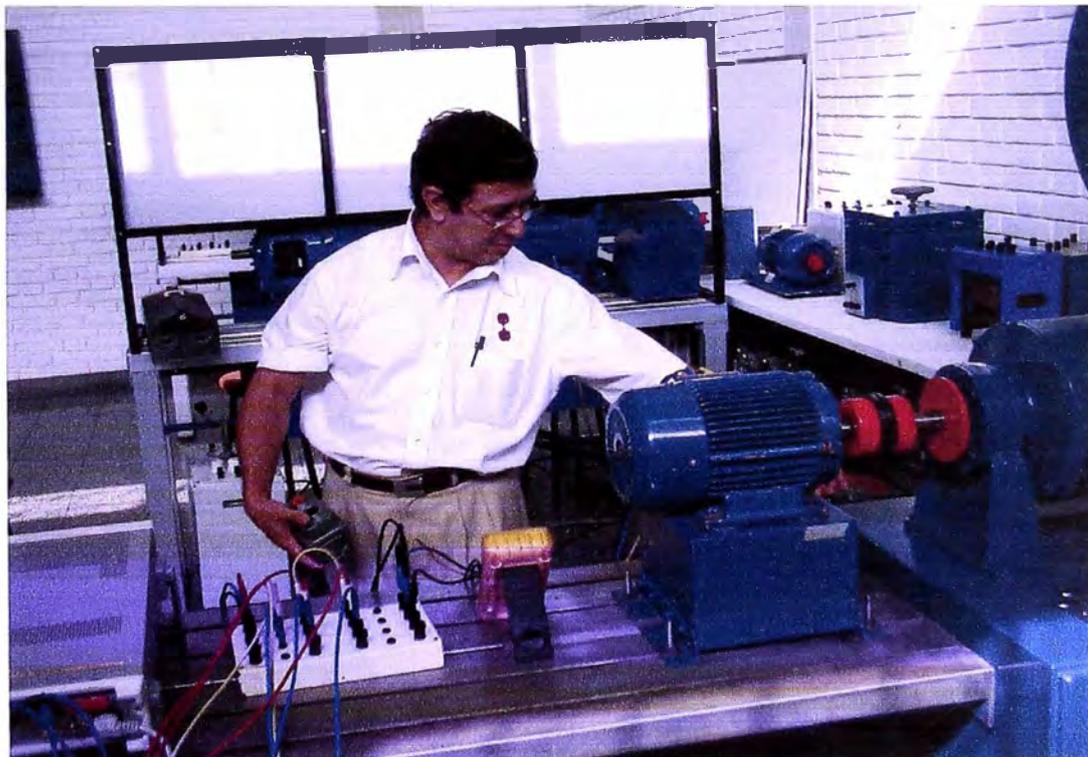
$$: T_N = \frac{P_{util}}{n(\pi / 60)}$$

Magnitud	Símbolo	Unidad	Antes	Después	
Tensión	V	V	220 YY	220 Δ	380 Y
Velocidad	n	rpm	1703	1698	1700
Potencia Útil	P _U	W	1747,71	1867,05	1869,25
Potencia Total	P _T	W	2349	2435	2427
Intensidad	I	A		7,26	4,29
Par nominal	T	N.m	9,8	10,5	10,5
Factor de Potencia	f.d.p.		0,83	0,77	0,75
Rendimiento nominal	n		0,744	0,767	0,770

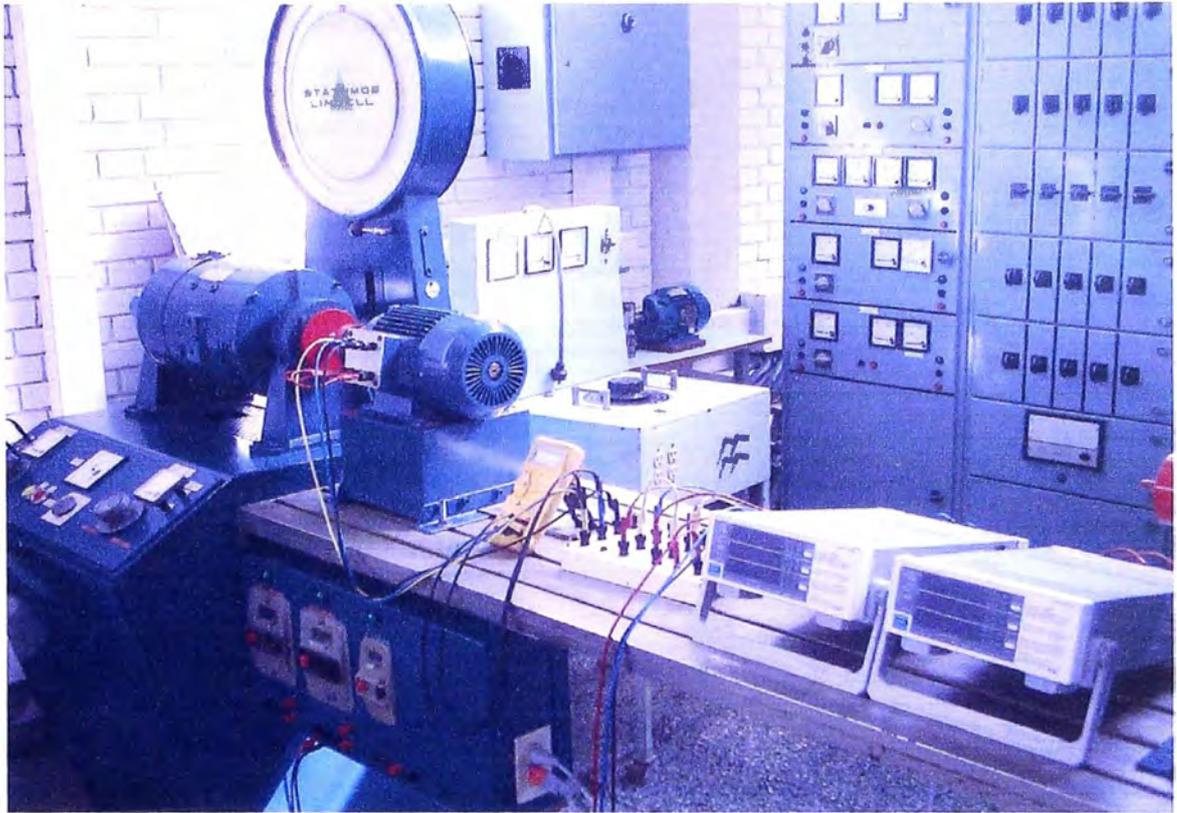
ANEXO D: MAQUINA EN ESTUDIO**PRUEBA DE CARGA**



AJUSTE DE LOS PARAMETROS DEL VATIMETRO DIGITAL



AJUSTANDO LA TENSION PARA LAS CONDICIONES DE PRUEBA



VISTA PANORAMICA DEL MOTOR E INSTRUMENTOS

ANEXO E: PROGRAMAS EN MATLAB

PROGRAMA: *maquina.m*

```

function datos()
clc
parx = [
'-----'
'      PROGRAMA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS
'      Y GRAFICAS REPRESENTATIVAS DEL MOTOR DE INDUCCION
'-----'
'      Calculos                                Opc.
'-----'
'      Calcular Circuito Equivalente           1
'      Calcular Valores para un s             2
'      Prueba con carga (C.Equiv - Datos Lab.) 3
'      Diagrama del Circulo                   4
'      Salir                                   0
'-----'
'];

disp(parx)

nc = -1;
while nc ~=1 & nc ~= 2 & nc ~=3 & nc ~=4 & nc~=0
nc = input('Seleccione una opcion del menu : ');
if nc ~= 1 & nc ~= 2 & nc ~=3 & nc ~=4 & nc~=0
disp('Enter 1, 2, 3, 4 or 0'), end
end
fprintf(' \n')
clc
if nc == 0, return, end
if nc == 1
ckt1 = [
' CALCULO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE'
'-----'];
disp(ckt1)

% DATOS DE LA MAQUINA
% -----
fprintf('\n Datos de la Maquina')
fprintf('\n -----\n');
frec = 60; % Frecuencia en
Hz
np = input(' Nro de polos : '); % 4; % número de polos
ns = 120*frec/np; % Velocidad
síncrona (RPM)
R = input(' Resistencia (Ohm): '); % 1.3; % Resistencia Medida
(Ohms), corregida por temperatura.

% PRUEBA EN VACIO
% -----
Rl = R; % Resistencia corregida a 75°C (Tamb=20°C) (Ohms)
fprintf('\n Prueba en Vacio');
fprintf('\n -----\n');
Po = input(' Potencia (W) : '); % 48 % Potencia (W)
Io = input(' Corriente (A) : '); % 3.68; % Corriente (A)
Vo = input(' Tension (V) : '); % 127.4; % Tensión (V)
Pm = input(' Perd. Mec. (W) : '); % 4; % Perdidas mecanicas
(W)

```

```

% PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO o CORTOCIRCUITO

% -----
fprintf('\n Prueba a Rotor Bloqueado');
fprintf('\n -----\n');
Pcu= input(' Potencia      (W): '); % 142           % Potencia (W)
Vrb= input(' Tension      (V): '); % 29.56;         % Tensión (V)
Irb= input(' Corriente    (A): '); % 7.4;           % Corriente (A)

% HALLANDO EL CIRCUITO EQUIVALENTE
% -----

% De la prueba de vacio
% -----
Ro = (Po-Pm)/Io^2; % Ro = Rl + Rm
Rm = Ro-Rl;
ang= acos((Po-Pm)/Vo/Io);
Xo = Ro*tan(ang); % Xo = Xl + Xm

% De la prueba de rotor bloqueado
% -----
Rrb = Pcu/Irb^2; % Rrb = Rl + R2
R2 = Rrb-Rl;
ang = acos(Pcu/Vrb/Irb);
Xrb = Rrb*tan(ang);
X1 = 1/2*Xrb; %
X2 = 1/2*Xrb;
Xm = Xo-X1;

fprintf('\n Circuito Equivalente Calculado')
fprintf('\n -----')
fprintf('\n Re : %2.4f Ohm', Rl)
fprintf('\n Xe : %2.4f Ohm', X1)
fprintf('\n Rm : %2.4f Ohm', (Rm^2+Xm^2)/Rm) % Se imprimen los
valores para la rama
fprintf('\n Xm : %2.4f Ohm', (Rm^2+Xm^2)/Xm) % magnetizante en
paralelo
fprintf('\n Rr : %2.4f Ohm', R2)
fprintf('\n Xr : %2.4f Ohm', X2)

save datos.mat Rl Xl Rm Xm R2 X2 Vo Pm ns

s = 0.01:0.01:0.99; % Deslizamiento para la curva del CE
[n, T, I1, Im, I2, FP, PotMec, efic]=calculo(Vo, s);

% Grafica de Caracteristicas de Operacion
% -----

% Grafica del Factor de Potencia y de la Eficiencia
% figure(1), plot(n, FP, 'b', n, efic, 'r', 'linewidth', 2)
% figure(1), Legend('FdP', 'Eficiencia', 4)
% figure(1), title('Caracteristicas de Operacion del Motor')
% figure(1), xlabel('n (r.p.m.)')
% figure(1), ylabel('FdP y Eficiencia')
% [FPmax, Pmax] = max(FP);
% nmax = n(Pmax);
% text(nmax-100, FPmax+0.03, [' ', num2str(FPmax)])
% [EFmax, Pmax] = max(efic);
% nmax = n(Pmax);
% text(nmax-100, EFmax+0.03, [' ', num2str(EFmax)])
% axis([0, 1800, 0, 1]);
% grid on;

% Grafica de la Corriente en el Estator y el Torque

```

```

[Tmax, Pmax] = max(T);
nmax = n(Pmax);
figure(2), plot(n, Il, 'b', n, T, 'r', 'linewidth', 2)
figure(2), Legend('Corriente en el Estator', 'Torque', 3)
figure(2), title('Caracteristicas de Operacion del Motor')
figure(2), xlabel('n (r.p.m.)')
figure(2), ylabel('Corriente en el Estator (A)')
n0 = size(n);
n0 = n0(2);
text(n(n0), Il(n0)+1, ['Iarr = ', num2str(Il(n0))])
text(n(n0), T(n0)-1, ['Tarr = ', num2str(T(n0))])
text(nmax, Tmax+1, ['Tmax = ', num2str(Tmax)])
axis('auto');
grid on;

elseif nc == 2

load datos.mat

cktl = [
' CALCULO DE VALORES PARA UN S'
' -----'];
disp(cktl)

% DATOS DE LA MAQUINA
% -----
fprintf('\n Datos de la Maquina')
fprintf('\n -----\n');

% Para el valor de deslizamiento constante.
V = input(' Tension (V) : '); %127.4 ; % Deslizamiento
s = input(' Deslizamiento : '); %0.0524; % Deslizamiento
[n, T, Il, Im, I2, FP, PotMec, efic]=calculo(V, s);

fprintf('\n Maquina de Induccion')
fprintf('\n -----')
fprintf('\n Deslizamiento s : %4.4f', s)
fprintf('\n Velocidad Asinc. n : %4.1f r.p.m.', n)
fprintf('\n Torque Electrom. T : %4.3f N.m.', T)
fprintf('\n Corriente Estat. Ie: %4.4f A', Il)
fprintf('\n Corriente Magne. Im: %4.4f A', Im)
fprintf('\n Corriente Rotor Ir: %4.4f A', I2)
fprintf('\n Pot. Mecanica Pm: %4.1f W', PotMec)
fprintf('\n \n')

elseif nc == 3

load datos.mat

cktl = [
' PRUEBA CON CARGA'
' -----'];
disp(cktl)

% DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO
% -----
fprintf('\n Datos obtenidos en el Laboratorio')
fprintf('\n -----\n');

% Para el valor de deslizamiento constante.
fprintf('\n Ingrese los datos obtenidos de la siguiente manera')
DatLab = input(' [V Il P n T] : '); % Ingresar como una matriz
V = DatLab(:,1)'; % Tension de linea
Il = DatLab(:,2)'; % Corriente

```

```

P = DatLab(:,3)'; % Potencia
n = DatLab(:,4)'; % Revoluciones en RPM
T = DatLab(:,5)'; % Torque

Pi = P; % Potencia que ingresa al Motor
%T=Pull*9.81*0.305; % Torque Eq. (7.11)
w = n*pi/30; % Velocidad en Rad/sec.
Po = (w.*T); % Potencia Mecanica del Motor
Eff= (Po./Pi*100); % Eficiencia del Motor
%th=atan(sqrt(3)*(P1-P2)./(P1+P2));
%pf=cos(th);
%pf=cos(P./(sqrt(3).*V.*I1));
%pf=cos(P./(V.*I1));
FP = ((P./3)./(V.*I1)); % Factor de Potencia
ns = input(' Ingresar la velocidad sincrona en RPM, ns = ');
s = (ns-n)./ns; % Deslizamiento
PotMec = T.*n*pi/30;

%-----
% Calculo con el circuito equivalente
s_ce = 0.01:0.01:0.99; % Deslizamiento para la curva del CE
V_ce = ones(size(s_ce))*V(1,1);
%n_ce = (1-s_ce)*ns; % Velocidad del Rotor para las curvas CE

[n_ce, T_ce, I1_ce, Im_ce, I2_ce, FP_ce, PotMec_ce,
efic_ce]=calculo(V_ce, s_ce);
efic_ce = efic_ce.*100;

fprintf(['\n          V(V)          I_1(A)          P(W)          n(RPM)          T(N-m)'])
fprintf(['\n          -----'])
fprintf( '\n          %5.2f %5.2f %6.1f %5.1f %4.1f', [V; I1;
P; n; T]);

fprintf('\n\n          Resultados para el motor de Induccion Jaula de
Ardilla')
fprintf( '\n          -----')
fprintf(['\n          V(V)          S          FP          P_i(W)          FP          FP_ce          Pmec(W)
Pmec CE          T(N-m)          T CE          Eff          EffCE'])
fprintf( '\n          -----')
% fprintf( '\n          %5.2f %5.4f %3.2f %6.1f %3.2f %3.2f %6.1f
%6.1f %4.1f %4.1f %3.1f %3.1f', [V; s; FP; Pi; FP; FP_ce; PotMec;
PotMec_ce; T; T_ce; Eff; efic_ce]);
fprintf('\n\n')

% -----
% Graficas

% Corriente Estator y Torque - Velocidad
figure(1)
ord = 2; % Orden del Polinomio para ajuste de
curva
CoefPoly = polyfit(n, I1, ord); % Retorna el coeficiente del
polinomio
FPotPoly = polyval(CoefPoly, n); % Curva del Polinomio
figure(1), plot(n, I1, 'xr', n, FPotPoly, 'r', 'linewidth', 2)
CoefPoly = polyfit(n, T, ord); % Retorna el coeficiente del
polinomio
FPotPoly = polyval(CoefPoly, n); % Curva del Polinomio
hold on
figure(1), plot(n, T, 'xb', n, FPotPoly, 'b', 'linewidth', 2)
figure(1), Legend('Corriente en el Estator', '', 'Torque', '', 3)
figure(1), title('Corriente en el estator y Torque desarrollado Vs.
Velocidad')

```

```

figure(1), xlabel('n (r.p.m.)')
figure(1), ylabel('I_l (A) & T (N.m.)')
grid on
hold off

% Factor de Potencia y Eficiencia - Velocidad
figure(2)
ord = 2; % Orden del Polinomio para ajuste de
curva
CoefPoly = polyfit(n, FP, ord); % Retorna el coeficiente del
polinomio
FPotPoly = polyval(CoefPoly, n); % Curva del Polinomio
figure(2), plot(n, FP, 'xr', n, FPotPoly, 'r', 'linewidth', 2)
CoefPoly = polyfit(n, Eff, ord); % Retorna el coeficiente del
polinomio
FPotPoly = polyval(CoefPoly, n); % Curva del Polinomio
hold on
figure(2), plot(n, Eff/100, 'xb', n, FPotPoly/100, 'b', 'linewidth', 2)
figure(2), Legend('Factor de Potencia', '', 'Eficiencia', '', 3)
figure(2), title('Factor de potencia y Eficiencia Vs. Velocidad')
figure(2), xlabel('n (r.p.m.)')
figure(2), ylabel('Fdp & \eta')
grid on;
hold off

% Curva Corriente Estator - Velocidad
% figure(3)
% ord = 2; % Orden del Polinomio para ajuste
de curva
% CoefPoly = polyfit(n, Il, ord); % Retorna el coeficiente del
polinomio
% PotMPoly = polyval(CoefPoly, n); % Curva del Polinomio
% figure(3), plot(n, Il, 'xr', n, PotMPoly, 'r', n_ce, Il_ce, '.',
'linewidth', 2)
% figure(3), Legend('I estator carga', '', 'I estator CE', 3)
% figure(3), title('Corriente en el Estator Vs. Velocidad')
% figure(3), xlabel('n (r.p.m.)')
% figure(3), ylabel('Corriente Estator (A)')
% grid on;
% Curva Torque - Velocidad
figure(4)
ord = 2; % Orden del Polinomio para ajuste de
curva
CoefPoly = polyfit(n, T, ord); % Retorna el coeficiente del
polinomio
TorqPoly = polyval(CoefPoly, n); % Curva del Polinomio
figure(4), plot(n, T, 'xr', n, TorqPoly, 'r', n_ce, T_ce, '.',
'linewidth', 2)
figure(4), Legend('Torque carga', '', 'Torque CE', 3)
figure(4), title('Torque Vs. Velocidad')
figure(4), xlabel('n (r.p.m.)')
figure(4), ylabel('Torque (N.m)')
grid on;
% Curva Eficiencia - Velocidad
% figure(5)
% ord = 2; % Orden del Polinomio para ajuste
de curva
% CoefPoly = polyfit(n, Eff, ord); % Retorna el coeficiente del
polinomio
% EficPoly = polyval(CoefPoly, n); % Curva del Polinomio
% figure(5), plot(n, Eff, 'xr', n, EficPoly, 'r', n_ce, efic_ce, '.',
'linewidth', 2)
% figure(5), Legend('Torque carga', '', 'Torque CE', 3)
% figure(5), title('Torque Vs. Velocidad')

```

```

%     figure(5), xlabel('n (r.p.m.)')
%     figure(5), ylabel('Torque (N.m)')
%     grid on;

elseif nc == 4
    circulo

end

% Para la parte 3 queda, imprimir los resultados con los datos de prueba de
% carga y tambien con los obtenidos con el circuito equivalente tomando
% como dato la tension de entrada y el deslizamiento.
% Hacer que este ultimo calculo provenga de una funcion, si fuera necesario
% rehacer la funcion que realiza este calculo como se procedio antes.

function [n, T, I1, Im, I2, FP, PotMec, efic]=calculo(V, s)

    load datos.mat
    n =(1-s)*ns; % Velocidad del Rotor
    ws=ns*pi/30;
    w =(1-s)*ws;
    %Hallando el circuito equivalente%
    Z1 = R1 + j*X1;
    Zm = Rm + j*Xm;
    Z2 = R2./s + j*X2;
    Zp = Zm.*Z2./(Zm+Z2);

    I1 = V./(Z1+Zp);
    Vp = V-Z1.*I1;
    Im = Vp./Zm;
    I2 = Vp./Z2;
    FP = cos(angle(I1));

    I1 = abs(I1);
    I2 = abs(I2);
    Im = abs(Im);

    T = (3*R2.*I2.^2)./(ws.*s);

    Pcu1 = R1.*I1.^2;
    Pcu2 = R2.*I2.^2;
    Pfe = Rm.*Im.^2;
    Pad = 0;
    PerdTotal = 3*(Pcu1+Pfe+Pcu2+Pm+Pad);

    PotMec = 3.*R2.*(1-s)./s.*I2.^2;
    PotUtil = PotMec-3*Pm;
    %P_i = PotMec+3*(Pcu1+Pfe+Pcu2);
    P_i = 3*V.*I1.*FP;

    efic = PotUtil./P_i;

```

PROGRAMA: círculo.m

```

%caratmo.m
%
% Elaboración de las características de funcionamiento de un motor asincrono
trifasico,
% desarrollado indirectamente mediante la prueba de vacio, y en corto, a la
% misma resistencia estatorica.

echo off
close
clc
clear

disp(' ')
disp(' CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA CON EL DIAGRAMA DEL CIRCULO')
disp(' -----')
disp(' ')
disp('Nota :')
disp(' El separador de la parte entera y el decimal es el punto.')
disp(' Todos los datos ingresados esta a la temperatura convencional.')
disp(' ')

xxx=' (Carlos Mendoza)';

%introduzione dei dati di targa:
disp(' DATOS DE PLACA Y PRUEBA DE LA MAQUINA:')
disp(' -----')
pn=input(' Potencia nominal [W ] = ');
fn=input(' Frecuencia nominal [Hz] = ');
vn=input(' Tension nominal [V ] = ');

in=pn/(0.8*vn);
while in>=pn/(0.8*vn)
    in=input(' Corriente nominal [A ] = ');

    if in>=pn/(0.8*vn)
        disp(['De lo contrario In < ',num2str(pn/(0.8*vn)), ' [A] !'])
    end
end

nc=input(' Numero/par de polos = ');

iavv=in;
while iavv<=in
    iavv=input(' Corriente de arranque [A] = ');
    if iavv<=in
        disp(['De lo contrario Iavv > ',num2str(in),' [A] !'])
    end
end

cosfcc=1;
while cosfcc>=1
    cosfcc=input(' Factor de potencia en cortocircuito = ');
    if cosfcc>=1
        disp('De lo contrario cosfcc < 1 !')
    end
end

io=in;
while io>=in
    io=input(' Corriente absorbida de vacio [A] = ');
    if io>=in
        disp(['De lo contrario Io < ',num2str(io),' [A] !'])
    end
end

```

```

    end
end

cosfo=cosfcc;
while cosfo>=cosfcc
    cosfo=input(' Factor de potencia en vacio           = ');
    if cosfo>=cosfcc
        disp(['De lo contrario cosfo < ',num2str(cosfcc),' !'])
    end
end

rls=cosfcc*vn/(1.732*iavv);
while rls>=cosfcc*vn/(1.732*iavv)
    rls=input(' Resistencia de una fase del estator en Y [Ohm] = ');
    if rls>=cosfcc*vn/(1.732*iavv)
        disp(['De lo contrario la resistencia <
',num2str(cosfcc*vn/(1.732*iavv)),' [Ohm] !'])
    end
end

disp(' ')

%pn=3000;fn=50;vn=380;in=6.8;nc=2;iavv=29.39;cosfcc=0.585;io=3.24;cosfo=0.10
9;rls=1.922;

%Calculo le perdite costanti ed i parametri trasversali a statore:
pcost=1.732*io*vn*cosfo;
ro=vn^2/pcost;
xo=ro/tan(acos(cosfo));

%Calculo le perdite nel rame, le perdite adicionales, il rendimento
convencional
%a pieno carico, i parametri longitudinali a statore:
zes=vn/(1.732*iavv);res=zes*cosfcc;xes=res*tan(acos(cosfcc));
pcc=3*res*in^2;pad=5*(pn+pcost+pcc)/995;rec=pn/(pn+pcost+pcc+pad);

%Comunicazione in una finestra dei dati:
clc
fprintf('\n DATOS DE PLACA Y PRUEBA')
fprintf('\n -----')
fprintf('\n Potencia nominal           : %2.1f W', pn)
fprintf('\n Frecuencia nominal          : %2.0f Hz', fn)
fprintf('\n Tension nominal             : %2.1f V', vn)
fprintf('\n Corriente nominal           : %2.2f A', in)
fprintf('\n Numero/par de polos         : %1.0f', nc)
fprintf('\n Corriente de arranque       : %2.2f A', iavv)
fprintf('\n FdP en cortocircuito        : %2.4f', cosfcc)
fprintf('\n Corriente de vacio          : %2.2f A', io)
fprintf('\n FdP en vacio                : %2.4f', cosfo)
fprintf('\n R de fase del estator en Y : %2.4f Ohm', rls)
fprintf('\n ')
fprintf('\n Perdidas constantes         : %2.4f W', pcost)
fprintf('\n Resistencia equiv. trasv. a lado del estator : %2.4f Ohm', ro)
fprintf('\n Reactancia equiv. trasv. a lado del estator : %2.4f Ohm', xo)
fprintf('\n Perdidas del Cu             : %2.4f W', pcc)
fprintf('\n Resistencia equiv. longit. a lado del estator : %2.4f Ohm', res)
fprintf('\n Reactancia equiv. longit. a lado del estator : %2.4f Ohm', xes)
fprintf('\n Rendimiento convencional a p. c. : %2.4f', rec)
fprintf('\n Torque convencional CEI     : %2.4f',
0.15915*pn*nc/fn)
fprintf('\n\n\n')

input('Presionar la tecla enter ...','s');
```

```

%Calcolo e disegno del diagramma circolare:
scp=1.732*vn; scc=scp*nc/(6.283*fn); %scale per la lettura
cpo=[io*sin(acos(cosfo)), io*cosfo]; %coordinate Io
cpcc=[iavv*sin(acos(cosfcc)), iavv*cosfcc]; %coordinate Iavv
cavvr=sqrt((cpcc(1)-cpo(1))^2+(cpcc(2)-cpo(2))^2); %corrente di reazion.
avv.
raggio=0.5*cavvr^2/(cpcc(1)-cpo(1)); %raggio DC
centro=[cpo(1)+raggio, cpo(2)]; %coordinate centro DC
%Coordinate In:
a1=(in^2+centro(1)^2+centro(2)^2-raggio^2)/(2*centro(2));
a2=2*a1*centro(1)/centro(2);
a3=(centro(1)^2+centro(2)^2)/centro(2)^2;
inx=(a2-sqrt(a2^2-4*a3*(a1^2-in^2)))/(2*a3);
iny=sqrt(in^2-inx^2);
angrp=asin((cpcc(2)-cpo(2))/cavvr); %angolo pendenza retta potenze rese
angrc=atan(rls*sin(angrp)/(res*cos(angrp))); %angolo pendenza retta coppie
ang=linspace(0, pi, 100);
figure
plot([0, cpo(1)], [0, cpo(2)], 'b', [0, cpcc(1)], [0, cpcc(2)], 'b', ...
     [0, inx], [0, iny], 'b', ...
     [cpo(1), cpo(1)+2*raggio], [cpo(2), cpo(2)], 'g', ...
     [cpo(1)+raggio, cpo(1)+raggio], [0.5*cpo(2), 1.5*cpo(2)], 'g', ...
     centro(1)-raggio.*cos(ang), cpo(2)+raggio.*sin(ang), 'g', ...
     [cpo(1), 1.1*cpcc(1)], [cpo(2), cpo(2)+(1.1*cpcc(1)-
cpo(1))*tan(angrp)], 'r', ...
     [cpo(1), cpo(1)+2*raggio], [cpo(2), cpo(2)+2*raggio*tan(angrc)], 'r'), ...
axis('equal'), grid, ...
title(['Diagramma circolare: V = ', num2str(vn), ' [V], f = ', ...
      num2str(fn), ' [Hz], Øpp = cost.', xxx]), ...
xlabel(['Escala : 1 = 1 [A], 1 = ', num2str(scp), ' [W], 1 = ', ...
      num2str(scc), ' [N*m]']), ...
text(cpo(1), -2*cpo(2), 'Io'), text(inx, iny, ' In'), text(cpcc(1), cpcc(2), '
Iavv')
input('Presionar la tecla enter....', 's');

%Determinazione delle caratteristiche tra s=0 ed s=1:
alfa=acos((-cavvr^2+2*raggio^2)/(2*raggio^2));
ang=linspace(0, alfa, 100);
%coord. cor.
ix=-raggio*cos(ang)+centro(1);
iy=raggio*sin(ang)+cpo(2);
ia=sqrt(ix.^2+iy.^2); %modulo corrente assorbita
cosfia=iy./ia;
pass=iy*scp;
presa=(iy-cpo(2)-(ix-cpo(1))*tan(angrp))*scp; presa(1)=0;
ptras=(iy-cpo(2)-(ix-cpo(1))*tan(angrc))*scp; ptras(1)=1;
coppia=(iy-cpo(2)-(ix-cpo(1))*tan(angrc))*scc; coppia(1)=0;
rend=presa./pass;
scor=(ptras-presa)./ptras; scor(1)=0; ptras(1)=0;

%Determinazione delle caratteristiche per In , coppia max., coppia avv.:
cosfian=iny/in;
passn=iny*scp;
presan=(iny-cpo(2)-(inx-cpo(1))*tan(angrp))*scp;
ptrasn=(iny-cpo(2)-(inx-cpo(1))*tan(angrc))*scp;
coppian=(iny-cpo(2)-(inx-cpo(1))*tan(angrc))*scc;
rendn=presan/passn;
scorn=(ptrasn-presan)/ptrasn;
[cmax, iscmx]=max(coppia); %massima coppia e suo indice nel vettore coppia
scmax=scor(iscmx);
cavv=coppia(length(coppia)); %coppia avviamento

%Disegno caratteristica meccanica:
figure

```

```

plot(scor, coppia, 'b', [scorn, scorn], [0, coppian], 'b', ...
     [0, scorn], [coppian, coppian], 'b', ...
     [scmax, scmax], [0, cmax], 'g', [0, scmax], [cmax, cmax], 'g'), ...
axis('auto'), grid, ...
title(['Característica mecánica: V = ', num2str(vn), ' [V], f = ', ...
      num2str(fn), ' [Hz], Øpp = cost.', xxx]), ...
xlabel('deslizamiento'); ylabel('torque [N*m]'), ...
text(scorn, max(coppia)/25, [' ', num2str(scorn)]), ...
text(scorn, coppian, [' ', num2str(coppian)]), ...
text(l, cavv, [' ', num2str(cavv)]), text(scmax, max(coppia)/25, ['
', num2str(scmax)]), ...
text(0, 1.03*cmax, [' ', num2str(cmax)]), ...
text(l, cavv, [' ', num2str(cavv)])
input('Presionar la tecla enter ...', 's');

%Disegno caratteristiche scorr, rend, cosf:
figure
plot(ia, cosfia, 'r', ia, rend, 'b', ia, scor, 'g'), grid, ...
     title(['Deslizamiento, Eficiencia, fdp : V = ', num2str(vn), ' [V], f =
', ...
           num2str(fn), ' [Hz], Øpp = cost.', xxx]), ...
xlabel('Corriente absorbida [A]'); ylabel('Deslizamiento, Eficiencia,
fdp'), ...
text(ia(round(0.5*length(ia))), cosfia(round(0.5*length(cosfia))), '
fdp'), ...
text(ia(round(0.5*length(ia))), rend(round(0.5*length(rend))), '
eficiencia'), ...
text(ia(round(0.5*length(ia))), scor(round(0.5*length(scor))), '
deslizamiento')
input('Presionar la tecla enter ...', 's');

%Disegno caratteristiche potenza assorbita, potenza trasmessa, resa:
figure
plot(ia, pass, 'r', ia, ptras, 'b', ia, presa, 'g'), grid, ...
     title(['Potencia : V = ', num2str(vn), ' [V], f = ', ...
           num2str(fn), ' [Hz], Øpp = cost.', xxx]), ...
xlabel('Corriente absorbida [A]'); ylabel('potencia [W]'), ...
text(ia(round(0.8*length(ia))), pass(round(0.8*length(pass))), '
Pass'), ...
text(ia(round(0.8*length(ia))), ptras(round(0.8*length(ptras))), '
Ptras'), ...
text(ia(round(0.8*length(ia))), presa(round(0.8*length(presa))), '
Presa')
input('Presionar la tecla enter...', 's');

%Comunicazione risultati riassuntivi:

fprintf('\n RESUMEN DE LOS RESULTADOS')
fprintf('\n -----')
fprintf('\n Comportamiento al arranque a plena tensión :')
fprintf('\n corriente absorbida      : %2.2f A', iavv)
fprintf('\n factor de potencia            : %2.4f r', cosfcc)
fprintf('\n Torque en este punto          : %2.2f N.m', cavv)
fprintf('\n ')
fprintf('\n Comportamiento con corriente absorbida nominal :')
fprintf('\n factor de potencia            : %2.4f r', cosfian)
fprintf('\n potencia absorbida           : %2.2f W', passn)
fprintf('\n potencia entregada           : %2.2f W', presan)
fprintf('\n Torque de ajuste o nominal    : %2.2f N.m', coppian)
fprintf('\n rendimiento                   : %2.4f', rendn)
fprintf('\n deslizamiento                 : %2.4f', scorn)
fprintf('\n velocidad                     : %2.2f r.p.m.', 60*fn*(1-scorn)/nc)
fprintf('\n ')
fprintf('\n Torque máximo desarrollado :')

```

```
fprintf('\n deslizamiento a máximo torque   %2.4f', scmax)
fprintf('\n Torque máximo                   %2.4f N.m', cmax)
fprintf('\n\n')

input('Presionar la tecla enter ...','s');
```

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS Y ARTICULOS

- [1] Stephen J., Chapman. “Máquinas eléctricas”, 2000.
- [2] Vargas-Machuca, Federico. “Máquinas eléctricas rotativas”, Lima 1990.
- [3] Harper, Gilberto Enríquez “El ABC de las Máquinas eléctricas. II. Motores de corriente alterna”, 1997.
- [4] Kosow, Irving L. “Máquinas eléctricas y transformadores” , Barcelona 1979.
- [5] Wilds, Theodore. “Electrical machines, drives, and power systems”. Fifth edition, 2002.
- [6] T.M. Empson, Energy saving systems for induction motors, 1998.
- [7] Secretaria de Energia: Norma Oficial Mexicana NOM-OIG-ENE-1997, eficiencia energética de motores de corriente alterna trifásica, de inducción, tipo jaula de ardilla, de uso general en potencia nominal de 0,746 a 149,2 KW. Límites, método de prueba y marcado.
- [8] Anibal T. de Almeida and Fernando Ferreira, Efficiency testing of electric induction motors, 2002

- [9] Richard L. Nailen , Evaluating the motor without a load. Electrical Apparatus, Dic. 2000.
- [10] Richard L. Nailen , Is a repaired motor less reliable?. Electrical Apparatus, Nov. 1999.
- [11] Ramón María Mujal Rosas, Tesis doctoral. Capitulo III. Descripción de los modelos constructivos.
- [12] Ramón María Mujal Rosas, Tesis doctoral. Capitulo IV. Ensayos y simulaciones realizadas.
- [13] Milwaukee School Engineering. Laboratory session 8, Squirrel cage induction motor characteristics.
- [14] Richard L. Nailen , When does electric motor repair become redesign?, Electrical Apparatus, Nov. 2003.
- [15] Ricahard L. Nailen, How to go about “Commissioing” a new motor, Electrical Apparatus, Feb. 2003.
- [16] Enrique Quispe, Percy Viego, El efecto de la reparación y el rebobinado sobre la eficiencia de los motores asincrónicos de bajo voltaje, SIE’ 2003.
- [17] Romero Rueda, Ignacio. Una aplicación de Matlab al motor de inducción
- [18] Richard L. Nailen, Whatever became of the “circle diagram”, Electrical Apparatus, Mar. 1998.
- [19] R.G. Borrás Formosa y M. Luaces Rodríguez., Aproximaciones del circuito equivalente del motor trifásico de inducción. Energía //www.energuia.com

- [20] NTP-IEC 60034-2:2002 Maquinas eléctricas rotativas parte 2: Método para la determinación de las pérdidas y la eficiencia de las maquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción)
- (*) Varios de estos artículos fueron el resultado de búsqueda en la base de datos PROQUEST.

PRUEBA CON CARGA : DATOS TOMADOS Y CALCULADOS (antes del rediseño Vn 220 YY)

Vfase	I1 (A)	Pfe.total (W)	Pcu.total (W)	Perd.Totales	S(VA)	Pact. (W)	F.P.	T (N-M)	N (R.P.M)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)
127.4	3.73	68.91	100.96	181.87	478	123	0.25	1	1787	0.0045	187.13	0.507
127.4	3.92	68.91	146.29	227.20	500	200	0.39	2	1780	0.0084	372.80	0.621
127.4	4.18	68.91	173.34	254.25	532	270	0.50	3	1769	0.0145	555.75	0.686
127.4	4.5	68.91	198.03	278.94	575	339	0.59	4	1762	0.0184	738.06	0.726
127.4	4.94	68.91	261.22	342.13	626	420	0.67	5	1753	0.0234	917.87	0.728
127.4	5.26	68.91	323.93	404.84	670	500	0.74	6	1743	0.0290	1095.16	0.730
127.4	5.75	68.91	304.00	384.91	732	552	0.75	7	1734	0.0340	1271.09	0.768
127.4	6.3	68.91	382.80	463.71	806	636	0.78	8	1724	0.0407	1444.29	0.757
127.4	6.9	68.91	457.68	538.59	871	718	0.81	9	1714	0.0451	1615.41	0.750
127.4	7.4	68.91	520.38	601.29	936	783	0.83	9.8	1703	0.0513	1747.71	0.744

pi 3.14159265
 So-vacio 1795
 Po 48
 Pm 4
 Pfe 22.97

DEL CIRCUITO EQUIVALENTE: PARA DIFERENTES VALORES DE DESLIZAMINETO

Vfase	T (N-M)	N (R.P.M)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)	I1	fdp
127.4	1	1791.9	0.0045	188.61	0.499	3.72	0.23
127.4	1.9	1784.88	0.0084	346.86	0.630	3.82	0.33
127.4	3.1	1773.9	0.0145	584.68	0.710	4.08	0.47
127.4	4	1766.88	0.0184	730.57	0.734	4.29	0.54
127.4	4.9	1757.88	0.0234	910.64	0.751	4.61	0.62
127.4	6	1747.8	0.0290	1103.12	0.760	5.01	0.69
127.4	7	1738.8	0.0340	1266.88	0.763	5.40	0.73
127.4	8	1728.72	0.0407	1441.37	0.763	5.86	0.77
127.4	8.9	1718.82	0.0451	1603.74	0.761	6.33	0.79
127.4	9.9	1707.66	0.0513	1776.33	0.756	6.87	0.82

PRUEBA CON CARGA : DATOS TOMADOS Y CALCULADOS (datos tomados despues del rediseño caso V 220 Delta)

VL	I1 (A)	Pfe.total (W)	Pcu.total (W)	Perd.Totales	S(VA)	Pact. (W)	F.P.	T (N-M)	N (R.P.M)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)
220	3.47	90.46	87.19	188.45	508.67	125.33	0.25	1	1791	0.0039	187.55	0.499
220	3.60	90.46	107.73	208.99	507.33	194.00	0.37	2	1781	0.0095	373.01	0.641
220	3.84	90.46	123.05	224.31	550.33	260.33	0.47	3	1772	0.0145	556.69	0.713
220	4.13	90.46	147.84	249.10	605.00	329.33	0.55	4	1764	0.0189	738.90	0.748
220	4.47	90.46	169.35	270.61	654.33	396.33	0.61	5	1754	0.0245	918.39	0.772
220	4.88	90.46	199.32	300.58	715.00	465.67	0.66	6	1745	0.0295	1096.42	0.785
220	5.34	90.46	242.92	344.18	784.00	538.67	0.70	7	1735	0.0350	1271.82	0.787
220	5.83	90.46	294.45	395.71	857.67	613.33	0.72	8	1724	0.0412	1444.29	0.785
220	6.35	90.46	357.39	458.65	938.67	691.67	0.74	9	1715	0.0462	1616.35	0.779
220	6.93	90.46	420.32	521.58	1020.33	768.67	0.76	10	1704	0.0523	1784.42	0.774
220	7.26	90.46	466.69	567.95	1069.33	811.67	0.77	10.5	1698	0.0556	1867.05	0.767

pi 3.14159265
 So-vacio 1798
 Po 50.66
 Pm 3.6
 Pfe 29.84

DEL CIRCUITO EQUIVALENTE: PARA DIFERENTES VALORES DE DESLIZAMIENTO

Vfase	T (N-M)	N (R.P.M)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)	I1	fdp
220	0.9	1792.98	0.0039	160.27	0.490	3.70	0.18
220	2	1782.90	0.0095	382.65	0.666	3.81	0.32
220	3.1	1773.90	0.0145	573.46	0.724	3.99	0.43
220	4	1765.98	0.0189	735.34	0.750	4.19	0.51
220	5.1	1755.90	0.0245	933.26	0.767	4.49	0.59
220	6	1746.90	0.0295	1102.34	0.774	4.81	0.65
220	7	1737.00	0.0350	1280.10	0.777	5.18	0.70
220	8.1	1725.84	0.0412	1470.20	0.777	5.63	0.74
220	9	1716.84	0.0462	1615.81	0.774	6.01	0.77
220	10	1705.86	0.0523	1784.28	0.770	6.48	0.80
220	10.5	1699.92	0.0556	1871.28	0.767	6.74	0.81

PRUEBA CON CARGA : DATOS TOMADOS Y CALCULADOS (datos tomados despues del rediseño caso V 380 Estrella)

VL	I1 (A)	Pfe.total (W)	Pcu.total (W)	Perd.Totales	S(VA)	Pact. (W)	F.P.	T (N-M)	N (R.P.M)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)
380	2.07	83.84	86.91	181.55	527.33	123.00	0.23	1	1790	0.0044	187.45	0.508
380	2.16	83.84	93.35	187.99	543.00	187.00	0.33	2	1781	0.0095	373.01	0.665
380	2.30	83.84	123.67	218.31	583.00	258.33	0.43	3	1772	0.0145	556.69	0.718
380	2.47	83.84	148.46	243.10	626.67	327.33	0.52	4	1764	0.0189	738.90	0.752
380	2.68	83.84	178.44	273.08	679.67	397.33	0.57	5	1755	0.0239	918.92	0.771
380	2.93	83.84	214.69	309.33	742.67	469.00	0.62	6	1747	0.0284	1097.67	0.780
380	3.18	83.84	238.81	333.45	808.00	535.33	0.66	7	1736	0.0345	1272.55	0.792
380	3.46	83.84	285.39	380.03	876.67	608.67	0.69	8	1726	0.0400	1445.97	0.792
380	3.80	83.84	376.01	470.65	965.33	695.67	0.71	9	1715	0.0482	1616.35	0.774
380	4.12	83.84	405.94	500.58	1041.00	761.67	0.73	10	1704	0.0523	1784.42	0.781
380	4.29	83.84	463.11	557.75	1084.67	809.00	0.75	10.5	1700	0.0545	1869.25	0.770

pi 3.14159265
 So-vacio 1798
 Po 48
 Pm 3.6
 Pfe 26.39

DEL CIRCUITO EQUIVALENTE: PARA DIFERENTES VALORES DE DESLIZAMINETO

Vfase	T (N-M)	N (R.P.M)	S (%)	P2 (W)	efic. (%)
220	1	1792.08	0.0044	181.79	0.531
220	2.1	1782.9	0.0095	385.72	0.679
220	3.1	1773.9	0.0145	578.53	0.736
220	4	1775.88	0.0189	742.33	0.761
220	5	1756.98	0.0239	921.79	0.776
220	5.9	1748.88	0.0284	1077.22	0.783
220	7	1737.9	0.0345	1278.75	0.787
220	8	1728	0.0400	1451.48	0.786
220	9.1	1716.84	0.0462	1636.09	0.783
220	10.1	1705.86	0.0523	1807.44	0.779
220	10.5	1701.9	0.0547	1866.77	0.777