

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

***COMPARACIÓN ENTRE  
METODOLOGÍAS DE ENSAYOS  
PROPUESTOS POR LAS NORMAS  
INTERNACIONALES IEC Y LA  
NORMA ANSI / IEEE PARA  
CARACTERIZAR LAS MÁQUINAS  
ASINCRÓNICAS***

Br. Ciardiello Riera, Giampaolo

# ***INTRODUCCIÓN***

# ***PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA***

# ***OBJETIVO GENERAL***

- Establecer una comparación entre la metodología de ensayos propuestos por las normas internacionales IEC y la norma ANSI/IEEE para caracterizar las máquinas asincrónicas.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los métodos de ensayos propuestos por las normas IEC y la ANSI/IEEE.
- Determinar los ensayos propuestos por las normas que sean factibles de realizar en las instalaciones del LMER de la EIE – UCV.
- Realizar un análisis comparativo entre los ensayos propuestos en la guía del LMER de la EIE-UCV y su correlación con las pruebas propuestas en las normas IEC y ANSI/IEEE en lo referente a la caracterización de los parámetros eléctricos y mecánicos involucrados en el funcionamiento de una máquina asincrónica.
- Determinar la logística necesaria para ejecutar el ensayo de potencia nominal y corriente a carga plena para comprobar y comparar con lo existente en el LMER de la EIE - UCV.

# METODOLOGÍA

- Estudiar las normas ANSI/IEEE, IEC, la Guía del LMER de la EIE-UCV y cualquier otro material que signifique aporte importante en términos de máquinas asincrónicas.
- Comprobar que el LMER de la EIE-UCV cuente con el equipo requerido para realizar las pruebas de máquinas asincrónicas según las normas ANSI/IEEE e IEC.
- Ejecutar las pruebas de máquinas asincrónicas según normas ANSI/IEEE e IEC que cumplan con el equipamiento requerido para ensayos en el LMER de la EIE-UCV.
- Realizar las pruebas pertinentes para confirmar que las maquinas pertenecientes al LMER de la EIE-UCV manejen una potencia nominal en un valor aproximado al especificado en sus valores de placa.
- Comparar de forma metodológica, cuantitativa y cualitativa la ejecución de cada prueba.

# MARCO TEÓRICO

- Organizaciones de Normativas:
  - La ANSI / IEEE:  
*La American National Standards Institute / Institute of Electrical and Electronics Engineers* , fue creada en 1884 en New York.
  - La IEC:  
*La International Electrotechnical Commission*, fue creada el 26 junio 1906 en Londres, Reino Unido.
- Armonización de las Normas.

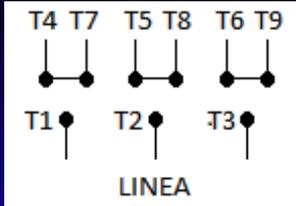
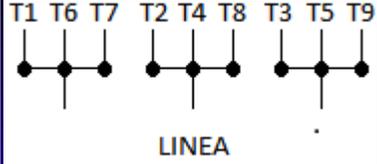
# ***Pruebas y determinaciones requeridas para la comparación***

- Prueba para la medición de resistencia.
- Prueba de carga.
- Prueba en vacío.
- Prueba de rotor boqueado.
- Determinación de los parámetros del circuito eléctrico equivalente de la máquina asincrónica.
- Determinación del par inducido.

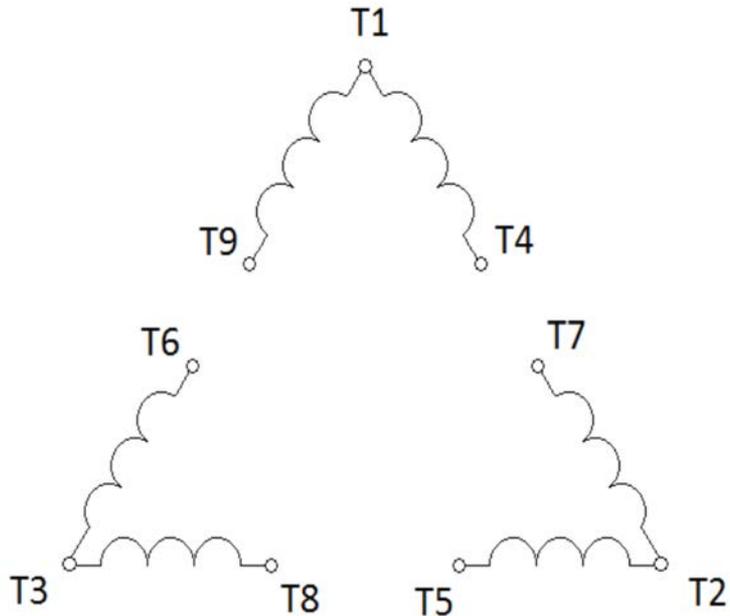
# Condiciones para las pruebas

- Condiciones generales:
  - Desbalance de tensión no debe ser superior al 0,5 %.
  - Desviación máxima de la frecuencia será de 0,5 %.
  - La temperatura ambiente de referencia será de 25°C.
  - Las mediciones de tensión y corriente estarán dadas en valor eficaz (RMS).
- Condiciones particulares.

# Valores de placa de la máquina como objeto de estudio para la comparación entre normas

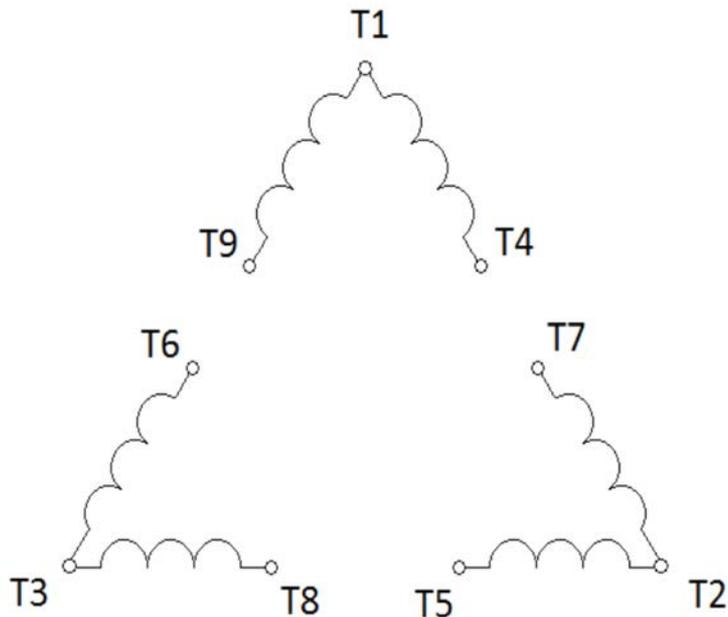
WESTINGHOUSE			
Type: CSP			Class
Frame: 324		line – line	60 cycles
Hp: 7,5		INDUCTOR MOTOR	Locked kVA Code G
3 Phases.			Style 7B4842
60 Cycles/ 50 Cycles			Serial 7B4842
Volt: 208/416	Amp: 25/12,5	Higher volt.	Lower volt.
Rpm: 960			
°C rise cont. 40			
Serial UCV 08-36034			

# Conexiones internas de los terminales. NEMA MG1 (Artículo 2.62)



## Conexiones internas de los terminales.

NEMA MG1 (Artículo 2.62)



## Código letra.

NEMA MG1 (Artículo 10.37)

Locked kVA Code G :

de 5,6 a 6,3 kVA / Hp

$I_a = 4,66$  a  $5,25$  veces  $I_n$

***Observaciones, análisis y  
comparaciones de las pruebas y  
determinaciones***

# *En la medición de resistencia del estator*

- Existen diferencia entre las normas, IEEE Std 118-1978 y la IEC 60034-1 (NTC 2805, 2005)
- Además la norma americana presenta una tabla descriptiva para cada metodología (p. 2).
- Se observa los resultados aplicando los métodos que permite el LMER.

<b>Método</b>	<b>R1 [Ω]</b>	<b>±ΔR1 [Ω]</b>
<b>Amperímetro – Voltímetro</b>	<b>0,77</b>	<b>0,06</b>
<b>Amperímetro.</b>	<b>0,89</b>	<b>0,07</b>
<b>Puente Thomson-Kelvin.</b>	<b>0,80</b>	<b>0,01</b>
<b>Puente Wheatstone.</b>	<b>0,80</b>	<b>0,01</b>

Aspectos	Métodos y valoración en puntos.							
	Amp Volt.	Ptos	Amp.	Ptos	Puente T-K.	Ptos	Puente W	Ptos
Realizable en el LMER	Si.	3	Si.	3	Si.	3	Si.	3
Nº de elementos	5	1	4	2	1	3	1	3
Nº de mediciones	Mín. 10	0	Mín. 10	0	1	3	1	3
Dependencia del tiempo	Si.	0	Si.	0	No.	3	No.	3
Medición directa	No.	0	No.	0	Si.	3	Si.	3
Incluye la resist. de los conductor	Si.	0	Si.	0	No.	3	Si.	0
Nº de conductores	9	0	8	1	4	2	2	3
Comparación de errores	Alto.	0	Medio.	2	Bajo.	3	Bajo.	3
Nivel de dificultad	Medio Alto.	0	Medio Bajo.	1	Fácil.	2	Muy Fácil.	3
<b>Ptos totales :</b>		4		9		25		24

## *En la prueba de carga*

- No existe ninguna diferencia entre normas pero en la norma americana define varios métodos para cargar la máquina.
- La norma tomada como referencia fue la IEC 61972 (NTC 5293, 2004).
- En la norma europea se presenta la prueba en dos normas, la IEC 60034-28 (NTC 5642, 2008) definiendo la carga a un 100 % y la IEC 61972 (NTC 5293, 2004) que define la carga a un 150 %, aunque para el circuito equivalente (europea) sólo se exige un 100 % de la carga.

- La prueba no es requerida para la determinación del circuito equivalente según la IEEE Std 112-2004.
- Para lograr una carga de al menos 100 % se requiere dos generadores (carga directa) lo cual hace engorrosa la ejecución de la prueba. Además sólo se logro cargar el motor al 136 % ante el objetivo de logra un 150 %.

## *En la prueba en vacío*

- La norma IEC 61972 (NTC 5293, 2004) fue tomada de referencia para el estudio.
- La normativa IEC indica que esta prueba debe realizarse inmediatamente después de la prueba de carga, incluso el como debe tomarse los puntos de medición, mientras la IEEE no indica nada al respecto a estos.

## ***En la prueba de rotor bloqueado***

- La IEC 60034-28 (NTC 5246, 2008) es la única norma que indica características mínimas necesarias de potencia y tamaño constructivo para la prueba.
- La prueba en la distintas normas se encuentra definida a frecuencia nominal pero para el desarrollo del circuito equivalente la norma IEC 60034-28 (NTC 5246, 2008) indica que es realizable también al 50 y 25 % de la frecuencia nominal y los cuales exige un elemento adicional en el montaje, el variador de frecuencia.

- Para la prueba previamente se requiere la impedancia del rotor relativa a la posición angular según la naturaleza del rotor, condición no enunciada en la norma americana.
- Para los ensayos a frecuencia reducida se observo que mientras más pequeña es la frecuencia más difícil se hace alcanzar la corriente de carga de la máquina de estudio.

# En la determinación del circuito equivalente

Parámetros	IEEE Std 112-2004, Método 1.		IEC 60034-28 (NTC 5642, 2008).		Diferencia porcentual [%]
	Variable [Unid.]	Valor	Variable [Unid.]	Valor	
Resistencia del estator.	$R_1$ [ $\Omega$ ]	0,80	$R_s$ [ $\Omega$ ]	0,80	0,00
Reactancia del estator.	$X_1$ [ $\Omega$ ]	1,861	$X_s$ [ $\Omega$ ]	1,57912	15,139
Resistencia del hierro.	$R_{fe}$ [ $\Omega$ ]	478,15	$R'_{fe}$ [ $\Omega$ ]	514,63	7,09
Reactancia Magnetizant.	$X_M$ [ $\Omega$ ]	28,825	$X_m$ [ $\Omega$ ]	28,81649	0,0306
Resistencia del rotor.	$R_2$ [ $\Omega$ ]	0,384	$R'_{r, 25}$ [ $\Omega$ ]	0,53313	28,020
Reactancia del rotor.	$X_2$ [ $\Omega$ ]	2,778	$X_r$ [ $\Omega$ ]	2,35690	23,139

Aspectos	IEEE Std 112-2004, Método 1.	IEC 60034-28 (NTC 5642, 2008).
Determinaciones realizadas en conexión.	Estrella (Y).	Estrella (Y) y delta ( $\Delta$ ).
Datos requeridos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de la resistencia del estator.</li> <li>• Prueba de vacío.</li> <li>• Prueba de rotor bloqueado al 25 % de la frecuencia nominal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de la resistencia del estator.</li> <li>• Prueba de carga y de vacío requiere la medición de la temp. al final del ensayo.</li> <li>• Prueba de rotor bloqueado principalmente a frecuencia nominal, opcional según el método al 50 y 25 % de la frecuencia nominal.</li> </ul>
Mínimo tamaño Constructivo y potencia	No.	Si.
Alcance según la norma de procedencia.	Determinación de la eficiencia.	Determinación de los parámetros del circuito equivalente.
Proceso en que se basa su desarrollo.	Aplica los modelos matemáticos según la prueba para desarrollar un proceso iterativo.	Aplica los modelos matemáticos según la prueba para desarrollar interpolaciones gráficas.
Proceso para determinar pérdidas constantes o mecánicas.	Interpolación lineal de la potencia de entrada en vacío en función de la tensión inducida al cuadrado.	Interpolación lineal de la potencia de entrada en vacío menos las pérdidas del cobre en el estator y esta potencia resultante en función de la tensión de línea del estator.
Descripción metodológica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de entender.</li> <li>• Es corto.</li> <li>• Las ecuaciones están directamente expresadas a la variable de interés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso más complicado.</li> <li>• Es largo.</li> <li>• Las ecuaciones están indirectamente expresadas a la variable de interés.</li> </ul>

# *En la determinación del par inducido*

<b>Corriente de fase del estator [A]</b>	<b>Par inducido de la máquina [N.m]</b>	
	<b>IEEE Std 112-2004, Método 1</b>	<b>IEC 60034-28 (NTC 5642, 2008)</b>
<b>19,63</b>	<b>73,680</b>	<b>73,81059</b>
<b>18,01</b>	<b>68,442</b>	<b>68,57373</b>
<b>14,55</b>	<b>54,615</b>	<b>54,74852</b>
<b>10,85</b>	<b>38,033</b>	<b>38,16907</b>
<b>7,62</b>	<b>15,229</b>	<b>15,36793</b>
<b>6,47</b>	<b>15,512</b>	<b>15,65343</b>

***Ensayos para la determinación  
del potencia nominal y corriente  
a plena carga***

# Valores de placa de la máquina como objeto de estudio para el ensayo de determinación de la potencia nominal y corriente a plena carga

General Electric		
Generator AC		
Model: 1G39	Type: AH - 1	Frame: 326
Form: CL	Phase: 3	kVA: 5
Volt:	Amp:	Speed:
110 / 220	26,3 / 13,1	1200 rpm.
Excitation: Volt 125 Amp 3		
4 kW	0,8 p.f	40°C rise stator by thermometer 60 °C rise rotor by resiste
Instructor GEH- 1200		
Serial UCV 08-36026		

# *Objetivos*

# ***Pruebas y determinaciones requeridas***

- Prueba para la medición de resistencia.
- Prueba de aumento de temperatura a carga nominal.
- Prueba de carga a tensión nominal en estabilidad térmica.
- Prueba en vacío.
- Pruebe con rotor bloqueado.
- Determinación de pérdidas y potencia nominal.

# Condiciones

- El ensayo debe realizarse en un lugar libre de corrientes de aire.
- Cuando el punto más caliente de la máquina sea inaccesible para medir temperatura durante la prueba, puede usarse tres puntos referenciales para constatar la estabilidad.
- Cuando el punto más caliente de la máquina sea inaccesible para medir la temperatura de operación en estabilidad, se puede usarse la prueba de medición resistencia corregida por temperatura realizando mediciones directamente en los terminales de la máquina.
- Cuando se obtenga tres o más mediciones iguales consecutivas en el punto más caliente o en su defecto todos los puntos referenciales se puede considerar en efecto la estabilidad térmica.

# Metodología

1. Medir la resistencia del estator en frío.
2. Cargar el motor de prueba nominalmente para el ensayo de aumento de temperatura.
3. Tomar mediciones de temperatura en el punto más caliente o en su defecto en mínimo tres puntos referencial cada diez minutos, hasta obtener la estabilidad térmica.
4. Realizar las mediciones pertinentes a la prueba de carga a tensión nominal y luego determinar la temperatura de operación en el punto más caliente.

5. Se obtiene la temperatura de alza y si está supera al valor de placa suspenda la prueba.
6. Realice las pruebas de vacío y rotor bloqueado, además determine el circuito equivalente (según la Norma IEEE Std 112-2004).
7. Con los datos de la prueba de carga a tensión nominal, los valores obtenidos en la determinación del circuito equivalente y valores de placa de la máquina, determine las pérdidas en el cobre, luego calcule la potencia de salida y compare con el valor de placa para la verificación del mismo.

# Datos experimentales y determinaciones

Prueba de aumento de temperatura a carga nominal.

Hora de la medición	T1 [°C] Carcaza	T2 [°C] Estator	T3[°C] Eje	T4 [°C] Amb	$\pm\Delta T$ [°C]	I[A]	$\pm\Delta I$ [A]	V[V]	$\pm\Delta V$ [V]	corrección
10:37 a.m	23,3	23,3	23,2	23,3	0,1	13,2	0,2	220	2	no
10:47 a.m	26,7	26,4	33,8	24,2	0,1	13,2	0,2	220	2	no
10:57 a.m	28,3	31,3	34,7	24,5	0,1	13,0	0,2	220	2	no
11:07 a.m	29,4	31,9	35,7	24,7	0,1	13,0	0,2	220	2	no
11:17 a.m	29,8	32,2	36,6	24,7	0,1	12,8	0,2	220	2	si
11:27 a.m	30,8	32,2	38,4	25,2	0,1	12,8	0,2	220	2	si
11:37 a.m	31,5	32,8	35,3	25,0	0,1	13,2	0,2	220	2	no
11:47 a.m	32,1	34,7	36,7	25,7	0,1	13,0	0,2	220	2	no
11:57 a.m	32,1	34,8	37,1	25,6	0,1	13,0	0,2	220	2	no
12:07 p.m	32,1	34,9	37,1	25,5	0,1	12,8	0,2	220	2	si
12:17 p.m	32,1	35,2	37,1	25,6	0,1	13,2	0,2	220	2	no
12:27 p.m	32,1	35,2	37,2	25,6	0,1	13,2	0,2	220	2	no
12:37 p.m	32,1	35,5	37,2	25,5	0,1	13,2	0,2	220	2	no
12:47 p.m	32,2	35,6	37,2	25,6	0,1	13,2	0,2	220	2	no
12:57 p.m	32,2	35,6	37,2	25,8	0,1	13,0	0,2	220	2	no
01:07 p.m	32,2	35,6	37,2	26,1	0,1	13,0	0,2	220	2	no
01:17 p.m	32,2	35,6	37,2	26,1	0,1	13,0	0,2	220	2	no

Temp. Operación:

$$T2[^\circ\text{C}] = (44,57 \pm 19,09) ^\circ\text{C}$$

Temp. de alza:

$$^\circ\text{C rise (exp)} = (18,47 \pm 19,19) ^\circ\text{C}$$

Valores de placa:

<b>VL [V]=</b>	<b>220</b>
<b>IL [A]=</b>	<b>13,1</b>
<b>Speed [rpm]=</b>	<b>1200</b>
<b>P. ent [W]=</b>	<b>4000</b>
<b>S. ent [VA]=</b>	<b>5000</b>
<b>°C rise =</b>	<b>40</b>

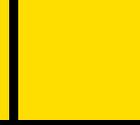
Valores del circuito equivalente:

<b>R1 [Ω]=</b>	<b>0,31</b>
<b>X1 [Ω]=</b>	<b>0,800</b>
<b>Rfe [Ω]=</b>	<b>233,094</b>
<b>XM [Ω]=</b>	<b>18,999</b>
<b>R2 [Ω]=</b>	<b>0,524</b>
<b>X2 [Ω]=</b>	<b>0,800</b>
<b>Pfe [W]=</b>	<b>63,737</b>
<b>Pmec [W]=</b>	<b>89,733</b>
<b>E10 [V]=</b>	<b>121,477</b>

Resultados finales:

<b>Snom =</b>	<b>0,05</b>
<b>I2 [A] =</b>	<b>11,6</b>
<b>P.sal [W] =</b>	<b>3873,951</b>
<b>P.sal [HP] =</b>	<b>5,193</b>
<b>Eficiencia =</b>	<b>0,824</b>

# ***CONCLUSIONES***



***GRACIAS***