



# Electrotecnia

Trabajo Práctico N° 10A  
**Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo**

# 2023

## Objetivos:

- Efectuar la descripción general de la máquina sincrónica y estudiar conexiones y características principales de funcionamiento.
- Realizar Informe del Ensayo.-

## Consignas:

- El alumno debe presentar el trabajo impreso de la siguiente manera:
- Carátula con los datos del alumno y del grupo.
- Informe del Ensayo con los siguientes puntos:
  - a. Objetivo de la Práctica.
  - b. Fundamento Teórico.
  - c. Circuito utilizado.
  - d. Perspectiva del circuito con los instrumentos empleados.
  - e. Características de los instrumentos y/o elementos.
  - f. Maniobra Operativa.
  - g. Tabla de Valores Obtenidos.
  - h. Representación gráfica de los valores obtenidos.
  - i. Aplicaciones.
  - j. Precauciones a tener en cuenta.
  - k. Normas a consultar.
  - l. Síntesis y Conclusiones.

**APELLIDO Y NOMBRE:** \_\_\_\_\_

**APROBACIÓN:** \_\_\_\_\_

**FIRMA:** \_\_\_\_\_

**FECHA:** \_\_\_\_\_

**ELECTROTECNIA****Laboratorio Experimental 2023**

Trabajo Práctico N° 10A:

**Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo**

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

<b>ASIGNATURA:</b> ELECTROTECNIA		<b>CURSO:</b> 3°	<b>SEMESTRE:</b> 5°
<b>ALUMNO</b>	FOTO	<b>NOMBRE Y APELLIDO:</b>	
		<b>Legajo N°:</b>	<b>ESPECIALIDAD:</b> ING. INDUSTRIAL
		<b>AÑO:</b> 2023	<b>GRUPO N°:</b>
<b>DOCENTES</b>	<b>Prof. Tit.</b>	Ing. Alejandro FARA	
	<b>J.T.P.</b>	Ing. José CORBACHO	
	<b>J.T.P.</b>	Ing. Orlando ROMERO	
	<b>J.T.P.</b>	Ing. David MOLINA	
	<b>Ayte Ad Honorem</b>		
<b>TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO N°</b>	<b>10A</b>	<b>DENOMINACIÓN DEL PRÁCTICO:</b> Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo	
		<b>OBJETIVOS:</b> Ver carátula	
<b>FECHA DE ENTREGA</b>  ____/____/____	<b>REVISIÓN N°</b>	<b>FECHA</b>	<b>FIRMA</b>
	1°:	____/____/____	
	2°:	____/____/____	
	<b>APROBACIÓN</b>	____/____/____	
<b>INTEGRANTES DE LA COMISIÓN</b>			
1.-		6.-	
2.-		7.-	
3.-		8.-	
4.-		9.-	
5.-		10.-	
<b>OBSERVACIONES</b>		<b>FIRMA DOCENTE</b>	
.....			
.....		<b>REVISIÓN N°</b>	<b>FECHA</b>
.....		<b>REV. 3</b>	24/02/20
.....		<b>REV. 4</b>	24/02/22
.....		<b>REV. 5</b>	01/08/23
.....			



## ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2023

Trabajo Práctico N° 10A:

### ***Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo***

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

#### 1. Generalidades:

Aspectos constructivos: La velocidad de estas máquinas es constante e igual a:  $n = \frac{60f}{p}$

con  $f$  = frecuencia de la C.A. [Hz] ;  $p$  = número de pares de polos;  $n$  = velocidad [r.p.m.]

Se utilizan como: generadores de C.A. (alternadores), motores en accionamientos que requieren velocidad uniforme; y compensadores sincrónicos (mejora el cos  $\phi$  de la instalación).

Como toda máquina rotativa están compuestos por:

El estator: o parte fija de la máquina, que constituye el inducido o armadura y posee ranuras en donde se dispone el arrollamiento trifásico (también puede ser monofásico para unidades de reducida potencia).

El rotor: o parte giratoria, provista de electroimanes cuyos arrollamientos son alimentados por corriente continua a través de anillos de contacto y escobillas. Constituye el sistema inductor de la máquina. La c.c. para los electroimanes es obtenida con un pequeño generador (excitatriz) acoplado al mismo eje de la máquina; o bien con corriente alternada producida por el mismo generador (alternador) rectificada por medio de accesorios adecuados.

Existe también la posibilidad de que el inducido se monte en el rotor (y el inductor en el estator), pero esto prácticamente no se aplica por la ventaja que significa contar con el inducido en el estator (seguridad para aislaciones y conexión).

Los alternadores pueden ser de eje horizontal o de eje vertical, esto según la máquina primaria que los accione. Para el caso de turbinas hidráulicas, es común que sean de eje vertical y en ellos, la tecnología constructiva de sus órganos estructurales (carcasa, cojinetes, etc.) tiene sensibles variantes con respecto a las máquinas de eje horizontal.

Las máquinas sincrónicas están divididas en dos grandes grupos debido a las diferencias en el rotor:

-**ROTOR DE POLOS SALIENTES**: accionados por motores de combustión interna, turbinas hidráulicas, etc. Generalmente tienen varios pares de polos y se utilizan para velocidades hasta 1000 rpm.

-**TURBOALTERNADORES**: accionados por turbinas de vapor o gas. Tienen uno o dos pares de polos y sus velocidades son 1500 o 3000 rpm.

Nosotros, para realizar la experiencia, contamos con una máquina de eje horizontal, de polos salientes, refrigerada por aire, del tipo abierta. En un extremo del eje, se encuentra la dínamo, generador de corriente continua en derivación para la alimentación del bobinado de campo, polos del rotor, el cual se alimenta con corriente continua a través de una resistencia regulable, la cual sirve para variar la excitación de la dínamo. El otro extremo del eje es ocupado por una polea en V para su accionamiento mediante un motor eléctrico trifásico asincrónico con arranque a resistencias rotóricas, llamado motor primario o primo-motor, que es el encargado de suministrar una potencia mecánica en el eje mediante un par y una velocidad angular, para ser transformado, en el alternador en una potencia eléctrica trifásica en sus bornes. Para alimentar este motor utilizaremos un auto transformador trifásico conectado en estrella.-



# ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2023

Trabajo Práctico N° 10A:

## Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

### ENSAYO

#### 1. Máquinas e instrumentos utilizados: (describir las partes y datos nominales)

- a) Máquina Síncrona:.....k.V.A. de.....polos.....r.p.m..... Volt.....Hz.....A
- b) Motor Asíncrono Trifásico (para crear el par antagónico):.....
- c) Auto transformador Trifásico  $I_{m\acute{a}x} = \dots\dots$ (para alimentación del Motor Asíncrono)
- d) Rectificador de corriente alterna de estado sólido (alta intensidad).....
- e) Rectificador de corriente alterna de estado sólido (baja intensidad).....
- f) Auto transformadores monofásicos (dos para variar el campo y la tensión  $U_i$ ).....
- g) Voltímetro para  $U$ :.....
- h) Amperímetros varios para  $I_b$ ,  $I_{ex}$  e  $I_m$ :.....

#### 2. Características de la Máquina Síncrona:

De.....polos salientes.....r.p.m.....k.V.A.....Volt.....Hz.....A.....-  
 Posee en un extremo del eje una excitatriz de corriente continua en derivación con resistencia de regulación de..... $\Omega$  y corriente de excitación máxima de.....A. El motor asíncronico de arrastre es de.....H.P.....V.....A.....r.p.m. Arranque por.....

#### 3. Medición de las resistencias del inducido y del bobinado de excitación:

Utilizando un puente adecuado (describir) se obtiene:

$$R_{IND.1} = \dots\dots\Omega$$

$$R_{IND.2} = \dots\dots\Omega \quad \text{Y la resistencia promedio } R_{IND} = \dots\dots\Omega$$

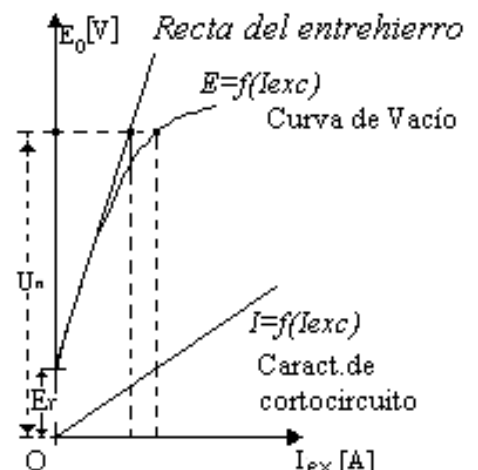
$$R_{IND.3} = \dots\dots\Omega$$

Utilizando el mismo puente se obtiene:

$$R_{exc} = \dots\dots\Omega$$

#### 4. Experiencia N° 1: CARACTERÍSTICA DE VACÍO:

El flujo  $\Phi$  proveniente del sistema inductor (rotor) induce una f.e.m. que, por estar la máquina en vacío, será la que mida el voltímetro V. La característica es similar a la de la figura. La tensión  $U_n$  se tiene en la zona ligeramente superior al comienzo de la saturación magnética. En consecuencia, la característica magnética de la máquina, es prácticamente lineal a velocidad nominal y corriente de carga nula  $I_c = 0$



##### a. Circuito utilizado

El circuito esquemático muestra las conexiones y elementos de un alternador trifásico para realizar los ensayos que permitan determinar sus características. Para los ensayos en carga se deberá agregar impedancias de carga e instrumentos y accesorios necesarios para su control. No



**ELECTROTECNIA**

**Laboratorio Experimental 2023**

Trabajo Práctico N° 10A:

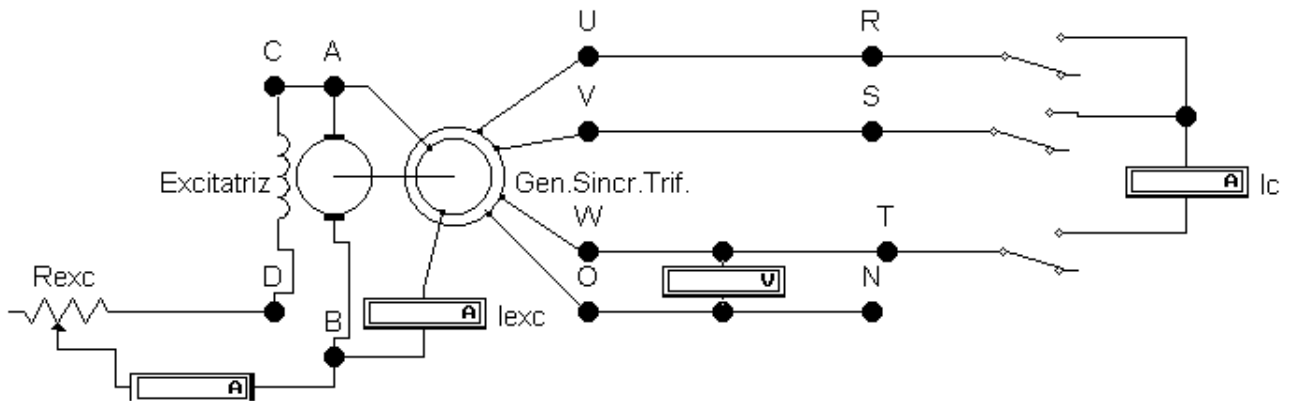
**Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo**

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

figura en el esquema el motor primario, un asíncrono trifásico, que arrancamos con un auto transformador trifásico en estrella.-



**b. Cuadro de valores obtenidos**

Se obtuvieron los siguientes valores variando la  $I_{exc}$  y la f.e.m. a bornes abiertos, midiendo la velocidad del generador (que deben mantenerse constantes en..... r.p.m.).-

$I_c$ [A]	$I_{exc}$ [A]	$n$ [r.p.m.]

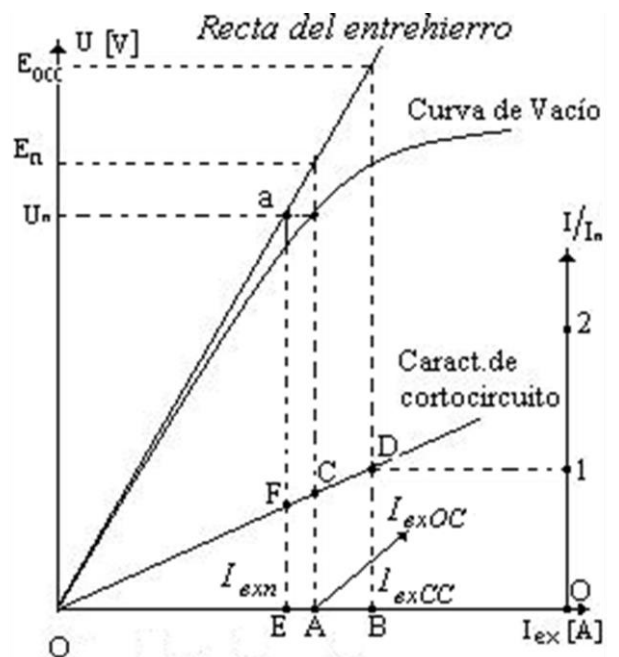
$E$ [V]	$I_{exc}$ [A]	$n$ [r.p.m.]

**5. Experiencia N° 2: CARACTERÍSTICA DE CORTOCIRCUITO:**

Se obtiene cortocircuitando los terminales del alternador que corresponden a la salida hacia la red y excitando paulatinamente, a velocidad nominal, hasta que la corriente de carga sea igual que la nominal ( $I_{cc} = I_n$ ) o a lo sumo hasta  $1,2 I_n$ , se coloca un solo amperímetro y se considera que las tres corrientes son iguales. Como en estas condiciones  $U = 0$ , la ecuación de equilibrio por fase queda reducida a:

$$\vec{E} = \vec{I}_{cc} \cdot Z_s$$

La gráfica que representa la característica de cortocircuito  $I = f(I_{exc})$  es una recta pues la máquina no trabaja saturada y parte del origen de coordenadas.-





**6. CARACTERÍSTICA DE CARGA**

Analiza la dependencia entre la tensión (U) y la excitación ( $I_{ex}$ ) para  $\cos \phi$  e I constante. Partiendo de la característica en vacío  $E = f(I_{ex})$ , la de carga se diferencia por las caídas entre E y U. Conociendo el triángulo de Potier, trazaremos esta para  $\cos \phi = 0$  porque en estas condiciones a) la f.m.m. de inducido es opuesta a la f.m.m. del campo (reacción de inducido con carga inductiva pura.) como en cortocircuito y b) para  $I = cte$  la caída de tensión es constante ( $\overline{lm}$ ) y la reacción de inducido ( $\overline{mn}$ ) también es constante, luego el triángulo es constante, por consiguiente desplazándolo a lo largo de  $E_o = f(I_{ex})$  obtenemos  $U = f(I_{ex})$  para  $\cos \phi = 0$ .- Para otros estados de corriente el triángulo varía y las curvas toman la forma de fig.7 debiéndose estas variaciones a que, al aumentar I, aumenta ZI y la reacción de inducido, la  $I_{ex}$  aumenta al disminuir el  $\cos \phi$  para mantener  $U = cte$ .

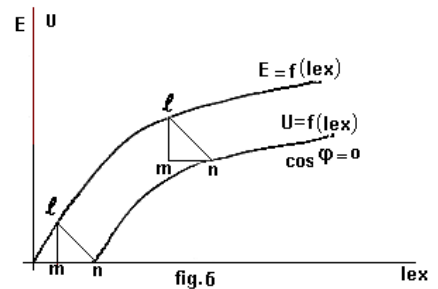


fig. 6

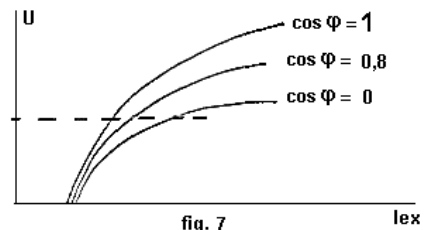


fig. 7

**7. CARACTERÍSTICA EXTERNA**

Nos relaciona la tensión U en función de la corriente de carga I para excitación, frecuencia y  $\cos \phi$  constantes. El generador ideal sería aquel que, bajo cualquier carga, la tensión se mantuviese cte, (línea punteada) pero en la máquina síncrona sabemos que con carga capacitiva por reacción del inducido los flujos se suman y por consiguiente aumenta la tensión (curvas superiores) hasta el extremo en cortocircuito que la tensión se hace cero. Lo opuesto ocurre con carga inductiva, en que los flujos se restan y la tensión disminuye (curvas inferiores).fig.8.-

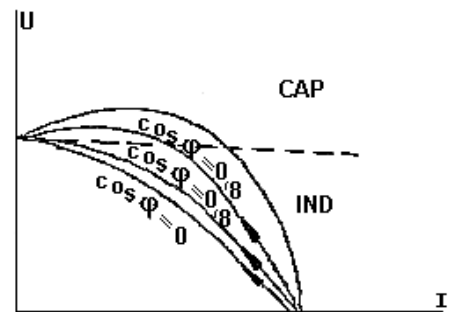


fig. 8

**Conclusión:** el generador síncrono no genera  $U=cte$ , ésta depende del tipo de carga que posea.

**8. RELACIÓN DE CORTOCIRCUITO:**

Se define como relación de cortocircuito ( $R_{CC}$ ) al cociente entre la  $I_{ex}$  para obtener  $U_n$  en circuito abierto y la  $I_{ex}$  para obtener la  $I_n$  en cortocircuito.

Refiriéndonos al diagrama en que se han trazado Las características en vacío, la recta del entrehierro y la característica en cortocircuito, la  $R_{CC}$  es:  $R_{CC} = \frac{I_{ex.OC}}{I_{ex.CC}}$

La I está expresada en p.u. (por unidad) y por semejanza de triángulos es:

$$R_{CC} = \frac{\overline{OA}}{\overline{OB}} = \frac{\overline{CA}}{\overline{DB}} = \frac{\overline{CA}}{1} = \overline{CA}$$

Luego la  $R_{CC}$  para máquina saturada es el segmento  $\overline{CA}$  y la  $R_{CC}$  para máquina saturada (línea

- Determinación de la reactancia síncrona de eje directo:  $X_{sd}$



## ELECTROTECNIA

**Laboratorio Experimental 2023**

Trabajo Práctico N° 10A:

### **Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo**

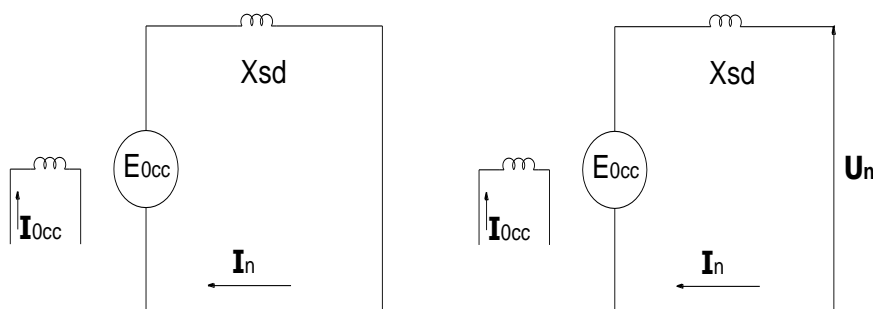
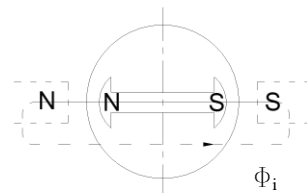
Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

Esta puede determinarse a partir de las características en vacío y en cortocircuito.

La corriente de excitación  $\overline{OE}$  induce la f.e.m.  $U_n$  en el estator a circuito abierto. Cuando el estator está en cortocircuito, con la misma excitación  $\overline{OE}$ , la f.e.m inducida en el estator es la misma pero se consume en la caída debida a la impedancia síncrona:  $U_n = Z \cdot I$ . Recordando que  $R \ll X$  y que al estar en cortocircuito corresponde a carga inductiva pura, es decir el  $\Phi$  es opuesto al  $\Phi$  y por consiguiente en el eje de los polos, o sea solo existe  $X_{sd}$ , ya que  $X_{sc} = 0$  y corresponde escribir  $U_n = X_{sd} I$ .



Luego:  $X_{sd} = \frac{E_{0cc}}{I_n}$ , despejando  $E_{0cc}$  y dividiendo por  $U_n$ ,

$$\frac{E_{0cc}}{U_n} = \frac{X_{sd} \cdot I_n}{U_n} = \frac{X_{sd}}{U_n / I_n} = \frac{X_{sd}}{Z_n} \quad \text{Que en p.u. será } \frac{E_{0cc}}{U_n} = X_{sd} \text{ p.u. (en por unidad) (1)}$$

De la semejanza de triángulos se deduce:  $R_{CC} = \frac{I_{ex.OC}}{I_{ex.CC}} = \frac{E_n}{E_{0,cc}}$

Multiplicando y dividiendo por  $U_n$ , reemplazando (1) y por semejanza de triángulos, **para máquina saturada:**

$$R_{CC} = \frac{E_n \cdot U_n}{E_{0,cc} \cdot U_n} = \frac{E_n}{U_n} \cdot \frac{1}{X_{sd}} = \frac{I_{ex.OC}}{I_{ex.CC}} \cdot \frac{1}{X_{sd}} \quad \boxed{R_{CC} = \frac{I_{ex.OC}}{I_{ex.CC}} \cdot \frac{1}{X_{sd}}}$$

Para **máquina no saturada:**  $I_{ex.OC} = I_{ex.n}$

$$\boxed{R_{ccn} = 1 / X_{sd}}$$

Valores típicos: Turbos: 0.5 a 0.7; polos salientes: 1 a 1.4; compensador Síncrono: 0.4



## ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2023

Trabajo Práctico N° 10A:

### ***Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en paralelo***

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

#### 9. PUESTA EN PARALELO CON LA RED:

A – PARALELO: Usando el brazo de paralelo del Laboratorio, el cual posee dos voltímetros (describir), dos frecuencímetros (describir), un Voltímetro de diferencia (describir) y girando a velocidad nominal observamos las tres lámparas que cumplen con el Método de las lámparas apagadas, excitamos hasta la tensión nominal, regulamos la velocidad del motor primario desde el auto transformador trifásico para lograr la frecuencia de la red y en el instante preciso, el cual es señalado por las lámparas apagadas, entramos en paralelo con la red sin hacerle tomar carga, primero.-

B – CARGA: Luego aumentamos la potencia del motor de arrastre (es análogo a pisar el acelerador de la máquina primaria), hasta la máxima corriente que admite el Auto transformador Trifásico de  $I_n = \dots A$ , y entonces, fluye corriente hacia la red, que podemos leer en el amperímetro de carga.-

C –VARIANDO el  $\cos \varphi$ : A continuación, mantenemos constante la corriente y potencia del motor de arrastre, con lo cual el generador no puede entregar más potencia activa que la que le permite el primo-motor y variamos la excitación incrementando o disminuyendo la  $I_{exc}$ , registramos en la siguiente Tabla los valores de  $I_{exc}$  e  $I_{carga}$  y observamos el comportamiento de la corriente de carga a potencia constante cuando se varía la excitación.-