

## 1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura :	<b>Máquinas Síncronas y de CD</b>
Carrera :	<b>Ingeniería Eléctrica</b>
Clave de la asignatura :	<b>ELF-1016</b>
SATCA <sup>1</sup>	<b>3 - 2 - 5</b>

## 2.- PRESENTACIÓN

### Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Eléctrico la capacidad de explicar el funcionamiento de las máquinas síncronas y de corriente directa, así como su contribución junto con asignaturas posteriores para poder analizar, diagnosticar y presentar soluciones a problemas relacionados con máquinas síncronas y de corriente directa buscando una mejor eficiencia en estas.

El alumno debe conocer físicamente una máquina síncrona y una máquina de C.D. en sus funciones de generador y motor, para que al término del curso pueda seleccionarlos, operarlos y mantenerlos.

Es importante que el estudiante participe en grupos de trabajo para modelar las máquinas eléctricas, empleando métodos computacionales en su análisis.

### Intención didáctica.

La manera en que el profesor abordará los contenidos de las 6 unidades a tratarse en este curso es en general considerando un patrón que toma en cuenta lo siguiente:

Establecer y explicar una serie de definiciones iniciales y necesarias del tema en cuestión, procurando la realización de ejemplos que orienten las actividades de enseñanza aprendizaje en los alumnos.

Los alumnos deberán realizar una serie de prácticas y tareas o trabajos que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo. Asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja.

---

<sup>1</sup> Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

Al final de cada una de las unidades el alumno deberá someterse a una evaluación que podrá ser un examen escrito o la realización práctica de un proyecto en el laboratorio.

En la primera unidad se establecerán una serie de definiciones y conceptos que se utilizan en el análisis del campo magnético giratorio que se produce en los devanados de la maquinas trifásicas, la fuerza electromotriz inducida en una máquina elemental de corriente alterna, así como los factores que afectan la fuerza electromotriz en una máquina de corriente alterna. Esto deberá lograr en los alumnos un lenguaje común y apropiado aunado al hecho de hacerlos capaces de describir los aspectos constructivos de las máquinas síncronas. Todo lo estudiado en esta unidad es fundamental y permite establecer las bases para los siguientes temas de la asignatura.

En la segunda unidad se considera el circuito equivalente y cómo determinar los parámetros de la maquina síncrona, las características del ángulo de par y su relación con las potencias en estado estacionario, así como la operación del generador trabajando aislado. Por lo anterior los alumnos integrados en equipos deberán discutir y reportar al profesor una interpretación física de los parámetros de la maquina sincrónica y la relación que tiene su magnitud con aspectos de operación, eficiencia y diseño.

En la tercera unidad se describe la forma en que se conecta el generador con un sistema eléctrico de potencia y los problemas de estabilidad en generadores sincrónicos. Los alumnos deben conocer las condiciones necesarias para conectarlos en paralelo, llevándolo a la práctica y utilizar herramientas computacionales para simular su comportamiento ante diferentes condiciones de operación.

En la cuarta unidad se estudia la operación del motor sincrónico empleando su modelado en estado estacionario. También se estudian los métodos de arranque de los motores síncronos en forma teórica y práctica.

En la quinta unidad se tratan los fundamentos teóricos de la máquina de corriente directa, las conexiones y la operación de estas máquinas como generadores. En forma práctica se comprueban los efectos de la velocidad y corriente de excitación sobre la tensión generada así como las características carga-tensión para los diferentes tipos de generadores.

En la sexta unidad se trata la máquina conectada como motor realizando su modelado para determinar su característica par- velocidad, así como analizar los métodos de arranque y control de velocidad.

Es importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva a cabo y entienda que está construyendo su futuro y actúe de una manera profesional

### 3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p><b>Competencias específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aplicar los fundamentos de las máquinas sincrónicas y las máquinas de corriente directa para analizar su operación en estado estacionario</li> <li>• Analizar las condiciones de arranque y operación de las máquinas síncronas y de C.D. para resolver los problemas más comunes en ellas</li> <li>▪ Utilizar los modelos matemáticos de estas máquinas empleando software de simulación para determinar las condiciones de operación dentro de un sistema eléctrico</li></ul>	<p><b>Competencias genéricas:</b></p> <p><u>Competencias instrumentales</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad de análisis y síntesis</li><li>• Capacidad de organizar y planificar</li><li>• Conocimientos generales básicos</li><li>• Conocimientos básicos de la carrera</li><li>• Comunicación oral y escrita en su propia lengua</li><li>• Conocimiento de una segunda lengua</li><li>• Habilidades básicas de manejo de la computadora</li><li>• Habilidades de gestión de información (habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas)</li><li>• Solución de problemas</li><li>• Toma de decisiones.</li></ul> <p><u>Competencias interpersonales</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad crítica y autocrítica</li><li>• Trabajo en equipo</li><li>• Habilidades interpersonales</li><li>• Capacidad de trabajar en equipo interdisciplinario</li><li>• Capacidad de comunicarse con profesionales de otras áreas</li><li>• Habilidad para trabajar en un ambiente laboral</li><li>• Compromiso ético</li></ul> <p><u>Competencias sistémicas</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica</li><li>• Habilidades de investigación</li><li>• Capacidad de aprender</li><li>• Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones</li><li>• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)</li><li>• Liderazgo</li><li>• Habilidad para trabajar en forma autónoma</li></ul>
---	---

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad para diseñar y gestionar proyectos</li><li>• Iniciativa y espíritu emprendedor</li><li>• Preocupación por la calidad</li><li>• Búsqueda del logro</li></ul>
--	---

#### 4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato del 24 al 28 de agosto de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Ciudad Juárez, Coatzacoalcos, Culiacán, Durango, Hermosillo, La Laguna, Mérida, Nuevo Laredo, Orizaba, Pachuca, Saltillo, Tlalnepantla, Valle De Bravo y Veracruz.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Eléctrica.
Desarrollo de Programas en Competencias Profesionales por los Institutos Tecnológicos del 1 de septiembre al 15 de diciembre de 2009.	Academias de Ingeniería Eléctrica de los Institutos Tecnológicos de: Aquí va los tec	Elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Instituto Tecnológico de Mexicali del 25 al 29 de enero del 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Ciudad Juárez, Coatzacoalcos, Culiacán, Durango, Hermosillo, La Laguna, Mérida, Mexicali, Orizaba, Pachuca, Saltillo, Tlalnepantla, Valle De Bravo y Veracruz.	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

## 5.- OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

- Aplicar los fundamentos de las máquinas sincrónicas y las máquinas de corriente directa para analizar su operación en estado estacionario
- Analizar las condiciones de arranque y operación de las máquinas síncronas y de C.D. para resolver los problemas más comunes en ellas
- Utilizar los modelos matemáticos de estas máquinas empleando software de simulación para determinar las condiciones de operación dentro de un sistema eléctrico

## 6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Comprender los conceptos básicos de las leyes y principios fundamentales de Electricidad y Magnetismo, desarrollando habilidades para la resolución de problemas.
- Conocer, comprender y aplicar los conceptos y leyes fundamentales que se emplean en el análisis en estado permanente de circuitos eléctricos excitados con corriente alterna, con apoyo de herramientas de análisis y simulación.
- Utilizar apropiadamente los instrumentos de medición y prueba, para la medición e interpretación de variables eléctricas en componentes y circuitos eléctricos.
- Establecer las relaciones entre las propiedades de campo magnético y las de circuitos eléctricos e inducir la concepción de circuito magnético, con el fin de resolver problemas de estructuras magnéticas.
- Resolver problemas de estructuras magnéticas excitadas con corriente alterna senoidal y analizar los resultados.
- Aplicar los conceptos de la teoría de los campos eléctricos y magnéticos para determinar su comportamiento en el estudio de cualquier dispositivo electromagnético.
- Utilizar un software matemático para la aplicación en el ámbito de su profesión

## 7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Fundamentos de la máquina síncrona	1.1 Aspectos constructivos de las máquinas síncronas. 1.2 Fuerzas magnetomotrices giratorias en máquinas trifásicas. 1.3 Fuerza electromotriz inducida en una máquina elemental de corriente alterna.

		1.4 Factores que afectan la fuerza electromotriz en una máquina de corriente alterna.
2	Máquina sincrónica	2.1 Circuito equivalente. 2.2 Determinación de parámetros de la máquina sincrónica. 2.3 Característica del ángulo de potencia en operación en estado estacionario. 2.4 Operación en estado estacionario en condiciones aisladas. 2.5 Teoría de las componentes en cuadratura aplicada a las máquinas sincrónicas de polos salientes. 2.6 La máquina sincrónica como fuente de reactivos. 2.7 Modelado
3	Sincronización	3.1 Conexión de máquinas sincrónicas en paralelo. 3.2 Sincronización de una máquina sincrónica a un gran sistema eléctrico. 3.3 Problemas de estabilidad en generadores sincrónicos.
4	Motor sincrónico	4.1 Operación en estado estacionario de los motores sincrónicos. 4.2 Arranque del motor sincrónico. 4.3 Valores nominales. 4.4 Modelado de la máquina
5	Máquinas de corriente directa	5.1 Aspectos constructivos de las máquinas de corriente directa. 5.2 Principio de funcionamiento. ( Acción generadora, Acción motora) 5.3 Devanados de armadura. 5.4 Reacción de armadura. 5.5 Flujo de potencia en máquinas de corriente directa. 5.6 Generadores de corriente directa. 5.7 Características con carga de los generadores de CD



6	Análisis y control de los motores de corriente directa	6.1 Característica velocidad contra par de los diferentes motores de corriente directa. 6.2 Aplicaciones de los motores de CD. 6.3 Arranque de los motores de CD 6.4 Control de velocidad. 6.5 Modelado

## 8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Elaborar un gráfico donde se muestren las partes que componen la máquina sincrónica y expresar la función de cada una de esas partes para su correcta operación.
- Visitar el laboratorio y alguna empresa donde se empleen máquinas sincrónicas y elaborar reportes.
- Simular el campo magnético giratorio con un paquete computacional.
- Investigar sobre los factores que intervienen en la FEM inducida de la máquina sincrónica.
- Realizar una práctica de laboratorio para observar el perfil de la forma de onda de la tensión inducida y efectuar un análisis de Fourier.
- Investigar y diferenciar las diferentes fuentes de pérdidas que se presentan en las máquinas sincrónicas y los factores que afectan a cada una de estas pérdidas.
- Discutir en equipos y reportar al profesor una interpretación física de los parámetros de la máquina sincrónica y la relación que tienen la magnitud de éstos con aspectos como eficiencia, diseño y tamaño.
- Realizar práctica de laboratorio para la obtención de los parámetros eléctricos de la máquina sincrónica.
- Utilizar el modelo de la máquina sincrónica para analizar su operación bajo diferentes condiciones de carga.
- Investigar acerca del modelado de la máquina sincrónica de polos salientes.
- Investigar sobre las condiciones que se deben cumplir para conectar adecuadamente generadores en paralelo.
- Realizar una práctica de laboratorio para sincronizar un generador a un nodo infinito.
- Realizar una práctica de laboratorio para operar en paralelo dos máquinas sincrónicas.
- Utilizar herramientas computacionales para simular el comportamiento de un generador sincrónico ante diferentes condiciones de operación estacionarias y dinámicas y elaborar un reporte con resultados y análisis.
- Elaborar un reporte por equipos de trabajo para discutir sobre las condiciones bajo las cuales una máquina sincrónica opera en el modo motor con un ejemplo numérico. Discutir sobre condiciones bajo las cuales un generador sincrónico se puede motorizar.
- Experimentar en el laboratorio sobre diferentes formas de arrancar un motor sincrónico.
- Investigar sobre las aplicaciones de los motores sincrónicos e interpretar datos de placa.
- Investigar acerca de máquinas de corriente directa, conexiones y equipos de arranque y control.
- Realizar una práctica de laboratorio para determinar la característica de corriente de armadura contra la corriente de excitación
- Usar el modelo de la máquina de corriente directa para caracterizar su operación mediante gráficas apropiadas.

- Realizar una práctica de laboratorio para comprobar los efectos de la velocidad y corriente de excitación sobre la tensión inducida
- Resolver problemas donde se involucren devanados, modelos matemáticos y tensión inducida.
- Realizar prácticas de laboratorio para corroborar las características tensión contra carga para diferentes tipos de generadores.
- Elaborar un análisis para selección del generador adecuado según el tipo de aplicación.
- Investigar acerca de las aplicaciones de los motores de corriente directa y elaborar un reporte haciendo énfasis en las ventajas y desventajas que tienen con respecto a otros tipos de motores.
- Caracterizar la operación del motor de corriente directa en lo que respecta a su utilización como motor de velocidad ajustable.
- Analizar los métodos de arranque del motor de corriente directa y discutir en equipo acerca de las ventajas y desventajas relativas.
- Simular el comportamiento del motor de corriente directa y obtener la característica de par contra velocidad. Utilizando datos de laboratorio.
- Obtener la característica par velocidad experimentalmente y compararla con la del anterior apartado.

## 9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

La evaluación de la asignatura se hará con base en siguiente desempeño:

- Reportes de las prácticas realizadas en el laboratorio.
- Considerar los reportes de investigaciones documentales y experimentales como parte de su evaluación.
- Elaboración de informes y mesas de discusión de las visitas realizadas a entidades industriales y de servicios
- Participación del alumno durante el análisis de casos que se efectúe en el aula.
- Reportes de la simulación e interpretación de resultados de ésta
- Exámenes prácticos, orales y/o escritos
- Evaluaciones prácticas mediante el diseño de experimentos de laboratorio.

## 10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: Fundamentos de la máquina síncrona.

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Comprender los fundamentos de las máquinas síncronas para explicar su comportamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elaborar un grafico donde se muestre las partes que componen la maquina síncrona y expresar la función de cada una de esas partes para su correcta operación.</li><li>• Visitar el laboratorio y alguna empresa donde se empleen maquinas síncronas y elaborar reportes.</li><li>• Simular el campo magnético giratorio con un paquete computacional.</li><li>• Investigar sobre los factores que intervienen en la FEM inducida de la maquina síncrona.</li><li>• Realizar una práctica de laboratorio para observar el perfil de la forma de onda de la tensión inducida y efectuar un análisis de Fourier.</li><li>• Investigar y diferencial las distintas fuentes de pérdidas que se presentan en las máquinas síncronas y los factores que afectan a cada una de estas pérdidas.</li></ul>

### Unidad 2: Máquina síncronica

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
---	-----------------------------------

<p>Analizar el comportamiento del generador sincrónico en condiciones de operación aislada para determinar su operación y realizar el modelado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los alumnos integrados en equipos deberán discutir y reportar al profesor una interpretación física de los parámetros de la máquina sincrónica y la relación que tienen la magnitud de éstos con aspectos como eficiencia, diseño y tamaño.</li> <li>• Determinación de la reactancia síncrona de un generador.</li> <li>• Investigar acerca del modelado de la máquina sincrónica de polos salientes.</li> </ul>
--	--

### Unidad 3: Sincronización.

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Determinar el comportamiento de los generadores síncronos conectados en paralelo para simular su desempeño, bajo diferentes condiciones de operación, en estado estacionario o dinámico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar sobre las condiciones que se deben cumplir para conectar adecuadamente generadores en paralelo.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio para operar una máquina sincrónica a una red eléctrica.</li> <li>• Utilizar herramientas computacionales para simular el comportamiento de un generador sincrónico ante diferentes condiciones de operación estacionarias y dinámicas y elaborar un reporte con resultados y análisis.</li> </ul>

### Unidad 4: Motor sincrónico

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Determinar los métodos de arranque y los principios de operación del motor síncrono para caracterizar su operación en estado estacionario</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar un reporte por equipos de trabajo para discutir sobre las condiciones bajo las cuales una máquina sincrónica opera en el modo motor con un ejemplo numérico. Discutir sobre condiciones bajo las cuales un generador sincrónico se puede motorizar.</li> <li>• Experimentar en el laboratorio sobre diferentes formas de arrancar un motor sincrónico</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar sobre la aplicación de los motores sincrónicos e interpretar datos de placa.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio para determinar la característica de corriente de armadura contra corriente de excitación.</li> </ul>
--	--

### Unidad 5: Máquinas de corriente directa

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Comprender los fundamentos de la máquina de corriente directa como generador para caracterizar su operación y así, determinar la selección del generador adecuado, según el tipo de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación bibliográfica acerca de máquinas de corriente directa, conexiones y equipos de arranque y control.</li> <li>• Usar el modelo de la máquina de corriente directa para caracterizar su operación mediante gráficas apropiadas.</li> <li>• Realizar una práctica de laboratorio para comprobar los efectos de la velocidad y corriente excitación sobre la tensión inducida.</li> <li>• Resolver problemas donde se involucren devanados, modelos matemáticos y tensión inducida.</li> <li>• Realizar prácticas de laboratorio para corroborar las características tensión contra carga para diferentes tipos de generadores.</li> <li>• Elaborar un análisis para selección del generador adecuado según el tipo de aplicación.</li> </ul>

### Unidad 6: Análisis y control de los motores de corriente directa

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Poner en funcionamiento motores de corriente directa (incluidos sus arrancadores y controladores de velocidad) y derivar modelos convenientes para caracterizar su operación y determinar la selección del motor adecuado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar acerca de las aplicaciones de los motores de corriente directa y elaborar un reporte haciendo énfasis en las ventajas y desventajas que tienen con respecto a otros tipos de motores.</li> <li>• Caracterizar la operación del motor de corriente directa en lo que respecta a</li> </ul>

	<p>su utilización como motor de velocidad ajustable.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• En grupos de trabajo, analizar los métodos de arranque de los motores de corriente directa y discutir acerca de las ventajas y desventajas relativas.</li><li>• Con datos reales obtenidos de experimentación, simular el comportamiento del motor de corriente directa y obtener la característica de par contra velocidad.</li><li>• Obtener la característica para velocidad experimentalmente y compararla con las del anterior apartado.</li></ul>
--	--

## 11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Kosow, Irving L. Máquinas eléctricas y transformadores. Segunda edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Impresora y maquiladora de libros MIG, S.A. de C.V., México D.F. 1996.
2. Fitzgerald, Kingsley, Kusko, Máquinas eléctricas, McGraw Hill 6ta. Edición
3. Cathey, J. Joseph, Máquinas eléctricas, análisis y diseño aplicanco Matlab, McGraw Hill. 2002
4. Krause, Paul, Wasynczuk Oleg and Scott D, Analysis of Electric Machinery, McGraw Hill, 1995
5. Richardson D., Máquinas eléctricas rotativas y transformadores, McGraw Hill, 4ta Ed.
6. Chapman, Stephen J. Máquinas eléctricas. Cuarta edición. Mc. Graw Hill. México D.F. 2005.
7. Fraile Mora J, Máquinas eléctricas, McGraw Hill, 6ta Ed.
8. Standard 141 Test Procedure for Single-Phase Induction Motors. IEEE.

## Textos electrónicos, bases de datos y programas informáticos

Vicente Barranco, Fco. Ramos Lara, Juan I. Caballos. Escuela Politécnica Superior de Córdoba. [el1balov@uco.es](mailto:el1balov@uco.es)

<http://www.epsevg.upc.es/xic/cd/ponencias/R0089.pdf>, Generador Síncrono [consulta 29 octubre 2009]

Wikipedia. Ferromagnetismo. Consultado el 7 de agosto de 2009.

Wikipedia. Ecuaciones de Maxwell. Consultado el 15 de agosto de 2009.

Wikipedia. Acoplamiento magnético. Consultado el 30 de agosto 2009.

## 12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Identificación de las partes que constituyen la máquina sincrónica
- Parámetros que afectan el voltaje generado y la frecuencia en un generador síncrono.
- Regulación de voltaje de un alternador
- Sincronización del generador a un bus infinito.
- Conexión en paralelo de dos generadores sincrónicos
- Métodos de arranque del motor sincrónico



- Curvas “ V “ de los motores sincrónicos
- Identificación de las partes de la máquina de corriente directa
- Medición de resistencia de los devanados y determinación de parámetros que afectan el voltaje generado
- Curva de magnetización para la máquina de corriente directa.
- Característica externa de los generadores de corriente directa
- Arranque de los motores de corriente directa
- Control de velocidad de los motores de corriente directa
- Característica de velocidad contra par para los motores de corriente directa