



# Planificaciones

8507 - Máquinas Eléctricas II

Docente responsable: VINSON EDGARDO GUSTAVO

## OBJETIVOS

Analizar aspectos generales de selección y aplicación de las máquinas eléctricas para distintos regímenes de funcionamiento.

Analizar el comportamiento de las transformaciones trifásicas ante regímenes de funcionamiento asimétricos o poliarmónicos.

Comprender los conceptos de conversión electromecánica de la energía y su aplicación al análisis de las máquinas y dispositivos de conversión en general.

Comprender los fundamentos de la Teoría Circuitual de las máquinas eléctricas estáticas y rotativas, y su aplicación a las distintas máquinas tradicionales.

Aplicar la Teoría Circuitual al análisis de regímenes de funcionamiento particulares diferentes de la operación normal, sean transitorios electromagnéticos y electromecánicos, asimétricos o poliarmónicos, adquiriendo criterios para identificar y resolver problemas de ingeniería que requieran de esta herramienta.

Comprender los principales aspectos de funcionamiento de máquinas especiales, sus características y aplicaciones.

Planear circuitos y ensayos para la determinación de parámetros de los modelos y comportamiento de las máquinas eléctricas en estos regímenes.

Realizar simulaciones mediante los modelos circuitales y herramientas numéricas, de situaciones particulares y/o sobre las estudiadas experimentalmente en los ensayos de laboratorio.

## CONTENIDOS MÍNIMOS

-

### PROGRAMA SINTÉTICO

1 RENDIMIENTO Y PÉRDIDAS en transformadores y máquinas. Materiales aislantes. Calentamiento. Tipos de servicio. Potencia nominal. Normas y ensayos.

2 APLICACIÓN DE MÁQUINAS Y TRANSFORMADORES: Formas constructivas. Protección mecánica. Normas. Aplicación de motores. Trabajo en los cuatro cuadrantes. Tiempos de aceleración y frenado.

3 TRANSFORMACIONES TRIFASICAS. Grupos de conexión. Armónicas y cargas asimétricas en transformaciones trifásicas. Impedancias de secuencia. Transformadores especiales.

4 TEORIA CIRCUITAL TRANSFORMADOR (TC1) Transformador como circuito acoplado. Funcionamiento armónico y respuesta frecuencial. Respuesta transitoria en vacío y en cortocircuito con parámetros constantes, corriente de conexión en vacío de transformador real.

5 TEORIA CIRCUITAL TRANSFORMADOR TRES ARROLLAMIENTOS (TCII) Ecuaciones, circuito equivalente. Funcionamiento armónico y respuesta transitoria. Regímenes subtransitorio y transitorio.

6 CONVERSION ELECTROMECHANICA (TCIII) La máquina de excitación simple y múltiple. Fuerza y cupla por variación de permeancia y de inductancias mutuas, tensiones inducidas. Motor de histéresis, por pasos y sincros.

7 MAQUINAS DE COLECTOR (TCIV) Ecuaciones eléctricas y mecánica. Cupla. Máquina biaxial. Funcionamiento en CC y CA. Matriz de conexión. Motor serie monofásico.

8 MAQUINAS DE ANILLOS (TCV) Máquinas trifásicas cilíndricas y con saliencias. Transformaciones trifásica-bifásica y bifásica-biaxial. Conversión de frecuencia. Máquinas equivalentes. El funcionamiento trifásico simétrico. Notación con vectores de tensión y corriente.

9 DINÁMICA DE LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA (TC VI) Funcionamiento incremental armónico. Transitorios eléctricos. Respuesta frecuencial. Dinámica, transferencia y respuesta como sistema electromecánico.

10 FUNCIONAMIENTO ASIMÉTRICO DE MÁQUINAS DE ANILLOS (TC VII) Transformación a componentes simétricas. Ecuaciones y circuitos equivalentes de secuencia. Motor monofásico a inducción y bifásico de capacitor. Servomotor bifásico, tacómetro de corriente alterna. Funcionamiento asimétrico de la máquina sincrónica, impedancia de secuencia inversa.

11 CORTOCIRCUITO BRUSCO DE ALTERNADORES (TC VIII) Ecuación general, circuitos equivalentes y respuesta en corrientes biaxiales y trifásicas. Simplificación mediante sucesión de regímenes cuasipermanentes. Inductancias y constantes de tiempo subtransitoria y transitoria. Comportamiento frente a huecos de tensión.

12 DINÁMICA DE MÁQUINA SINCRÓNICA (TC IX) Ecuación mecánica. Cuplas electromagnéticas y sincronizante. Análisis para pequeñas y grandes oscilaciones, estabilidad. Análisis para cupla incremental armónica, resonancia.

13 TRANSITORIOS Y DINÁMICA DE MÁQUINAS ASINCRÓNICAS (TC X) Dinámica de la máquina asincrónica, transitorio de aceleración. Modelo en ejes d-q giratorios. Aplicación al control vectorial de velocidad. Aplicación al estudio de huecos, cortocircuito y reconexión.

14 COMPUTACIÓN Y DINÁMICA DE MÁQUINAS (TC XI) Transitorios por métodos computacionales. Ecuaciones y canónicas en variables de estado. Aplicación al estudio de la dinámica de las máquinas asincrónica y sincrónica.

## PROGRAMA ANALÍTICO

1 RENDIMIENTO Y PÉRDIDAS: Pérdidas en transformadores y máquinas. Pérdidas eléctricas, magnéticas y mecánicas. Dependencias funcionales. Rendimiento. Ensayos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento. Método de pérdidas separadas y de circulación. Normas. Materiales aislantes. Clase térmica. Régimen térmico transitorio. Calentamiento. Ensayos. Tipos de servicio. Potencia nominal.

2 APLICACIÓN DE MÁQUINAS Y TRANSFORMADORES: Características nominales. Valoración económica de las pérdidas. Formas constructivas. Refrigeración de las máquinas y transformadores. Protección mecánica. Normas. Hojas de especificaciones. Aplicación de motores. Características mecánicas y eléctricas. Cargas tipo. Trabajo en los cuatro cuadrantes. Tiempos de aceleración y frenado. Parámetros referidos al eje del motor. Potencia equivalente para régimen cíclico.

3 TRANSFORMACIONES TRIFÁSICAS. Conexiones y fasoriales. Estudio monofásico de transformaciones trifásicas simétricas. Grupos de conexión y funcionamiento en paralelo. Armónicas en transformaciones trifásicas, propias y debido a las cargas. Cargas asimétricas en transformadores trifásicos. Impedancias de secuencia. El circuito homopolar. Transformadores para cambio de número de fases. Transformadores para rectificación.

4 TEORÍA CIRCUITAL TRANSFORMADOR (TC1) Transformador como circuito acoplado. Inductancias propias y mutuas. Ecuaciones. Relación con la teoría clásica. Cifras significativas para la transformación de parámetros. Funcionamiento armónico. Respuesta frecuencial. Respuesta transitoria en vacío y en cortocircuito. Inductancias, resistencias, constantes de tiempo y circuitos equivalentes. Corriente transitoria de conexión de transformador real en vacío.

5 TEORÍA CIRCUITAL TRANSFORMADOR TRES ARROLLAMIENTOS (TCII) Transformador de tres arrollamientos. Ecuaciones. Circuito equivalente. Fasorial. Funcionamiento armónico. Respuesta transitoria. Ecuación característica. Parámetros de los regímenes subtransitorio y transitorio.

6 CONVERSION ELECTROMECHANICA (TCIII) La máquina de excitación simple. Energía y coenergía. Fuerza y cupla por variación espacial de la permeancia y de la inductancia. Esfuerzos dinámicos de cortocircuito en transformador. El motor de reluctancia. La máquina de doble excitación. Cupla por variación espacial de la inductancia mutua. Tensiones inducidas de transformación y rotación. Ecuaciones matriciales de la máquina de anillos de excitación múltiple. Motor de histéresis. Motores por pasos. Sincrogeneradores, sincromotores, diferenciales y transformadores de control.

7 MÁQUINAS DE COLECTOR (TCIV) Máquina elemental a colector. Ecuaciones eléctricas y mecánica. Cupla. Inductancias rotacionales. Diferencias con las máquinas de anillos. Máquina biaxial de colector. Funcionamiento en corriente continua. Matriz de conexión, impedancia matricial transformada. Aplicación a generador y motor. Comparación con la teoría clásica. Funcionamiento en corriente alterna. Fem con excitación CC, CA mono y trifásica. Ecuaciones fasoriales. Circuito de conmutación. Cupla electromagnética

instantánea y media. Motor serie monofásico. Compensación de reacción. Motor repulsión.

8 MAQUINAS DE ANILLOS (TCV) Máquinas trifásicas cilíndricas y con saliencias. Transformaciones trifásica-bifásica y bifásica-biaxial. Conversión de frecuencia. Máquinas bifásicas y biaxiales equivalentes. El funcionamiento trifásico simétrico. Transformación de magnitudes. Circuitos equivalentes, comparación con la teoría clásica. Máquina asincrónica con doble jaula. Notación mediante vectores de tensión y corriente, aplicación y correlación con la notación matricial. Máquina de anillos y colector, motor schrage

9 DINÁMICA DE LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA (TC VI) Transitorios eléctricos de generador y de máquinas de campo transversal. Función de transferencia y respuesta frecuencial. Dinámica de motor de corriente continua. Respuesta como sistema electromecánico de primero y segundo orden. Función de transferencia. Funcionamiento incremental armónico y transitorio de máquinas de corriente continua.

10 FUNCIONAMIENTO ASIMÉTRICO DE MÁQUINAS DE ANILLOS (TC VII) El motor asincrónico y la transformación biaxial a componentes simétricas. Ecuaciones matriciales y circuitos equivalentes de secuencias positiva y negativa. Motor monofásico a inducción. Formas constructivas. Doble campo giratorio. Potencias y cupla. Modos de arranque. Curvas características y aplicaciones. Motor bifásico de capacitor. Servomotor bifásico. Tacómetro de corriente alterna. Máquina sincrónica con circuitos de amortiguamiento. Funcionamiento asimétrico de la máquina sincrónica. La impedancia de secuencia inversa.

11 CORTOCIRCUITO BRUSCO DE ALTERNADOR (TC VIII) Análisis conceptual clásico. Ecuación general para máquina sincrónica de polos salientes con jaula amortiguadora. Impedancias amortiguadas. La respuesta en corrientes biaxiales y trifásicas. Modelos circuitales. Simplificación tradicional como sucesión de regímenes permanentes armónicos amortiguados. Inductancias y constantes de tiempo transitorias y subtransitorias. Las concatenaciones de flujo constantes y las tensiones detrás de las reactancias transitorias y subtransitorias. Aplicación al comportamiento frente a huecos de tensión.

12 DINÁMICA DE MAQUINA SINCRÓNICA (TC IX) Ecuación mecánica. El método tradicional pseudoestacionario. Cupla electromagnética sincrónicas y asincrónicas para regímenes permanente y transitorio. Cupla sincronizante. Ecuación de cupla. Integración por pasos. Análisis para pequeñas oscilaciones. Penduleo. Análisis para grandes oscilaciones. Método de áreas iguales. Estabilidad dinámica. Máquina con cupla incremental armónica. Resonancias.

13 TRANSITORIOS Y DINÁMICA DE MAQUINAS ASINCRONICAS (TC X) Modelo en coordenadas d-q a velocidad de campo. Aplicación al estudio de comportamiento ante cortocircuitos, huecos y reconexión. Dinámica de la máquina asincrónica. La ecuación mecánica. Modelo de motor asincrónico y arquitectura del sistema para control vectorial de velocidad.

14 COMPUTACIÓN Y DINÁMICA DE MAQUINAS (TC XI) Transitorios por métodos computacionales. Ecuaciones en variables trifásicas y biaxiales, y obtención de sistemas de ecuaciones canónicas en variables de estado. Integración numérica por computadora. Transitorio de aceleración por métodos computacionales y la teoría clásica. Aplicación al estudio de la dinámica de las máquinas asincrónica y sincrónica. Escalón de cupla. Resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.E. Fitzgerald, C. Kingsley Jr. y S. Umans: Máquinas Eléctricas 3ª edición; Ed. McGraw Hill.  
 M. Cortes Cherta. Curso Moderno de Máquinas Eléctricas Rotativas; Editorial Reverté S.A.  
 E.E. Staff del MIT: Circuitos Magnéticos y Transformadores; Editorial Reverté S.A.  
 I. Boldea. Synchronous Generators. CRC Press.  
 I. Boldea. Variable Speed Generators. CRC Press.  
 I. Boldea. The Induction Machine Handbook. CRC Press.  
 J. Hindmarsh: Máquinas eléctricas y sus aplicaciones; Ed. URMO S.A..  
 D. Hanselman. Brushless Motors: magnetic design, performance and control of BLDC and PMSM. E-man Press LLC.  
 O. Lobosco, J.L.P.da C. Dias. Selección y Aplicación de Motores. Siemens.  
 I. Boldea, S.A. Nasar. Electric Drives. CRC Press  
 C.V. Jones: Unified Theory of Electrical Machines; Editorial Butterworth.  
 B. Adkins: Teoría General de las Máquinas Eléctricas; Editorial URMO.  
 Leander MATSCH: Máquinas Electromagnéticas y Electromecánicas.  
 Ellison, Arthur James. Conversión Electromecánica de la Energía. Librería de las Naciones.  
 A.E. Fitzgerald, C. Kingsley Jr. Electric Machinery  
 V. Gourishankar: Conversión de Energía Electromecánica; Ed. International Textbook Company.  
 G.R. Slemon: Electric Machines and Drives. Ed. Addison Wesley Publishing Co. Inc.

Normas IRAM 2008, 2018, 2152, IEC 60034, IEC 60076.

M.D.N. Lópina, N.A. Lemozy, Teoría circuital de máquinas eléctricas Capítulo 1 Transformadores (publicación CEI 65.14.00)

N.A. Lemozy. Penduleo en máquina Sincrónica (publicación CEI 65.14.10)

N.A. Lemozy. Apuntes y notas de clase de Teoría Circuital de Máquinas Rotativas.

E.G. Vinson. Complemento teórico Variación de velocidad de MA mediante convertidor U/f, con control vectorial. Cortocircuito de la MS. Obtención conceptual de circuitos de secuencia de MA, aplicación a motor monofásico y bifásico de capacitor. Estudio de cortocircuito de MA.

## **RÉGIMEN DE CURSADA**

### **Metodología de enseñanza**

**CLASE TÉORICA:** Donde se explican los fundamentos teóricos de los temas del programa analítico, de acuerdo al calendario y eventualmente se visita al laboratorio para observar elementos reales.

**CLASE TEORICO PRACTICA OBLIGATORIA:** en ella se complementa la clase teórica con ejemplos numéricos de aplicación de la teoría, incluyendo modelado computacional, y/o se explican temas teóricos que por su naturaleza son afines a la realización de los trabajos prácticos, en particular los de laboratorio.

**CLASE DE EXPLICACIÓN DE T.P. Y PROBLEMAS OBLIGATORIA:** en la misma se planean y analizan los trabajos prácticos de laboratorio, se corrigen los ya realizados y se discuten problemas de aplicación resueltos o resuelven problemas elaborados por la cátedra.

**CLASE DE LABORATORIO OBLIGATORIA:** se realizan los trabajos prácticos de laboratorio planeados en las clases de explicación.

### **Modalidad de Evaluación Parcial**

**EVALUACIONES PARCIALES:** la materia se divide en dos partes y, de acuerdo a las disposiciones vigentes, se toma un examen parcial teórico práctico, escrito, y dos recuperatorios, pudiéndose completar con interrogatorios orales y presentación de trabajos especiales.

**TRABAJOS PRÁCTICOS:** Los alumnos que hayan aprobado el parcial, los trabajos prácticos de laboratorio, dentro de los plazos establecidos, y hayan cumplido con el 75 % de asistencia a la totalidad de las clases, serán habilitados para rendir el Coloquio Integrador de la materia.

**COLOQUIOS:** son teórico prácticos, integradores, con una primera parte escrita y se concluyen en forma oral. Las oportunidades y plazos para rendirlos son las establecidas por las reglamentaciones vigentes.

## CALENDARIO DE CLASES

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<1> 09/03 al 14/03	Rendimiento y pérdidas. Calentamiento o. Modelos de circuito, normas, modelo aplicado a transf en IEC 60354. Clases de aislación. Tipos de servicio, normas. Pot. Equiv.			Conexión en oposición de máquinas eléctricas		Kostenko. Norma IEC. Manual elección motores. Hindmarsh.
<2> 16/03 al 21/03	Aceleración, frenado, oscilación carga, aplicaciones. Formas constructivas, protec. Mecánicas y ventilación. Construcciones para ambientes explosivos	Problemas de calentamiento y oposición	Ensayo de calentamiento de transformadores y separación de pérdidas de MS. Preparación TP1			Normas IRAM, IEC. Manual elección motores. Hindmarsh.
<3> 23/03 al 28/03	Transformación trifásica. Tipos conexiones. Transf. Especiales. Cargas asimétricas		T.P. 1: Oposición, calentamiento y pérdidas.	Preparación TP2		Normas IRAM, IEC, VDE. Manuales elección motores.
<4> 30/03 al 04/04	Impedancias de secuencia. Armónicos en transf trif (propios y de cargas).	Aceleración, elección de motores (resueltos).	T.P. 2: Inspección de máquinas.			Apunte OK. Staff MIT.
<5> 06/04 al 11/04	TC 1: Transformador de dos arrollamientos. Rta en frec y reg. transitorio CC.	Aceleración y elección de motores (resolución guiada en clase).		Preparación TP 3. Preparación TP 4. Observación modelos ATP.		Staff MIT. Apunte MLópina
<6> 13/04 al 18/04	Rég. transitorio CA. TC Transformador de tres arrollamientos. Conversión electromecánica transd. simple exc.	Grupos de conexión de transf y cargas asimétricas (resueltos)	T.P. 3: Cargas asimétricas en transf.		TP1; TP2	Publ CEI MLópina N Lemozy
<7> 20/04 al 25/04	Conversión electromecánica transd. excitación múltiple. Syncros, steppers	Grupos de conexión de transf y cargas asimétricas (res guiada clase)	T.P. 4: Armónicos y Transitorios en transformadores.	Observación modelos ATP		Fitzgerald Kingsley. Gourishankar.

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	histéresis. TC Máquina a colector 1 (trans. con arroll. de colector)					
<8> 27/04 al 02/05	TC Máquina a colector 2. MCC. Matrices conexión. Maq. colector CA.	Transitorios en transformador es(res guiada clase)	Preparación TP 5.	Repaso. Resolución problemas en clase.	TP3	Apuntes NALemozy. Adkins. Jones. Hindmarsh. I Boldea Electric Drives
<9> 04/05 al 09/05	TC Máquina a anillos cilíndrica (MA). TC Máquina de anillos con saliencias (MS)	Problemas conversión electromecánica.	TP 5 Teoría circuital aplicada a máquinas con bobinados de colector.	Repaso. Resolución problemas en clase.	TP4; TP5	Apuntes NALemozy. Hindmarsh. Jones. Boldea.
<10> 11/05 al 16/05	Funcionamiento asimétrico de MA y MS trifásica.	TC en régimen permanente de MCC. Matrices de conexión.	Parcial			Apuntes NALemozy. Jones. Adkins. Boldea.
<11> 18/05 al 23/05	Motor monofásico de inducción Motor bif de capac, Servomotor bifásico, tacómetro.	Motores asincrónicos monofásicos y bifásicos de capacitor		Preparación TP 6		Apuntes NALemozy. Fitzgerald Kingsley. Matsch.
<12> 25/05 al 30/05	Dinámica de máquinas de CC. Respuesta transitoria y frecuencial electromagnética y electromecánica	Regimen armónico y transitorio máq de colector (problemas resueltos).	TP 6: Teoría circuital aplicada a máquinas con bobinados de anillos.	Preparación TP 7		Apuntes NALemozy. Fitzgerald Kingsley. Thaler y Wilcox.
<13> 01/06 al 06/06	Cortocircuito de alternador	Régimen armónico y transitorio de máq de colector (resolución guiada en clase).	1º Recuperatorio			Apuntes NA Lemozy, E. Vinson. Boldea. Fitzgerald Kingsley. Jones
<14> 08/06 al 13/06	Cortocircuito de MA. Dinámica de máquina sincrónica.	Régimen transitorio MS, MA, MCC	TP 7: Transitorios en máquinas rotativas.	Preparación TP8		Fitzgerald Kingsley. Apte E. Vinson. Publ CEI NA Lemozy.
<15> 15/06 al 20/06	Dinámica de máquinas de anillos. Ejes d-q en rot sincrónica. Control vectorial de MA. Calculo computacional de regímenes dinámicos de MA y MS		TP 8: Control vectorial de Motor Asincrónico.			Apuntes NA Lemozy. Apunte EVinson
<16> 22/06 al 27/06		Dinámica de máquinas	2º Recuperatorio			

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
		de anillos				



## CALENDARIO DE EVALUACIONES

### Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	10	10/05	17:00	
2º	13	31/05	17:00	
3º	16	21/06	17:00	
4º				