



# Planificaciones

8504 - Campos Electromagnéticos

Docente responsable: SALVO GERMAN

## **OBJETIVOS**

Lograr que los alumnos de Ingeniería Electricista comprendan y apliquen los conocimientos del electromagnetismo, fundamentados en forma teórica, y haciendo uso de herramientas de cálculo matemático y computacional. Se pretende además que los conocimientos adquiridos sirvan de base para las materias profesionales de los últimos años de la carrera principalmente en áreas de materiales, máquinas y equipos eléctricos, subestaciones eléctricas, líneas de transmisión de energía, ensayos en alta tensión y compatibilidad electromagnética.

## **CONTENIDOS MÍNIMOS**

-

## **PROGRAMA SINTÉTICO**

1. REVISION DE CAMPO ELECTROSTATICO – DIELECTRICOS - IMÁGENES PERFECTAS – EJES CARGADOS.

2. REVISION DE CAMPO MAGNETOSTATICO – MATERIALES MAGNÉTICOS - IMÁGENES PERFECTAS – EJES CON CORRIENTE.

3. CAMPOS DE CORRIENTES DE CONDUCCION – PUESTA A TIERRA.

4. SOLUCIONES ANALITICAS, ANALOGICAS Y GRÁFICAS DE PROBLEMAS DE POTENCIAL – MAPAS DE CAMPO – NEUMANN – MÉTODOS MATRICIALES – SIMULACIÓN DE CARGAS.

5. SOLUCIONES NUMERICAS DE PROBLEMAS DE POTENCIAL – DIFERENCIAS FINITAS – ELEMENTOS FINITOS.

6. APLICACIÓN DEL POTENCIAL COMPLEJO PARA EL CÁLCULO DE CAMPOS – REPRESENTACIÓN CONFORME – TRANSFORMACIÓN DE SCHWARZ-CHRISTOFFEL.

7. CAMPOS, FUERZAS E IMÁGENES IMPERFECTAS – TENSIONES DE MAXWELL – ENERGÍA – POYNTING.

8. PARAMETROS DE LINEAS Y MAQUINAS – CAPACIDADES E INDUCTANCIAS DE LÍNEAS – INDUCTANCIAS DE DISPERSIÓN DE MÁQUINAS.:

9. CIRCUITOS CON PARAMETROS DISTRIBUIDOS EN RÉGIMEN PERMANENTE ARMÓNICO Y EN RÉGIMEN TRANSITORIO.

10. CAMPO ELECTROMAGNETICO VARIABLE – ECUACIONES DE MAXWELL – VECTORES FASORES - MATERIALES IMPERFECTOS.

11. CAMPO ARMONICO EN CONDUCTORES – EFECTO PELICULAR ELÉCTRICO – EFECTO PELICULAR MAGNÉTICO.

12. TEMAS ESPECIALES - CAMPOS SEGÚN DISTINTOS OBSERVADORES – FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA – RELATIVIDAD – MATERIALES SUPERCONDUCTORES

### **PROGRAMA ANALÍTICO**

#### **1. REVISION DE CAMPO ELECTROSTATICO:**

Campo en el vacío: Superposición. Gauss. Potencial y campo. Potencial. Poisson y Laplace. Conductores. Configuraciones esféricas, cilíndricas y planas. Dipolo. Campo en medio materiales: Dieléctricos. Polarización. Cargas ligadas volumétricas y superficiales. Desplazamiento. Susceptibilidad. Permitividad. Condiciones de frontera. Imágenes perfectas. Ejes equipotenciales y tubos de flujo. Capacitancia. Ejes cargados.

#### **2. REVISION DE CAMPO MAGNETOSTATICO:**

Campo en el vacío: Cargas magnéticas. Gauss. Potencial escalar magnético. Poisson y Laplace. Ampere. Elemento de corriente. Inducción magnética. Potencial vectorial magnético. Campo en medios materiales: Materiales magnéticos. Polarización e imantación. Cargas magnéticas ligadas volumétricas y superficiales. Imanes permanentes. Susceptibilidad. Permeabilidad. Condiciones de frontera. Imágenes perfectas. Campo plano paralelo. Ejes con corriente. Tubos de flujo. Inductancia.

#### **3. CAMPOS DE CORRIENTES DE CONDUCCION:**

Densidad de corriente y corriente eléctrica. Potencia específica. Conductividad. Ohm, Joule, Potencial. Laplace. Condiciones de frontera. Imágenes. Resistencia y conductancia. Configuraciones. Modelos experimentales y relación de escalas. Sistemas de puesta a tierra: Electrodo esférico y semiesférico. Jabalinas y placas. Mallas de puesta a tierra. Tensiones de contacto y de paso.

#### **4. SOLUCIONES ANALITICAS, ANALOGICAS Y GRÁFICAS DE PROBLEMAS DE POTENCIAL:**

Integración directa de las ecuaciones diferenciales. Fórmula de Neumann. Formulaciones matriciales. Simulación de cargas. Métodos computacionales. Cilindros y esferas en campos uniformes. Soluciones analógicas de problemas con potencial: Analogía de campos y parámetros. Capacitancia, conductancia y permeancia. Mapas de campo. Relajación gráfica. Celdas de campo. Cálculo de parámetros.

#### **5. SOLUCIONES NUMERICAS DE PROBLEMAS DE POTENCIAL:**

Método de las diferencias finitas: Ecuaciones de Laplace y Poisson. Campo plano paralelo. Red isométrica.

Condiciones de frontera y fuentes. Relajación numérica. Contornos irregulares. Campo meridiano plano. Mapas de campo. Parámetros

Método de los elementos finitos: Fundamentos. Malla de elementos. Condiciones de frontera y fuente. Soluciones computacionales. Interpretación y manipuleo de los resultados.

## 6. POTENCIAL COMPLEJO:

Funciones conjugadas. Funciones potencial y corriente. Condiciones de Cauchy-Riemann. Potencial complejo. Obtención por integración y por analogía. Transformación conforme. Aplicaciones. Transformación de Schwarz-Christoffel. Integración y determinación de constantes.

## 7. CAMPOS, FUERZAS E IMAGENES:

Ecuaciones de campos con cargas y corrientes eléctricas y magnéticas. Fuerzas. Vector y teorema de Poynting. Condiciones de frontera e imágenes imperfectas. Tensiones de Maxwell. Interfaces normales, paralelas y oblicuas. Terminaciones axial y lateral de tubos de campo. Energía en base a fuentes y potenciales. Energía en base a campo. Fuerzas y cuplas como variación energética espacial.

## 8. PARAMETROS DE LINEAS Y MAQUINAS:

Conductores cargados. Coeficientes de potencial. Coeficientes de capacidad e inducción. Capacidades parciales. Capacidad de servicio. Trasposición. Presencia de tierra.

Circuitos con corriente. Inductancias propias y mutuas. Potencial vectorial magnético en líneas de transmisión. Inductancias propias y mutuas. Inductancias de servicio. Trasposición. Concatenaciones parciales e inductancia interna de conductores. Inductancias de dispersión de máquinas eléctricas.

## 9. CIRCUITOS CON PARAMETROS DISTRIBUIDOS:

Régimen permanente armónico de la línea de transmisión. Expresiones analíticas. Ondas directa e inversa. Impedancia característica y constante de propagación. Formulaciones hiperbólicas. Parámetros. Cuadripolo y circuitos equivalentes. Líneas con pérdidas reducidas, sin distorsión y sin pérdidas. Velocidad de fase y longitud de onda. Línea adaptada. Potencia natural. Terminaciones. Ondas móviles y estacionarias.

Régimen transitorio de la línea de transmisión: Propagación de ondas. Terminaciones y discontinuidades. Circuito equivalente para el punto de discontinuidad. Ondas móviles en líneas en vacío y en cortocircuito. Reflexión y transmisión. Efecto de inductores y capacitores. Bifurcaciones. Respuesta impulsiva de transformadores. Diagrama de Bewley.

## 10. CAMPO ELECTROMAGNETICO VARIABLE:

Ecuaciones de Maxwell. Formulaciones integrales y diferenciales. Ley de Faraday y fuerza electromotriz inducida. Ley de Ampere y corriente de desplazamiento. Vectores fasores. Ecuaciones de Maxwell en forma compleja. Dieléctricos y materiales magnéticos disipativos o imperfectos. Permitividad y permeabilidad complejas. Teorema de Poynting complejo y su relación con las potencias activa y reactiva de un circuito.

## 11. CAMPO ARMONICO EN CONDUCTORES:

Ecuación de onda en conductores. Velocidad de fase. Longitud de onda. Impedancia intrínseca. Efecto peculiar eléctrico. Efecto peculiar magnético. Corrientes de Foucault. Calentamiento por inducción.

## 12. TEMAS ESPECIALES:

Campos según distintos observadores: Las transformaciones galileanas de campos y fuentes, y las ecuaciones de Maxwell simetrizadas. Rudimentos de relatividad. Ley de Faraday y fuerza electromotriz inducida.

Materiales superconductores: Propiedades electromagnéticas. Ecuaciones de London.

## BIBLIOGRAFÍA

- “Fundamentos de la teoría electromagnética”, Reitz-Milford.
- “Campos electromagnéticos”, Wangness.
- “Principios de electrotecnia, tomo 3”, Netushil - Polivanov.
- “Campos y ondas”, Ramo-Whinnery
- “Electrodinámica y propagación de ondas de radio”, Nikolski.
- “Modern electromagnetic fields”, Silvester.
- “The electromagnetic field and its engineer aspects”, Carter.
- “Electromagnetics fields”, Seely.
- “Two-dimensional fields in electrical engineering”, Bewley.
- “Electromagnetismo aplicado”, Hammond.

## RÉGIMEN DE CURSADA

### Metodología de enseñanza

- Estudio individual del tema del día con apuntes/libros preparados y/o recomendados por la Cátedra.
- Clase teórica (2 hs) dedicada a la fundamentación analítico-conceptual. Obligatoria.
- Clase teórico-práctica (1 hs) destinada a complementar la aplicación y cuantificación. Grupal. Obligatoria.
- Clase práctica (3 hs) para la realización de problemas de aplicación. Grupal. Obligatoria.
- Desarrollo por grupos de trabajos especiales, con presentación de informe obligatorio.

### Modalidad de Evaluación Parcial

- Evaluaciones parciales: se toma una evaluación y dos recuperaciones escritas pudiendo complementarse con interrogatorios orales.
- Evaluaciones integradoras: Serán tomadas por escrito, pudiéndose complementar con interrogatorios orales.

## 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	Repaso - Relaciones en inductores - Condiciones en límite de separación de dos medios - Imágenes perfectas - Corrientes de conducción - Resistencia	Repaso - Corrientes de conducción: Resistencia de puesta a tierra, tensiones de paso y de contacto				
<2> 16/03 al 21/03	Mapas de campo- Relajación gráfica - Imágenes imperfectas - Relajación numérica- Cálculo resistencia con mapa de campo simplificado	Relajación gráfica - Imágenes imperfectas- Elementos finitos - Femm				
<3> 23/03 al 28/03	Analogías de campo- Condiciones de contorno - Coeficientes de potencial - Capacidad de líneas	Capacidad de líneas - Cálculo de campo eléctrico de líneas.		Entrega temas TP1 (gráfica femm campo magnético)		
<4> 30/03 al 04/04	Feriado	Feriado				
<5> 06/04 al 11/04	Cálculo inductancias -	Cálculo inductancias -				

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	Inductancia de líneas - Cálculo de campo magnético de líneas - Parámetros de máquinas	Inductancia de líneas - Cálculo de campo magnético de líneas - Parámetros de máquinas				
<6> 13/04 al 18/04	Métodos matriciales - Repaso circuitos magneticos - Fórmula de Neumann -	Métodos matriciales - Métodos de los momentos		Revisión TP 1 - Entrega temas TP2  (matriciales pat - simulación cargas alta tensión + femm )		
<7> 20/04 al 25/04	Parámetros distribuidos - Régimen permanente	Parámetros distribuidos - Régimen permanente				
<8> 27/04 al 02/05	Parámetros distribuidos Régimen transitorio	Parámetros distribuidos Régimen transitorio				
<9> 04/05 al 09/05	Campos armónicos - Materiales imperfectos	Campos armónicos - Materiales imperfectos				
<10> 11/05 al 16/05	Variable compleja	Fuerzas: Tensores Maxwell		LÍMITE APROB. TP 1		
<11> 18/05 al 23/05	Simulación de cargas-	Parcial				
<12> 25/05 al 30/05	Corona	Consultas				
<13> 01/06 al 06/06		Consultas		LÍMITE APROB. TP 2		
<14> 08/06 al 13/06		Parcial				
<15> 15/06 al 20/06		Consultas				
<16> 22/06 al 27/06		Parcial				

## CALENDARIO DE EVALUACIONES

### Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	11	26/11		
2º	14	16/11		
3º	16	30/11		
4º				