



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIPLOMADO EN POTENCIA
ELÉCTRICA PARA ESTUDIANTES Y EGRESADOS DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Jose Javier Valencia Monico

Asesorado por el Ing. Justo Francisco Fong González

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIPLOMADO EN POTENCIA
ELÉCTRICA PARA ESTUDIANTES Y EGRESADOS DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSE JAVIER VALENCIA MONICO

ASESORADO POR EL ING. JUSTO FRANCISCO FONG GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salome Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA PARA ESTUDIANTES Y EGRESADOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 17 de mayo de 2017.

Jose Javier Valencia Monico

Guatemala 02 de Julio de 2018

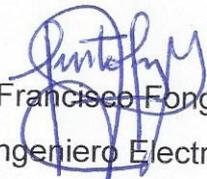
Ingeniero
Saúl Cabezas
Coordinador del Área de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Estimado Ingeniero Cabezas.

Me permito dar mi aprobación al trabajo de graduación titulado, **“PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA PARA ESTUDIANTES Y EGRESADOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**, elaborado por el estudiante José Javier Valencia Mónico, por considerar que cumple con el alcance y los objetivos definidos para su desarrollo

Sin otro particular,

Atentamente,


Justo Francisco Fong González
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 3555
Asesor

JUSTO FRANCISCO FONG GONZALEZ
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO No 3555



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 47.2018.
12 DE JULIO 2018.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de **Graduación** titulado:
**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIPLOMADO
EN POTENCIA ELÉCTRICA PARA ESTUDIANTES Y
EGRESADOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA,
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** del
estudiante; José Javier Valencia Mónico, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

M.B.A. Ing. Saul Cabezas Durán
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 4648

Ing. Saul Cabezas Durán
Coordinador de Potencia





REF. EIME 47. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **JOSÉ JAVIER VALENCIA MÓNICO** titulado: **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA PARA ESTUDIANTES Y EGRESADOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriño González



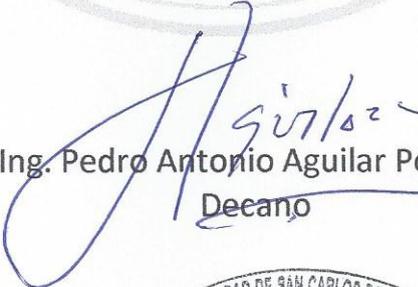
GUATEMALA, 23 DE JULIO 2018.



DTG. 315.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA PARA ESTUDIANTES Y EGRESADOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Jose Javier Valencia Monico**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Fuente de toda la sabiduría, quien merece toda gloria, el que permitió que lograra esta meta.
- Mis padres** Esteban Valencia y Yanira Monico, por su gran sacrificio, apoyo y consejos, este logro es gracias a ustedes.
- Mis hermanos** Por apoyarme a lo largo de mi vida.
- Mis abuelos** Quienes fueron parte del sacrificio necesario para lograr la meta.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y brindarme la oportunidad de ser un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme formar parte de tan prestigiosa facultad.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	Por permitirme ser parte del gremio de ingenieros electricistas.
Ingeniero	Justo Fong, por su apoyo en el proceso de realización de mi trabajo de graduación.

1.2.1.4.	Curso: subestaciones eléctricas (código: 216)	7
1.2.1.5.	Curso: líneas de transmisión (código: 218)	7
1.2.1.6.	Curso: transmisión y distribución (código: 219)	8
1.2.1.7.	Curso: análisis de sistemas de potencia 1 (código: 220)	9
1.2.1.8.	Curso: sistemas de generación (código: 221)	10
1.2.1.9.	Curso: protección de sistemas de potencia (código: 222)	10
1.2.1.10.	Curso: alta tensión (código: 224)	11
1.2.1.11.	Curso: automatización industrial (código: 238)	11
1.2.2.	Contenido de los cursos	12
1.2.2.1.	Curso: conversión de energía electromecánica 1 (código: 212)	13
1.2.2.2.	Curso: conversión de energía electromecánica 2 (código: 213)	15
1.2.2.3.	Curso: máquinas eléctricas (código: 214)	16
1.2.2.4.	Curso: subestaciones eléctricas (código: 216)	18
1.2.2.5.	Curso: transmisión y distribución (código: 219)	19
1.2.2.6.	Curso: análisis de sistemas de potencia 1 (Código: 220)	20

1.2.2.7.	Curso: sistemas de generación (código: 221).....	20
1.2.2.8.	Curso: protección de sistemas de potencia (código: 222)	21
1.2.2.9.	Curso: alta tensión (código: 224)	23
1.2.2.10.	Curso: automatización industrial (código: 238).....	24
2.	FUNDAMENTOS DE LA POTENCIA ELÉCTRICA	25
2.1.	Instalaciones eléctricas.....	25
2.1.1.	Elementos de una instalación eléctrica común	26
2.1.1.1.	Acometida.....	27
2.1.1.2.	Equipo de medición	27
2.1.1.3.	Interruptores	27
2.1.1.4.	Transformador	29
2.1.1.5.	Tableros.....	29
2.1.1.6.	Motores y equipos accionados por motores.....	30
2.1.1.7.	Estaciones o puntos de control.....	30
2.1.1.8.	Plantas de emergencia	31
2.1.1.9.	Puesta a tierra	31
2.1.2.	Criterios para la selección de conductores	32
2.1.2.1.	Método de capacidad de conducción de corriente del conductor	35
2.1.2.2.	Método de caída de tensión.....	36
2.2.	Fundamentos de las máquinas eléctricas.....	37
2.2.1.	Conversión de energía electromecánica	37
2.2.2.	Histéresis	42
2.2.3.	Transformadores	44

2.2.3.1.	Tipos de transformadores.....	46
2.2.3.2.	Transformador ideal	48
2.2.3.3.	Transformador real.....	49
2.2.3.4.	Pérdidas en el transformador	51
2.2.3.5.	Transformadores de devanados múltiples	52
2.2.4.	Conservación de la energía.....	52
2.2.5.	Máquinas rotativas	53
2.2.5.1.	Máquina síncrona.....	53
2.2.5.2.	Características del generador síncrono.....	59
2.2.5.3.	Motor síncrono	59
2.2.5.4.	Características del motor síncrono	60
2.2.6.	Máquinas de inducción.....	60
2.2.7.	Máquinas de corriente directa	63
2.2.8.	Consideraciones técnicas de las máquinas rotativas.....	65
2.2.8.1.	Máquinas síncronas polifásicas.....	65
2.2.8.2.	Máquina de inducción polifásica.....	68
2.2.8.3.	Circuito equivalente del motor de inducción polifásico	71
2.2.8.4.	Excitación de las máquinas síncronas y de inducción	72
2.2.8.5.	Pérdidas de las máquinas rotativas.....	74
2.3.	Automatización industrial	76
2.3.1.	Dispositivos empleados en controles automatizados	77
2.3.1.1.	Dispositivos de maniobra	78
2.3.1.2.	Dispositivos de protección.....	78

	2.3.1.3.	Dispositivos de señalización	79
	2.3.1.4.	Dispositivos de control	80
	2.3.2.	Ciclo de funcionamiento del autómata	82
	2.3.3.	Sensores y actuadores	84
	2.3.3.1.	Clasificación de las señales de salida de los transductores	85
	2.3.4.	Conceptos básicos de las comunicaciones digitales	88
	2.3.4.1.	Ventajas de las comunicaciones.....	91
	2.3.4.2.	Dificultades de las comunicaciones	92
	2.3.4.3.	SCADA	93
3.	PÉNSUM PROPUESTO PARA DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA		97
3.1.	Cursos propuestos		97
	3.1.1.	Instalaciones eléctricas.....	97
	3.1.2.	Conversión de energía electromecánica 1	99
	3.1.3.	Conversión de energía electromecánica 2	101
	3.1.4.	Máquinas eléctricas	103
	3.1.5.	Automatización industrial	105
	3.1.6.	Subestaciones eléctricas	106
3.2.	Pésum propuesto		107
	3.2.1.	Laboratorios técnicosp.....	109
4.	PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA.....		111
4.1.	Marco legal		112
	4.1.1.	Propuesta del reglamento para la implementación de diplomados en la Facultad de	

	Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	113
4.2.	Requisitos de inscripción al diplomado en potencia eléctrica.	114
4.2.1.	Estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	114
4.2.2.	Estudiantes no pertenecientes a la Universidad de San Carlos de Guatemala.	115
4.3.	Cursos prerrequisitos	116
4.3.1.	Física 2.....	117
4.3.2.	Ingeniería eléctrica 1	118
4.3.3.	Ingeniería eléctrica 2	120
4.4.	Requisitos para la aprobación del diplomado.....	122
4.5.	Perfil del catedrático.....	123
4.6.	Perfil del egresado del diplomado en potencia eléctrica	123
4.7.	Encuestas	124
4.7.1.	Presentación de resultados.....	124
4.8.	Propuesta de carta para la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	131
	CONCLUSIONES.....	133
	RECOMENDACIONES	135
	BIBLIOGRAFÍA.....	137
	APÉNDICES.....	139
	ANEXOS.....	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Circuito magnético simple.....	39
2.	Circuito magnético con entrehierro	41
3.	Relación circuito eléctrico y magnético.....	42
4.	Curva de histéresis.....	43
5.	Transformador típico de distribución.....	46
6.	Transformador ideal.....	48
7.	Circuito equivalente transformador real.....	50
8.	Generador síncrono de una fase y dos polos	57
9.	Relación entre los ángulos mecánico y eléctrico de la máquina síncrona.....	58
10.	Características de velocidad y par de un motor de inducción.....	62
11.	Máquina de corriente directa	63
12.	Gráfico del ángulo de par	67
13.	Curva par – velocidad del motor de inducción.....	70
14.	Circuito equivalente del motor de inducción polifásico	71
15.	Pirámide de automatización	76
16.	Autómata programable	82
17.	Pénsum del diplomado en potencia eléctrica para estudiantes regulares.....	108
18.	Pénsum ampliado del diplomado en potencia eléctrica para estudiantes regulares	109
19.	Gráfica de la pregunta 1	125
20.	Gráfico de la pregunta 2	126
21.	Gráfico de la pregunta 3	127

22.	Gráfico de la pregunta 4.....	128
23.	Gráfico de la pregunta 5.....	129
24.	Gráfico de la pregunta 6.....	130

TABLAS

I.	Contenido del curso conversión de energía electromecánica 1.....	13
II.	Contenido del curso conversión de energía electromecánica 2.....	15
III.	Contenido del curso máquinas eléctricas	16
IV.	Contenido del curso subestaciones eléctricas	18
V.	Contenido del curso transmisión y distribución	19
VI.	Contenido del curso análisis de sistemas de potencia 1.....	20
VII.	Contenido del curso sistemas de generación	20
VIII.	Contenido del curso protección de sistemas de potencia	21
IX.	Contenido del curso alta tensión.....	23
X.	Contenido del curso automatización industrial.....	24
XI.	Recubrimiento de conductores	33
XII.	Área de los conductores AWG.....	34
XIII.	Programa del curso instalaciones eléctricas (código: 208)	98
XIV.	Contenidos del curso conversión de energía electromecánica 1 (código: 212).....	100
XV.	Contenidos del curso conversión de energía electromecánica 2 (código: 213).....	102
XVI.	Contenido del curso máquinas eléctricas (código: 214).....	103
XVII.	Contenido del curso automatización industrial (código: 238).....	105
XVIII.	Contenido del curso subestaciones eléctricas (código: 216)	106
XIX.	Contenido del curso física 2 (código: 152).....	117
XX.	Contenido del curso ingeniería eléctrica 1 (código: 200)	119
XXI.	Contenido del curso ingeniería eléctrica 2 (código: 202)	121

XXII.	Resultados de la pregunta 3.....	127
XXIII.	Respuestas de la pregunta 4.....	128

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
PLC	Controlador lógico programable
CC	Corriente continua
B_{max}	Densidad de flujo máximo
FP	Factor de potencia
FMM	Fuerza magnetomotriz
Kw	Kilowatt
τ	Par de la máquina rotativa
P	Potencia activa
3ϕ	Sistema trifásico

GLOSARIO

Diplomado	Curso de corta duración con contenido específico.
EIME	Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
Egresado	Persona que aprobó todas las asignaturas de su plan de estudio.
NEMA	Asociación nacional de fabricantes eléctricos, por sus siglas en inglés.
Pénsum	Cursos o asignaturas que forman parte del plan de estudio de la carrera universitaria.
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
Watt	Unidad de potencia según el sistema internacional de medidas.

RESUMEN

Ante la falta de oportunidades de desarrollo académico en el área de la potencia eléctrica para toda la comunidad estudiantil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es necesario implementar y desarrollar una oportunidad de estudio y crecimiento profesional para los estudiantes de las distintas ramas de la ingeniería interesados en los conocimientos del área de la potencia eléctrica.

La implementación del diplomado en potencia eléctrica permite que todos los estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería puedan incorporarse a los cursos en los cuales se imparten los conocimientos teóricos y prácticos de la potencia eléctrica para su ejercicio profesional.

Los diplomados incentivan a los estudiantes y egresados a seguir desarrollándose académicamente especializándose en áreas específicas, para de esta manera volverse más competitivos en el área laboral.

OBJETIVOS

General

Realizar una propuesta para la implementación de un diplomado en potencia eléctrica para estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Dar a conocer el plan estratégico de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
2. Dar a conocer los fundamentos de la potencia eléctrica.
3. Apoyar al profesional de ingeniería en el mercado laboral, coadyuvando a que los profesionales estén mejor capacitados en el desempeño de sus funciones.
4. Proponer un pènsun general de estudios y un perfil de egreso del diplomado en potencia eléctrica.
5. Realizar la propuesta de los requisitos para optar al diplomado en potencia eléctrica.

INTRODUCCIÓN

El sector eléctrico en la actualidad ha evolucionado en gran manera; es un motor de desarrollo del país; demanda cada día, profesionales de la ingeniería de diferentes especializaciones, mejor capacitados y con los conocimientos necesarios que le permitan competir en un mercado laboral cada día más globalizado.

En la actualidad, en la Facultad de Ingeniería dentro del p^énsum de estudio de los estudiante que no forman parte de la Escuela de Mecánica Eléctrica, se imparten los cursos de ingeniería eléctrica 1 y 2 los cuales abordan los fundamentos de los circuitos eléctricos y los principios básicos de los sistemas trifásicos. Sin embargo, dicho contenido es básico para conocer los fundamentos de la potencia eléctrica.

La creación de un diplomado en potencia eléctrica permitiría que los estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería adquieran los conocimientos necesarios para comprender de una manera más detallada los fundamentos de las máquinas eléctricas, instalaciones eléctricas, transformadores eléctricos y automatización. El tener el conocimiento en potencia eléctrica proveerá una mayor capacitación a los profesionales para poder afrontar de mejor manera los retos del área laboral.

Dentro de la escuela de Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se plantea iniciar un diplomado en potencia eléctrica para que el estudiante y egresado de la facultad de ingeniería tenga la oportunidad de conocer los fundamentos de la potencia

eléctrica y pueda desarrollarse profesionalmente, afrontando los retos que implica el amplio desarrollo del sector eléctrico las distintas áreas de la industria.

1. ANTECEDENTES DE LA ESCUELA DE MECÁNICA ELÉCTRICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

1.1. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

La escuela de ingeniería mecánica eléctrica, fue fundada por la necesidad de profesionales con conocimientos en el área de la electricidad, electrónica y telecomunicaciones, debido al gran desarrollo del sector industrial.

1.1.1. Reseña histórica

La creación de la Escuela de Mecánica Eléctrica fue aprobada por el Consejo Superior Universitario en agosto de 1967, debido al gran desarrollo de la industria de la electrificación y de las telecomunicaciones, así como a las necesidades del sector comercial provocado por el auge de la electrotecnia.

Debido a que no se contaba con profesionales en el área eléctrica, se envió un grupo de estudiantes de ingeniería civil, a estudiar al Tecnológico de Monterrey, con el propósito de que adquirieran los conocimientos necesarios en el área eléctrica para ser ellos quienes impartieran los cursos en la Escuela de Mecánica Eléctrica.

La Escuela de Mecánica Eléctrica inició sus labores en el año 1968 bajo la dirección del ingeniero Rodolfo Koenigsberger quien fue catedrático y su primer director.

Inicialmente se impartían las carreras de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica Eléctrica. Durante su inicio la carrera de Ingeniería Eléctrica contaba con orientación en potencia, electrotecnia y electrónica, por lo cual los estudiantes podían orientar su formación profesional a las distintas áreas. Fue hasta 1988 que debido al gran desarrollo de las tecnologías se creó la carrera de Ingeniería Electrónica, bajo la dirección del ingeniero Edgar Montufar.

En la actualidad, la Escuela de Mecánica Eléctrica en su organización interna se divide en tres áreas: electrotecnia, potencia y electrónica. Actualmente el pensum de estudio de la carrera de ingeniería eléctrica está orientado tanto en el área de

electrotecnia como de potencia; por lo cual, los ingenieros electricistas egresados de dicha escuela cuentan con conocimientos de ambas áreas de estudio.

Para graduarse en el grado de licenciado en las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, es necesario obtener como mínimo 250 créditos académicos; además, haber ganado el examen privado y haber elaborado el trabajo de graduación. Para las carreras combinadas (Mecánica Eléctrica) es necesario adquirir 50 créditos académicos adicionales; es decir, son necesarios 300 créditos para completar el pensum de estudios¹.

1.1.2. Misión

“Formar profesionales competentes, con principios éticos y conciencia social, en los campos de las Ingenierías Mecánica Eléctrica, Eléctrica y Electrónica, mediante técnicas de enseñanza actualizadas y fundamentados en la investigación, comprometidos con la sociedad, con el fin de contribuir al bien común y al desarrollo sostenible del país y de la región”².

1.1.3. Visión

Ser la institución académica líder a nivel nacional y regional, con incidencia en la problemática nacional, en la formación de profesionales de calidad, en los campos de las Ingenierías Mecánica Eléctrica, Eléctrica y Electrónica, emprendedores, con sólidos conocimientos científicos, tecnológicos, éticos, sociales, fundamentados en la investigación, orientados hacia la excelencia, reconocidos internacionalmente y comprometidos con el desarrollo sostenible de Guatemala y de la región³.

1.1.4. Objetivos

- Mejorar continuamente el nivel académico de nuestra institución académica.
- Promover la formación de los estudiantes en áreas complementarias a la ingeniería, así como la práctica de valores y principios éticos y morales.

¹ Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. *Reseña histórica*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 17 de septiembre de 2017.

² Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. *Misión y visión*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 17 de septiembre de 2017.

³ *Ibíd.*

- Promover la formación en la investigación e impulsar su práctica en docentes y estudiantes.
- Promover la extensión de la ingeniería a través de su práctica con proyección social.
- Lograr la acreditación a nivel regional⁴.

1.1.5. Valores

- Liderazgo
Formamos profesionales con capacidad de tomar decisiones, con iniciativa, innovación y evaluación objetiva de todas las necesidades.
- Excelencia
Orientamos a los estudiantes a la búsqueda de una calidad superior académica y profesional.
- Compromiso
Estamos dispuestos a realizar lo necesario para cumplir con la misión y alcanzar la visión.
- Integridad
Fomentamos en los futuros profesionales, un comportamiento que sea en todo justo, ético, honesto y con respeto hacia las personas, leyes y normas.
- Innovación
Formamos profesionales con imaginación, ingenio y capacidad creadora, para que sean capaces de generar soluciones a las necesidades y problemas en nuestros respectivos campos de aplicación.
- Disciplina
Formamos profesionales que se esfuerzan y perseveran por alcanzar sus metas de manera eficiente, con observancia de las normas y reglamentos de nuestra Institución⁵.

⁴ Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. *Objetivos y valores*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 17 de septiembre de 2017.

⁵ *Ibíd.*

1.1.6. Perfil de egreso del ingeniero electricista

El egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala deberá poseer los siguientes atributos y características:

- Conocimiento y dominio de los principios, los conceptos y las metodologías de las ciencias física y matemática, que le permita comprender la tecnología de la electricidad y su desarrollo. Capacidad de interpretar y elaborar diagramas eléctricos, con la habilidad de identificar y resolver problemas relacionados con la ingeniería eléctrica en instalaciones de baja, media y alta tensión.
- Conocimiento de los principios fundamentales de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- Habilidad para planificar, formular, evaluar y ejecutar proyectos de uso de la energía eléctrica, de forma ética y profesional.

1.2. Área de potencia

Los cursos pertenecientes al área de potencia tienen como objetivo impartir al estudiante de Ingeniería Eléctrica los conocimientos para el manejo de energía eléctrica en el área de potencia, es decir, desde la generación hasta la utilización energética. Incluye la planificación, proyección, diseño, construcción, operación, mantenimiento y administración de sistemas eléctricos residenciales, comerciales e industriales. También, le son impartidos los conocimientos sobre el control de la operación y el desarrollo de sistemas

eléctricos de potencia, así como la especificación, calificación y selección de los materiales correspondientes.

En el pénsum vigente desde el año 2006 a la fecha los cursos pertenecientes al área de potencia son los siguientes:

1.2.1. Cursos del área de potencia

El área de potencia del pénsum de estudio, de la carrera de ingeniería eléctrica está compuesto de once cursos, en los cuales se da a conocer los fundamentos de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

1.2.1.1. Curso: conversión de energía electromecánica 1 (código: 212)

- Descripción

Se fundamenta en el estudio inicial de las máquinas eléctricas (motores, generadores y transformadores) lo cuales son componentes esenciales de los sistemas de potencia eléctrica encargados de la conversión de la potencia eléctrica en otras formas de potencia; motivo por el cual los conocimientos impartidos en el curso son fundamentales para la formación de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Objetivos

Tener la capacidad de deducir las ecuaciones de las tensiones inducidas y los pares electromagnéticos en las máquinas; también, explicar el

funcionamiento, a nivel introductorio, de las máquinas eléctricas de corriente continua y alterna como también transformadores eléctricos.

1.2.1.2. Curso: conversión de energía electromecánica 2 (código: 213)

- Descripción

El curso está orientado a mostrar el concepto físico, los principios de funcionamiento, tipos, modos de operación, consideraciones técnicas para la instalación y mantenimiento de los transformadores eléctricos.

- Objetivos

Formar en el estudiante criterios de ingeniería para la toma de decisiones en cuanto a la instalación, operación y mantenimiento de un transformador según la aplicación para la que se requiera.

1.2.1.3. Curso: máquinas eléctricas (código: 214)

- Descripción

El curso muestra al estudiante los principios básicos del comportamiento de las máquinas eléctricas en régimen transitorio, así como el régimen permanente mediante el análisis de las distintas curvas aplicables a las distintas máquinas.

- **Objetivos**

Que el estudiante obtenga una base científica y técnica que le permita comprender los principios básicos del comportamiento de las máquinas eléctricas rotativas, en régimen transitorio y en régimen permanente.

1.2.1.4. Curso: subestaciones eléctricas (código: 216)

- **Descripción**

El contenido del curso se fundamenta en la coordinación de aislamiento de subestaciones, así como los diferentes elementos que la conforman, dirigido a estudiantes con la finalidad de que adquieran los conocimientos básicos requerido para diseñar una subestación de alta tensión aisladas en aire.

- **Objetivos Generales.**

Proporcionar al estudiante los conocimientos necesarios para el diseño de una subestación eléctrica, así como que el estudiante conozca los diferentes elementos que conforma una subestación eléctrica.

1.2.1.5. Curso: líneas de transmisión (código: 218)

- **Descripción**

El curso se fundamenta en el estudio del cálculo de los parámetros eléctricos más comunes asociados al estudio de las líneas de transmisión.

Para el estudio de las líneas de transmisión es necesario conocer los conceptos básicos de la onda plana uniforme, el movimiento de la onda en el aire libre y otros medios dieléctricos; se presenta una introducción al método gráfico de solución, conocido como Carta de Smith y se introduce al estudiante con los conceptos aplicados a líneas de transmisión de energía, para el cálculo de los parámetros de la línea y su aplicación a problemas reales.

El curso se dirige a estudiantes de las carreras de la Escuela de ingeniería Mecánica Eléctrica para las áreas de potencia y electrónica.

- **Objetivos**

Que el estudiante comprenda los fenómenos asociados a una línea de transmisión, calcule los parámetros de su circuito equivalente y efectúe los cálculos eléctricos que midan la calidad de transmisión de señales y del transporte de potencia. Que conozca las herramientas, conceptos necesarios, para el desarrollo de un proyecto de esta naturaleza.

1.2.1.6. Curso: transmisión y distribución (código: 219)

- **Descripción**

Se imparten los conceptos básicos sobre el cálculo de los parámetros eléctricos asociados al estudio de las líneas de transmisión, pérdidas y efecto corona. Inicialmente, se estudian las características y los factores que permiten analizar la demanda de los sistemas de distribución, diseño mecánico de líneas eléctricas, cálculo de catenarias, distancias mínimas de seguridad y esfuerzos en postes. También, son impartidos los fundamentos del diseño eléctrico de

líneas de transmisión y distribución, caída de tensión, conductor económico, evaluación económica de estos proyectos, métodos de proyección de la demanda eléctrica. El curso finaliza con un análisis de las normativas guatemaltecas vigentes en cuanto a calidad del servicio y producto eléctricos.

- **Objetivos**

Que el estudiante sea capaz de diseñar, mecánica y eléctricamente, una línea de distribución, determinar los parámetros de análisis de un sistema de distribución, evaluación económica de inversiones en el sector eléctrico y pueda asesorar de forma profesional a terceros en cuanto a la aplicación de normativas guatemaltecas de calidad del servicio y producto técnico.

1.2.1.7. Curso: análisis de sistemas de potencia 1 (código: 220)

- **Descripción**

Curso destinado a estudiar el comportamiento de los sistemas eléctricos de potencia en condiciones normales de operación y sometido a contingencias, mediante el análisis de flujos de potencia, cortocircuito y estabilidad transitoria, utilizando técnicas de análisis numérico y programas de simulación.

- **Objetivos**

Reconocer los elementos con un sistema eléctrico de potencia y sus modelos. Utilizar valores por unidad. Conocer las ecuaciones de flujo de potencia y los métodos de solución. Conocer y utilizar las componentes simétricas en la solución de fallas. Conocer la ecuación de estabilidad y los

métodos de solución. Utilizar herramientas informáticas en la solución de estudios de flujo de potencia, corto circuito y estabilidad transitoria.

1.2.1.8. Curso: sistemas de generación (código: 221)

- Descripción

Curso destinado a estudiar los aspectos esenciales del funcionamiento de los distintos tipos de centrales eléctricas: cómo afecta el tipo de tecnología en el despacho económico, especialmente, en función de las disposiciones del marco legal.

- Objetivos

Conocer los elementos de los diferentes tipos de tecnologías en las centrales eléctricas. Conocer el despacho económico teórico. Conocer los principales aspectos del marco regulatorio relacionado con el despacho económico.

1.2.1.9. Curso: protección de sistemas de potencia (código: 222)

- Descripción

Curso destinado al estudio de los elementos básicos de la protección de un sistema eléctrico de potencia, así como los distintos factores que deben considerarse al diseñar las protecciones de un sistema de potencia.

- **Objetivos generales**

Que el estudiante obtenga los conocimientos básicos y fundamentales sobre el diseño y funcionamiento de las protecciones de un sistema de potencia.

1.2.1.10. Curso: alta tensión (código: 224)

- **Descripción**

Curso destinado a conocer las definiciones de los conceptos básicos utilizados en alta tensión para preparar al estudiante para realizar la coordinación de aislamiento y dimensionamiento general de las líneas de transmisión.

- **Objetivos**

Proporcionar al estudiante los conocimientos necesarios para el diseño de una línea de transmisión, así como que el estudiante conozca sus diferentes elementos.

1.2.1.11. Curso: automatización industrial (código: 238)

- **Descripción**

El curso está destinado al estudio de la diagramación eléctrica y su simbología, considerando las distintas normas y homologaciones existentes

para la representación de los elementos eléctricos que participan en un circuito eléctrico de control, protección y potencia.

Se imparten los principios básicos de funcionamiento de los contactores y relés eléctricos, lógica alambrada de control y protección. Se imparte la teoría relacionada con la gestión de la adquisición y procesamiento de señales eléctricas y no eléctricas aplicadas a los procesos industriales entre ellos controladores lógicos programables, transductores y sensores, se da énfasis a los sistemas PID.

Durante la última parte del curso se proporciona a los estudiantes los fundamentos de la comunicación industrial, en donde se abordan los temas de protocolos de comunicación más utilizados en redes industriales.

- **Objetivos**

Conocer los principios básicos y las aplicaciones de los componentes, dispositivos electrónicos y electromecánicos para controlar un proceso de forma manual y automática, los cuales maximicen los recursos técnicos y económicos que permitan que los procesos industriales sean eficientes.

1.2.2. Contenido de los cursos

El contenido de los cursos del área de potencia, de la carrera de ingeniería eléctrica, se encuentra orientado a que los estudiantes puedan adquirir los conocimientos fundamentales de un sistema de potencia, enfocado en la construcción y funcionamiento de las distintas máquinas eléctricas, tanto en régimen permanente como en régimen transitorio.

1.2.2.1. Curso: conversión de energía electromecánica 1 (código: 212)

Tabla I. **Contenido del curso conversión de energía electromecánica 1**

Unidad 1: circuitos magnéticos lineales
• Magnitudes y unidades de medida
• Tipos de materiales magnéticos
• Analogía entre sistemas eléctricos y magnéticos
• Circuito magnético equivalente
• Ejemplos
Unidad 2: circuitos magnéticos no lineales
• Materiales ferromagnéticos
• Curva de magnetización en cd
• El lazo de histéresis y curva de magnetización en AC
• Ejemplo: solución de un circuito magnético no lineal
• Armónicas en la corriente de magnetización.
• Perdidas y eficiencias de los sistemas mecánico - electromagnéticos
Unidad 3: transformadores
• Descripción física del transformador
• Análisis del transformador ideal.
• El transformador real: circuito equivalente
• Solución de problemas de transformadores monofásicos
• Método de valores por unidad
• Diagramas vectoriales para diversos factores de potencia
• Transformadores trifásicos: conexiones.
• Componentes simétricas: armónicas y desbalances
• Ejemplo con transformadores trifásicos.
• Desfases de las tensiones de primario y secundario
Unidad 4: balance energético
• Principio de conservación de la energía
• Tensión inducida y potencia eléctrica
• Fuerza mecánica y energía.
• Función de estado
• Coenergía
• El par en función de la energía del campo
• El par en función de la coenergía
• Sistema de excitación múltiple
• Análisis de un sistema de excitación simple

Continuación de la tabla I.

Unidad 5: generalidades de máquinas eléctricas
<ul style="list-style-type: none"> • Constitución física de la máquina síncrona • Constitución física de la máquina de inducción • Constitución física de la máquina de corriente directa
Unidad 6: introducción a la máquina síncrona
<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del funcionamiento del generador sincrónico: ecuación que relaciona a los ángulos mecánico y eléctrico, ecuación de la velocidad sincrónica • Ecuación de la tensión inducida en la máquina sincrónica
Unidad 7: fmm en el inducido de las máquinas ac
<ul style="list-style-type: none"> • Fmm en una bobina concentrada de paso diametral • Fmm en un devanado distribuido de doble capa y paso acortado. Análisis armónico • Comparación entre armónicas de los dos casos anteriores • Efecto de los devanados distribuidos de paso acortado: factor de paso, factor de distribución y factor de reducción.
Unidad 8: introducción a la máquina de inducción
<ul style="list-style-type: none"> • Campo giratorio • Funcionamiento general como motor, como generador o como convertidor de frecuencia (región de frenado) • Funcionamiento del motor de inducción • Tensiones inducidas en el devanado del estator y en el devanado del rotor
Unidad 9: ecuación general del par electromagnético
<ul style="list-style-type: none"> • Deducción general de la ecuación del par electromagnético • El par en la máquina de inducción • El par en la máquina síncrona: caso generador y caso motor. Efectos del cambio de la corriente de excitación, la tensión inducida o la reactancia de la máquina • El par en la máquina de corriente directa

Fuente: *Programa del curso conversión de energía electromecánica 1.*

<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 15 de agosto de 2017.

1.2.2.2. Curso: conversión de energía electromecánica 2 (código: 213)

Tabla II. **Contenido del curso conversión de energía electromecánica 2**

Unidad 1: introducción
• Conceptos de máquinas eléctricas
• Tipos de máquinas eléctricas
• El transformador como una máquina eléctrica
• Objeto de estudiar el transformador
• Aspectos constructivos generales
Unidad 2: principios de funcionamiento del transformador
• Transformador ideal
• Circuitos acoplados magnéticamente
• Transformador real
• Circuito equivalente y diagrama vectorial del transformador
• Sistema por unidad en transformadores
• Ensayos del transformador
• Ensayo del transformador en vacío
• Ensayo del transformador en cortocircuito
• Otras pruebas de los transformadores
• Regulación del transformador
• Pérdidas y eficiencia del transformador
• Corriente de conexión de transformador
• Corriente de conexión de transformador
• Funcionamiento en paralelo de los transformadores monofásicos
Unidad 3: clasificación de los transformadores
• El autotransformador
• Tipos de transformadores
• Transformadores trifásicos
• Generalidades
• Armónicos en transformadores trifásicos
• Conexión de los transformadores trifásicos
• Transformadores con cambiadores de derivaciones
• Transformadores trifásicos de tres devanados
• Aspectos tecnológicos de los transformadores
• Transformadores de medida
Unidad 4: características constructivas de los transformadores
• Partes del transformador
• Tipos y características de los núcleos
• Tipos y características de los aislamientos
• Tipos y características constructivas de los sistemas de enfriamiento

Continuación de la tabla II.

Unidad 5: operación y mantenimiento de un transformador
• Tipos y mantenimiento
• Mantenimiento predictivo
• Mantenimiento preventivo
• Mantenimiento correctivo
• Condiciones de operación de los transformadores
• El transformador en un sistema eléctrico de potencia

Fuente: *Programa del curso conversión de energía electromecánica 2.*

<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 17 de agosto de 2017.

1.2.2.3. Curso: máquinas eléctricas (código: 214)

Tabla III. Contenido del curso máquinas eléctricas

Unidad 1: conceptos generales
• Recordatorio de los conceptos de la conversión electromecánica.
Unidad 2: máquinas asíncronas o de inducción (régimen permanente)
• Introducción y aspectos constructivos
• Principios de funcionamiento y circuito equivalente
• Ensayos en la máquina.
• Ensayo en vacío.
• Ensayo de rotor bloqueado.
• Balance de potencias.
• Ecuaciones de par y potencia.
• Región de generador.
• Región de motor.
• Región de frenado.
• Diagrama de círculo.
• Introducción arranques y regulación de velocidad.
• Motor de inducción monofásico
Unidad 3: máquinas síncronas (régimen permanente)
• Introducción y aspectos constructivos
• Sistemas de excitación
• Principio de funcionamiento de la máquina
• Funcionamiento en vacío
• Funcionamiento en carga. Reacción de armadura
• Diagrama vectorial de la máquina. Regulación de voltaje
• Análisis lineal de la máquina. Circuito equivalente

Continuación de la tabla III.

• Generalidades
• Impedancia síncrona. Método de Behn-Eschenburg
• Determinación de la reactancia síncrona
• Característica de vacío
• Característica de cortocircuito
• Análisis no lineal de la máquina. Método de Potier
• Funcionamiento de la máquina en una red aislada
• Generalidades
• Funcionamiento de regulador de velocidad
• Sincronización de una máquina a una red de potencia infinita
• Potencia activa y reactiva desarrollada por una máquina asíncrona sincronizada a una red de potencia infinita
• Funcionamiento de una máquina conectada a una red de potencia infinita.
• Efectos por la variación de la corriente de campo
• Efectos por la variación del par mecánico
• Funcionamiento de máquinas en paralelo
• Teoría de las dos reacciones. Máquina síncrona de polos salientes
• Motor síncrono
Unidad 4: máquina síncronas (régimen transitorio)
• Transitorios en máquinas síncronas
• Transformación a variables de ejes, directos y de cuadratura
• Relaciones básicas de la maquina en variables dq0
• Análisis de cortocircuito repentino
• Características transitorias de potencia – ángulo
• Modelos de máquinas sincrónicas para el análisis transitorio
• Dinámica de las máquinas sincrónicas.
Unidad 5: máquinas de corriente directa
• Introducción y aspectos constructivos
• Principios de funcionamiento
• Reacción de armadura y conmutación
• Tipos y características de las máquinas.

Fuente: *Programa del curso máquinas eléctricas*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta:

18 de agosto de 2017.

1.2.2.4. Curso: subestaciones eléctricas (código: 216)

Tabla IV. **Contenido del curso subestaciones eléctricas**

Unidad 1: subestaciones
• Definición, conceptos generales
• Tipos de subestaciones
• Barra simple
• Barra doble
• Barra principal y transferencia
• Interruptor y medio
• Operación y maniobra
• Plantas y perfiles
Unidad 2: equipos
• Transformadores
• Seccionadores
• Interruptores
• Transformadores de instrumento
• Pararrayos
• Reactores
Unidad 3: cálculo de distancias dieléctricas en subestaciones AIS
• Consideraciones climatológicas en las distancias eléctricas
• Distancias de fase a tierra
• Distancias entre fases vivas
• Primer nivel de barras
• Segundo nivel de barras
• Altura de remate de líneas
• Zona de mantenimiento
• Zona de circulación de vehículos
• Zonas de circulación de personas
• Cálculo de libranzas eléctricas en subestaciones
Unidad 4: redes de tierras para subestaciones
• Disposiciones básicas de sistemas de las redes de tierra
• Elementos de una red de tierras
• Corrientes de falla en subestaciones eléctricas
• Factores de diseño de redes de tierra
• Métodos de cálculo
Unidad 5: protección contra sobretensiones
• Pararrayos
• Blindaje
• Selección de pararrayos

Fuente: *Programa del curso conversión de energía electromecánica 1.*

<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 15 de agosto de 2017.

1.2.2.5. Curso: transmisión y distribución (código: 219)

Tabla V. **Contenido del curso transmisión y distribución**

Unidad 1: parámetros de líneas de transmisión
• Resistencia
• Reactancias
• Admitancias
• Perdidas por corona
Unidad 2: parámetros de sistemas de distribución
• Curva de demanda y duración de carga
• Factores de carga, coincidencia y pérdidas
Unidad 3: diseño mecánico de líneas
• Distancias mínimas de seguridad y NESC
• Calculo de flecha
• Esfuerzos en postes
Unidad 4: diseño eléctrico de líneas
• Configuraciones básicas
• Cálculo de caída de tensión, varios métodos
• Momento de potencia de líneas
• Pérdidas y conductor económico
Unidad 5: planificación de sistemas de potencia
• Proyección de la demanda por regresión lineal
• Métodos econométricos
• Otros métodos
Unidad 6: evaluación económica de proyectos.
• Métodos de evaluación
• El problema del reemplazo
Unidad 7: normativas vigentes
• NTDOID
• NTSD

Fuente: Programa del curso transmisión y distribución. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>.

Consulta: 20 de agosto de 2017.

**1.2.2.6. Curso: análisis de sistemas de potencia 1
(Código: 220)**

Tabla VI. **Contenido del curso análisis de sistemas de potencia 1**

Unidad 1: el sistema eléctrico nacional
• El sistema nacional interconectado
Unidad 2: flujo de carga
• Generalidades, sistemas por unidad
• Método de Gauss – Seidel
• Método de solución: Newton Raphson
Unidad 3: cortocircuito
• Generalidades, componentes simétricas
• Fallas
Unidad 4: estabilidad transitoria
• Generalidades, método de áreas iguales, otros métodos
• Estabilidad dinámica, estabilidad de voltaje

Fuente: *Programa del curso análisis de sistemas de potencia 1.*
<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 22 de agosto de 2017.

**1.2.2.7. Curso: sistemas de generación (código:
221)**

Tabla VII. **Contenido del curso sistemas de generación**

Unidad 1: el sistema eléctrico nacional
• El sistema nacional interconectado
• Composición del parque de generación
Unidad 2: tecnologías de generación
• Hidroeléctrica, gas, vapor, ciclo combinado, biomasa
• Geotérmica, generación distribuida, eólica, solar
Unidad 3: despacho económico
• Despacho dentro de una central
• Despacho de varias centrales
• Normas vigentes sobre el despacho económico

Fuente: *Programa del curso sistemas de generación.* <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>.
 Consulta: 24 de agosto de 2017.

**1.2.2.8. Curso: protección de sistemas de potencia
(código: 222)**

Tabla VIII. Contenido del curso protección de sistemas de potencia

Unidad 1: introducción a la protección por relevadores o relés
• Protección primaria y de respaldo.
• Sensibilidad, selectividad, velocidad y confiabilidad.
• Clasificación de los relevadores por su construcción y tecnología.
• Fabricantes reconocidos a nivel global.
• Transformadores de corriente para esquemas de protección.
• Transformadores de corriente en condiciones de falla.
• Errores en transformadores de corriente.
• Clase de exactitud ansi.
• Selección de transformadores de corriente para esquemas de protección.
• Saturación de transformadores de corriente por la componente de corriente directa.
Unidad 2: relevadores de sobre corriente
• Tipos de relevadores de sobrecorriente
• Ajustes de relevadores de sobrecorriente
• Curvas de relevadores de tiempo corriente
• Ajustes de relevadores de sobrecorriente
• Ajustes de valor de disparo
• Ajuste del tiempo
• Relevadores de sobrecorriente de tierra
• Coordinación de dispositivos de sobrecorrientes
• Rango de coordinación
• Intervalo de coordinación
Unidad 3: protección de sistemas de distribución
• Fallas permanentes y fallas temporales
• Funciones del sistema de protección
• Corta circuitos y fusibles
• Restauradores automáticos
• Seccionalizadores
• Coordinación de restauradores y fusibles
• Calculo de corto circuito en un sistema de distribución
Unidad 4: protección de líneas de alta tensión
• Protección direccional de sobre corriente
• Polarización de relevadores direccionales
• Impedancia mutua de secuencia cero
• Relevadores de distancia
• Diagrama $r - x$
• Curvas características de relevadores de distancia
• Aplicaciones

Continuación de la tabla VIII.

• <i>Infeed</i>
Unidad 5: protección con piloto
• Necesidad de la protección con piloto
• Sistemas de comunicación utilizados
• Sistemas de bloqueo
• Disparo transferido
• Sistemas de desbloqueo
• Comparación de dirección
• Comparación de fases
• Relevador diferencial de línea
Unidad 6: protección de generadores
• Condiciones anormales en un generador
• Conexión de generadores al sistema eléctrico
• Protección diferencial de generador
• Protección de falla de una fase a tierra
• Protección contra circulación de corrientes de secuencia negativa
• Protección contra sobre carga
• Protección contra sobre velocidad
• Protección contra motorización del generador
• Protección para tierra en el campo
• Protección contra sobre voltaje
• Protección contra operación a frecuencias reducidas
• Protección contra pérdida de campo
Unidad 7: protección de transformadores
• Categorías de transformadores
• Curva de daño de transformadores
• Protección de transformadores con fusibles
• Protección diferencial de transformador
• Otras protecciones del transformador

Fuente: Programa del cursos protección de sistemas de potencia.

<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 25 de agosto de 2017.

1.2.2.9. Curso: alta tensión (código: 224)

Tabla IX. Contenido del curso alta tensión

Unidad 1: tipos de aislamientos
• Aislamiento externo
• Aislamiento externo tipo exterior
• Aislamiento externo tipo interior.
• Aislamiento interno
• Aislamiento auto recuperable
• Aislamiento no auto recuperable
• Terminal aislada
• Mecanismos de falla de los aislamientos
Unidad 2: sobretensiones en sistemas de transmisión de tipo externo
• Teorías del rayo (Elster y Geisel, Simpson)
• Ondas normalizada para rayo 1.2/50 us
• Densidad de rayos y nivel cerámico
• Probabilidad de rayo
• Corriente de rayo
• Modelo de impedancias
• Efectos de las corrientes de rayos en líneas de transmisión
Unidad 3: sobretensiones en sistemas de transmisión de tipo interno
• Tensión permanente
• Falla a tierra
• Desconexión de carga
• Resonancia y ferró resonancia
• Sobretensiones longitudinales.
Unidad 4: coordinación de aislamiento en l/t
• Modelo electro geométrico y ángulo de blindaje
• Descarga a conductores, impedancia característica
• Descarga a hilos de guarda, hilos de fase y estructuras cálculo de impedancia característica
• Métodos de medición de resistividad de tierras. Varillas y contra antenas cálculo de tierras
• Calculo y selección de cadenas de aislamiento
• Calculo de tensión y corriente que causa flameo inverso
• Selección y especificación de pararrayos de líneas
• Efecto corona

Fuente: *Programa del curso alta tensión*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 27 de agosto de 2017.

1.2.2.10. Curso: automatización industrial (código: 238)

Tabla X. **Contenido del curso automatización industrial**

Unidad 1: introducción y adquisición de datos
• Introducción
• Simbología y codificación
• Documentación y diagramación
• Sensores, transductores y actuadores
• Instrumentación eléctrica aplicada al proceso
Unidad 2: introducción al control
• Dispositivos utilizados para el control, operación y protección (contactor – relé)
• Introducción al control automático
• La pirámide de la automatización
• Aplicaciones del control manual y automático
• Control, operación y protección de motores eléctricos AC/DC
Unidad 3: autómata programable y lenguajes de programación
• Controlador lógico programable
• Introducción a la programación
• Medios y protocolo de comunicación
• Lenguajes de programación
• Circuitos de control en lazo abierto y cerrado
• Algoritmo de corrección de error
• Métodos de sintonización PID
Unidad 4: comunicación industrial
• Estructura de una red de comunicación industrial
• Elementos de una red de comunicación
• Protocolos de comunicación
• Aplicaciones

Fuente: *Programa del curso automatización industrial*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>.

Consulta: 28 de agosto de 2017.

2. FUNDAMENTOS DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

2.1. Instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas tienen como objetivo alimentar con corriente eléctrica a todos los dispositivos eléctricos. Una instalación eléctrica está conformada por 1 o más circuitos eléctricos.

Las instalaciones eléctricas se clasifican según su nivel de tensión en:

- Baja tensión
- Media tensión
- Alta tensión
- Extra alta tensión

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a las cargas de una manera eficiente y segura. Además, debe ser económica y de fácil acceso.

Una instalación segura es aquella que representa riesgo para los equipos conectados y los usuarios.

Para que una instalación eléctrica se considere eficiente, debe evitar consumos innecesarios, ya sea por pérdidas en los equipos que la constituyen o por la imposibilidad de desconectar equipo o secciones de la iluminación mientras estos no sean necesarios.

Los diseños de las instalaciones eléctricas deben ser flexibles, es decir, pueda adaptarse a cambios que puedan surgir en la instalación. Las instalaciones eléctricas deben facilitar el acceso a todas las partes que requieran mantenimiento.

En la actualidad, el suministro de energía eléctrica es parte fundamental de las industrias, por lo cual la continuidad del suministro es indispensable ya que una interrupción en el suministro representa pérdidas económicas. Por lo cual se debe realizar un buen diseño de una instalación eléctrica y evitar interrupciones dentro de lo posible.

2.1.1. Elementos de una instalación eléctrica común

Las instalaciones eléctricas residenciales o industriales se componen de distintos elementos, los cuales permiten el funcionamiento seguro y adecuado de los componentes eléctricos instalados, dichos elementos son:

- Acometida.
- Equipo de medición.
- Interruptores.
- Transformador.
- Tableros.
- Carga.
- Plantas de emergencia.
- Puesta a tierra.

Todos los elementos de una instalación eléctrica deben ser dimensionados según normas establecidas, para asegurar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico.

2.1.1.1. Acometida

Se conoce como acometida al punto de conexión entre la red, propiedad de la distribuidora y el alimentador que abastece al usuario. La acometida puede ser de forma aérea o subterránea ya sea en baja o media tensión.

Comúnmente en la entrada de la acometida de media tensión se colocan apartarrayos para proteger la instalación de sobretensiones, ya sea de origen atmosférico o por maniobras de conexión y desconexión en la red de suministro.

2.1.1.2. Equipo de medición

El equipo de medición es colocado por la compañía distribuidora del servicio eléctrico, con el fin de cuantificar el consumo de energía eléctrica de acuerdo a las condiciones de venta del suministro eléctrico. El equipo de medición comúnmente se encuentra protegido contra agentes externos y es colocado en un lugar accesible para su lectura y revisión.

2.1.1.3. Interruptores

Un interruptor es un dispositivo diseñado para abrir o cerrar un circuito por el cual se encuentra circulando una corriente. Puede utilizarse como medio de conexión o desconexión; también, puede realizar la función de protección contra cortocircuitos y/o sobre cargas.

En una instalación eléctrica se cuenta con diversos interruptores los cuales cumplen funciones específicas como:

- Interruptor general: es el interruptor que se coloca entre la acometida y la instalación. Este es utilizado como medio de desconexión y protección del sistema o red de la distribuidora. Este interruptor debe ser de fácil acceso y operación, de tal forma que en caso de emergencia permita desenergizar la instalación rápidamente. El interruptor principal debe proteger toda la instalación y los equipos conectados a esta, por lo cual debe tener la capacidad de interrumpir corrientes de cortocircuito que pudieran presentarse en la instalación. Dependiendo del tipo de instalación, el interruptor general puede ser: cuchillas y fusibles, interruptor termomagnéticos, cortacircuitos o interruptores de potencia.
- Interruptor derivado: son aquellos colocados para proteger y desconectar el suministro de los alimentadores de circuitos que distribuyen la energía eléctrica a otras secciones de la instalación o que energizan otros tableros.
- Interruptor termomagnéticos: son los interruptores más utilizados, sirven para desconectar y proteger contra sobrecargas y cortocircuitos. Se fabrican en diversos tamaños y capacidades de interrupción de cortocircuito, por lo cual pueden ser utilizados como interruptores generales o derivados. Su diseño permite soportar un gran número de operaciones de conexión y desconexión, lo que lo hace muy útil para el control manual de una instalación. Contiene un elemento electrodinámico con el que puede responder rápidamente ante un cortocircuito y cuenta con un elemento bimetálico para la protección por sobrecarga.

2.1.1.4. Transformador

El transformador eléctrico es un equipo utilizado para cambiar el voltaje de suministro, al voltaje requerido según las necesidades de las cargas conectadas a la instalación. En instalaciones complejas pueden necesitarse varios niveles de voltaje distintos, lo cual se logra colocando varios transformadores. También, pueden existir instalaciones donde el voltaje entregado por la distribuidora es el requerido en las cargas, por lo cual no es necesaria la instalación de transformadores.

2.1.1.5. Tableros

Se conoce como tablero a un gabinete metálico utilizado para la colocación de instrumentos, interruptores arrancadores, y dispositivos de control.

Comúnmente se instala un tablero principal y los tableros secundarios necesarios. El tablero principal es colocado después del banco de transformación y contiene el interruptor principal.

En instalaciones industriales y en las instalaciones donde se utilizan varios motores, los arrancadores se agrupan en tableros compactos conocidos como centros de control de motores. Dependiendo de la cantidad de arrancadores o circuitos derivados y de la distancia entre ellos y el tablero general, puede ser necesaria la colocación de un interruptor general. Los arrancadores comúnmente son conectados al interruptor mediante barra de cobre.

Cada área de una instalación eléctrica está normalmente alimentada por uno o varios tableros secundarios. Estos tableros pueden tener interruptor

general, dependiendo de la distancia del tablero de donde se alimenta, así como de los circuitos que este alimente.

Normalmente, a las barras de las fases, se conectan interruptores termomagnéticos de 1, 2 o 3 polos dependiendo del número de fases requeridas por las cargas.

2.1.1.6. Motores y equipos accionados por motores

Los motores se encuentran al final de las ramas de las instalaciones eléctricas; su función es la de transformar energía eléctrica en energía mecánica, cada motor debe tener su propio arrancador.

Los motores utilizados comúnmente en las instalaciones industriales son motores tipo jaula de ardilla o de inducción. Estos son motores asíncronos, es decir, su velocidad varía con la aplicación de una carga mecánica a su eje y es siempre menor a la velocidad de sincronismo. El rotor de los motores jaula de ardilla está formado por barras conductoras interconectadas en anillos, su diseño es muy parecido a una jaula de ardilla. La desventaja de los motores jaula de ardilla es que requieren una corriente muy alta para su arranque comúnmente de 6 a 7 veces la corriente a plena carga o nominal.

2.1.1.7. Estaciones o puntos de control

Son estaciones diseñadas para el control de los elementos de un proceso determinado están constituidos de: finales de carrera, limitadores de par, indicadores de nivel, de temperatura, de presión, entre otros. Estos dispositivos por lo general manejan corrientes relativamente bajas.

2.1.1.8. Plantas de emergencia

La mayoría de instalaciones eléctricas de industrias cuentan con plantas eléctricas, ya que la pérdida de suministro eléctrico representa pérdidas económicas considerables. También, para los lugares públicos como hospitales es indispensable la instalación de una planta eléctrica de emergencia.

Las plantas eléctricas cuentan con un motor de combustión interna acoplado a un generador de corriente alterna. El cálculo de la capacidad de la planta de emergencia se realiza en función de las cargas que deben operar de manera permanente. Estas cargas deberán quedar en un circuito alimentador y en canalizaciones independientes.

La conexión y desconexión de la planta de emergencia se realiza por medio de interruptores ya sea de forma manual o automática, dichos interruptores transfieren la carga del suministro normal a la planta de emergencia. Las plantas de emergencia comúnmente cuentan con medidores de tensión, los cuales detectan la ausencia de tensión de la red y envían señal de arranque al motor de combustión.

2.1.1.9. Puesta a tierra

Según la definición de IEEE se conoce un sistema de tierras como una conexión conductora por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra.

Los sistemas eléctricos se encuentran conectados a tierra debido a las siguientes razones:

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación de las protecciones en condiciones de falla.
- Proteger a los seres vivos que se encuentren cerca de las instalaciones eléctricas de potenciales inseguros, ya sea en régimen permanente o en condiciones de falla.
- Mantener los voltajes del sistema dentro de los límites permisibles bajo condiciones de falla como descargas atmosféricas, ondas de maniobras, entre otros.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que se encuentran próximos a conductores eléctricos o equipos.
- Proporcionar una plataforma equipotencial para la correcta operación de equipo electrónico.

2.1.2. Criterios para la selección de conductores

Entre los componentes básicos de una instalación eléctrica se encuentra el conductor el cual es el elemento que transporta la energía eléctrica desde la fuente de alimentación hasta la carga. La correcta selección de los conductores garantiza el buen funcionamiento de los equipos eléctricos alimentados, así como la eficiencia en el consumo de energía eléctrica.

Para el diseño de una instalación eléctrica deben considerarse los siguientes factores:

- Temperatura ambiente
- Tipo de tubería a utilizar, metálica o plástica
- Número de conductores por tubería
- Carga de uso continuo

Los conductores están conformados por:

- El alma del conductor el cual puede ser fabricado de aluminio o cobre
- El aislamiento
- Forro

Los conductores utilizados en las instalaciones eléctricas comúnmente son fabricados de aluminio o cobre por ofrecer una buena conductividad eléctrica.

Existen distintos tipos de recubrimiento de los conductores los cuales brindan protección mecánica, química y térmica para la buena operación según las condiciones ambientales a las cuales estará expuesto.

Tabla XI. **Recubrimiento de conductores**

T:	Termo plástico
H:	Soporta temperatura de 75 Celsius
W:	Soporta humedad
R:	Forro de Rubber
HH:	Muy resistente al calor 90 grados Celsius
X:	Aislamiento de polímero sintético
N:	Cubierta de nylon

Fuente: *Recubrimiento de conductores*. <http://www.cdeln.com/?q=glosario-de-terminos>.

Consulta: 29 de agosto de 2017.

Los conductores se identifican por su área o calibre, la corriente que puede transportar un conductor es directamente proporcional a su área.

El área de los conductores según la designación americana AWG, American Wire Gauge, por sus siglas en inglés es:

Tabla XII. **Área de los conductores AWG**

Calibre (AWG)	Área (mm²)
12	3,31
10	5,27
8	8,35
6	13,30
4	21,20
2	33,60
1/0	53,5
2/0	67,4
4/0	107

Fuente: *Área de los conductores*. <http://www.viakon.com/pdf/categorias/24.pdf>. Consulta: 1 de septiembre de 2017.

Para la selección del conductor se toman en consideración los siguientes criterios:

- Capacidad de conducción de corriente: es la corriente máxima que puede circular por el conductor sin causar daño al mismo.
- Caída de tensión: se consideran las pérdidas en el conductor debido a la resistencia del mismo la cual es directamente proporcional a su longitud.

2.1.2.1. Método de capacidad de conducción de corriente del conductor

El calibre del conductor utilizado para la alimentación de una carga depende la corriente demandada por esta. Para el cálculo de la corriente se utiliza la potencia consumida por la carga, así como la tensión a la cual opera, utilizando las siguientes ecuaciones.

- Carga monofásica

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

- I: corriente (A)
- P: potencia (W)
- V: voltaje (V)

- Carga trifásica

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\theta}$$

Donde:

- I: corriente (A)
- P: potencia (W)
- V: voltaje (V)
- $\cos \theta$: factor de potencia

2.1.2.2. Método de caída de tensión

Debido a la resistencia inherente al material de los conductores, la corriente que circula a través de estos produce una caída de tensión, la cual es directamente proporcional a la longitud del conductor, por lo cual debe considerarse al momento de seleccionar el área de un conductor.

Para el cálculo del área transversal del conductor por el método de caída de tensión se utiliza la siguiente ecuación:

- Carga monofásica.

$$A = \frac{I \cdot 2 \cdot L}{K \cdot \Delta V}$$

Donde:

- I: corriente (A)
 - A: área (mm²)
 - L: longitud del conductor (m)
 - K: conductividad del material
 - ΔV: porcentaje de variación de voltaje
-
- Carga monofásica

$$A = \frac{I \cdot \sqrt{2} \cdot L}{K \cdot \Delta V}$$

Donde:

- I: corriente (A)
- A: área (mm²)
- L: longitud del conductor (m)
- K: conductividad del material
- ΔV : porcentaje de variación de voltaje

La caída de voltaje máxima permitida es de 3 % para el circuito principal y 3 % para los circuitos derivados, sin que los dos circuitos juntos sobrepasen el 5 %.

Se debe utilizar el calibre del conductor mayor según el resultado obtenido.

2.2. Fundamentos de las máquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas son el fundamento de un sistema de potencia, ya que es mediante las mismas que se lleva a cabo la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

El conocimiento de las características constructivas y funcionamiento de las máquinas eléctricas es esencial para la ingeniería eléctrica.

2.2.1. Conversión de energía electromecánica

En la conversión de energía, es de suma importancia los materiales magnéticos, ya que es mediante estos materiales que es posible obtener altas densidades de flujo magnético.

Las fuerzas magnéticas y la densidad de energía aumentan con el incremento de la densidad de flujo, este efecto es la base del funcionamiento de los elementos de conversión de energía electromecánica.

Los materiales magnéticos pueden emplearse para dirigir y forzar los campos magnéticos dentro de patrones definidos. En los transformadores, la maximización del acoplamiento entre los devanados depende de los materiales magnéticos, así como la corriente de excitación. En el caso de las máquinas rotativas los de par y las características eléctricas depende de los materiales magnéticos.

Los materiales magnéticos se clasifican en:

- No magnéticos: son los materiales que no permiten el flujo del campo magnético.
- Diamagnéticos: son los materiales débilmente magnéticos.
- Paramagnéticos: presentan un magnetismo poco significativo.
- Ferromagnéticos: fuertemente magnéticos, su magnetismo depende de la temperatura; comúnmente se encuentran compuestos por hierro y aleaciones de hierro con cobalto, tungsteno, níquel, aluminio y otros metales. Cuando una fuerza magnetizante externa se aplica a los materiales ferromagnéticos, los momentos magnéticos de los dominios tienden a alinearse con el campo magnético aplicado, lo cual provoca que los momentos magnéticos de los dominios se añadan al campo aplicado, lo que provoca una mayor densidad de flujo. Cuando el material

no puede seguir contribuyendo al incremento de la densidad de flujo magnético, se dice que el material se encuentra saturado.

- Antiferromagnético: no magnético aún bajo acción de un campo magnético inducido.

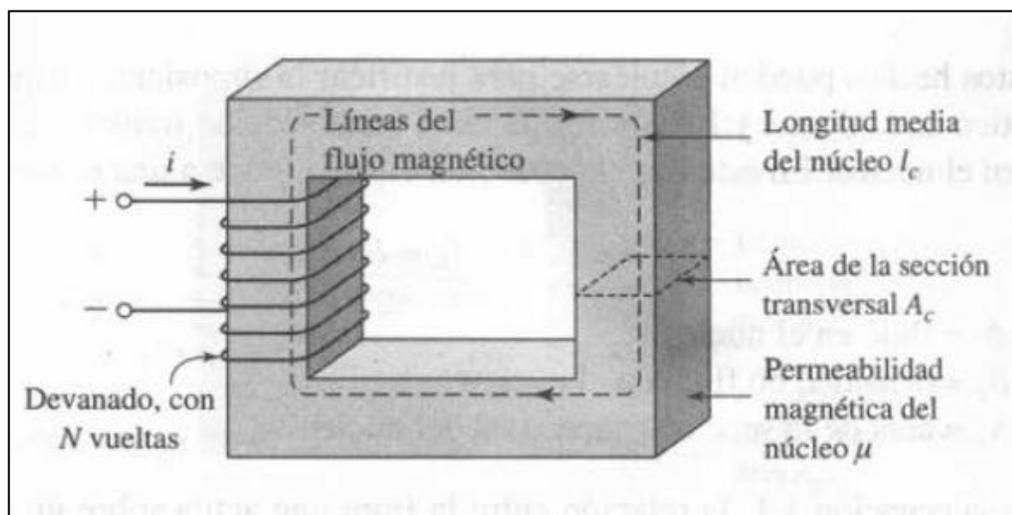
Para relacionar las corrientes eléctricas y los campos magnéticos se utiliza la ley de Ampere:

$$\int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{a} = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$$

Donde:

- J: densidad de corriente
- H: intensidad del campo magnético

Figura 1. **Circuito magnético simple**



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 3.

La fuente del campo magnético en el núcleo es el producto Ampere.Vuelta ($N.i$), cuando se analiza circuitos magnéticos este producto se conoce como fuerza magnetomotriz (fmm). Los transformadores y la mayoría de las máquinas rotativas poseen al menos dos devanados, por lo cual el producto Ampere.Vuelta debe reemplazarse por la suma algebraica del número de Ampere.Vuelta de todos los devanados.

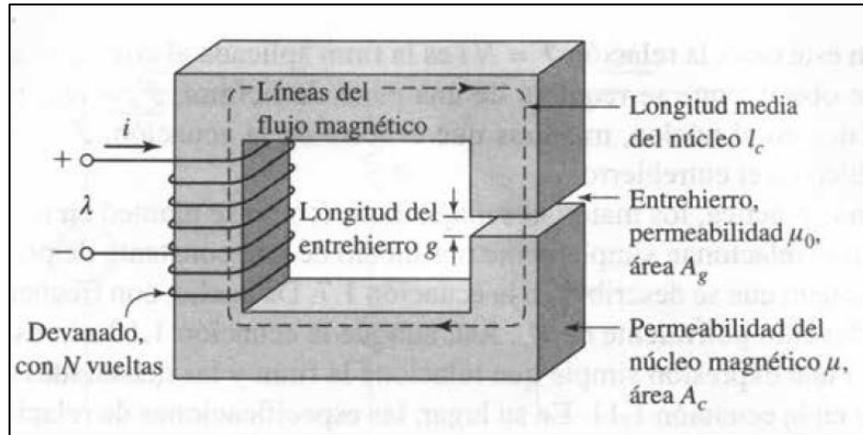
$$\mathcal{F} = N \cdot i = \phi R \text{ [Ampere.Vuelta]}$$

Donde:

- ϕ : flujo magnético
- R: reluctancia

Los circuitos magnéticos de los transformadores son equivalentes a la figura 1 ya que estos son devanados en núcleos cerrados; sin embargo, muchos dispositivos de conversión de energía electromecánica están constituidos por partes móviles por lo cual poseen entrehierros en sus circuitos magnéticos. Cuando la longitud del entrehierro es mucho menor que las dimensiones de las caras adyacentes al núcleo, el flujo magnético sigue su trayectoria por el núcleo y el entrehierro. Si la longitud del entre hierro es muy grande, el flujo se dispersa en los costados del entrehierro.

Figura 2. **Circuito magnético con entrehierro**



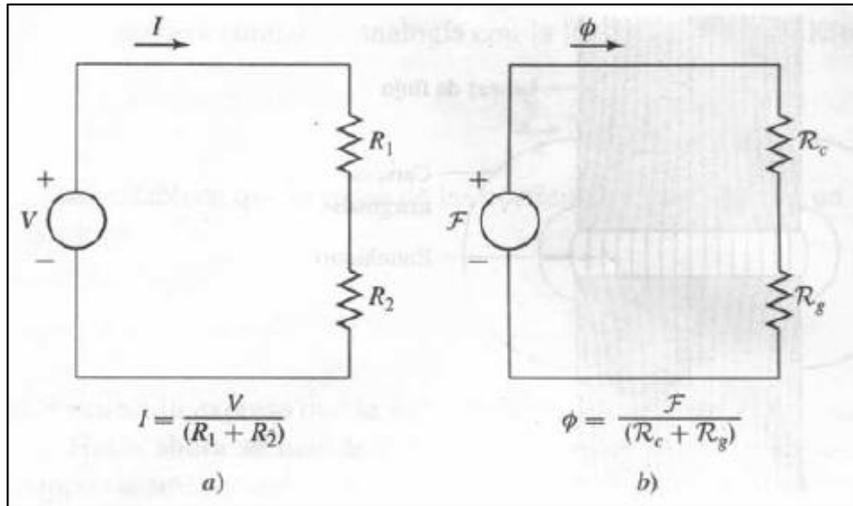
Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 5.

Los circuitos magnéticos tienen similitud con los circuitos eléctricos, ya que el voltaje en los circuitos eléctricos se relaciona con la fuerza magnetomotriz en los circuitos magnéticos, así como la resistencia con la reluctancia y la corriente con el flujo magnético.

Cuando un campo magnético varía con el tiempo se crean en el espacio un campo eléctrico de acuerdo a la ley de Faraday.

$$\oint \varepsilon dL = -\frac{d}{dt} \int B da \left[\frac{V}{M} \right]$$

Figura 3. **Relación circuito eléctrico y magnético**



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 7.

La variación de campo magnético en el núcleo origina una fuerza electromotriz (Fem) en las terminales.

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

El signo negativo a la ley de Faraday se debe a que las tensiones inducidas serán de un sentido tal que se opongan a la variación del flujo magnético que las produjo.

2.2.2. Histéresis

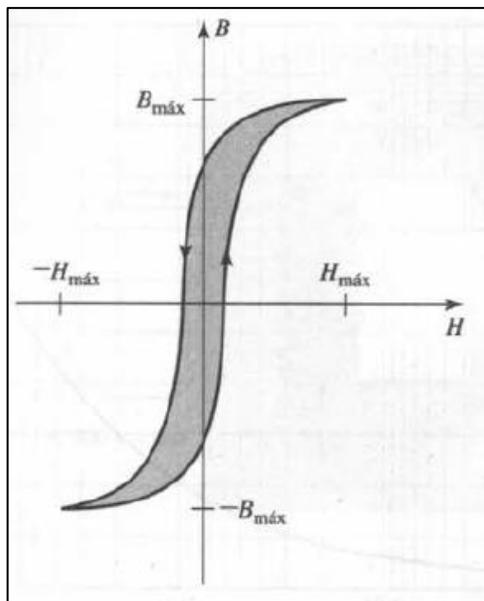
Cuando un material ferromagnético se satura todos los dominios magnéticos se alinean con respecto a la intensidad del campo magnético aplicado, al quitar esa intensidad el material no pierde su inducción magnética.

La histéresis también puede interpretarse como el rozamiento de los dominios al cambiar de orientación.

Histéresis significa retardo o inercia, los materiales ferromagnéticos se oponen a los cambios de sus campos magnéticos.

La histéresis depende de la composición del material, la frecuencia y el espesor del material. La energía que se requiere para trasladar los dipolos magnéticos en el material se disipa en forma de calor en el mismo. Las pérdidas por histéresis son proporcionales al área de la curva de histéresis y al volumen total del material.

Figura 4. **Curva de histéresis**



Fuente: FITZGERALD, A.E. *Máquinas eléctricas*. p. 27.

La mayoría de transformadores y máquinas eléctricas utilizan material de acero al silicio, ya que presentan condiciones favorables para la magnetización, lo cual permite reducir las pérdidas en el núcleo y que la permeabilidad alcance altos niveles.

2.2.3. Transformadores

Los transformadores eléctricos son dispositivos electromagnéticos que permiten aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de corriente alterna, de forma que su potencia permanezca constante en el caso de un transformador ideal ya que debido a diversos fenómenos eléctricos se producen pérdidas. El propósito principal de los transformadores es convertir la potencia alterna de un nivel de voltaje en potencia alterna de la misma frecuencia, pero con un nivel de tensión distinto.

El principio de funcionamiento de los transformadores se basa en la ley de Faraday; es decir, por la inducción electromagnética, cuando un flujo magnético variable atraviesa una espira estacionaria se induce una fuerza electromotriz en esta.

$$F.e.m = e = - \frac{d\phi}{dt}$$

Un conductor por el que pasa una corriente eléctrica produce un campo magnético alrededor de este, debido a la variación en el tiempo debido a ser corriente alterna, el campo magnético asociado también varía en el tiempo. El flujo magnético se enlaza con un devanado secundario, mediante un núcleo hecho de material ferromagnético; el núcleo mantiene el flujo magnético confinado en el interior excepto el flujo de dispersión.

El flujo magnético es variable lo cual induce una fuerza electromotriz en el devanado secundario, cada vuelta del devanado puede considerarse una espira individual conectada en serie con la siguiente, por lo cual es directamente la fuerza electromotriz es directamente proporcional al número de vueltas.

$$E_s = \frac{E_p}{N_p} N_s$$

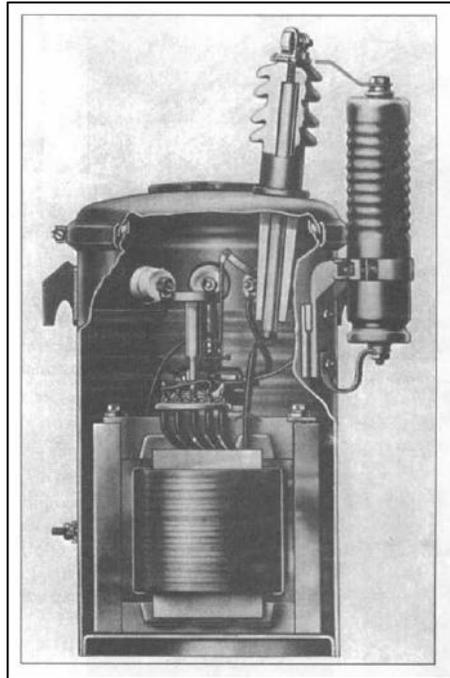
Donde:

- Es: tensión devanado secundario
- Ep: tensión devanado primario
- Np: número de espiras devanado primario
- Ns: número de espiras devanado secundario

Un transformador está constituido por:

- Núcleo
- Devanado primario y secundario
- Sistema de enfriamiento
- Tanque
- Accesorios

Figura 5. **Transformador típico de distribución**



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 59.

2.2.3.1. Tipos de transformadores

Los transformadores se clasifican según:

- Su operación

Se determina según los niveles de tensión que manejan dentro del sistema eléctrico, pueden ser:

- Transformadores de distribución: son aquellos que manejan voltajes menores a 34,5 Kv.

- Transformadores de potencia: son aquellos con una capacidad superior a los 500 Kva y voltajes mayores de 34,5 Kv.
- Su utilización

De acuerdo a la posición que ocupan dentro del sistema de potencia.

- Transformador de unidad o de generador: son los transformadores conectados a la salida de un generador y se utiliza para elevar la tensión a niveles de transmisión.
- Transformadores de subestación: se encuentran al final de la línea de transmisión, se utilizan para reducir la tensión a niveles de distribución, es decir, a tensiones menores a los 34,5 Kv.
- Transformadores de distribución: reducen los voltajes a valores utilizables en zonas de consumo comercial y doméstico.
- Transformadores especiales: son de potencia o distribución, diseñados para aplicaciones distintas a los incisos anteriores como:
 - Transformadores rectificadores
 - Transformadores desfases
 - Transformadores para pruebas
 - Autotransformadores
 - Transformador de corriente

- Su número de fases

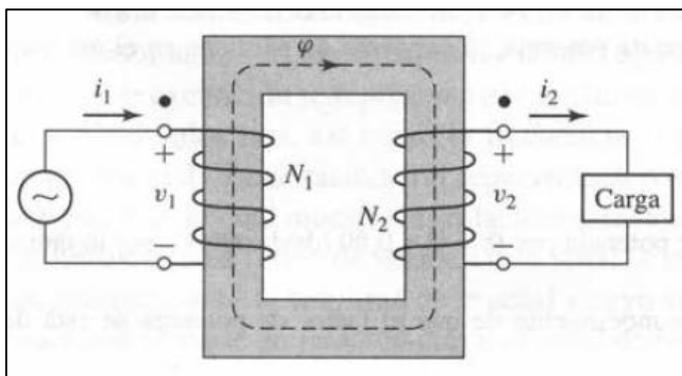
Depende del sistema al que serán conectados, pueden ser:

- Monofásicos: transformadores de potencia o distribución que son conectados a una línea o fase y a un neutro o tierra. Constan de un devanado de alta tensión y uno de baja tensión.
- Trifásicos: transformadores de potencia o distribución que son conectados a tres líneas o fases y puede o no estar conectados a tierra.

2.2.3.2. Transformador ideal

El transformador ideal es aquel en el que no se toman en cuenta las distintas pérdidas existentes en el análisis del transformador real.

Figura 6. Transformador ideal



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 64.

El transformador ideal tiene las siguientes características:

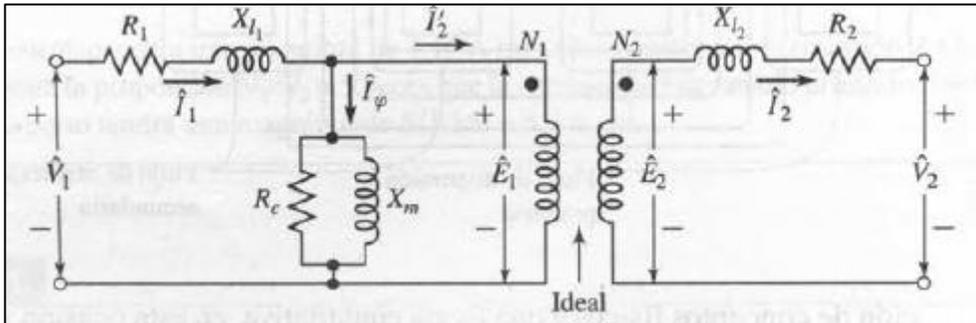
- No presenta pérdidas.
- Su núcleo es infinitamente permeable.
- El flujo magnético del devanado primario se encuentra enlazado con el flujo del devanado secundario.
- No tiene flujo de dispersión.
- La corriente magnetizante crea un flujo y esta enlazado con el devanado primario y secundario.
- La corriente magnetizante se encuentra atrasada 90 grados respecto al voltaje aplicado.
- El flujo está en fase con la corriente magnetizante.

Debido a que se desprecian todas las pérdidas la potencia de entrada es igual a la potencia de salida.

2.2.3.3. Transformador real

En el estudio del transformador real se toman en cuenta las distintas pérdidas producidas durante su funcionamiento, el circuito equivalente se basa en el razonamiento físico, es una aproximación matemática basada en la teoría clásica de circuitos acoplados magnéticamente.

Figura 7. Circuito equivalente transformador real



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 70.

Donde:

- V_1 : tensión en el inducido.
- V_2 : tensión inducida.
- I_φ : corriente de excitación (corriente principal para producir un flujo mutuo).
- I'_2 : corriente en el devanado principal, la cual contrarresta la fuerza magnetomotriz I_2 del devanado secundario.
- R_c : reluctancia magnetizante o de pérdidas en el núcleo.
- X_m : reactancia magnetizante, varía con la saturación.
- X_{l1} : reactancia de dispersión devanado primario.
- X_{l2} : reactancia de dispersión devanado secundario.
- R_1 : resistencia devanado primario.
- R_2 : resistencia devanado secundario.

2.2.3.4. Pérdidas en el transformador

El transformador real presenta diversas pérdidas durante su funcionamiento:

- Efecto Joule (I^2R)

Son las pérdidas producidas en los devanados derivados del calentamiento producido por la circulación de corriente.

- Pérdidas por histéresis

Es producido por el atraso en la orientación de los dominios magnéticos con respecto a la fuerza magnetizante; las pérdidas dependen del material; son producidas en el núcleo.

- Pérdidas por corrientes parásitas

Se presentan dentro del núcleo, se consideran corrientes de cortocircuito porque solo encuentran la resistencia del mismo material. Se presentan como pérdidas de potencia, se pueden reducir dividiendo el núcleo en muchas láminas.

- Pérdidas por flujo de dispersión

Es el flujo que queda fuera del núcleo, se presenta como pérdida de corriente.

2.2.3.5. Transformadores de devanados múltiples

Se utilizan para interconectar 3 o más circuitos de distintas tensiones, es menos costoso y más eficiente que el número equivalente de transformadores convencionales.

Los grupos trifásicos son utilizados para interconectar 2 líneas de transporte a distintas tensiones; tienen, en general, un tercer juego de devanados, conocido como devanado terciario, el cual suministra la tensión necesaria para los servicios auxiliares de la subestación o distribución local. El devanado terciario puede conectarse a condensadores estáticos o síncronos para corregir el factor de potencia o regular la tensión.

En ocasiones se coloca en los grupos trifásicos un devanado terciario conectado en delta para formar un circuito para eliminar el tercer armónico.

2.2.4. Conservación de la energía

La energía no se crea ni se destruye solo cambia de forma; en el caso de las máquinas eléctricas, mucha de la energía se convierte en calor.

$$E. \text{Entrada} = E_{\text{mec. salida}} + \text{aumento de energía, almacenada} \\ + E. \text{Convertida en calor}$$

La conversión de energía en calor es debido a:

- Parte de la energía eléctrica se convierte en calor debido a la resistencia inherente del circuito.

- Una parte de la energía es absorbida por los rozamientos y por la resistencia del aire, convirtiéndose en calor.
- Una parte de la energía es absorbida por los campos de acoplamiento, se convierte en calor por las pérdidas en el núcleo o en el aceite dieléctrico.

2.2.5. Máquinas rotativas

Las máquinas eléctricas rotativas son dispositivos capaces de transformar energía mecánica en energía eléctrica (generador) o viceversa (motor).

Para inducir tensiones en un devanado se necesita alguna de las siguientes condiciones:

- Hacer girar el devanado dentro de un campo magnético variable.
- Hacer girar mecánicamente el campo magnético que atraviesa los devanados.
- Diseñar el circuito magnético de tal forma que su reluctancia varíe al hacer girar el motor.

2.2.5.1. Máquina síncrona

Se denomina máquina síncrona al generador o motor cuya frecuencia eléctrica se encuentre sincronizada con su velocidad mecánica.

Las máquinas síncronas están construidas por un rotor y estator; en la mayoría de los casos, el devanado de armadura o inducido se localiza en el estator, mientras que el devanado de excitación se ubica en el rotor.

El devanado de excitación se somete a una corriente directa la cual llega a este por medio de escobillas de carbón estacionarias las cuales entran en contacto con los anillos deslizantes de rotación o anillos colectores de rotación.

Las máquinas síncronas pueden funcionar como:

- Generador
- Motor

El generador síncrono produce electricidad mediante inducción electromagnética; para generar dicha electricidad se hace rotar una espira en un campo magnético estacionario o viceversa; el método más sencillo y el más utilizado en los generadores es hacer rotar el campo magnético respecto a una espira estacionaria.

La inducción electromagnética es proporcional al número de espiras. El rotor es un electroimán que al girar produce un flujo electromagnético variable respecto al estator, en el cual se encuentran los devanados del inducido. De acuerdo a la ley de Faraday, un flujo magnético variable que atraviesa un conductor produce una fuerza electromotriz en el conductor.

$$F. e. m = -\frac{d\phi}{dt}$$

El flujo magnético variable es provisto por el rotor y las bobinas sobre las cuales se induce la fuerza electromotriz, se encuentran en el estator.

Existen 2 tipos de rotores en las máquinas síncronas:

- Rotor de polos salientes: los devanados del rotor se alimentan o excitan con una fuente de corriente continua.
- Rotor liso: el bobinado de excitación se coloca en ranuras o directamente bajo la superficie.

El rotor se alimenta de corriente continua utilizando un par de anillos rozantes y escobillas de grafito; la corriente continua puede suministrarse con una fuente externa o con un generador de corriente continua, accionado por el mismo eje del rotor (autoexcitación).

Al someter un generador a una carga variable el voltaje producido también varía, es deseable regular el voltaje para que se mantenga estable, se puede conseguir dicha regulación controlando la intensidad del campo magnético.

Si el voltaje en terminales disminuye el regulador aumentaría la corriente de excitación para incrementar la intensidad del campo magnético, por ende, el voltaje.

La velocidad a la que gira el rotor se debe a que la frecuencia de la corriente alterna inducida está sincronizada con la velocidad del rotor; es decir, es la misma o un múltiplo entero.

$$n = \frac{60 f}{p}$$

Donde:

- n: velocidad de sincronismo
- f: frecuencia
- p: número de polos

La máquina de polos salientes no gira a gran velocidad, ya que el peso de los polos y su gran tamaño inducirían una fuerza centrífuga muy grande que produciría daño en la máquina.

Por lo general, tienen de 10 a 20 polos, lo que le permite girar a velocidades relativamente bajas. El rotor de polos salientes se utiliza cuando el eje se encuentra conectado a una turbina que gira a pocas revoluciones por minuto, es decir, de 120 a 1200 r.p.m

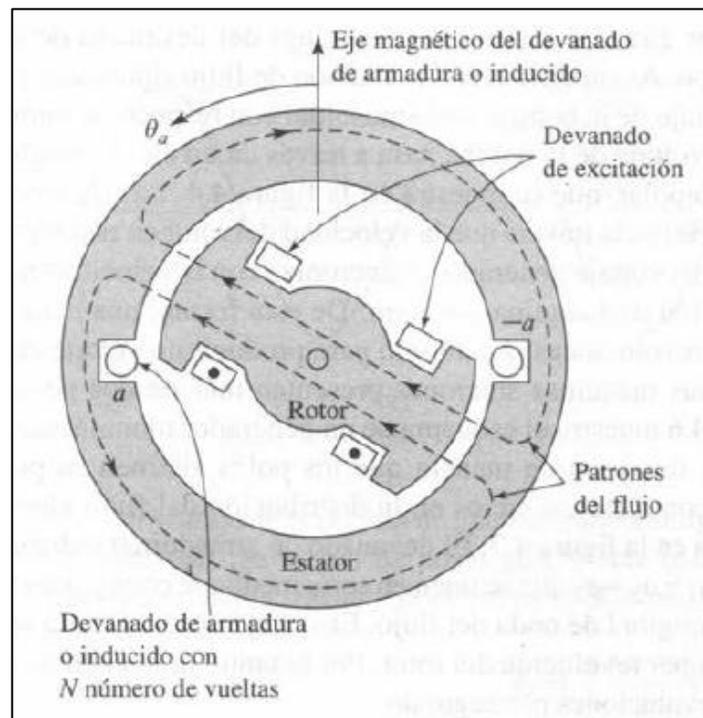
Los núcleos del rotor de polos salientes se diseñan para transferir de forma eficiente el flujo magnético, se fabrican de láminas gruesas aisladas unas de otras con barniz; reduce así las pérdidas por corrientes parasitas.

El espacio entre el estator y el rotor se conoce como entrehierro, se busca que este sea lo más pequeño posible para evitar el flujo de dispersión.

Las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas también afectan al estator; las pérdidas por histéresis se reducen utilizando materiales magnéticamente blandos; las pérdidas por corrientes parasitas se reducen

aumentando la resistividad del acero aleándolo con silicio y dividiendo el estator en láminas aisladas eléctricamente una de otra.

Figura 8. **Generador síncrono de una fase y dos polos**



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 179.

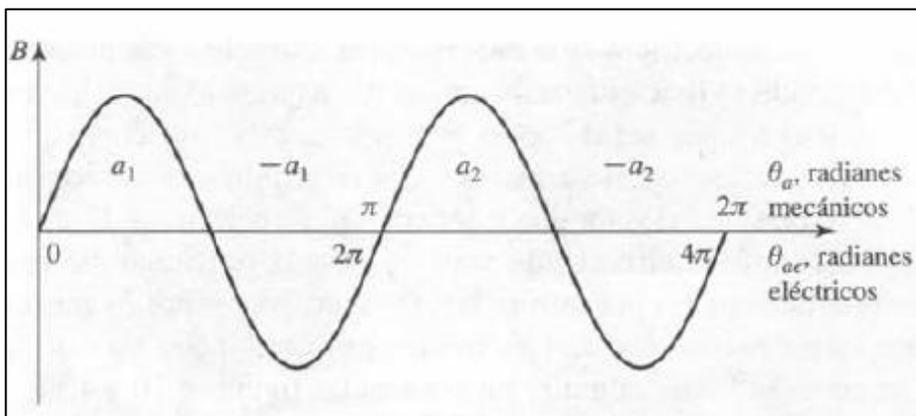
En el generador síncrono el rotor gira a una velocidad constante mediante la aplicación de una fuerza mecánica; dicho movimiento produce una variación del campo magnético respecto al devanado de armadura o inducido; dicha variación produce una tensión con forma sinusoidal con respecto al tiempo.

La frecuencia del voltaje inducido en ciclos por segundo es igual que la velocidad del rotor en revoluciones por segundo; es decir, la frecuencia eléctrica

del voltaje generado se sincroniza con la velocidad mecánica, es por esto que se le conoce como máquina síncrona.

El voltaje de bobina de una máquina con varios polos se conduce a través de un ciclo completo cada vez que un par de polos gira es decir a (polos / 2) veces cada revolución, por consiguiente, la frecuencia eléctrica del voltaje genera de una máquina síncrona se relaciona con la velocidad mecánica de la siguiente forma:

Figura 9. **Relación entre los ángulos mecánico y eléctrico de la máquina síncrona**



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 181.

$$F_c = \frac{\text{Polos}}{2} \cdot \frac{n}{60} \text{ [Hz]}$$

Donde:

- n: velocidad mecánica en revoluciones por minuto

2.2.5.2. Características del generador síncrono

- No presenta par de arranque y emplea distintos métodos de arranque.
- Es utilizado para controlar la potencia reactiva de la red, así como para mantener la potencia constante.
- El par se opone al movimiento, por lo que para mantener la rotación debe aplicarse un par mecánico mediante una máquina motriz o motor primario.
- Cuando el generador es de baja velocidad y determinado número de polos se tendrá una frecuencia deseada; el rotor tiene un devanado de campo y un devanado de cortocircuito; esto se debe a que impide el funcionamiento de la máquina a una velocidad distinta a la de sincronismo.

2.2.5.3. Motor síncrono

El motor se alimenta de corriente alterna en el devanado de armadura o inducido en el estator y la corriente directa de excitación se suministra al devanado de excitación en el rotor. El campo magnético que producen las corrientes de inducido gira a una velocidad síncrona. Para que se produzca un par electromecánico estable, los campos magnéticos del estator y el rotor deben permanecer constantes en amplitud y estáticos con respecto a ellos mismos.

En un motor síncrono, la velocidad de estado estacionario es determinada por el número de polos y la frecuencia de la corriente del inducido. Por lo cual,

un motor síncrono que funciona a partir de una fuente de corriente alterna con frecuencia constante operará a una velocidad constante.

El flujo que es producido por las corrientes en el devanado de armadura gira por delante del flujo producido por el campo de excitación, esta situación es opuesta a lo que ocurre con el generador síncrono, donde el campo de excitación lleva a cabo el trabajo mientras que el flujo atrae al devanado de armadura.

2.2.5.4. Características del motor síncrono

- Para mantener el par electromagnético constante, es necesario que los campos del rotor y el estator sean de longitudes uniformes y el movimiento relativo sea nulo.
- El par electromagnético actúa en la misma dirección del movimiento, venciendo así el par opuesto por el arrastre de la carga mecánica.

2.2.6. Máquinas de inducción

Las máquinas de inducción se caracterizan por la excitación del devanado del estator por la circulación de corrientes alternas tanto el estator como en el rotor, a diferencia de la máquina síncrona la cual se excita con corriente directa en el devanado del rotor.

En las máquinas de inducción, las corrientes alternas se aplican directamente a los devanados del estator, por lo cual se producen corrientes en el rotor por inducción.

El motor de inducción más utilizado debido a su robustez, confiabilidad y economía, es el motor con rotor de jaula de ardilla.

El estator se fabrica de acero al silicio u otro material con alta permeabilidad magnética, el cual favorezca el flujo magnético. Para reducir las pérdidas por corrientes parásitas el material se lamina y estas se aíslan eléctricamente unas de otras mediante barniz u oxidación.

Los devanados se encuentran alojados en ranuras en el estator. Cuando una corriente trifásica pasa por dichos devanados se genera un campo magnético giratorio, esto se debe a que en un conductor donde pasa una corriente eléctrica se genera un campo magnético a su alrededor, el sentido del campo puede determinarse mediante la regla de la mano derecha.

El flujo magnético variable induce una F.e.m en el conductor del rotor, la que a su vez produce una corriente por lo cual se tiene un movimiento de cargas en un campo magnético, por lo cual según la ley de Lorentz aparece una fuerza en cada sección del cable, por lo cual se genera un par motor.

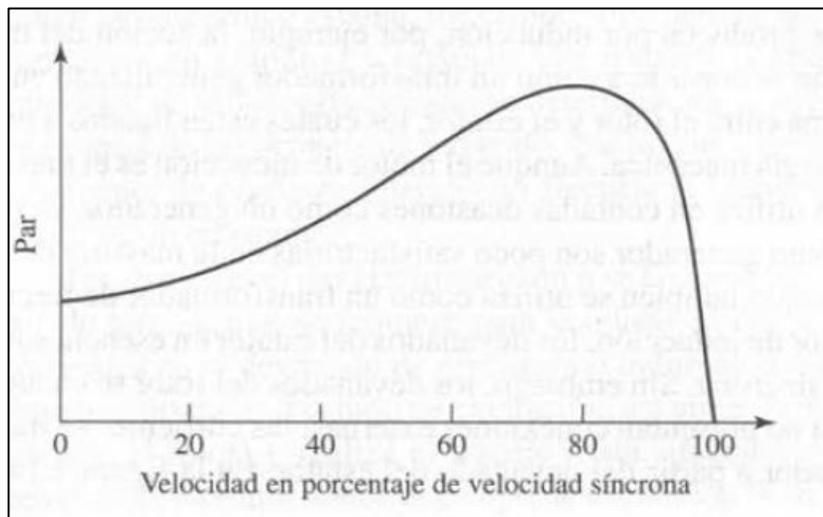
Debido a la variación del campo, se induce una corriente en las barras del rotor jaula de ardilla, la cual se encierra con anillos en los extremos y aparece un par motor que produce que la jaula gire. Se le conoce como motor de inducción ya que se induce una corriente en el rotor por inducción magnética.

Para obtener la inducción deseada el rotor es relleno con un material ferromagnético, con láminas aisladas y apiladas. Una de las ventajas principales del motor de inducción es su capacidad para poder arrancar solo.

El motor de inducción no puede girar a velocidad de sincronismo, ya que el rotor no experimentaría un campo magnético variable, sino un campo magnético constante; por lo cual, según la ley de Faraday, no se induciría en el rotor una fuerza electromotriz por lo cual no habría corriente en el rotor; por consiguiente, al no haber movimiento de cargas según la ley de Lorentz no se produciría ninguna fuerza.

$$F = q (U \times B) = 0$$

Figura 10. **Características de velocidad y par de un motor de inducción**



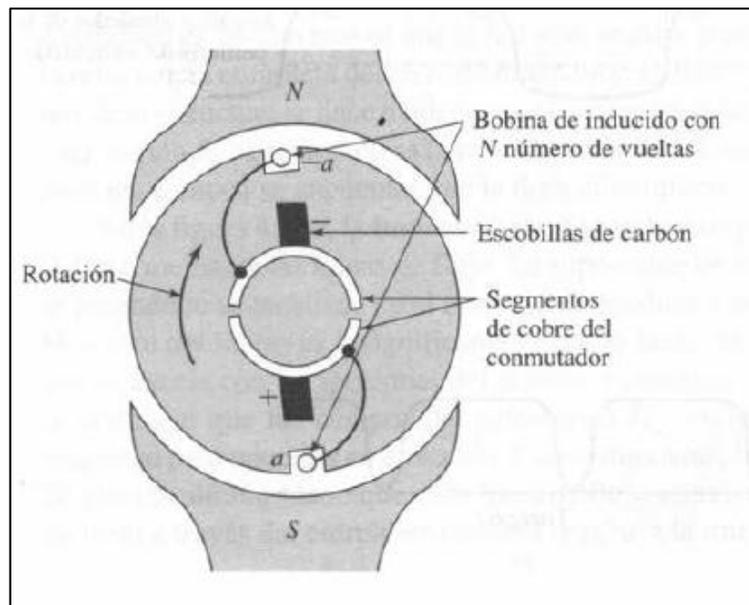
Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 186.

Debido a esto el rotor de una máquina de inducción siempre gira a una velocidad poco menor que la de sincronismo. Las pérdidas de energía se disipan en calor por lo que se coloca un ventilador al lado opuesto del rotor.

2.2.7. Máquinas de corriente directa

El estator provee un campo magnético constante, en muchas ocasiones se utiliza un imán permanente; el devanado del rotor está conectado a una fuente de corriente continua a través de un anillo el cual también es conocido como colector de delgas.

Figura 11. Máquina de corriente directa



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 187.

La corriente directa en el devanado de excitación de una máquina de corriente continua crea una distribución de flujo magnético que sea estacionario con respecto al estator. Cuando la corriente directa fluye a través de las escobillas, el inducido crea una distribución de flujo magnético; las escobillas generalmente son posicionadas de manera perpendicular al eje del flujo de excitación.

Cuando fluye una corriente a través del devanado inductor se induce una fuerza electromagnética que obedece a la ley de Lorentz.

$$F = q. (V \times B) [N]$$

La dirección de la fuerza se puede deducir por la regla de la mano derecha; si la carga es negativa, la dirección de la fuerza es la contraria a la determinada con la regla de la mano derecha.

El par motor máximo se obtiene cuando el devanado es paralelo al campo, y el par es nulo en posición perpendicular al campo; para evitar dicho fenómeno se coloca otra espira con su respectivo el par de delgas; al agregarse muchas espiras con sus anillos se obtiene un giro suave en el motor de corriente continua.

En el motor de corriente continua, los devanados se alojan en ranuras de acero laminado con alta permeabilidad magnética para aumentar el flujo magnético. Las escobillas de grafito mantienen la conexión de la fuente de alimentación con el colector gracias a la presión de unos muelles que mantienen la presión sobre las delgas a medida que el grafito se desgasta. El inductor es quien produce el campo magnético principal.

Los imanes permanentes son utilizados solo en máquinas pequeñas, en la mayoría de casos se utiliza un electroimán el cual se alimenta con la corriente de excitación en el inducido.

2.2.8. Consideraciones técnicas de las máquinas rotativas

Las máquinas eléctricas son clasificadas según sus características constructivas y de funcionamiento, cada una de ellas cuenta con consideraciones técnicas distintas según el régimen de funcionamiento, ya sea en régimen permanente o transitorio.

Existen distintos tipos de máquinas rotativas las cuales cuentan con distintas funciones dentro de los sistemas de potencia.

2.2.8.1. Máquinas síncronas polifásicas

El devanado del inducido (estator) se alimenta con corriente alterna, mientras que el devanado inductor (rotor) se alimenta con corriente directa.

La potencia en C.D requerida para la excitación es de alrededor 1 % de la potencia nominal de la máquina, a través de los anillos rozantes de un generador de C.C denominado excitatriz.

Un generador síncrono genera una tensión cuya frecuencia viene fijada por la velocidad de la máquina que lo mueve.

La intensidad y el factor de potencia de la máquina síncrona, están determinados por la excitación del generador y las impedancias del mismo y la carga aplicada.

Para que se produzca y se mantenga un par motor constante y unidireccional en el motor síncrono, es necesario que los campos giratorios del

estator y el rotor se desplacen a la misma velocidad; por lo tanto, el rotor deberá moverse a la velocidad de sincronismo.

El motor síncrono no tiene par de arranque alguno, por lo que para ponerlo en marcha y acelerarlo hasta la velocidad de sincronismo se requiere un medio auxiliar, tal como el arranque como motor de inducción.

El par del motor síncrono se define como:

$$\tau = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{P}{2}\right)^2 \cdot \Phi_{er} \cdot Fr \cdot \text{Sen } \delta r$$

Donde:

- P: número de polos
- Φ_{er} : flujo resultante en el entrehierro
- Fr : femm del rotor

Cuando los bornes del estator están conectados a una red de potencia infinita polifásica equilibrada, el flujo resultante en el entrehierro es aproximadamente constante independiente del par sobre el eje.

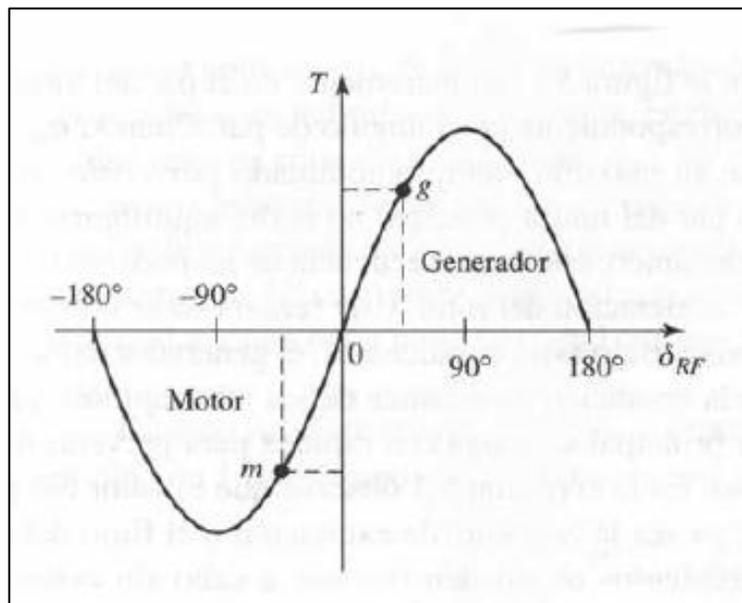
La variación en el par requerido por distintas cargas se manifiesta en la variación del ángulo δr .

Con una carga ligera en el eje, se requiere un par electromagnético relativamente pequeño, por lo cual también será pequeño el ángulo δr .

Al añadir carga al eje, el rotor debe retrasarse respecto al capo giratorio del estator hasta que el ángulo δr tenga el valor necesario para crear el nuevo par requerido.

El reajuste es un proceso dinámico que va acompañado de una disminución transitoria de la velocidad de giro del rotor y una serie de oscilaciones mecánicas, movimiento que se denomina como oscilación pendular o péndulo.

Figura 12. **Gráfico del ángulo de par**



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 249.

Cuando el ángulo es $\delta r = 90$ grados se consigue la potencia y el par máximo posible, denominados potencia y par motor críticos. Si la demanda de potencia excede de este valor, el motor pierde velocidad, debido al mayor par requerido en el eje desapareciendo así el sincronismo, ya que los campos del

rotor y del estator ya no permanecen estacionarios uno del otro. Cuando ocurre dicha situación, comúnmente, el motor es desconectado de la línea mediante la acción de interruptores automáticos; a este fenómeno se le conoce como pérdida de fase o pérdida de sincronismo.

Si se aumenta la corriente de excitación o la tensión en los bornes, se aumenta el valor del par crítico.

2.2.8.2. Máquina de inducción polifásica

El devanado del estator se alimenta con corriente alterna, mientras que el devanado del rotor es inducido por el estator.

El rotor puede ser:

- Rotor bobinado: cuenta con un devanado polifásico similar al del estator y con el mismo número de polos, las terminales del bobinado del rotor se encuentran conectados con anillos rozantes aislados, montados en el eje, en los que se apoyan escobillas de carbón con las cuales dichas terminales resultan accesibles desde el exterior.
- Rotor Jaula de Ardilla: el devanado está formado por varillas conductoras alojadas en ranuras en el hierro del propio rotor y cortocircuitadas en ambos extremos mediante 2 platos conductores dispuestos en cada lado del rotor.

Al retraso de giro del rotor respecto al campo del estator se le conoce como deslizamiento.

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

Donde:

- n_1 : velocidad de sincronismo
- n : velocidad del rotor

El movimiento relativo de los conductores del rotor respecto al flujo, induce en ellos una tensión de frecuencia Sf llamada también frecuencia de deslizamiento. Un motor de inducción con rotor bobinado puede utilizarse como transformador de frecuencia.

En el arranque de un motor de inducción el deslizamiento es igual a uno en el rotor, y la frecuencia en el mismo es igual a la del estator. En estas condiciones, el campo producido por las corrientes rotóricas gira a la misma velocidad que el creado por el estator, haciendo un par de arranque que tiende a arrastrar el rotor en dirección del mismo; si este par es suficiente para vencer al par de la carga, girará hasta alcanzar velocidad de régimen; esta nunca será igual a la velocidad de sincronismo, ya que en tal caso no hay movimiento relativo entre los conductores del inducido y el campo inductor, por lo cual no se inducirá en ellos tensión.

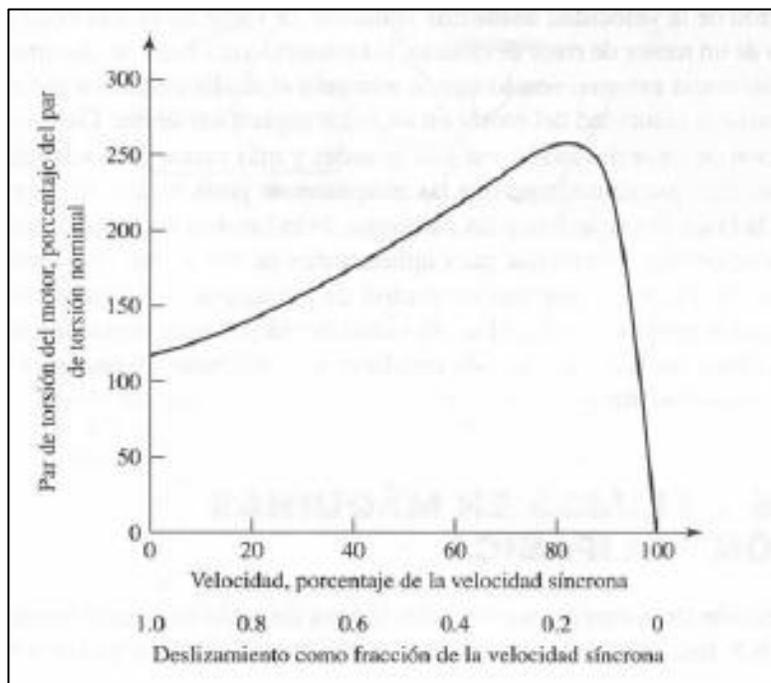
Los campos resultantes en el estator y rotor permanecerán estacionarios uno respecto al otro creándose un par constante que mantiene el movimiento del motor.

A cualquier velocidad mecánica que no sea la de sincronismo, existirá un par denominado par asíncrono. La impedancia del rotor es prevalentemente resistiva y está en fase con la tensión inducida.

Si se aumenta el deslizamiento en una máquina de inducción, se incrementarán las inductancias de dispersión y con ello la corriente varía en menor proporción que el deslizamiento, y se retrasa más respecto al flujo resultante disminuyendo el ángulo del par.

El motor jaula de ardilla es prácticamente de velocidad constante, para variar su velocidad se insertan resistencias exteriores para aumentar la impedancia del rotor.

Figura 13. **Curva par – velocidad del motor de inducción**



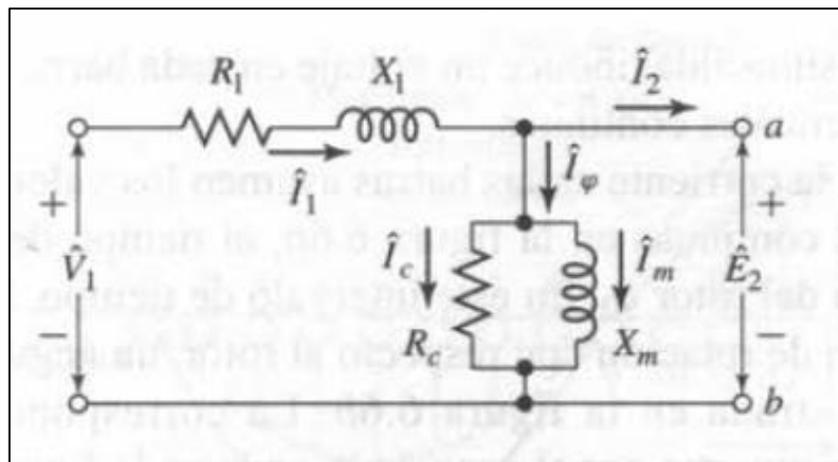
Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 309.

En algunos motores síncronos que no cuentan con par de arranque, para ponerlo en marcha por sí mismo se añade un devanado en jaula de ardilla denominado, devanado amortiguador.

2.2.8.3. Circuito equivalente del motor de inducción polifásico

Para el circuito equivalente del motor de inducción se consideran máquinas con devanados simétricos polifásicos, excitados por voltajes polifásicos balanceados.

Figura 14. Circuito equivalente del motor de inducción polifásico



Fuente: FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. p. 314.

El flujo resultante en el entrehierro es creado por las fuerzas magnetomotrices de las corrientes del estator y el rotor. La corriente del estator puede ser dividida en componente de carga y un componente excitador. El componente de carga produce una fuerza magnetomotriz la cual corresponde a la fuerza magnetomotriz de la corriente del rotor.

La componente de excitación es la corriente del estator adicional requerida para crear el flujo resultante a través del entrehierro que además es una función de la fuerza electromotriz.

La corriente de excitación puede ser descompuesta en un componente de pérdidas producidas en el núcleo y un componente magnetizante.

El circuito equivalente que representa los fenómenos que ocurren en el estator es exactamente igual al utilizado para representar el devanado primario de un transformador. El efecto del rotor se representa en el circuito equivalente por medio de una impedancia equivalente, la cual corresponde a la impedancia de dispersión de un devanado secundario.

El rotor de una máquina de inducción está conectado en corto circuito, por lo cual la impedancia vista por el voltaje inducido es simplemente la impedancia en corto circuito del rotor.

2.2.8.4. Excitación de las máquinas síncronas y de inducción

El factor de potencia en las máquinas de corriente alterna tiene su importancia económica debido al costo de la potencia reactiva. El factor de potencia bajo afecta desfavorablemente en 3 aspectos.

- Los generadores, transformadores y equipos de transmisión se dimensionan en función de los KVA, en lugar de hacerlo en KW, ya que las pérdidas y el calentamiento dependen principalmente de la tensión e intensidad, independientemente de la potencia. Las dimensiones físicas y el coste de los equipos es aproximadamente proporcional a sus KVA nominales.
- El bajo factor de potencia representa una mayor intensidad, por consiguiente, aumentan las pérdidas en el cobre de las máquinas.

- Con un bajo factor de potencia se dificulta la regulación de tensión.

En un motor síncrono hay 2 posibles formas de excitación:

- Con corriente alterna en el inducido
- Con corriente continua en el inductor

Si la intensidad en el inductor es estrictamente la requerida para crear la f.m.m, no es necesaria ninguna corriente magnetizante o componente reactiva en el estator, por lo cual el motor funcionaria con factor de potencia igual a la unidad. Si dicha intensidad es menor (motor subexcitado), la corriente del estator deberá suministrar la f.m.m, por lo que el motor trabajará con un cierto factor de potencia en retraso. Si la corriente continua de excitación es superior (motor sobreexcitado), el exceso de f.m.m deberá compensarse con la corriente del estator, creándose así una componente adelantada y el motor trabajará con factor de potencia en adelanto.

La propiedad de los motores síncronos sobreexcitados para absorber una corriente adelantada es muy apreciable, ya que tomó una importancia económica considerable. El motor síncrono sobreexcitado actúa como un generador de potencia reactiva capacitiva.

En ocasiones se instalan en los sistemas de potencia máquinas síncronas trabajando en vacío; para corregir el F.P y regular el suministro de potencia reactiva, estas máquinas son denominadas condensadores síncronos. Pueden resultar más económicos que los condensadores estáticos cuando se trata de unidades grandes.

Las máquinas síncronas y de inducción pueden autoexcitarse cuando una carga capacitiva suficientemente grande, está conectada a los circuitos del estator; en ese caso la corriente capacitiva excita la máquina pudiendo ocasionar grandes sobretensiones o pares transitorios excesivos. Debido a la capacidad de las líneas de transmisión puede presentarse este fenómeno, cuando un generador síncrono alimenta una línea larga en vacío o poco cargada, haciéndose a veces necesario el empleo de Shunts reactivos en la cabecera de la línea para compensar la corriente capacitiva.

2.2.8.5. Pérdidas de las máquinas rotativas

El conocimiento de las pérdidas producidas durante el funcionamiento de las máquinas es importante en tres aspectos:

- Las pérdidas determinan el rendimiento de la máquina e influyen directamente en el costo del servicio.
- Producen calentamiento, determinando con ello la potencia nominal que puede obtenerse de la máquina sin deterioro de los aislamientos.
- Deben tenerse en cuenta las caídas de tensión y las componentes de la corriente debido a la necesidad de cubrir dichas pérdidas.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Pot. Salida}}{\text{Pot. Salida} + \text{pérdidas}}$$

El rendimiento es mayor si las máquinas están a plena carga, los motores lentos tienen en general menor rendimiento que los de gran velocidad.

Las pérdidas en las máquinas rotativas son:

- Pérdidas en el cobre (I^2R): estas pérdidas se originan en el devanado debido al flujo de corriente por el conductor.
- Pérdidas mecánicas: son producidas por el rozamiento en escobillas y cojinetes, así como la resistencia del aire al circular a través del sistema de refrigeración.
- Pérdidas en el núcleo en circuito abierto o sin carga: son debido a histéresis y las corrientes parásitas.
 - Pérdidas por corrientes parasitas

$$P_e = K_e \cdot (B_{max} \cdot F \cdot r)^2$$

Donde:

- K_e : constante de proporcionalidad, depende de resistividad y volumen del hierro.
- B_{max} : densidad de flujo máxima.
- r : espesor de la chapa.
- pérdidas por histéresis

$$P_h = K_h f B_{max}$$

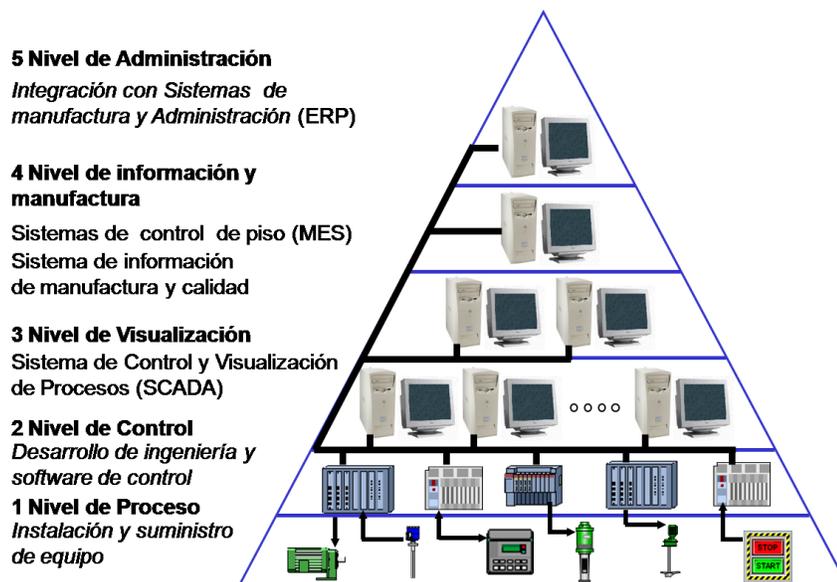
Donde:

- Kh: depende del volumen y características del hierro
- Pérdidas adicionales: debido a la distribución no uniforme de las corrientes en conductores y adicionales en el núcleo debidas a la distorsión del campo magnético, producidas por la corriente de carga.

2.3. Automatización industrial

Se conoce como automatización, a la aplicación de sistemas automáticos para realización de un proceso.

Figura 15. Pirámide de automatización



Fuente: *Pirámide de automatización*. www.sistemasdecontrolindustrial.com. Consulta: 3 de septiembre de 2017.

Para la automatización de procesos se utilizan controladores lógicos programables, PLC por sus siglas en inglés. Los PLC están diseñados para ser utilizados en el ámbito industrial ya que pueden ser programados para realizar instrucciones específicas como funciones lógicas, secuencias, temporización, conteo y funciones aritméticas con el fin de controlar diversos tipos de máquinas o procesos mediante sus entradas y salidas.

Los objetivos del control de procesos son:

- Operar el proceso de forma segura y estable.
- Evitar desviaciones de los productos finales debido a perturbaciones del sistema.
- Evitar cambios bruscos en las variables manipuladas que podrían alterar el proceso.
- Obtener una buena calidad de producto.
- Maximizar las utilidades de los productos.
- Reducir el consumo energético.

2.3.1. Dispositivos empleados en controles automatizados

Existen distintos dispositivos utilizados para en la automatización de procesos, es importante conocer las características de cada uno de ellos para su correcta utilización en los controles automatizados. Se clasifican en:

- Dispositivos de maniobra
- Dispositivos de protección
- Dispositivos de señalización
- Dispositivos de control

2.3.1.1. Dispositivos de maniobra

Son los dispositivos que permiten o interrumpen el paso de corriente de la red a una carga, dichos dispositivos pueden ser con o sin capacidad de corte, es decir, capaces de operar bajo carga.

Los aparatos de maniobra pueden ser:

- **Manuales:** algunos de los dispositivos manuales son interruptores, pulsadores y seccionadores.
- **Automáticos:** estos dispositivos están diseñados para operar circuitos bajo carga, en función de valores adquiridos de magnitudes físicas, como temperatura, presión, tiempo, entre otros. Los dispositivos más utilizados son los contactores.

2.3.1.2. Dispositivos de protección

Son los elementos destinados a proteger toda o parte de la instalación interrumpiendo las líneas de alimentación de las cargas cuando se presentan irregularidades en su funcionamiento; las fallas más comunes son sobrecargas, calentamientos y cortocircuitos.

Los cortocircuitos producen un aumento brusco de la corriente, la cual en muy poco tiempo puede alcanzar un valor cien veces mayor a la corriente nominal. Dicha corriente provoca efectos electrodinámicos y térmicos que pueden dañar severamente los equipos y el cableado instalado. Es debido a esto que los dispositivos de protección en la automatización de procesos son de

gran importancia, es necesario que los dispositivos de protección detecten la falla e interrumpan la corriente de manera rápida.

Además de los cortocircuitos, una falla muy común en las máquinas eléctricas son las sobrecargas, las cuales se manifiestan a través del aumento de la corriente demandada por el motor, así como efectos térmicos. El aislamiento de las máquinas eléctricas se ve desgastado por los esfuerzos térmicos a los cuales está expuesto; el desgaste del aislamiento afecta directamente la vida útil de la máquina; los efectos sobre las máquinas que se encuentran en falla por sobrecarga no se muestran de manera inmediata.

Los elementos de protección más utilizados son:

- **Fusibles:** son seleccionados para permitir el paso de determinada cantidad de corriente, por lo cual al producirse un cortocircuito se funde de manera rápida interrumpiendo el flujo de corriente.
- **Elementos de protección automática:** Los más utilizados en la automatización de procesos son relés térmicos, relés termomagnéticos y relés electromagnéticos.

2.3.1.3. Dispositivos de señalización

Son los dispositivos destinados para indicar si los elementos están o no funcionando, por lo cual permite determinar si la carga esta energizada. Los dispositivos más utilizados emiten señales luminosas y acústicas.

2.3.1.4. Dispositivos de control

Los dispositivos de control están constituidos por entradas y salidas, las cuales realizan funciones específicas según su programación. Los controladores cuentan con funciones básicas como, contadores, temporizadores, operaciones lógicas, entre otros. Existen distintos lenguajes de programación según el fabricante de cada controlador.

Los dispositivos de control son conocidos como autómatas programables, los cuales tienen la capacidad de monitorear y controlar en tiempo real los procesos industriales. Los autómatas ejecutan una serie de instrucciones programadas en su memoria mediante un lenguaje de programación. Los autómatas programables se encuentran diseñados para funcionar en condiciones ambientales industriales.

Los autómatas constan de un sistema de microprocesador, con un hardware estándar y un software incorporado que permite la ejecución de programas de usuario, escrito en algún lenguaje de programación.

Los autómatas programables se fundamentan en tres elementos principales:

- **Procesador:** la función del procesador consiste en interpretar las instrucciones que constituyen el programa de funcionamiento de la aplicación; también, se encarga del control e interpretación de las entradas y salidas.
- **Memoria:** permite almacenar las instrucciones que conforman el programa de funcionamiento del autómata programable. Existen distintos

tipos de memorias: memoria RAM y memoria EEPROM. A las memorias RAM al faltarles tensión, sus datos son borrados, conocida como memoria volátil; sin embargo, la memoria EEPROM en caso de falta de tensión, no pierde los datos almacenados en dicha memoria.

- Entradas/Salidas: garantizan la integración directa entre el autómata programable y el proceso. Las entradas y salidas cumplen con dos funciones básicas. Función de interfaz, es decir, es capaz de recibir y tratar señales procedentes del entorno mediante el uso de transductores, así como emitir señales hacia el exterior como pilotos visuales y sonoros de señalización. Las interfaces de entradas y salidas de los autómatas, se encuentran diseñadas para interconectar el autómata con procesos industriales; se dispone de distintos tipos de señales procedentes o necesarias para el autómata:
 - Tensiones continuas 12/24/48 VDC
 - Tensiones alternas 110/220 VAC
 - Señales lógicas 0/5 VDC
 - Señales analógicas en tensión o corriente

Figura 16. **Autómata programable**



Fuente: *Autómata programable*. <http://new.abb.com/plc/e>. Consulta: 5 de septiembre de 2017.

2.3.2. Ciclo de funcionamiento del autómata

Los autómatas son máquinas que ejecutan instrucciones de manera secuencial, siguiendo las instrucciones indicadas en su programación, la cual se encuentra almacenada en su memoria; dichas instrucciones generan señales de mando a partir de las señales de entrada.

Si se producen cambios en las señales de entrada, el autómata modificará las señales de salida según la programación precargada. La secuencia de operación del autómata se divide en tres fases:

- Lectura de señales de entrada
- Escritura de señales de la interfaz de salida
- Procesado del programa para obtención de las señales de control

Para optimizar los tiempos de operación, la lectura y escritura de las interfaces E/S se realiza de manera simultánea. La lectura de las entradas se almacena en una memoria temporal a la cual acude el CPU durante la ejecución del programa; mientras que las señales de salida son almacenadas en una memoria temporal distinta.

Durante la ejecución de un programa el autómata realiza chequeos de memoria; también, establece comunicación con periféricos externos, otros autómatas u ordenadores, entre otros, con el fin de garantizar la seguridad en el funcionamiento del autómata.

Los autómatas durante su operación pueden mantenerse en distintos modos de operación:

- *Run*: se ejecuta normalmente el programa de usuario contenido en su memoria; es decir, la interfaz de E/S cambia de estado según las órdenes del programa cargado, así como los temporizadores y contadores operan con normalidad.
- *Stop*: la ejecución del programa se detiene por orden del usuario, todas las salidas cambian a estado *off*. Relés, registros, contadores, temporizadores mantienen su estado en la memoria interna.
- *Error*: El autómata detiene la ejecución del programa por un error en el funcionamiento y queda bloqueado hasta que dicho error sea corregido. Todas las salidas pasan a estado *off*.

El modo *stop* se utiliza comúnmente para servicios de mantenimiento o diagnóstico, al congelar el funcionamiento del autómata sin pérdida de la

información almacenada, por lo cual puede ser visualizada desde la unidad de programación.

El modo de operación del autómata puede ser cambiado de esta desde la misma CPU, o desde la unidad de programación.

2.3.3. Sensores y actuadores

Para eliminar el error, así como tener control de regulación precisa y rápida de un sistema automatizado es necesario realizar un control de lazo cerrado; para tener un control de lazo cerrado es necesario contar con elementos capaces de medir distintas magnitudes del sistema, dichos elementos son conocidos como sensores o transductores. También, es necesario tener elementos capaces de actuar sobre los distintos elementos de la planta y modificar las magnitudes controladas dichos elementos son conocidos como actuadores.

Los transductores son dispositivos capaces de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica, ya sea analógica o digital.

El proceso de transformación de una magnitud física a una señal eléctrica o magnética es el siguiente:

- Elemento sensor: convierte los cambios de una magnitud física en una señal eléctrica o magnética.
- Tratamiento de señal: se suele amplificar, filtrar, linealizar la señal convertida por el elemento sensor, mediante circuitos electrónicos.

- Salida: luego de adaptarse las señales a las necesidades de la interfaz de E/S del autómeta, son enviadas desde el sensor hasta el CPU.

2.3.3.1. Clasificación de las señales de salida de los transductores

Según el tipo de señal de salida de los transductores se clasifican en:

- Analógicas: son las señales con un valor de corriente o tensión variable en forma continua dentro del rango de media, se utilizan señales normalizadas de 0-10 V o 4 - 20 mA.
- Digitales: son señales codificadas en forma de pulsos o código binario.
- Todo-nada: son señales digitales en las cuales solo se consideran dos estados: activado o desactivado.

Otro criterio para la clasificación de las señales de salida, es si el sensor necesita o no una fuente de alimentación externa para su funcionamiento. Si es necesaria una fuente externa, se conoce como sensor pasivo; por lo contrario, si no es necesaria una fuente de alimentación externa, se conoce como sensor activo.

Los sensores pasivos se basan en la modificación de la impedancia eléctrica o magnética de un material bajo ciertas condiciones. Los sensores activos generan pequeñas señales, por lo cual necesitan de una alimentación externa para amplificar dicha señal.

Las magnitudes más comunes convertidas a señales eléctricas por los transductores son:

- Cambios de resistividad
- Electromagnetismo
- Termoelectricidad
- Efecto fotovoltaico

El comportamiento de un sistema automatizado con control de lazo cerrado depende directamente de los transductores empleados en la retroalimentación del sistema. El transductor ideal es aquel en que la relación entre la magnitud de salida y la variable de entrada sea puramente proporcional, también, que tenga una respuesta instantánea; sin embargo, los transductores reales no cuentan con una relación totalmente lineal, suele verse afectados por perturbaciones del entorno y tiene cierto retardo a la respuesta.

Los transductores tienen distintas características estáticas entre sí las cuales se clasifican en:

- Campo de medida: es el rango de valores de la magnitud de entrada, es decir, la magnitud máxima y mínima detectable por el sensor.
- Resolución: indica la capacidad del sensor para interpretar valores muy cercanos de la variable de entrada.

- Precisión: indica la máxima desviación entre la salida real obtenida de un sensor, con el valor teórico de dicha salida.
- Respetabilidad: indica la máxima desviación entre los valores de salida obtenidos al medir en repetidas ocasiones un mismo valor de entrada.
- Linealidad: un transductor es lineal si existe una señal de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes cambios en la señal de entrada.
- Sensibilidad: indica la mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada. Un sensor es más sensible si tiene una mayor variación de la salida producida por una variación de entrada.
- Ruido: se conoce por ruido a las perturbaciones del propio transductor, lo cual produce una variación en la salida respecto al valor teórico.
- Histéresis: un transductor presenta histéresis cuando a igual magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o decreciente.

Los transductores tienen un comportamiento dinámico, es decir, varía en el tiempo las características dinámicas de los transductores son las siguientes:

- Velocidad de respuesta: representa la capacidad de un transductor para que la señal de salida siga sin retraso los cambios en la variable de entrada.

- Tiempo de retardo: es el tiempo transcurrido desde que la salida alcanza el 10 % de su valor permanente que llega al 90 % de dicho valor.
- Tiempo de establecimiento: es el tiempo transcurrido desde la aplicación de un escalón de entrada hasta que la respuesta alcanza su régimen permanente.
- Respuesta frecuencial: es la relación entre la sensibilidad y la frecuencia cuando la entrada es una excitación senoidal.
- Estabilidad y derivas: indica la desviación de salida del sensor al variar ciertos parámetros distintos del que se quiere medir, como las condiciones ambientales.

2.3.4. Conceptos básicos de las comunicaciones digitales

La importancia de la automatización de los procesos industriales ha provocado las mejoras constantes de los equipos denominados inteligentes, ya que a pesar de la gran ventaja de ser programables es necesario que pueda intercomunicarse con otros equipos, formando sistemas con inteligencia distribuida.

En los sistemas con inteligencia distribuida, los procesadores tienen funciones específicas, situados en los puntos más próximos a los procesos asignados y a su vez se encuentran interconectados con otros CPU.

Es importante conocer las definiciones básicas de los términos utilizados en la comunicación de los procesos:

- Información digital: se le conoce así a la información de diversa índole, codificada por medio de palabras formadas por unos y ceros, la longitud de la palabra depende del código utilizado.
- Comunicación digital: se le denomina así a la técnica utilizada que permite el intercambio de información digital entre dos o más sistemas.
- Código: regla que permite la interpretación de la información digital. El elemento básico del código es el carácter, el cual consiste en una palabra de n bits. Los códigos pueden ser de distintas formas como numéricos, alfanuméricos, entre otros.
- Datos y control: para enlazar dos sistemas digitales se requiere, en general intercambiar dos tipos de informaciones
 - Datos: es la información útil que se intercambia entre los sistemas.
 - Control: información adicional a la necesaria para facilitar la comunicación y/o la interpretación de los mensajes entre los sistemas inteligentes.
- Terminal de datos: equipo que dispone al menos de un canal para transmitir y/o recibir información digital.
- Terminal de comunicación: equipo diseñado para transmitir y recibir información digital a distancia.
- Modulación y demodulación: son las técnicas utilizadas en comunicaciones para transmitir señales analógicas o digitales a

distancia. La modulación consiste en tomar una señal de alta frecuencia conocida como onda portadora y variar alguna de sus características (amplitud, frecuencia, o fase) en función de otra señal, llamada moduladora. La modulación y demodulación permiten transmitir varias señales por un mismo medio.

- Línea de comunicación: se emplea en general para designar el medio físico de enlace entre dos terminales.
- Bus: conjunto de conductores compartidos por dos o más sistemas digitales. La comunicación a través del bus implica que solo uno de los terminales conectados puede enviar datos en un instante determinado.
- Conexión punto a punto: conexión en la que intervienen solo dos terminales o sistemas digitales.
- Conexión multipunto: conexión de dos o más terminales de los sistemas digitales a través del mismo bus.
- Enlace simple: comunicación entre dos terminales la cual permite flujo de datos solo en un sentido.
- Enlace *half duplex*: comunicación entre dos terminales, que permite el flujo de datos en ambos sentidos, pero no de manera simultánea, utilizando el mismo medio físico.
- Enlace *full duplex*: comunicación entre dos terminales, con posibilidad de flujo simultáneo de datos en ambos sentidos, requiere líneas independientes para transmisión y recepción.

- Protocolo: la comunicación entre dos sistemas requiere que uno de los terminales pueda transmitir en un instante dado y que al menos uno reciba la información; por lo cual se debe contar con un conjunto de reglas para terminar cual terminal debe recibir o transmitir datos en un momento específico; a este conjunto de reglas se les conoce como protocolo de comunicación. El protocolo está conformado por una serie de señales de hardware y una serie de caracteres de control incorporados al propio mensaje, junto con las reglas de interpretación.
- Red de comunicación: conjunto de terminales que pueden intercambiar información. La red de comunicación es el enlace físico (hardware) y un software de soporte para gestionar la ocupación de la red.
- LAN (*local area network*): red local que comunica varios terminales, por lo general a corta distancia.
- WAN (*wide area network*): red de área amplia que comunica terminales alejadas.
- Nodo o estación: terminal de enlace a una red o punto de enlace de una red de rango inferior o una de rango superior.

2.3.4.1. Ventajas de las comunicaciones

Los beneficios de un sistema automatizado con autómatas programables se ven incrementados cuando estos tienen la capacidad de comunicarse con sistemas de captura y envío de datos, así como con ordenadores. Las ventajas de enlazar estos sistemas son:

- Posibilidad de intercambio de información entre autómatas que controlan distintas fases de un proceso automatizado.
- Facilita la comunicación de hombre – máquina, mediante interfaces inteligentes que permiten programar u observar los procesos con lenguajes próximos al humano, por lo cual permite la interacción entre hombre – máquina.
- Permite la adquisición de datos de transductores y su procesamiento, con el objetivo de mantener la calidad de los procesos.
- Facilita los cambios que puedan producirse al sistema automatización debido a la mejora continua del proceso.

Es necesario contar con un sistema de comunicación potente y flexible para obtener dichas ventajas.

2.3.4.2. Dificultades de las comunicaciones

Para lograr la correcta comunicación de un sistema automatizado se presentan algunas dificultades como las siguientes:

- La comunicación de los sistemas automatizados representa una complejidad técnica mayor; esta complejidad implica potenciar el software de soporte de los usuarios para que estos puedan manipularlo de manera eficiente.
- La unificación de un sistema que integra dispositivos de diversos fabricantes, con distintas funciones y lenguajes; presenta un alto grado

de dificultad. Para reducir en gran manera la dificultad en la unificación de los sistemas, es importante contar con dispositivos fabricados bajo la misma norma.

2.3.4.3. SCADA

Un sistema SCADA (*supervisory control and data acquisition*) es la aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante comunicación digital y una interfaz de usuario gráfica de alto nivel.

Un sistema SCADA permite comunicarse con los dispositivos de campo, para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador, la cual es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad.

El sistema SCADA muestra la información que se genera en el proceso para su supervisión, control y mantenimiento. Un sistema SCADA debe cumplir con los siguientes objetivos.

- Deben ser sistemas de arquitecturas abiertas, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de los procesos.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente para el usuario con el equipo en campo.
- Debe ser sencillo para instalar y fácil de utilizar, con interfaces amables para el usuario.

Un sistema SCADA debe cubrir tres funciones principales:

- Adquisición de datos: para recoger, procesar y almacenar información recibida.
- Supervisión: para observar desde la interfaz de usuario las distintas variables del proceso.
- Control: para modificar cualquier variable del proceso.

Para la adquisición, supervisión y control es necesario que el sistema SCADA cuente con:

- Configuración: permite a los usuarios definir el entorno de trabajo, adaptando el sistema SCADA a las aplicaciones específicas que desea desarrollar. Dentro de la configuración se definen las pantallas gráficas, textos, etc. que serán utilizados.
- Interfaz gráfico de operador: proporciona al operador las funciones de control del proceso, de forma gráfica desde el ordenador o pantalla de control. En procesos complejos pueden utilizarse distintas pantallas dentro de la misma aplicación. El paso de una pantalla a otra debe realizarse por la activación o desactivación de variables de forma automática. Al producirse situaciones anómalas dentro del proceso debe contarse con alarmas sonoras y gráficas; se debe advertir al operador para que este tome las acciones necesarias para solucionar el problema; el operador debe manipular las variables controlables del proceso mediante la interfaz del usuario.

- Módulo del proceso: ejecuta las acciones de mando programadas a partir de los valores actuales de variables medidas. El sistema SCADA puede ejecutar acciones de forma automática, dependiendo de las variables medidas; estas acciones pueden ser:
 - Acciones de mando programadas, dependiendo de valores de las señales de entrada o salida.
 - Maniobras o secuencias de acciones de mando.
 - Procedimientos para el arranque o parada de los procesos.
 - Cambio de las variables controladas para obtener el resultado esperado.
- Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesamiento ordenado de los datos. Pueden seleccionarse datos del proceso para ser capturados en tiempos establecidos y ser almacenados.
- Comunicaciones: se encargan de la transferencia de información entre los dispositivos en campo y el sistema SCADA.

3. PÉNSUM PROPUESTO PARA DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA

3.1. Cursos propuestos

Tomando en cuenta el constante desarrollo del sector eléctrico en la industria, es necesario que los profesionales cuenten con los conocimientos fundamentales de la potencia eléctrica, por lo cual, para el diplomado en potencia eléctrica, se propone un pénsum de estudio, en el cual se den a conocer los fundamentos de los elementos que componen un sistema de potencia.

3.1.1. Instalaciones eléctricas

Parte de los fundamentos de la potencia eléctrica son las instalaciones eléctricas, desde las instalaciones domiciliarias hasta las instalaciones industriales. Por lo cual es necesario que en el diplomado se impartan los conocimientos necesarios para interpretar planos eléctricos; así como realizar diseños básicos de una instalación eléctrica domiciliar e industrial, como cálculo de conductores, cálculo de tuberías eléctricas, tableros principales, acometida, instalación de motores, diseño de iluminación, entre otros.

Para que el estudiante pueda complementar los conocimientos teóricos, es fundamental que pueda tener un acercamiento a la aplicación práctica de dichos conocimientos; por lo cual es importante que los estudiantes del diplomado en potencia eléctrica cursen el laboratorio de instalaciones eléctricas, el cual es impartido por el área de electrotecnia de la Escuela de Mecánica

Eléctrica de la Facultad de Ingeniería. En dicho laboratorio se pone en práctica la conexión de motores para los distintos arranques, instalaciones eléctricas domiciliarias, uso de contactores, *timers*, así como el estudio de las normativas vigentes en Guatemala para las instalaciones eléctricas domiciliarias e industriales.

El curso de instalaciones eléctricas es impartido durante dos horas y treinta minutos semanales a los estudiantes de ingeniería eléctrica y mecánica eléctrica en el 9 semestre; máquinas eléctricas es el requisito para cursarlo; por lo cual de igual forma se impartirá a los estudiantes del diplomado en potencia eléctrica en el 9 semestre de su respectiva carrera.

Tabla XIII. **Programa del curso instalaciones eléctricas (código: 208)**

Unidad 1: generalidades
<ul style="list-style-type: none"> • Elementos básicos de una instalación eléctrica, su clasificación y sistemas de servicio
Unidad 2: selección de conductores
<ul style="list-style-type: none"> • Forma de seleccionar y especificar conductores eléctricos por capacidad por caída de tensión
Unidad 3: canalización eléctrica
<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de canalización eléctrica su dimensionamiento y especificación
Unidad 4: protecciones eléctricas
<ul style="list-style-type: none"> • Exposición de los tipos de protección usados en instalaciones eléctricas
Unidad 5: instalaciones residenciales
<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de diseño de una instalación residencial
Unidad 6: iluminación de interiores
<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de un sistema lumínico para interiores
Unidad 7: instalación de motores
<ul style="list-style-type: none"> • Metodología para la instalación de motores eléctricos
Unidad 8: instalaciones industriales
<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de diseño de una instalación industrial

Fuente: *Programa del curso instalaciones eléctricas*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>.

Consulta: 14 de septiembre de 2017.

3.1.2. Conversión de energía electromecánica 1

El principio de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica se estudia en el curso de conversión de energía electromecánica, en el cual son impartidos los conceptos básicos de las máquinas eléctricas, por lo cual es parte de los conocimientos necesarios para comprender la potencia eléctrica.

En el curso se dan a conocer las generalidades de los transformadores eléctricos, la máquina síncrona, la máquina de inducción, la máquina de corriente continua.

El curso pre requisito es teoría electromagnética ya que en dicho curso se imparten los fundamentos teóricos necesarios para poder comprender los fenómenos magnéticos en los cuales se fundamenta el funcionamiento de las máquinas eléctricas.

Para un mejor aprendizaje de los fundamentos de la conversión de energía electromecánica, se imparte un laboratorio en el cual se comprueba de forma experimental la teoría solo el funcionamiento de la máquina síncrona, de inducción y de corriente continua, así como de los transformadores eléctricos.

Tabla XIV. **Contenidos del curso conversión de energía electromecánica 1 (código: 212)**

Unidad 1: circuitos magnéticos lineales
• Magnitudes y unidades de medida
• Tipos de materiales magnéticos
• Analogía entre sistemas eléctricos y magnéticos
• Circuito magnético equivalente
• Ejemplos
Unidad 2: circuitos magnéticos no lineales
• Materiales ferromagnéticos
• Curva de magnetización en cd
• El lazo de histéresis y curva de magnetización en ac
• Ejemplo: solución de un circuito magnético no lineal
• Armónicas en la corriente de magnetización
• Perdidas y eficiencias de los sistemas mecánico - electromagnéticos
Unidad 3: transformadores
• Descripción física del transformador
• Análisis del transformador ideal
• El transformador real: circuito equivalente
• Solución de problemas de transformadores monofásicos
• Método de valores por unidad Ejemplo
• Diagramas vectoriales para diversos factores de potencia
• Transformadores trifásicos: conexiones
• Componentes simétricas: armónicas y desbalances
• Ejemplo con transformadores trifásicos
• Desfases de las tensiones de primario y secundario:
Unidad 4: balance energético
• Principio de conservación de la energía
• Tensión inducida y potencia eléctrica
• Fuerza mecánica y energía
• Función de estado
• Coenergía
• El par en función de la energía del campo
• El par en función de la coenergía
• Sistema de excitación múltiple
• Análisis de un sistema de excitación simple
Unidad 5: generalidades de máquinas eléctricas
• Constitución física de la máquina síncrona
• Constitución física de la máquina de inducción
• Constitución física de la máquina de corriente directa
Unidad 6: introducción a la máquina síncrona
• Descripción del funcionamiento del generador sincrónico: ecuación que relaciona a los ángulos mecánico y eléctrico, ecuación de la velocidad sincrónica
• Ecuación de la tensión inducida en la máquina sincrónica

Continuación de la tabla XIV.

Unidad 7: fmm en el inducido de las máquinas ac
• Fmm en una bobina concentrada de paso diametral
• Fmm en un devanado distribuido de doble capa y paso acortado Análisis armónico
• Comparación entre armónicas de los dos casos anteriores
• Efecto de los devanados distribuidos de paso acortado: factor de paso, factor de distribución y factor de reducción
Unidad 8: introducción a la máquina de inducción
• Campo giratorio
• Funcionamiento general como motor, como generador o como convertidor de frecuencia (región de frenado)
• Funcionamiento del motor de inducción
• Tensiones inducidas en el devanado del estator y en el devanado del rotor
Unidad 9: ecuación general del par electromagnético
• Deducción general de la ecuación del par electromagnético
• El par en la máquina de inducción
• El par en la máquina sincrónica: caso generador y caso motor Efectos del cambio de la corriente de excitación, la tensión inducida o la reactancia de la máquina
• El par en la máquina de corriente directa

Fuente: *Programa del curso conversión de energía electromecánica 1.*

<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 20 de septiembre de 2017.

3.1.3. Conversión de energía electromecánica 2

El curso de Conversión de energía electromecánica se encuentra orientado para mostrar al estudiante el concepto físico, los principios de funcionamiento, los tipos, los modos de operación, las consideraciones técnicas para la instalación y el mantenimiento de los transformadores como una máquina eléctrica.

Tabla XV. **Contenidos del curso conversión de energía electromecánica 2 (código: 213)**

Unidad 1: introducción
• Conceptos de máquinas eléctricas
• Tipos de máquinas eléctricas
• El transformador como una máquina eléctrica
• Objeto de estudiar el transformador
• Aspectos constructivos generales
Unidad 2: principio de funcionamiento del transformador
• El transformador ideal
• Circuitos acoplados magnéticamente
• El transformador real
• Circuito equivalente y diagrama vectorial del transformador
• Sistema por unidad para transformadores
• Ensayo del transformador
• Regulación del transformador
• Pérdidas y eficiencia del transformador
• Corriente de excitación o de vacío del transformador
• Corriente de conexión de transformador
• Funcionamiento en paralelo de los transformadores monofásicos
Unidad 3: clasificación de los transformadores
• El autotransformador
• Tipos de transformadores
• Transformadores trifásicos
• Transformadores con cambiador de derivaciones
• Transformadores trifásicos de tres devanados
• Aspectos tecnológicos de los transformadores
• Transformadores de medida
Unidad 4: características constructivas de los transformadores
• Partes del transformador
• Tipos y características de los núcleos
• Tipos y características de los aislamientos
• Tipos y características constructivas de los sistemas de enfriamiento
Unidad 5: operación y mantenimiento de un transformador
• Tipos de mantenimiento
• Condiciones de operación de los transformadores
• El transformador en un sistema eléctrico de potencia

Fuente: *Programa del curso conversión de energía electromecánica 1.*
<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 19 de noviembre de 2017.

3.1.4. Máquinas eléctricas

El curso de Máquinas eléctrica se fundamenta en el estudio del comportamiento de la máquina eléctrica en régimen transitorio y permanente mediante el análisis de las distintas curvas características según cada máquina.

El curso es complementado mediante un laboratorio, en el cual se comprueba de forma práctica los conceptos estudiados en las clases magistrales.

Para participar en dicho curso es necesario haber aprobado el curso de Conversión de energía electromecánica 1, ya que en este se imparten los conceptos básicos de las máquinas eléctricas que son complementados en el curso de máquinas eléctricas.

Tabla XVI. **Contenido del curso máquinas eléctricas (código: 214)**

Unidad 1: conceptos generales
• Recordatorio de los conceptos de la conversión electromecánica
Unidad 2: máquinas asíncronas o de inducción (régimen permanente)
• Introducción y aspectos constructivos
• Principios de funcionamiento y circuito equivalente
• Ensayos en la máquina
• Ensayo en vacío
• Ensayo de rotor bloqueado
• Balance de potencias
• Ecuaciones de par y potencia
• Región de generador
• Región de motor
• Región de frenado
• Diagrama de círculo
• Introducción arranques y regulación de velocidad
• Motor de inducción monofásico

Continuación de la tabla XVI.

Unidad 3: máquinas síncronas (régimen permanente)
• Introducción y aspectos constructivos
• Sistemas de excitación
• Principio de funcionamiento de la máquina
• Funcionamiento en vacío
• Funcionamiento en carga reacción de armadura
• Diagrama vectorial de la máquina regulación de voltaje
• Análisis lineal de la máquina circuito equivalente
• Generalidades
• Impedancia síncrona Método de Behn-Eschenburg
• Determinación de la reactancia síncrona
• Característica de vacío
• Característica de cortocircuito
• Análisis no lineal de la máquina Método de Potier
• Funcionamiento de la máquina en una red aislada
• Generalidades
• Funcionamiento de regulador de velocidad
• Sincronización de una máquina a una red de potencia infinita
• Potencia activa y reactiva desarrollada por una máquina asíncrona sincronizada a una red de potencia infinita
• Funcionamiento de una máquina conectada a una red de potencia infinita
• Efectos por la variación de la corriente de campo
• Efectos por la variación del par mecánico
• Funcionamiento de máquinas en paralelo
• Teoría de las dos reacciones máquina síncrona de polos salientes
• Motor síncrono

Unidad 4: máquina síncronas (régimen transitorio)
• Transitorios en máquinas síncronas
• Transformación a variables de ejes, directos y de cuadratura
• Relaciones básicas de la maquina en variables dq0
• Análisis de cortocircuito repentino
• Características transitorias de potencia – ángulo
• Modelos de máquinas sincrónicas para el análisis transitorio
• Dinámica de las máquinas sincrónicas
Unidad 5: máquinas de corriente directa
• Introducción y aspectos constructivos
• Principios de funcionamiento
• Reacción de armadura y conmutación
• Tipos y características de las máquinas

Fuente: *Programa del curso máquinas eléctricas*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta:

25 de septiembre de 2017.

3.1.5. Automatización industrial

En el curso de Automatización industrial se presentan los fundamentos de los dispositivos electrónicos y electromecánicos para controlar un proceso de forma manual y automática, los cuales permiten que los procesos industriales sean más eficientes.

Parte fundamental de la automatización industrial son los controladores lógicos programables, sensores, actuadores, contactores y relés, por lo cual se estudia el funcionamiento y uso de cada elemento tanto en la clase magistral como de manera práctica en el laboratorio.

Tabla XVII. **Contenido del curso automatización industrial (código: 238)**

Unidad 1: introducción y adquisición de datos
• Introducción
• Simbología y codificación
• Documentación y diagramación
• Sensores, transductores y actuadores
• Instrumentación eléctrica aplicada al proceso
Unidad 2: introducción al control
• Dispositivos utilizados para el control, operación y protección (contactor – relé)
• Introducción al control automático
• La pirámide de la automatización
• Aplicaciones del control manual y automático
• Control, operación y protección de motores eléctricos ac/dc
Unidad 3: autómatas programables y lenguajes de programación
• Controlador lógico programable
• Introducción a la programación
• Medios y protocolo de comunicación
• Lenguajes de programación
• Circuitos de control en lazo abierto y cerrado
• Algoritmo de corrección de error
• Métodos de sintonización PID
Unidad 4: comunicación industrial
• Estructura de una red de comunicación industrial
• Elementos de una red de comunicación
• Protocolos de comunicación
• Aplicaciones

Fuente: Programa del curso automatización industrial. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>.

Consulta: 27 de septiembre de 2017.

3.1.6. Subestaciones eléctricas

En el curso de Automatización industrial se presentan los fundamentos de los dispositivos electrónicos y electromecánicos para controlar un proceso de forma manual y automática, los cuales permiten que los procesos industriales sean más eficientes.

Tabla XVIII. **Contenido del curso subestaciones eléctricas (código: 216)**

Unidad 1: subestaciones
• Definición, conceptos generales
• Tipos de subestaciones
• Barra simple
• Barra doble
• Barra principal y transferencia
• Interruptor y medio
• Operación y maniobra
• Pantas y perfiles
Unidad 2: equipo
• Transformadores
• Seccionadores
• Interruptores
• Transformadores de instrumento
• Pararrayos
• Reactores
Unidad 3: cálculo de distancias dieléctricas en subestaciones AIS
• Consideraciones climatológicas en las distancias dieléctricas
• Distancia de fase a tierra
• Distancia entre fases vivas
• Primer nivel de barras
• Segundo nivel de barras
• Altura de remate de líneas
• Zonas de mantenimiento
• Zonas de circulación de vehículos
• Zonas de circulación de personas
• Calculo de libranzas eléctricas en subestaciones

Continuación de la tabla XVIII.

Unidad 4: redes de tierras para subestaciones
• Disposiciones básicas de las redes de tierra
• Elementos de una red de tierras
• Corrientes de falla en subestaciones eléctricas
• Factores de diseño de redes de tierra
• Métodos de cálculo
Unidad 5: protección contra sobretensiones
• Pararrayos
• Blindaje
• Selección de pararrayos

Fuente: *Programa del curso automatización industrial*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>.

Consulta: 20 de noviembre de 2017.

3.2. Pénsum propuesto

Se propone que el diplomado en potencia eléctrica conste de 4 cursos los cuales serán impartidos a partir del séptimo semestre para los estudiantes regulares de las distintas carreras de la Facultad de Ingeniería, los cuales deberán de cursar una asignatura por semestre para asegurar el correcto aprendizaje de los temas del diplomado en potencia eléctrica, así como los cursos referentes a sus respectivas carreras. Para egresados y graduados de la Facultad de Ingeniería se propone que el diplomado sea impartido en dos semestres, es decir, los estudiantes podrán asignarse dos cursos del diplomado en potencia eléctrica de manera simultánea por semestre.

Los cursos del diplomado son impartidos por la Escuela de Mecánica Eléctrica; dichos cursos son parte del pensum de estudio de Ingeniería Eléctrica, por lo cual no es necesaria la implementación de nuevos cursos para llevar a cabo la implementación del diplomado en potencia eléctrica.

Los estudiantes del diplomado deberán cursar las asignaturas junto con los estudiantes regulares de Ingeniería Eléctrica tanto para las clases magistrales como para los laboratorios correspondientes a cada asignatura según los horarios establecidos por la Escuela de Mecánica Eléctrica.

Figura 17. **Pénum del diplomado en potencia eléctrica para estudiantes regulares**

USAC FACULTAD DE
INGENIERÍA.
DIPLOMADO EN
POTENCIA ELÉCTRICA

7	8	9	10								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">212 CONV. DE ENERGIA ELECTROMEC. 1</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">210 204 200 202</td> </tr> </table>	212 CONV. DE ENERGIA ELECTROMEC. 1	210 204 200 202	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">214 MAQUINAS ELECTRICAS</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">212 462 206 230</td> </tr> </table>	214 MAQUINAS ELECTRICAS	212 462 206 230	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">208 INSTALACIONES ELECTRICAS</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">214</td> </tr> </table>	208 INSTALACIONES ELECTRICAS	214	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">238 AUTOMATIZACION INDUSTRIAL</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">208</td> </tr> </table>	238 AUTOMATIZACION INDUSTRIAL	208
212 CONV. DE ENERGIA ELECTROMEC. 1	210 204 200 202										
214 MAQUINAS ELECTRICAS	212 462 206 230										
208 INSTALACIONES ELECTRICAS	214										
238 AUTOMATIZACION INDUSTRIAL	208										
											
<p>NOMENCLATURA: CODIGO DEL CURSO N° DE CREDITOS ● CURSO OBLIGATORIO</p>											

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Pénsum ampliado del diplomado en potencia eléctrica para estudiantes regulares**

7			8			9			10		
212	CONV. DE ENERGIA ELECTROMECC. 1	210 204 200 202	214	MAQUINAS ELECTRICAS	212 462 206 230	208	INSTALACIONES ELECTRICAS	214	238	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	208

Fuente: elaboración propia.

Debido a la carga académica que representan los cursos del diplomado se propone que estos sean cursados de manera individual. Todos los cursos serán pre-requisitos entre sí por lo cual se deberá aprobar el curso en cada semestre según corresponda para poder asignar el siguiente curso del diplomado.

Cada curso consta de 3 periodos de 40 minutos semanales de clases magistrales, y 2 periodos de 40 minutos semanales de práctica de laboratorio; para el caso de los cursos de Conversión de energía electromecánica 1, Máquinas Eléctricas y automatización industrial.

3.2.1. Laboratorios técnicos

Es necesario que los estudiantes del diplomado en potencia eléctrica puedan instruirse a nivel práctico y no solo de manera teórica. Para ello es

indispensable que los participantes del diplomado aprueben los laboratorios pertenecientes a los cursos del diplomado, dichos laboratorios deben ser impartidos junto con los estudiantes regulares de ingeniería eléctrica.

Los laboratorios pertenecientes al diplomado en potencia eléctrica son los siguientes:

- Conversión de energía electromecánica 1
- Instalaciones eléctricas
- Maquinas eléctricas
- Automatización industrial

De no aprobar el laboratorio, el estudiante deberá cursar nuevamente tanto el laboratorio como la clase magistral.

La Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica deberá garantizar que las instalaciones de los laboratorios tengan las condiciones adecuadas para el correcto aprendizaje de los participantes del diplomado en potencia eléctrica.

4. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL DIPLOMADO EN POTENCIA ELÉCTRICA

Considerando que el mercado laboral cada día se vuelve más competitivo, es necesario que los estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala tengan la oportunidad de seguir desarrollándose, académicamente, en una de las áreas fundamentales de la industria como la potencia eléctrica; por lo cual se realiza la propuesta para la implementación de un diplomado en potencia eléctrica en el cual se abarquen los conceptos básicos de dicha área.

El diplomado en potencia eléctrica estará orientado a los estudiantes y egresados de las distintas ramas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y a estudiantes de otras universidades.

Ya que los cursos que se proponen para el diplomado son impartidos a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica no es necesario que la Facultad de Ingeniería implemente nuevos cursos, sino que los estudiantes que se asignen al diplomado cursen las clases magistrales como laboratorios con los estudiantes de Ingeniería Eléctrica según la programación de la Escuela . Es necesario que la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica sea la encargada de la implementación y coordinación del diplomado en potencia eléctrica, ya que es esta la que imparte las asignaturas que forman parte de la propuesta del diplomado.

La inscripción al diplomado deberá llevarse a cabo en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica cumpliendo todos los requisitos según corresponda.

4.1. Marco legal

En la actualidad la Facultad de Ingeniería no cuenta con un reglamento para la implementación de diplomados; sin embargo, es necesario contar con lineamientos básicos para poder crear diplomados respaldados por la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para lo cual se realiza una propuesta para la implementación de un reglamento para la creación de diplomados en la Facultad de Ingeniería, basado en los reglamentos utilizados en la Universidad de Chihuahua, México y las sugerencias indicadas por la Escuela Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Actualmente, la Escuela Técnica de la Facultad de Ingeniería, es la encargada de los diplomados impartidos en dicha facultad, debido a la falta de un reglamento, la Escuela Técnica cuenta con algunas sugerencias para la implementación de diplomados los cuales son:

- Todos los participantes deben contar con 3/4 de los cursos de su respectiva carrera aprobados.
- Contar con un programa de estudio del diplomado.
- El diplomado debe de contar como mínimo de 50 horas de clases magistrales.

- Los catedráticos a impartir los cursos deben contar con conocimiento y experiencia en los temas a impartir.
- Debe contarse con los salones de clases y laboratorios adecuados para la cantidad de estudiantes.

4.1.1. Propuesta del reglamento para la implementación de diplomados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Debido a la falta de un reglamento, para la implementación de diplomados en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala se toma como base las sugerencias y los reglamentos existentes en la Escuela Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Usac, como universidades extranjeras, se proponen los siguientes lineamientos:

- Contar con la estructura del diplomado, la cual debe incluir asignaturas, laboratorios, propósito del diplomado, objetivos y forma de evaluación.
- Todos los participantes deben contar con 3/4 de los cursos de su respectiva carrera aprobados.
- Los catedráticos deben contar con conocimiento y experiencia en los temas a impartir.
- Requisitos de ingreso, perfil del estudiante, estudios mínimos, entre otros.

- El diplomado debe contar con un mínimo de 60 horas entre clases magistrales y laboratorios.
- Debe contarse con los salones de clases y laboratorios adecuados para la cantidad de estudiantes.

4.2. Requisitos de inscripción al diplomado en potencia eléctrica

Con el fin de obtener un correcto aprendizaje de los contenidos a impartir en el diplomado en potencia eléctrica, es necesario que los cursantes cumplan con ciertos requisitos para poder inscribirse.

4.2.1. Estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Para que los estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería puedan optar al diplomado en potencia eléctrica es necesario que, además de contar con 150 créditos, conozcan los conceptos básicos en los cuales se fundamenta la potencia eléctrica; por lo cual se propone dos métodos para que estos sean aceptados en el diplomado.

- Cursar todas las asignaturas prerrequisitos
- Aprobar el examen de admisión

Si el candidato al diplomado ha aprobado todas las asignaturas clasificadas como pre-requisito podrá asignarse los cursos del diplomado sin realizar el examen de admisión, en cambio los candidatos que no hayan aprobado todos los cursos pre-requisitos tendrán que aprobar el examen de

admisión para poder asignarse los cursos correspondientes al diplomado en potencia eléctrica.

Los estudiantes del diplomado en potencia eléctrica podrán repetir un curso no más de 3 veces, de no aprobar el curso en la tercera vez asignada no podrá continuar con las asignaturas del diplomado.

Si el estudiante no puede cursar las asignaturas de manera consecutiva, la nota de su último curso será válida durante un año, a partir de la fecha de finalización del semestre en que aprobó la asignatura. De no continuar con el curso sucesor al aprobado en el tiempo estipulado, deberá cursar todas las asignaturas correspondientes al diplomado nuevamente.

Para que la aprobación de las asignaturas correspondientes al diplomado sea válidas se recomienda que únicamente se puedan cursar durante los semestres, es decir, no en cursos de vacaciones ya que los cursos de vacaciones son impartidos de manera más general, debido al corto tiempo para impartir el curso.

4.2.2. Estudiantes no pertenecientes a la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para cursar el diplomado en potencia eléctrica es necesario que el estudiante conozca los conceptos básicos en los cuales se fundamenta la potencia eléctrica, por lo cual para poder inscribirse en diplomado deberán contar con las 3/4 partes de las asignaturas de sus respectivas carreras aprobadas, así también contar con los siguientes conocimientos:

- Teoría electromagnética
- Análisis de circuitos CD y CA
- Electrónica analógica

Se deberá contar como mínimo con cierre de pensum en una carrera perteneciente a ingeniería, así también se deberá aprobar el examen de admisión para poder llevar a cabo la inscripción en el diplomado en potencia eléctrica. Se tendrá la misma repetencia y tiempo de validez de cursos que los estudiantes y egresados de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.3. Cursos prerequisites

Para el correcto desarrollo del estudiante del diplomado en potencia eléctrica es necesario que tenga los conocimientos necesarios para comprender los temas impartidos en el diplomado; por lo cual se vuelve indispensable haber aprobado los cursos en los cuales se imparten los fundamentos acerca del área eléctrica.

Para cursar el diplomado en potencia se propone que el estudiante de ingeniería apruebe los siguientes cursos:

- Física 2
- Ingeniería eléctrica 1
- Ingeniería eléctrica 2

En dichos cursos se imparte los conocimientos necesarios para el análisis de circuitos eléctricos. El curso Teoría electromagnética es fundamental para comprender el área de la potencia eléctrica ya que en este se estudia las leyes

aplicables para la conversión de energía electromagnética, así como en las máquinas eléctricas.

4.3.1. Física 2

Para ampliar los conocimientos en el área de la potencia eléctrica es necesario contar con los conocimientos básicos de la teoría electromagnética clásica. En el curso de Física 2 se estudian las leyes del electromagnetismo, el cual es el fundamento de la potencia eléctrica.

Tabla XIX. **Contenido del curso física 2 (código: 152)**

Unidad 1: ley de Coulomb
• Carga y materia
• Conservación de la carga
• Cubanización de la carga
• Carga de inducción
• Materiales aislantes y conductores
• Ley de Coulomb
Unidad 2: campo eléctrico
• Campo eléctrico de cargas puntuales
• Campo eléctrico de distribución uniforme de cargas
• Movimiento de una carga puntual en un campo uniforme
• El dipolo eléctrico
Unidad 3: ley de Gauss
• Flujo de campo eléctrico
• Ley de Gauss
• Aplicaciones de la ley de Gauss
Unidad 4: potencial eléctrico
• Potencial eléctrico para cargas puntuales
• Potencial eléctrico para distribución uniforme de carga
• Energía potencial eléctrica
• Conductor aislado
Unidad 5: capacitores y dieléctricos
• El capacitor
• La capacitancia
• Capacitores con dieléctricos
• Ley de Gauss
Unidad 6: corriente y resistencia
• Corriente y densidad de corriente
• Resistividad y ley de ohm
• Resistencia y transferencia de energía en un circuito

Continuación de la tabla XIX.

Unidad 7: circuitos eléctricos
La fuerza electromotriz
Circuitos RC
Unidad 8: fuerza magnética
<ul style="list-style-type: none"> • La fuerza magnética sobre una carga • Fuerza magnética sobre un conductor • Torque sobre una espira
Unidad 9: ley de Ampere
<ul style="list-style-type: none"> • El campo magnético de un alambre • Fuerza entre alambres • El campo en un solenoide • Flujo de campo magnético • Ley de gauss en magnetismos
Unidad 10: ley de Faraday
<ul style="list-style-type: none"> • Ley de Lenz
Unidad 11: inductancia

Fuente: Programa del curso física 2. <http://fisica.ingenieria.usac.edu.gt>. Consulta: 29 de septiembre de 2017.

4.3.2. Ingeniería eléctrica 1

El curso de Ingeniería Eléctrica 1 es de gran importancia para comprender los fundamentos de la potencia eléctrica ya que en este se estudian los conceptos fundamentales de ingeniería eléctrica, leyes fundamentales de circuitos, resistencia equivalente, método de mallas, teorema de circuitos, energía y eficiencia eléctrica, magnetismo, inductancia, capacitancia, transitorios, análisis en CA, principios básicos de los transformadores, instrumentación eléctrica y maquinas eléctricas.

Tabla XX. **Contenido del curso ingeniería eléctrica 1 (código: 200)**

Unidad 1: conceptos y leyes fundamentales
• Corriente, tensión y resistencia eléctrica
• Tipos de materiales eléctricos
• Dependencia de la resistencia con la temperatura y la frecuencia
• Ley de ohm
• Leyes de Kirchhoff
Unidad 2: resistencia equivalente
• Conexión en serie
• Conexión en paralelo
• Conexión mixta
• Conexión y- d
Unidad 3: métodos y teoremas de solución de circuitos
• Método de solución por ecuaciones de malla
• Teorema de Thevenin
• Teorema de superposición
• Teorema de reciprocidad
Unidad 4: energía y eficiencia energética
• Trabajo, energía y potencia
• La ley de joule
• Teorema de Tellegen
• Eficiencia energética
Unidad 5: metrología eléctrica
• Conceptos de metrología
• Trazabilidad e incertidumbre de las mediciones
• Sistema internacional de unidades
• Medición de corriente, voltaje y resistencia
• Medición de potencia y energía
Unidad 6: magnetismo
• Magnitudes y unidades de medida magnéticas
• El circuito magnético lineal
• Tipo de materiales magnéticos
• Teoría de los dominios magnéticos
• Curva de magnetización y lazo de histéresis
Unidad 7: inductancia y capacitancia
• Definición de la inductancia y unidad de medida
• Conexiones serie y paralelo
• Energía almacenada en una inductancia
• Definición de la capacitancia y unidad de medida
• Teoría de los dipolos eléctricos aplicada a los materiales aislantes
• Conexiones serie, paralelo y mixtas
• Energía almacenada en una capacitancia
• Voltajes y corrientes transitorias en circuitos RL y RC alimentándose con cd

Continuación de la tabla XX.

Unidad 8: análisis en CA
• Valores medio y eficaz
• Respuesta de los elementos R, L, C
• Variación de la impedancia en función de la frecuencia
• Resonancia
• Análisis fasorial de circuitos monofásicos
• Potencia en CA y mejoramiento del factor de potencia
• Sistemas trifásicos
Unidad 9: transformadores
• Transformadores monofásicos y trifásicos
• Conexiones trifásicas
Unidad 10: máquinas eléctricas rotativas
• Máquinas eléctricas
• Máquinas síncronas
• Máquina de corriente directa
• Máquinas de inducción

Fuente: *Programa del curso ingeniería eléctrica 1*. <http://fisica.ingenieria.usac.edu.gt>. Consulta:

1 de octubre de 2017.

4.3.3. Ingeniería eléctrica 2

En el curso de Ingeniería eléctrica 2 presenta los conceptos básicos de la comunicación a distancia, protección de sistemas, medición de magnitudes físicas y disponibilidad de la energía eléctrica.

Tabla XXI. **Contenido del curso ingeniería eléctrica 2 (código: 202)**

Unidad 1: concepto de corriente alterna
• Factor de potencia
• Eficiencia energética y análisis de una factura
• Generadores sincrónicos y sistemas trifásicos
• Problemas de sistemas trifásicos: conexión estrella y conexión delta
Unidad 2: esquema de un sistema eléctrico de potencia
• Elementos del sistema eléctrico de potencia
• Sistema de generación y centrales eléctricas
• Sistema de transmisión
• Sistema de distribución
Unidad 3: centrales eléctricas
• Centrales que se emplean derivados del petróleo
• Fuentes alternativas de generación de energía eléctrica
• Otras generadores eléctricas
Unidad 4: instalaciones eléctricas residencial
• Requisitos de una instalación eléctrica
• Elementos de una instalación eléctrica
• Selección de conductores
Unidad 5: calidad de potencia eléctrica
• Características de una instalación eléctrica ideal
• Corrientes armónicas
• Voltajes transitorios
• Flicker
• Desbalance en sistemas trifásicos
Unidad 6: sistemas de alumbrado
• Principios y unidades fundamentales
• Leyes de iluminación
• Tipos de lámparas
• Diseño de un sistema de alumbrado, método de cavidad zonal
Unidad 7: electrónica analógica
• Bandas de energía y materiales semiconductores
• Semiconductor intrínseco y semiconductor extrínseco
• Diodos, SCR y rectificadores monofásicos
• Transistores y amplificadores
• El amplificador operacional
• Sistema de control analógico PID
Unidad 8: electrónica digital
• El sistema binario
• Circuitos lógicos
• Operaciones aritméticas
• Memorias

Continuación de la tabla XIX.

• Dispositivos de exhibición
• Computadoras
• PLC
Unidad 9: telecomunicaciones
• Propagación de ondas electromagnéticas
• Antenas
• Generación de ondas
• Modulación
• Técnicas modernas de transmisión

Fuente: *Programa del curso ingeniería eléctrica 2*. <http://fisica.ingenieria.usac.edu.gt>. Consulta:
3 de octubre de 2017.

4.4. Requisitos para la aprobación del diplomado

Para que el estudiante del diplomado en potencia eléctrica apruebe es necesario que cumpla con los siguientes requisitos:

- Aprobar todos los cursos pertenecientes al diplomado.
- Aprobar todos los laboratorios de las asignaturas del diplomado.
- Asistir al 80 % de las clases magistrales.
- Estar debidamente inscrito en el diplomado.
- Ser estudiante, egresado o graduado de Licenciatura en Ingeniería, legalmente reconocido en Guatemala.

4.5. Perfil del catedrático

Los catedráticos de los distintos cursos del diplomado en potencia eléctrica deben contar con las siguientes competencias:

- Poseer el grado de licenciado en ingeniería eléctrica, mecánica eléctrica o electrónica, legalmente reconocido en Guatemala.
- Contar con maestría o doctorado.
- Ser colegiado activo del Colegio de Ingenieros de Guatemala.
- Dominio sobre el curso a impartir.
- Experiencia en la aplicación de los conocimientos del curso.
- Metodología y habilidades docentes.

4.6. Perfil del egresado del diplomado en potencia eléctrica

Los egresados del diplomado en potencia eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala deberán poseer las siguientes características y atributos.

- Capacidad de interpretar diagramas de sistemas eléctricos de baja y media tensión.

- Fundamentos teóricos de las máquinas eléctricas utilizadas en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
- Fundamentos teóricos de las máquinas eléctricas rotativas.
- Fundamentos teóricos de la lógica de los procesos industriales automatizados.

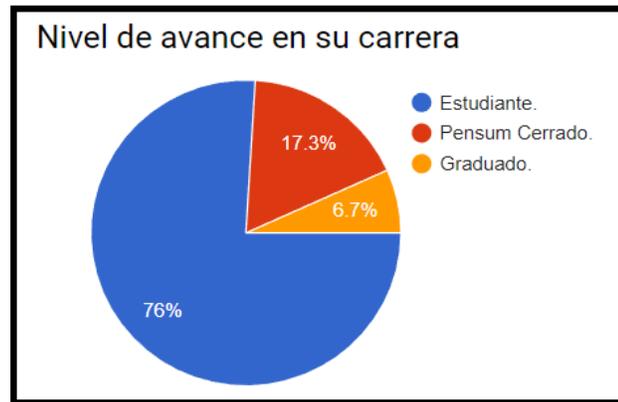
4.7. Encuestas

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas realizadas.

4.7.1. Presentación de resultados

- Pregunta 1
 - Estudiante: 76 %
 - Pénsum cerrado: 17,3 %
 - Graduado: 6,7 %

Figura 19. **Gráfica de la pregunta 1**

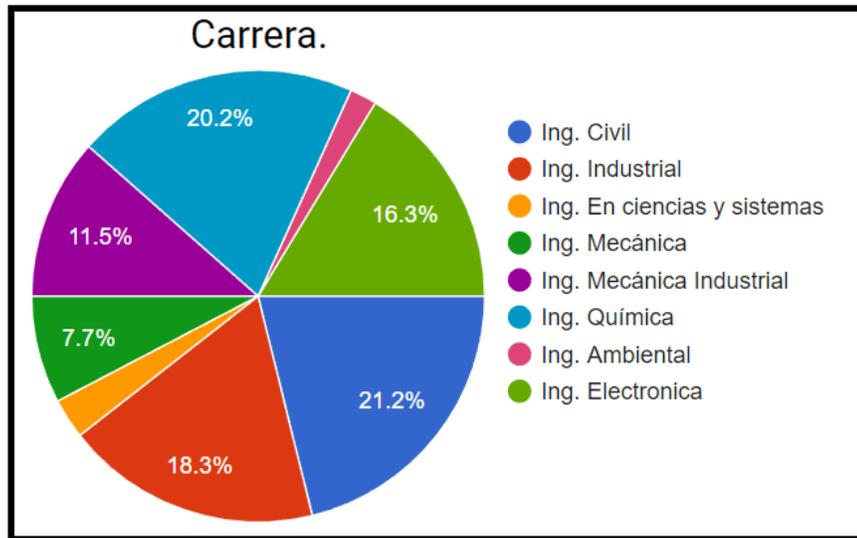


Fuente: *Ingeniería civil*. https://docs.google.com/forms/d/1aSnptKMW7i_DKf86C-mEEAPdSo3chLxBgV618mCNgDc/viewform?ts=5b772baf&edit_requested=true. Consulta: 25 de febrero de 2018.

El mayor porcentaje de personas que respondió la encuesta fue de estudiantes activos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; el porcentaje menor corresponde a graduados.

- Pregunta 2
 - Ing. Civil: 21,2 %
 - Ing. Industrial: 18,3 %
 - Ing. en Ciencias y Sistemas: 2,9 %
 - Ing. Mecánica: 7,7 %
 - Ing. Mecánica Industrial: 11,5 %
 - Ing. Química: 20,2 %
 - Ing. Ambiental: 1,9 %
 - Ing. Electrónica: 16,3 %

Figura 20. **Gráfico de la pregunta 2**



Fuente: *Ingeniería civil*. https://docs.google.com/forms/d/1aSnptKMW7i_DKf86C-mEEAPdSo3chLxBgV618mCNgDc/viewform?ts=5b772baf&edit_requested=true. Consulta: 25 de febrero de 2018.

Los pertenecientes a la Escuela de Ingeniería Civil respondieron en mayor cantidad la encuesta.

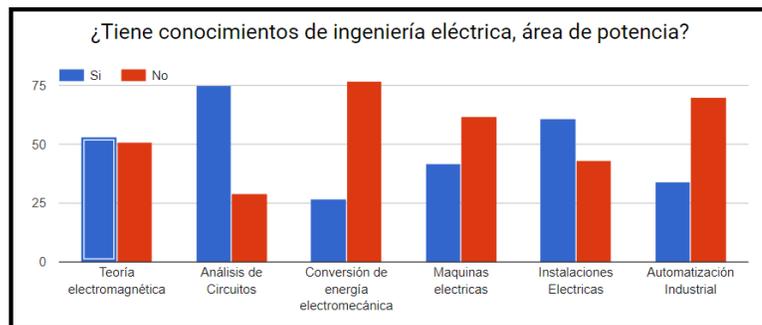
- Pregunta 3

Tabla XXII. Resultados de la pregunta 3

	Sí	No
Teoría Electromagnética	51 %	49 %
Análisis de circuitos	72 %	28 %
Conversión de energía electromecánica	26 %	74 %
Máquinas eléctricas	40 %	60 %
Instalaciones eléctricas	59 %	41 %
Automatización industrial	33 %	67 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Gráfico de la pregunta 3



Fuente: *Ingeniería civil*. https://docs.google.com/forms/d/1aSnptKMW7i_DKf86C-mEEAPdSo3chLxBgV618mCNgDc/viewform?ts=5b772baf&edit_requested=true. Consulta: 25 de febrero de 2018.

Según las respuestas de la encuesta, el tema de conversión de energía electromecánica es el de menor conocimiento. El tema de análisis de circuitos es el de mayor conocimiento para los encuestados ya que dicho tema es

impartido en todas las carreras de la Facultad de Ingeniería en los cursos de Ingeniería eléctrica 1 y 2.

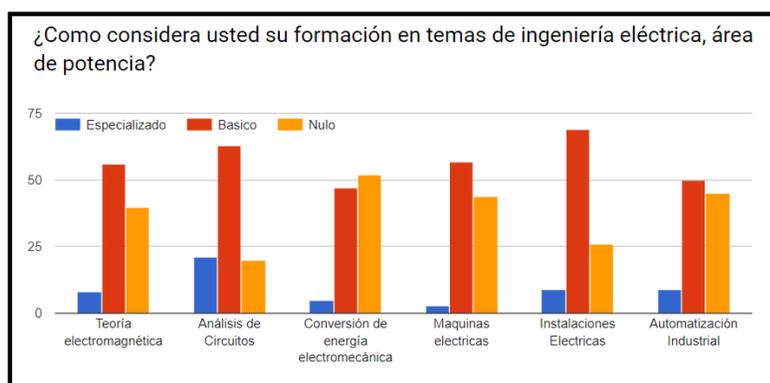
- Pregunta 4

Tabla XXIII. Respuestas de la pregunta 4

	Especializado	Básico	Nulo
Teoría electromagnética	8 %	54 %	3 %
Análisis de circuitos	20 %	61 %	19 %
Conversión de energía electromecánica.	5 %	45 %	50 %
Máquinas eléctricas	2 %	55 %	43 %
Instalaciones eléctricas	9 %	66 %	25 %
Automatización industrial	9 %	48 %	43 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Gráfico de la pregunta 4



Fuente: *Ingeniería civil*. https://docs.google.com/forms/d/1aSnptKMW7i_DKf86C-mEEAPdSo3chLxBgV618mCNgDc/viewform?ts=5b772baf&edit_requested=true. Consulta: 25 de febrero de 2018.

El tema con mayor conocimiento especializado es el de análisis de circuitos. Del tema de instalaciones eléctricas se tiene un conocimiento básico. El área de conversión electromecánica es el de menor conocimiento.

- Pregunta 5
 - Sí: 87,5 %
 - No: 12,5 %

Figura 23. **Gráfico de la pregunta 5**

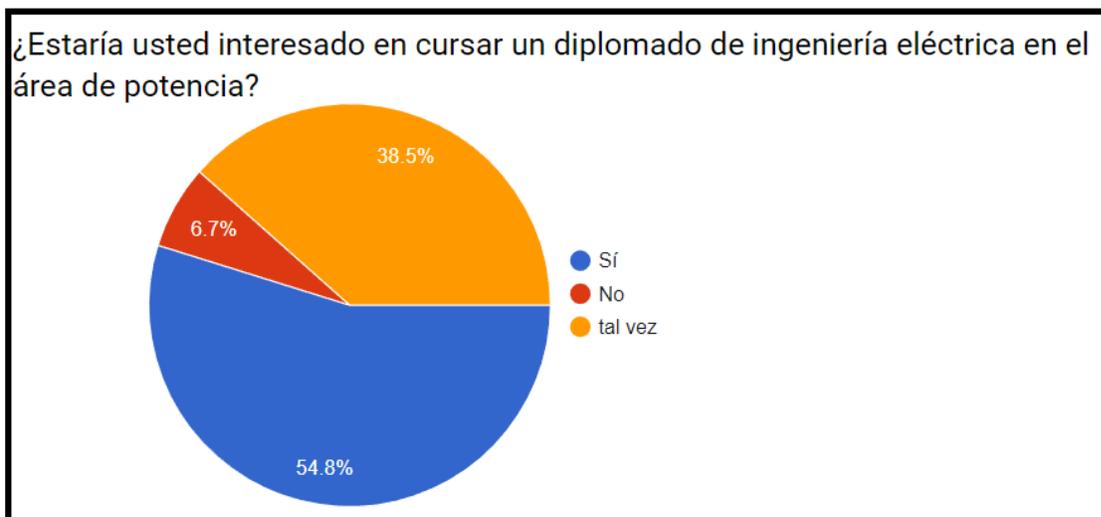


Fuente: *Ingeniería civil*. https://docs.google.com/forms/d/1aSnptKMW7i_DKf86C-mEEAPdSo3chLxBgV618mCNgDc/viewform?ts=5b772baf&edit_requested=true. Consulta: 25 de febrero de 2018.

El 87,5 % de los encuestados considera necesarios los conocimientos de ingeniería eléctrica para su ejercicio profesional, mientras que el 12,5 % considera que dichos temas no son relevantes para su desenvolvimiento en el área profesional.

- Pregunta 6
 - Sí: 54,8 %
 - No: 6,7 %
 - Tal vez: 38,5 %

Figura 24. Gráfico de la pregunta 6



Fuente: *Ingeniería civil*. https://docs.google.com/forms/d/1aSnptKMW7i_DKf86C-mEEAPdSo3chLxBgV618mCNgDc/viewform?ts=5b772baf&edit_requested=true. Consulta: 25 de febrero de 2018.

Se observa que el 54,8 % está interesado en cursar un diplomado en ingeniería eléctrica en el área de potencia; mientras un 38,5 % considera la posibilidad de hacerlo. Una pequeña minoría del 6,7 % no se encuentra interesada en cursar el diplomado.

4.8. Propuesta de carta para la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Señores

Junta Directiva

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presentes.

La Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica considerando el gran desarrollo del sector eléctrico en la industria guatemalteca, ve necesario que los estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería que no pertenecen a la carrera de Ingeniería Eléctrica tengan la posibilidad de adquirir conocimientos referentes a los fundamentos de la potencia eléctrica; por lo cual se les solicita de manera atenta se pueda aprobar la creación del diplomado en potencia eléctrica.

El diplomado en potencia eléctrica tiene como objetivo que los cursantes adquieran los conocimientos en los cuales se fundamenta la ingeniería eléctrica, mediante el estudio de las asignaturas siguientes:

- Instalaciones eléctricas
- Conversión de energía electromecánica 1
- Máquinas eléctricas
- Automatización industrial

Dichos cursos son impartidos en el pènsum de estudio de la carrera de Ingeniería Eléctrica a cargo de la Escuela de Mecánica Eléctrica; por lo cual no es necesaria la implementación de nuevos cursos magistrales y laboratorios,

sino realizar la coordinación necesaria para que los estudiantes del diplomado en potencia eléctrica cursen las asignaturas antes mencionadas con los estudiantes regulares de ingeniería eléctrica.

Para garantizar el correcto aprendizaje se solicitará que los aspirantes cuenten con ciertos requisitos para optar al diplomado en potencia eléctrica, entre ellos haber cursado ciertas asignaturas correspondientes al pensum de estudio de ingeniería eléctrica o aprobar el examen de admisión del diplomado en potencia eléctrica.

Esperando una respuesta favorable atentamente;

Director de la Escuela de Mecánica Eléctrica

CONCLUSIONES

1. Según las encuestas realizadas, el 87,5 % considera necesario, es para su ejercicio profesional, los conocimientos de ingeniería eléctrica en el área de potencia.
2. El 21,2 % de los encuestados pertenecen a la Escuela de Ingeniería Civil, el grupo con mayor respuesta en las encuestas.
3. El tema de ingeniería eléctrica con mayor conocimiento entre los encuestados es el análisis de circuitos eléctricos.
4. Los temas de conversión de energía electromecánica y los fundamentos de las maquinas eléctricas son los de menor conocimiento para los encuestados.
5. El 54,8 % de los encuestados mostró interés en cursar el diplomado en potencia eléctrica, sin tener mayor detalle del mismo.
6. El 38,5 % de los encuestados respondió que tal vez estaría interesada en cursar el diplomado en potencia eléctrica si cumple con sus expectativas.
7. La mayoría de los encuestados considera necesario que el diplomado en potencia cuente con los temas de instalaciones eléctricas y automatización industrial.

RECOMENDACIONES

1. Renovar el equipo de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica para mejorar el aprendizaje de los estudiantes.
2. Ampliar las instalaciones de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
3. Motivar la implementación de diplomados en las distintas áreas de la ingeniería, que permitan que los estudiantes de las diversas escuelas de la Facultad de Ingeniería adquirieran conocimientos específicos de las distintas disciplinas de la ingeniería.
4. Capacitar constantemente al personal docente, en temas referentes a los avances tecnológicos en las distintas ramas de la ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

1. BALCELLS, Josep. *Autómatas programables*. Barcelona, España: Reberte, 1997. 67 p.
2. Empresa Eléctrica de Guatemala. *Normas Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.* Guatemala: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2011. 14 p.
1. *Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica*. [En línea]. <<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>>. [Consulta: 17 de septiembre de 2017].
2. FITZGERALD, A. E. *Máquinas eléctricas*. 6a ed. Guatemala: Piedra Santa, 2010. 80 p.
3. FLORES URIZAR, Luis Eduardo. *Análisis del clima organizacional en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, previo a iniciar el proceso de acreditación regional ante ACAAI*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 35 p.
4. FLOWER LEIVA, Luis. *Controles y automatismos eléctricos. Teoría y práctica*. 2a ed. Colombia: Telemecanique de Colombia, 1990. 129 p.

5. LITTLEWOOD, Eduardo Campero. *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño*. 2a ed. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 1992. 12 p.
6. *Pénsum de estudio de Ingeniería Eléctrica*. [En línea]. <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/pensa/ingenieria_elec>. [Consulta: 11 de octubre de 2017].
7. RAS, Enrique. *Transformadores de potencia, de medida y de protección*. 7^a ed. España: Universidad Politécnica de Barcelona, 1991. 5 p.
8. SCHNEIDER ELECTRIC. *Manual electrotécnico, telesquemario*. Colombia: Schneider Electric de Colombia, 97 p.
9. VILLARROEL ZAMBRANO, Eva Sofía. *Manual para el diseño de instalaciones eléctricas industriales livianas*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad Simón Bolívar, Facultad de Ingeniería, 2008. 114 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Examen de admisión propuesto

Examen de admisión propuesto para el diplomado en potencia eléctrica.

Nombre: _____ Fecha: _____

Registro Estudiantil: _____ Carrera: _____

Parte I: fundamentos teóricos

Responda las siguientes preguntas de manera correcta.

1. Defina la corriente eléctrica:
2. Defina la diferencia entre conductor y aislante:
3. Defina la resistencia:
4. Escriba la ley de Ohm:
5. Defina la potencia eléctrica:
6. Describa la ley de Kirchhoff:

Continuación del apéndice 1.

7. Escriba la ecuación general de la regla del divisor de corriente para la solución de circuitos:
8. Describa el teorema de superposición para la resolución de circuitos:
9. Describa el teorema de Thévenin para la resolución de circuito:
10. Describa el teorema de Norton para la resolución de circuito:
11. Describa el teorema de la máxima transferencia de potencia:
12. Describa el teorema de Millman Norton para la resolución de circuito:
13. Escriba la diferencia entre corriente alterna y corriente continua:
14. Defina factor de potencia:
15. Defina valor medio y valor eficaz:
16. Defina resonancia:
17. Mencione las consecuencias de un bajo factor de potencia:
18. Mencione la forma de corregir el factor de potencia bajo:
19. Describa el funcionamiento general del transformador eléctrico:

Continuación del apéndice 1.

20. Mencione los tipos de conexiones de un banco de transformación, sus ventajas y desventajas.
21. Describa los usos más comunes de los transformadores eléctricos:
22. Describa la ley de Faraday de la inducción electromagnética:
23. Describa la ley de Loretz:
24. Describa los materiales magnéticos:
25. Mencione los elementos de un sistema eléctrico de potencia:
26. Mencione la clasificación de las máquinas eléctricas rotativas:
27. Defina el amplificador operacional:
28. Defina el transistor:
29. Defina el diodo:

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Formato de encuesta utilizado**

Formato de encuesta realizada a estudiantes y egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

1. Nivel de avance de su carrera:

- Estudiante
- Pensum cerrado
- Graduado

2. Carrera:

- Ing. Civil
- Ing. Industrial
- Ing. En ciencias y sistemas
- Ing. Mecánica
- Ing. Mecánica Industrial
- Ing. Química
- Ing. Ambiental
- Ing. Electrónica

3. ¿Tiene conocimientos de ingeniería eléctrica, área de potencia?

Sí No

- teoría electromagnética
- Análisis de circuitos
- Conversión de energía electromecánica
- Máquinas eléctricas
- Instalaciones eléctricas
- Automatización industrial

Continuación del apéndice 2.

4. ¿Cómo considera su formación en temas de ingeniería eléctrica, área de potencia?

	Especializado	Básico	Nulo
Teoría electromagnética			
Análisis de circuitos			
Conversión de energía electromecánica			
Máquinas eléctricas			
Instalaciones eléctricas			
Automatización industrial			

8. ¿Cree necesario si para su ejercicio profesional, los conocimientos de ingeniería eléctrica en el área de potencia?

- Sí
- No

9. ¿Estaría interesado en cursar un diplomado en potencia eléctrica, en el área de potencia (instalaciones eléctricas, máquinas eléctricas y automatización industrial)?

- Sí
- No
- Tal vez

Continuación del apéndice 2.

10. ¿Por qué considera importante fortalecer su formación en temas del área de potencia de ingeniería eléctrica?
11. ¿Qué temas de ingeniería eléctrica en el área de potencia considera necesarios en un diplomado?

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Programa del curso conversión de energía electromecánica 1

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA EIME
 ENERO 2018



PROGRAMA DE CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA I

NOMBRE DEL CURSO: CONVERSION DE ENERGÍA ELECTROMECHANICA 1

CODIGO:	212	CRÉDITOS:	6
ESCUELA:	EIME	ÁREA A LA QUE PERTENECE:	POTENCIA
PRE REQUISITO:	TEORIA ELECTROMAGNETICA	POST REQUISITO:	MÁQUINAS ELÉCTRICAS
CATEGORÍA:	OBLIGATORIO		
CATEDRÁTICO (A):	ING. ENDOR STEVE ORTIZ DEL CID	AUXILIAR:	PABLO ROBERTO MENDÍA TOBIÁS
EDIFICIO:	T3	SECCIÓN:	"N"
SALÓN DEL CURSO:	305 – 105 T-3	SALON DEL LABORATORIO:	LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS
HORAS POR SEMANA DE CADA SECCIÓN:		HORAS POR SEMANA DEL LABORATORIO:	2 PERÍODOS
DÍAS QUE SE IMPARTE EL CURSO:	Martes 19:00 a 19:50	DÍAS QUE SE IMPARTE EL LABORATORIO:	SEGÚN HORARIO ESPECIFICO
	Jueves 19:00 a 20:40	HORARIO DEL LABORATORIO:	SEGÚN HORARIO ESPECIFICO

DESCRIPCIÓN DEL CURSO: El suministro de energía eléctrica es y será un aspecto vital del desarrollo humano, debido a que ésta es la forma de energía que se convierte de una manera más versátil a cualquier otra forma (o viceversa) y con la mayor eficiencia conocida hasta la fecha. Las Máquinas Eléctricas (Motores, Generadores y Transformadores) son componentes esenciales de los sistemas de potencia eléctrica encargados de la conversión de la potencia eléctrica en otras formas de potencia o viceversa, motivo por el cual los conocimientos relacionados con la conversión de la energía electromecánica constituyen un elemento obligatorio e insustituible en la formación de los estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Continuación del anexo 1.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA EIME
 ENERO 2018



No. 2	Circuitos magnéticos no lineales i. Materiales ferromagnéticos ii. Curva de magnetización en CD. iii. Lazo de histéresis y curva de magnetización en AC iv. Ejemplo: solución de un circuito magnético no lineal v. Armónicas en la corriente de magnetización vi. Pérdidas y eficiencia de los sistemas mecánico-electromagnéticos
No. 3	Transformadores i. Descripción física del transformador. ii. Análisis del transformador ideal. iii. El transformador real: Circuito equivalente. iv. Solución de problemas de transformadores monofásicos. v. Método de valores por unidad. Ejemplo. vi. Diagramas vectoriales para diversos factores de potencia. vii. Transformadores trifásicos: Conexiones viii. Componentes simétricas: armónicas y desbalances. ix. Ejemplo con transformadores trifásicos x. Desfases de las tensiones de primario y secundario.
No. 4	Balance energético i. Principio de conservación de la energía. ii. Tensión inducida y potencia eléctrica. iii. Fuerza mecánica y energía. iv. Función de estado v. Coenergía. vi. El par en función de la energía del campo. vii. El par en función de la coenergía. viii. Sistema de excitación múltiple ix. Análisis de un sistema de excitación simple

OBJETIVOS GENERALES: Al aprobar el curso el estudiante podrá deducir las ecuaciones de las tensiones inducidas y los pares electromagnéticos en las máquinas y explicar el funcionamiento, a nivel introductorio, de las máquinas eléctricas de corriente continua y alterna y transformadores

METODOLOGÍA: Clases magistrales, visita técnica, trabajo en equipo, tareas, evaluaciones parciales, y final.

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ACADEMICO: Laboratorio 15%, parciales 50% y evaluación final 25%. Las tareas sin valor en puntos tienen como propósito catalizar y fortalecer la preparación de los estudiantes para las evaluaciones, La visita técnica, sin valor en puntos, tiene como propósito fortalecer la formación integral de los estudiantes y darles la oportunidad de acceder a los elementos y sistemas reales que en la clase teórica no pasan de ser esquemas conceptuales.

De acuerdo con el Normativo de Evaluación y Promoción del estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería, se procederá así:

PROCEDIMIENTO	INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN
Evaluaciones parciales	Pruebas escritas	50%
Tareas y actividades		10%
Laboratorio	Prácticas	15%
Total de la Zona		75%
Evaluación Final		25%
Nota de Promoción		100%

CONTENIDO PROGRAMÁTICO Y CALENDARIZACIÓN:

No.1	Circuitos magnéticos lineales i. Magnitudes y unidades de medida. ii. Tipos de materiales magnéticos iii. Analogía entre sistemas eléctricos y magnéticos iv. Circuito magnético equivalente v. Ejemplos.
------	---

Continuación del anexo 1.

No. 5	Generalidades de máquinas eléctricas i. Constitución física de la máquina sincrónica. ii. Constitución física de la máquina de inducción. iii. Constitución física de la máquina de corriente directa.
No. 6	Introducción a la máquina sincrónica i. Descripción del funcionamiento del generador sincrónico: ecuación que relaciona a los ángulos mecánico y eléctrico, ecuación de la velocidad sincrónica. ii. Ecuación de la tensión inducida en la máquina sincrónica.
No. 7	Fmm en el inducido de las máquinas AC i. Fmm en una bobina concentrada de paso diametral. ii. Fmm en un devanado distribuido de doble capa y paso acortado. Análisis armónico. iii. Comparación entre armónicas de los dos casos anteriores. iv. Efecto de los devanados distribuidos de paso acortado: factor de paso, factor de distribución y factor de reducción.
No. 8	Introducción a la máquina de Inducción i. Campo giratorio. ii. Funcionamiento general como motor, como generador o como convertidor de frecuencia (región de frenado) iii. Funcionamiento del motor de inducción. iv. Tensiones inducidas en el devanado del estator y en el devanado del rotor
No. 9	Ecuación general del par electromagnético i. Dedución general de la ecuación del par electromagnético. ii. Par en la máquina de inducción. iii. El par en la máquina sincrónica: caso generador y caso motor. Efectos del cambio de la corriente de excitación, la tensión inducida o la reactancia de la máquina. iv. El par en la máquina de corriente directa.
BIBLIOGRAFÍA	
1. Francisco González. Centrales Eléctricas. 2009.	
2. A.E. Fitzgerald, Ch. Kingsley y A. Kusko. Máquinas Eléctricas. Editorial Hispanoamericana. 1975.	
3. Stephen Chapman. Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill. 1991	
4. Francisco González. Fundamentos Teóricos sobre Armónicas. 1999.	
5. Clifford B. Gray. Máquinas Eléctricas y Sistemas Estacionarios. Alfaomega. México, 1993.	
6. Olle I. Elgerd. Electric Energy Systems Theory: an introduction. McGraw-Hill. 1971.	
7. Irving Kosow. Máquinas Eléctricas y Transformadores. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1972.	
8. Colección 1-7 de Electricidad. Harry Mileaf.	
9. Documentos y libros accesibles vía Internet	

Fuente: *Programa del curso conversión de energía electromecánica 1.*

<http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 8 de octubre de 2017.

Anexo 2.

Programa del curso máquinas eléctricas



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

MÁQUINAS ELÉCTRICAS

CODIGO:	0214EL36	CREDITOS:	6
ESCUELA:	INGENIERIA MECÁNICA ELECTRICA	AREA A LA QUE PERTENECE:	POTENCIA
PRE REQUISITO:		-0212EL35- CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECAÁNICA 1. -0206EL26- CIRCUITOS ELÉCTRICOS 2	
POST REQUISITO:		-0220EL36- ANÁLISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA. -0208EL36- INSTALACIONES ELÉCTRICAS. -0238EL36- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. -0216EL35- SUBESTACIONES. -0224EL35- ALTA TENSIÓN.	
CATEDRÁTICO:	INGENIERO ALLAN OMAR SAC DE PAZ		
CORREO:	allansac@gmail.com	SECCIÓN:	UNICA
SALON Y EDIFICIO DEL CURSO:	Según horario oficial	SALON DEL LABORATORIO:	LAB. MÁQUINAS ELÉCTRICAS.
HORAS POR SEMANA DEL CURSO:	3 Horas	HORAS POR SEMANA DEL LABORATORIO:	Tiempo designado por la coordinación de la EIME .
DÍAS QUE SE IMPARTE EL CURSO:	Según horario oficial (diario)	DIAS QUE SE IMPARTE EL LABORATORIO:	Según horario oficial.
HORARIO DEL CURSO:	Según horario oficial	HORARIO DEL LABORATORIO:	Según horario oficial.

DESCRIPCIÓN DEL CURSO:

Curso orientado a mostrar al estudiante el concepto físico y los principios de funcionamiento de las máquinas eléctricas rotatorias de corriente alterna y de corriente directa, operando en régimen permanente y transitorio.

OBJETIVO GENERAL:

Proporcionar al estudiante una base científica y técnica, dando prioridad al concepto físico, que le permita conocer y entender la naturaleza del funcionamiento de las máquinas eléctricas rotatorias en el régimen permanente y transitorio, para que tenga la capacidad de desarrollar y aplicar soluciones de ingeniería de los temas ya relacionados.

METODOLOGÍA:

Este curso se desarrolla a partir del uso de la metodología del aprendizaje activo. Será de gran valor la consulta permanente en los libros, páginas de internet de cursos relacionados y las notas de clase que usted tomará. La retroalimentación parte de la discusión de las notas, talleres y exámenes. Debido a que no existe una estrategia única que permita desarrollar la capacidad analítica para entender los conceptos físicos, la capacidad de investigar o de seleccionar conocimientos, durante el desarrollo de ésta asignatura se plantearán y usarán las siguientes estrategias: deberán entregar una serie de ejercicios al finalizar cada tema antes del examen, realizar una lectura previa de las notas de clase y de la bibliografía, durante la clase, esta comenzará con preguntas a los estudiantes sobre las dudas que no pudieron aclarar con la lectura o aquellas que quedaron de la clase anterior y se explicarán nuevamente los conceptos. El desarrollo del laboratorio cubre los ejercicios prácticos sobre cada tema a desarrollar.

Continuación del anexo 2.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ACADEMICO.

Comprobaciones de lectura y tareas (según la planificación en clase)	05pts
Evaluaciones Parciales (2 como mínimo)	50pts
Laboratorio*.....	+ 20pts
Zona	75pts
Examen final	+ 25pts
Nota final	100pts

CONTENIDO PROGRAMATICO.

1. Conceptos Generales.

1.1. Recordatorio de los conceptos de la Conversión Electromecánica.

2. Máquinas Asíncronas o de Inducción (Régimen Permanente).

2.1. Introducción y aspectos constructivos.

2.2. Principio de Funcionamiento y Circuito Equivalente.

2.3. Ensayos en la máquina.

2.3.1. Ensayo de Vacío.

2.3.2. Ensayo de Rotor bloqueado.

2.4. Balance de Potencias.

2.5. Ecuaciones de Par y Potencia.

2.5.1. Región de Generador.

2.5.2. Región de Motor.

2.5.3. Región de Frenado.

2.6. Diagrama de Circulo.*

2.7. Introducción Arranques y Regulación de Velocidad.

2.8. Motor de Inducción Monofásico.*

3. Máquinas Síncronas (Régimen Permanente).

3.1. Introducción y aspectos constructivos.

3.2. Sistemas de Excitación.

3.3. Principio de Funcionamiento de la máquina.

3.3.1. Funcionamiento en vacío.

3.3.2. Funcionamiento en carga. Reacción de Armadura.

3.4. Diagrama vectorial de la máquina. Regulación de voltaje.

3.5. Análisis Lineal de la Máquina. Circuito Equivalente.

3.5.1. Generalidades.

3.5.2. Impedancia Síncrona. Método de Behn–Eschenburg.

Continuación del anexo 2.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

3.5.3. Determinación de la Reactancia Síncrona.

3.5.3.1. Característica de Vacío.

3.5.3.2. Característica de cortocircuito

3.6. Análisis no Lineal de la Máquina. Método de Potier.

3.7. Funcionamiento de la máquina en una red aislada.

3.7.1. Generalidades.

3.7.2. Funcionamiento del regulador de velocidad.

3.8. Sincronización de una máquina a una red de potencia infinita.

3.9. Potencia activa y reactiva desarrollada por una máquina asíncrona sincronizada a una red de potencia infinita.

3.10. Funcionamiento de una máquina conectada una red de potencia infinita.

3.10.1. Efectos por la variación de la corriente de campo.

3.10.2. Efectos por la variación del par mecánico.

3.11. Funcionamiento de máquinas en paralelo.

3.12. Teoría de las dos reacciones. Máquina Síncrona de Polos Salientes.

3.13. Motor Síncrono.*

4. Máquinas Síncronas (Régimen Transitorio).

4.1. Transitorios en Máquinas Síncronas.

4.2. Transformación a variables de ejes, directos y de cuadratura.

4.3. Relaciones básicas de la máquina en variables $dq0$.

4.4. Análisis de cortocircuito repentino.

4.5. Características transitorias de potencia – ángulo.

4.6. Modelos de máquinas sincrónicas para el análisis transitorio.

4.7. Dinámica de las máquinas sincrónicas.

5. Máquinas de Corriente Directa.*

5.1. Introducción y aspectos constructivos.

5.2. Principio de funcionamiento.

5.3. Reacción de armadura y conmutación.

5.4. Tipos y características de las máquinas.

Continuación del anexo 2.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Bibliografía Sugerida.

1. Fraile Mora, J. *Máquinas Eléctricas*. 6ta edición. McGrawHill, España, 2008. 808pp. ISBN: 978- 84-481-6112-5.
2. Aller, J. *Máquinas Eléctricas Rotativas: Introducción a la Teoría General*. 1ra Edición, Equinoccio, Venezuela, 2007. 459pp. ISBN 980-237-223-4.
3. Sanz Feito, J. *Máquinas Eléctricas*. España: Prentice Hall, España, 2002. 491pp. ISBN: 84-205- 3391-2.
4. Krause, Paul C.; Wasynczuk, O; Sudhoff, Scott D. *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. Second Edition. IEEE Press Power Engineering Series, USA, 2002. 613pp. ISBN: 0-471- 14326-X.
5. Fitzgerald A. E, Kingsley y Umans. 5ta edición. *Máquinas Eléctricas*. McGrawHill, México, 1999. 670pp. ISBN: 970-10-0202-4
6. Chapman, Stephen J. *Máquinas Eléctricas*. 2da edición. Colombia, 1998. 740pp. ISBN: 958- 600-125-3.
7. Fraile Mora, J. *Problemas de Máquinas Eléctricas*. Serie Schaum. España, McGraw Hill, 2005. 428pp. ISBN: 84-481-4240-3.
8. IEEE Std 115-1995, *IEEE Guide: Test Procedures for Synchronous Machines*. ISBN 1-55937-710-0
9. IEEE Std 112-2004. *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*. ISBN 0-7381-3977-7.
10. IEC 60034-1 2004. *Rotating electrical machines-Part 1 Rating and performance*. ISBN 2-8318- 7455-6
11. IEC 34-4 1985. *Rotating electrical machines-Part 4 Methods for determining synchronous machine quantities from tests*. ISBN 2-8318-7455-6

Fuente: *Programa del curso máquinas eléctricas*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta:

28 de abril de 2018.

Anexo 3. Programa del curso automatización industrial

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA (EIME) – AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL
 CATEDRÁTICO: ING. STEVE ORTÍZ.



PROGRAMA DE CURSO AUTOMATIZACION INDUSTRIAL PRIMER SEMESTRE 2018

CÓDIGO:	238	CRÉDITOS:	6
ESCUELA:	EIME	ÁREA A LA QUE PERTENECE:	Potencia
PRE REQUISITO:	Máquinas Eléctricas (214)	POST REQUISITO:	Ninguno
CATEGORIA:	Obligatorio	Zona Mínima:	36 puntos
CATEDRÁTICO:	Ing. Steve Ortiz	AUXILIAR:	
EDIFICIO:	T3	SECCIÓN:	N
SALON DEL CURSO:	213	SALON DEL LABORATORIO:	LaboratorioAutomatización Industrial
HORAS POR SEMANA DEL CURSO:	3.33 horas	HORAS POR SEMANA DEL LABORATORIO:	2 horas
DÍAS QUE SE IMPARTE EL CURSO:	Martes y Jueves	DÍAS QUE SE IMPARTE EL LABORATORIO:	A confirmar
HORARIO DEL CURSO:	17:20 a 19:00horas	HORARIO DEL LABORATORIO:	A confirmar

DESCRIPCIÓN DEL CURSO: El curso inicia utilizando la diagramación eléctrica y la simbología relacionada, la cual considera las diferentes normativas y homologaciones para la representación simbólica de los elementos eléctricos que participan en un circuito eléctrico de control, protección y potencia. Posteriormente se explican los principios básicos de funcionamiento de los contactores y relés, lógica alamburada tanto de control como de protección, para luego conocer la teoría relacionada con la gestión de la adquisición y procesamiento de señales eléctricas y no eléctricas aplicadas a procesos industriales entre ellos los controladores lógicos programables, sensores y transductores, dándole énfasis a los algoritmos de corrección de error tales como PID. La tercera parte del curso pretende que el estudiante conozca la teoría de funcionamiento de la comunicación industrial en donde se abordan los temas de la aplicación de protocolos de comunicación más utilizados en redes industriales en general.

OBJETIVOS GENERALES: El curso pretende que el estudiante conozca los principios básicos y aplicaciones de los componentes, dispositivos electrónicos y electromecánicos para controlar un proceso de forma manual y automática, los cuales maximicen los recursos técnicos y económicos que permitan que los procesos industriales sean eficientes.

METODOLOGÍA:

La metodología general es por medio de clases magistrales, presentaciones utilizando equipo audiovisual, tareas de investigación, proyecto especial. Así mismo en el laboratorio del curso se desarrollan prácticas para que el estudiante pueda observar y experimentar para enriquecer el aprendizaje.

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO: La ponderación para evaluar el rendimiento académico del estudiante es realizado por medio de exámenes parciales, visitas técnicas, exámenes cortos, tareas de investigación y examen final, así como laboratorio teórico-práctico. La asistencia no tiene ponderación en la zona, pero es requisito indispensable el $\geq 80\%$ para tener derecho a la zona. El contenido de los exámenes parciales considera lo presentado en las clases magistrales, así como el contenido de la tarea de investigación y notas/temas de las referencias bibliográficas relacionadas.

Continuación del anexo 3.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA (EIME) – AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL
CATEDRÁTICO: ING. STEVE ORTÍZ.



1. Introducción.
2. Simbología y codificación.
3. Documentación y diagramación.
4. Sensores, Transductores y actuadores
5. Instrumentación eléctrica aplicada al proceso.

UNIDAD No. 2 INTRODUCCIÓN AL CONTROL

6. Dispositivos utilizados para el control, operación y protección (Contactor – Relé)
7. Introducción al control automático.
8. La pirámide de la automatización.
9. Aplicaciones del control manual y automático.
10. Control, operación y protección de motores eléctricos AC/DC.

UNIDAD No. 3: AUTOMATA PROGRAMABLE Y LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

11. Controlador Lógico Programable.
12. Introducción a la programación
13. Medios y protocolo de comunicación.
14. Lenguaje de programación.
15. Circuitos de control en lazo abierto y cerrado.
16. Algoritmo de corrección de error
17. Métodos de sintonización PID

UNIDAD No. 4: COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

18. Estructura de una red de comunicación industrial.
19. Elementos de una red de comunicación.
20. Protocolos de comunicación
21. Aplicaciones.

BIBLIOGRAFIA:

1. Electrical Control System in Industry. Charles S. Siskind. McGraw-Hill.
2. Sensores y Acondicionadores de Señal. Ramón Pallás Areny. Editorial Alfaomega Marcombo. 4ª. Edición.
3. Autómatas Programables. Balcells Josep, Romeral José Luís. Editorial Alfa Omega Marcombo.
4. Wiring Manual. Automation and Power Distribution. Klockner-Moeller Hand Book.
5. Telesquemario. Telemecanique.
6. Simatic Software AWL y KOP para SIMATIC S7-200. Programación de Bloques. Manual de Referencia. Siemens.
7. Automatización con S5-115U. Berger. Siemens
8. SLC 500 Family of Programmable Controllers. Allen-Bradley Company
9. Notas del Catedrático

Fuente: *Programa del curso máquinas eléctricas*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta:

18 de abril de 2018.

Anexo 4. Programa del curso subestaciones eléctricas

CURSO SUBESTACIONES

CODIGO:	216	CREDITOS:	5
ESCUELA:	Escuela Mecánica Eléctrica	AREA A LA QUE PERTENECE:	Potencia
PRE REQUISITO:	213, 214 y 218	POST REQUISITO:	Ninguno
CATEGORIA:	Obligatorio		
CATEDRÁTICO (A):	Ing. Guillermo Bedoya	AUXILIAR:	
EDIFICIO:	T3	SECCIÓN:	Única
SALON DEL CURSO:	401	SALON DEL LABORATORIO:	Sin Laboratorio
HORAS POR SEMANA DEL CURSO:	3 horas	HORAS POR SEMANA DEL LABORATORIO:	Sin Laboratorio
DÍAS QUE SE IMPARTE EL CURSO:	Lunes Miércoles Viernes	DÍAS QUE SE IMPARTE EL LABORATORIO:	Sin Laboratorio
HORARIO DEL CURSO:	19:50 a 20:50	HORARIO DEL LABORATORIO:	Sin Laboratorio

DESCRIPCIÓN DEL CURSO: El contenido del curso las definiciones de los conceptos básicos utilizados en alta tensión, para que el alumno pueda realizar la coordinación de aislamiento y dimensionamiento general de las líneas de transmisión.

OBJETIVOS GENERALES: Proporcionar al estudiante los conocimientos necesarios para el dimensionamiento de una subestación eléctrica, en distancias eléctricas, red de tierras, coordinación de aislamiento, así como que el estudiante conozca los diferentes elementos que la conforman.

METODOLOGIA: La metodología a utilizar será por medio de clases magistrales, vistas técnicas, trabajos asistida en grupo en clase.

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ACADEMICO: La ponderación para evaluar el rendimiento académico de los estudiantes será realizado por medio de exámenes, tareas, reporte de visitas, evaluaciones cortas. Se realizará un máximo de tres o un mínimo de dos exámenes parciales, tarea práctica, de investigación y evaluaciones cortas.

EVALUACION

DOS exámenes parciales	51%
Asistencia a clases magistrales	04%
Evaluaciones cortas	06%
Reportes de Visitas Técnicas	06%
Tareas	08%
Zona	75%
Examen final	25%
Nota de promoción	100%

CONTENIDO

SUBESTACIONES

- 1.1 Definición, conceptos generales
- 1.2 Tipos de subestaciones
- 1.3 Barra Simple
- 1.4 Barra doble
- 1.5 Barra principal y transferencia
- 1.6 Interruptor y medio
- 1.7 Operación y maniobra
- 1.8 Plantas y Perfiles

Continuación del anexo 4.

<p>2 EQUIPO Transformadores, Seccionadores Interruptores Transformadores de instrumento Pararrayos Reactores</p> <p>CALCULO DE DISTANCIAS DIELECTRICAS EN SUBESTACIONES AIS. Consideraciones climatológicas en las distancias dieléctricas Distancias de fase a tierra Distancias entre fases vivas Primer Nivel de barras Segundo Nivel de Barras Altura de remate de líneas Zonas de mantenimiento Zonas de circulación de vehículos Zonas de circulación de personas. Calculo de libranzas eléctricas en subestaciones</p> <p>REDES DE TIERRAS PARA SUBESTACIONES 4.1 Disposiciones básicas de las redes de tierra 4.2 Elementos de una red de tierras 4.3 Corrientes de falla en subestaciones eléctricas 4.4 Factores de diseño de redes de tierra 4.5 Métodos de calculo</p> <p>PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES Pararrayos Blindaje Selección de pararrayos</p>
--

<p>BIBLIOGRAFIA:</p> <p>1 Diseño de Subestaciones Eléctricas, José Raúl Martín, 2da. Edición 2000 UNAM. 2 Elementos de diseño de subestaciones Eléctricas Gilberto Martínez Harper 3 Apuntes de coordinación de aislamiento Gilberto Martínez Harper 4 Coordinación de aislamiento en Subestaciones eléctricas Gerencia de producción CFE. 5 Coordinación de aislamiento por descargas atmosféricas en líneas de Transmisión Folleto Gerencia de líneas y subestación CFE. 6 Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión Mejía Villegas. 7 Sobretensiones 8 Transitorios A 9 Transitorios B 10 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ESPECIFICACIÓN CFE L0000-06</p>
--

Fuente: *Programa del curso máquinas eléctricas*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta:

19 de abril de 2018.

Anexo 5. Programa del curso conversión de energía electromecánica 2

CODIGO:	202	CREDITOS:	6
ESCUELA:	EIME	AREA A LA QUE PERTENECE:	CIENCIAS BASICAS Y ELECTROTECNIA
PRE REQUISITO:	INGENIERIA ELECTRICA 1	POST REQUISITO:	SEGÚN LA CARRERA QUE SIGUE
CATEGORIA:	OBLIGATORIO		
CATEDRÁTICO (A):		AUXILIAR:	
EDIFICIO:		SECCIONES:	
SALON DEL CURSO:		SALON DEL LABORATORIO:	
HORAS POR SEMANA DE CADA SECCIÓN:	3 PERIODOS DE 50 MINUTOS	HORAS POR SEMANA DEL LABORATORIO:	
DÍAS QUE SE IMPARTE EL CURSO:	LUNES, MIERCOLES Y VIERNES	DÍAS QUE SE IMPARTE EL LABORATORIO:	SEGÚN HORARIO ESPECÍFICO
HORARIO DEL CURSO:		HORARIO DEL LABORATORIO:	SEGÚN HORARIO ESPECÍFICO
EMAIL			

DESCRIPCIÓN DEL CURSO: La comunicación a distancia, la protección de sistemas, la medición de diversas magnitudes físicas, el control automático de los sistemas y la disponibilidad de energía eléctrica son y serán aspectos vitales del desarrollo humano y todas esas disciplinas son aplicadas en los sistemas que constituyen el medio en el cual ejercen los egresados de la Facultad de Ingeniería. De ahí, la necesidad de formación en este campo de los estudiantes que no están inscritos en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

OBJETIVOS GENERALES: Al aprobar el curso el estudiante podrá seleccionar conductores para instalaciones eléctricas, diseñar sistemas de iluminación por el método de cavidad zonal, explicará el funcionamiento de las centrales eléctricas, de sistemas sencillos de telecomunicaciones y de control, de circuitos digitales y del sistema eléctrico del automóvil.

METODOLOGIA: Clases magistrales, tareas, presentaciones por grupos, visita técnica, exámenes parciales, y final.

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ACADEMICO: Laboratorio 15 puntos, 2 parciales 25 p cada uno, y examen final 25 puntos.

De acuerdo con el Normativo de Evaluación y Promoción del estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería, se procederá así:

PROCEDIMIENTO	INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN
Evaluaciones parciales	Prueba escrita	50%
Tareas y actividades		10%
Laboratorio	Prácticas y exámenes	15%
Total de la Zona		75%
Evaluación Final		25%
Nota de Promoción		100%

Continuación del anexo 5.

No. 1	Conceptos de corriente alterna <ul style="list-style-type: none">i. Factor de potenciaii. Eficiencia energética y análisis de una facturaiii. Generadores sincrónicos y sistemas trifásicosiv. Problemas de sistemas trifásicos: conexión estrella y conexión delta
No. 2	Esquema de un sistema de potencia <ul style="list-style-type: none">i. Elementos del sistema eléctrico de potenciaii. Sistema de generación y centrales eléctricas,iii. Sistema de transmisióniv. Sistema de distribución
No. 3	Centrales Eléctricas <ul style="list-style-type: none">i. Centrales que emplean derivados del petróleo: centrales de vapor, centrales de gas, centrales con motores de combustión internaii. Fuentes alternas (no usan derivados del petróleo): Centrales hidroeléctricas, eólicas, geotérmicas, solares y uso de la biomasa.iii. Otras: Nucleares, mareomotrices,
No. 4	Instalaciones eléctricas residenciales <ul style="list-style-type: none">i. Requisitos de una instalación eléctricaii. Elementos de una instalación eléctricaiii. Selección de conductores<ul style="list-style-type: none">1. Deducción de la fórmula general de cálculo2. Selección de conductores y protección para línea simple3. Selección de conductores para sistema distribuido4. Selección de conductores para finales ramificados5. Selección de conductores para instalación en anillo
No. 5	Calidad de la potencia eléctrica <ul style="list-style-type: none">i. Características de una instalación eléctrica idealii. Corrientes armónicas: concepto, causas, efectos, medición y técnicas de controliii. Voltajes transitorios: concepto, causas, efectos, medición y técnicas de controliv. Flicker: concepto, causas, efectos, medición y técnicas de controlv. Desbalance en sistemas trifásicos: concepto, causas, efectos, detección y técnicas de control.
No. 6	Sistemas de alumbrado <ul style="list-style-type: none">i. Principios y unidades fundamentalesii. Leyes de la iluminacióniii. Tipos de lámparasiv. Diseño de un sistema de alumbrado: método de cavidad zonal
No. 7	Electrónica Analógica <ul style="list-style-type: none">i. Bandas de energía y materiales semiconductoresii. Semiconductor intrínseco y semiconductor extrínsecoiii. Diodos, SCR's, y rectificadores monofásicos y trifásicosiv. Transistores y amplificadores.v. El amplificador operacionalvi. Sistema de control análogo PID
No. 8	Electrónica digital <ul style="list-style-type: none">i. El sistema binario.ii. Circuitos lógicos.iii. Operaciones aritméticasiv. Memoriasv. Dispositivos de exhibiciónvi. Computadoras.vii. Programmable Logic Controller PLC

Continuación del anexo 5.

No. 9 **Telecomunicaciones**

- i. Propagación de ondas electromagnéticas.
 - ii. Antenas
 - iii. Generación de ondas.
 - iv. Modulación
 - v. Técnicas modernas de transmisión
-

BIBLIOGRAFÍA

- i. Koeninsberger Badrian, Rodolfo, Ingeniería eléctrica 2
 - ii. Francisco González. Centrales Eléctricas
 - iii. Francisco González. Iluminación.
 - iv. Mileaf, Harry, Electrónica, Serie 1-7, Limusa
 - v. Mileaf, Harry, Electricidad, Serie 1-7, Limusa
 - vi. Información de INTERNET.
-

Fuente: *Programa del curso máquinas eléctricas*. <http://eime.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta:

19 de abril de 2018.