

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura:	Protecciones Eléctricas
Carrera:	Ingeniería Electromecánica
Clave de la asignatura:	
SATCA:	3 - 2 - 5

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del ingeniero los medios para la interpretación y análisis de los disturbios que se presentan en los Sistemas Eléctricos de Potencia; así como la capacidad de diseñar, instalar, ajustar y coordinar un sistema que incluya las diferentes protecciones de sobrecorriente y de aislamiento.

Intención Didáctica

La asignatura se organiza en seis unidades, agrupando los contenidos conceptuales en la primera unidad y en la segunda unidad conociendo y familiarizándose con las aplicaciones más comunes que tienen los relevadores de protección de sobrecorriente. En las unidades tres, cuatro y cinco podremos encontrar los diversos sistemas de protección para las líneas de transmisión, los sistemas de potencia y las máquinas rotatorias de alta capacidad. Todo lo anterior se complementa en la unidad seis, donde se aplican los criterios aprendidos en un caso de diseño de protecciones por sobrecorriente.

La asignatura Protecciones Eléctricas, solo podrá ser impartida por un profesor que hay recibido la capacitación de instructores de la Empresa De Lorenzo, en virtud de que el equipo donde se deberán hacer las prácticas, requiere ser operado con suficiencia y eficiencia.

La capacitación se dio a profesores adscritos al Departamento de Metalmecánica, que demostraron amplia experiencia profesional, los instructores impartieron de manera presencial y en forma virtual, establecieron una comunicación efectiva, en todas las partes del equipo, que esencia se expresan en las primeras tres unidades.

La unidad 2, correspondiente a Relevadores de Protección de Sobrecorriente, se hicieron prácticas de conexión a la subestación de transmisión, enseguida la línea de transmisión. En la etapa tercera conexión a la subestación de distribución y finalmente conexión a los módulos de sobrecorriente de carga inductiva, capacitancia y resistiva. Se incluyen el monitoreo del factor de potencia y su corrección correspondiente. En todos los circuitos, se conectaron interruptores y protección, así como los equipos de medición, monitoreo y control.

En la unidad 3, correspondiente a la Protección de Líneas de Transmisión, se siguieron los mismos pasos. Se estableció que cada de las conexiones se siguieran criterios que identifiquen las fases y los diagramas unifilares. También en el momento de conectar las

fases de la escuela, se hace énfasis en que coincidan con las fases de cada uno de las partes del sistema correspondiente. Por razones de mantenimiento, es posible que no coincidan las fases, sin que afecten al sistema, pero imposibilita una correcta medición.

En la unidad 4, se consideró que los ingenieros desde Italia, por medio de la red del ITA, se conectarán directamente al equipo, con el objeto de hacer coincidir los parámetros internacionales con las de la Red Nacional de la Comisión Federal de Electricidad. También la empresa se comprometió en seguir asesorando a los profesores que recibieron la capacitación, con el objeto de actualizar el equipo de laboratorio.

Finalmente, los ingenieros de la Empresa De Lorenzo, se comprometieron apoyar a la Carrera de Ingeniería Electromecánica, con el equipo que la empresa, Festo Didactic: Sistemas de entrenamiento, de la serie LabVolt, entregó hace más de un año, y que hasta la fecha no se ha instalado, menos se ha programado la capacitación correspondiente.

En todos los casos se utilizan las tecnologías de información y comunicación en los programas de operación y mantenimiento preventivo en la asignatura Protecciones Eléctricas. Se diseñan los programas de operación y mantenimiento en el marco del desarrollo sustentable. Se fomenta el liderazgo, el trabajo en grupo para la toma de decisiones de operación, de manera económica, y con estricto apego a las leyes, normas y procedimientos laborales. También se proporcionan habilidades necesarias para el análisis de las funciones de operación de centrales eléctricas.

Se recomienda que esta asignatura, Centrales Eléctricas, se imparta simultáneamente con la asignatura Protecciones Eléctricas.

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p>Competencias Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> * La capacidad del diseño, la selección, aplicación y calibración de las protecciones requeridas en los diferentes componentes de un sistema eléctrico de potencia, logrando con ello una operación coordinada del sistema de protecciones ante los disturbios y fallas eléctricas que se presenten, aplicando los conocimientos, habilidades y tecnologías de última generación. 	<p>Competencias Genéricas</p> <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none"> * Capacidad de análisis y síntesis. * Capacidad de organizar y planificar. * Conocimientos avanzados de la carrera. * Comunicación oral y escrita. * Habilidades en el manejo de la Computadora. * Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. * Solución de problemas. * Toma de decisiones. <p>Competencias interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none"> * Capacidad crítica y autocrítica. * Trabajo en equipo. * Habilidades interpersonales.
--	---

	<p>Competencias sistémicas</p> <ul style="list-style-type: none"> * Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. * Habilidades de investigación. * Capacidad de aprender. * Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). * Habilidad para trabajar en forma Autónoma. * Cumplir las metas establecidas.
--	--

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de Veracruz, de Enero a Septiembre de 2012	Academia de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Veracruz.	Rediseño de la Especialidad en Aplicaciones Industriales dentro del Nuevo Plan de Estudios de Competencias para la Carrera de Ingeniería Eléctrica de Agosto del 2010
Instituto Tecnológico de Acapulco, del 5 al 11 de noviembre de 2020.	Javier Gutiérrez Ávila, Enrique Gómez Martínez, Luis Moctezuma Estrella.	Taller para la Integración del Módulo de la Especialidad de Ingeniería Electromecánica de la Red de la Retícula 2020.

5.- OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

La capacidad del diseño, la selección, aplicación y calibración de las protecciones requeridas en los diferentes componentes de un sistema eléctrico de potencia, logrando con ello una operación coordinada del sistema de protecciones ante los disturbios y fallas eléctricas que se presenten, aplicando los conocimientos, habilidades y tecnologías de última generación.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- * Manejo del dibujo CAD para la elaboración de los trabajos de tareas y proyectos eléctricos de instalaciones.
- * Cálculo de corrientes de fallas trifásicas y monofásicas en sistemas eléctricos de potencia y en instalaciones industriales.
- * Componentes, parámetros y características de líneas de transmisión.
- * Equipos e instalaciones de centrales de generación eléctrica.
- * Equipos e instalaciones de distribución industrial.

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Generalidades de los Sistemas de Protección por Relevadores	1.1.- Concepto general y funciones de las protecciones eléctricas. 1.2.- Fallas eléctricas. Concepto, origen y fuentes, probabilidad de ocurrencia y clasificación general. 1.3.- Fallas de sobrecorriente. Análisis, clasificación y

		<p>generalidades del cálculo para fallas trifásicas y monofásicas.</p> <p>1.4.- Filosofía de la protección eléctrica. Zonas de protección de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP's). Protecciones primarias y de respaldo, concepto de selectividad.</p> <p>1.5.- Funciones de los relevadores de protección.</p> <p>1.6.- Clasificación general de los dispositivos de protección. Identificación ANSI y simbología para diagramas unifilares y trifilares.</p>
--	--	---

Unidad	Temas	Subtemas
2	Relevadores de Protección de Sobrecorriente	<p>2.1.- Características tiempo-corriente de relés de sobrecorriente. Concepto i^2t. Tiempos normal inverso, muy inverso, extremadamente inverso e instantáneo.</p> <p>2.2.- Relés de sobrecorriente de inducción. Principio de funcionamiento y características.</p> <p>2.3.- Unidades estáticas de protección multifunción, digitales y programables. Características, especificaciones y aplicaciones.</p> <p>2.4.- Relés de sobrecorriente de línea a línea. Conexiones estrella-estrella y delta-delta. Características y aplicaciones.</p> <p>2.5.- Relés de sobrecorriente de falla a tierra. Conexiones tipo residual, al neutro y de secuencia cero.</p> <p>2.6.- Relevador diferencial de corriente. Característica porcentual, conexiones y aplicaciones.</p> <p>2.7.- Relevadores direccionales de sobrecorriente y de potencia. Características y aplicaciones.</p> <p>2.8.- Se recomienda hacer una práctica de protección con el laboratorio De Lorenzo, sobre conexiones estrella-estrella y delta-delta.</p>

Unidad	Temas	Subtemas
3	Protección de Líneas de Transmisión.	<p>3.1.- Relevadores de distancia. Tipos de impedancia, de reactancia y de reluctancia (mho). Características RX, y de tiempo-impedancia.</p> <p>3.2.- Relevadores de hilo piloto. Conceptos generales de hilo piloto y su clasificación Características, componentes y aplicaciones.</p> <p>3.3.- Protección de líneas de transmisión por corriente.</p> <p>3.4.- Protección de líneas por impedancia, reactancia y mho.</p> <p>3.5.- Protección de líneas por hilo piloto.</p> <p>3.6.- Esquemas de protección de líneas de transmisión a base de relevadores convencionales y con módulos de protección multifunción, digitales y programables.</p> <p>3.7.- Protección por corriente de alimentadores de media</p>

		<p>tensión, conductor desnudo y cable de potencia. Curvas de daño de aislamientos, corrientes de corto circuito y tiempo.</p> <p>3.8.- Esquemas de protección de alimentadores de media tensión a base de relevadores convencionales y con módulos digitales y programables.</p> <p>3.9.- Hacer una práctica de protección de alimentación a base de relevadores convencionales y con módulos digitales y programables.</p>
--	--	---

Unidad	Temas	Subtemas
4	Protecciones de Subestaciones de Potencia.	<p>4.1.- Protección de transformadores de potencia.</p> <p>4.2.- Selección de la protección diferencial y sus relaciones de TC's.</p> <p>4.3.- Protección de sobrecorriente de fase y a tierra. Curvas de daño, puntos "ANSI" y de carga en frío, cálculo y criterios de protección.</p> <p>4.4.- Protección de transformadores de tres devanados.</p> <p>4.5.- Protección de variables mecánicas: presión, temperatura, nivel, gases.</p> <p>4.6.- Esquemas de protección de transformadores de potencia a base de relevadores convencionales y con módulos de protección multifunción, digitales y programables.</p> <p>4.7.- Protección de barras de subestaciones de potencia.</p> <p>4.8.- Sistemas de protección diferencial de bus, de corriente y de tensión con acopladores lineales.</p> <p>4.9.- Protección por comparación direccional.</p> <p>4.10.- Esquemas de protección de barras y en combinaciones con transformadores de potencia a base de relevadores convencionales y con módulos de protección multifunción, digitales y programables.</p>

Unidad	Temas	Subtemas
5	Protección de Máquinas Rotatorias de Alta Capacidad.	<p>5.1.- Protección de generadores de potencia.</p> <p>5.2.- Protección diferencial y de sobrecorriente de del estator, de fallas entre fases y de fase a tierra.</p> <p>5.3.- Protección de falla a tierra del campo y pérdida de excitación.</p> <p>5.4.- Protección de sobretensión, pérdida de sincronismo y desbalance de fases.</p> <p>5.5.- Protección de sobre-velocidad, motorización y sobre-temperatura de chumaceras y estator.</p> <p>5.6.- Esquemas de protección integrales de generadores y barras de acoplamiento a base de relevadores convencionales y con módulos de protección multifunción, digitales y programables.</p> <p>5.7.- Protección de motores de alta capacidad de media</p>

		<p>tensión.</p> <p>5.8.- Protección de sobrecorriente entre fases y de fase a tierra.</p> <p>5.9.- Protección diferencial convencional y compacta.</p> <p>5.10.- Protección de sobrecarga térmica del estator. Curvas de daño y criterios de sobrecarga de la función.</p> <p>5.11.- Protección contra pérdida de sincronismo, pérdida de campo y falla de sobrecorriente de campo en motores síncronos.</p> <p>5.12.- Protección de sobre-temperatura en chumaceras, estator y fluidos refrigerantes.</p> <p>5.13.- Esquemas de protección integrales de motores de inducción y síncronos de alta capacidad en media tensión a base de relevadores convencionales y con módulos de protección multifunción, digitales y programables.</p>
--	--	--

Unidad	Temas	Subtemas
6	Coordinación de Protecciones por Sobrecorriente	<p>6.1.- Curvas log-log de relés. Interpretación de valores de corriente, múltiplos de TAP, selección de tiempo de ajuste (time dial).</p> <p>6.2.- Curvas log-log de fusibles de media y baja tensión.- Interpretación y aplicación.</p> <p>6.3.- Criterios generales de coordinación de protecciones para fallas entre fases y de fase a tierra. Gráficas y método gráfico de coordinación.</p> <p>6.4.- Criterios de coordinación:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Relevador-relevador. * Relevador-fusible. * Fusible-fusible. * Relevador-dispositivos de B.T. <p>6.5.- Cálculo y selección de TC's. Criterios de relaciones de transformación.</p> <p>6.6.- Cálculo y determinación de ajustes de relevadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Curva característica. * Corriente Pickup (ajuste). * Valor de Tap. * Valor de Time-Dial (palanca). <p>6.7.- Procedimiento gráfico de coordinación, trazo y presentación de curvas.</p> <p>6.8.- Proyecto integral de coordinación de protecciones.</p>

8. APRENDIZAJES REQUERIDOS.

- **Sistemas Hidráulicos y Neumáticos de Potencia.**
- **Instalaciones Eléctricas.**
- **Máquinas Eléctricas.**
- **Controles Eléctricos.**

- **Subestaciones Eléctricas.**
- **Sistemas Eléctricos de Potencia.**

9.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- * Organizar prácticas de campo orientadas a la investigación sobre los sistemas y componentes de la protección eléctrica de sistemas eléctricos disponibles en su ámbito, tanto de la CFE como industriales, mediante levantamientos de información.
- * Fomentar el acopio de información técnica de equipos y materiales y software para su aplicación en el diseño de sistemas de protección.
- * Comprobar en forma práctica los conocimientos adquiridos en el aula mediante el desarrollo de proyectos de protecciones de instalaciones eléctricas industriales y de sistemas de potencia del servicio público de CFE
- * Propiciar en el estudiante el desarrollo de la investigación y ampliación de conceptos de los temas del curso.
- * Llevar a cabo actividades que promuevan el trabajo en equipo.
- * Propiciar el uso de software propio de los temas del curso.

10.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

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

- * Aprobación de exámenes teórico-prácticos.
- * Elaboración de tablas y/o bases de datos para apoyo y consulta.
- * Asistencia y participación general en clase.
- * Elaboración de tareas y exposición de resultados.
- * Trabajos de proyecto de protecciones y su coordinación, con la exposición de resultados.

11.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: Generalidades de los Sistemas de Protección por Relevadores

<i>Competencia Específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Conocer los términos y conceptos básicos empleados para el desarrollo de las protecciones eléctricas a base de relevadores, el papel que juegan y su importancia dentro de los sistemas	<ul style="list-style-type: none"> * Investigar los conceptos de relevar y de relevadores de protección, aplicados a los sistemas eléctricos. * Investigar los fundamentos, comportamiento y clasificación de los interruptores de potencia de media y alta tensión, restauradores y fusibles de potencia empleados en la protección eléctrica. * Hacer levantamientos de instalaciones eléctricas industriales disponibles en su zona, elaborando los diagramas unifilares, clasificando e identificando los componentes de protección. * Obtener información de las protecciones y sus características de las diversas instalaciones de potencia de la CFE existentes en el área, haciendo una identificación, clasificación y funcionamiento de cada una de ellas. * Recabar información de la identificación ANSI de los dispositivos

eléctricos de potencia.	<p>de protección empleados en el curso.</p> <ul style="list-style-type: none"> * Resolver y discutir en clase aplicaciones de protección de sistemas de potencia.
-------------------------	--

Unidad 2: Relevadores de Protección de Sobrecorriente.

<i>Competencia Específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Comprender y utilizar los principios de funcionamiento y las aplicaciones más comunes que tienen los relevadores en la protección contra fallas por sobrecorriente en los sistemas eléctricos de potencia.	<ul style="list-style-type: none"> * Obtener información relevante sobre el diseño, características operativas y especificaciones de los diversos relés de protección por corriente empleados en los SEP's. * Efectuar un resumen de las características y resultados de un estudio de corto circuito trifásico y monofásico a base de componentes simétricas de secuencia, necesario para efectuar una aplicación de protecciones por sobrecorriente de un SEP. * Hacer una actualización de los conceptos de la no linealidad y características de saturación de núcleos y circuitos magnéticos, requeridos en el análisis de los transformadores de instrumentos.

Unidad 3: Protección de Líneas de Transmisión

<i>Competencia Específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Comprender y aplicar las generalidades de los sistemas de protección empleados en las líneas de transmisión.	<ul style="list-style-type: none"> * Recabar información general y catálogos de fabricantes de relevadores de distancia, direccionales y de hilo piloto, tanto de diseño convencional como digitales, incluyendo sus características operativas, aplicaciones correspondientes, conexionado y ajustes. * Hacer un análisis comparativo de ventajas, desventajas, capacidades y aplicaciones de las opciones disponibles para protección de líneas de transmisión: sobrecorriente, direccional, de distancia e hilo piloto. * Realizar un planteamiento de análisis y discusiones en clase de la protección de líneas de transmisión largas, cortas, en anillo, con fallas tanto de fase a fase, como de fase a tierra.

Unidad 4: Protecciones de Subestaciones de Potencia.

<i>Competencia Específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Comprender y aplicar los lineamientos y criterios	<ul style="list-style-type: none"> * Desarrollar el arreglo general y de detalle de una subestación de potencia, mediante diagramas unifilares, dibujos de la instalación física, capacidades y datos generales de los equipos de potencia, así como las características de su operación.

<p>generales para el diseño de la protección eléctrica de transformadores, barras y componentes accesorios de las subestaciones de potencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Obtener información de detalle de transformadores y autotransformadores de potencia de dos y tres devanados, conexiones, sistemas de puesta a tierra, boquillas, transformadores de corriente de boquillas, características de los sistemas mecánicos de enfriamiento, control de temperaturas, presiones, niveles y detección de gases. * Investigación de los diversos problemas de fallas de los transformadores de potencia, niveles de aislamiento, dieléctricos, cortocircuitos entre espiras, producción y características de gases, relevadores Buchholz, etc. Necesarios para la propuesta de protecciones correspondiente. * Obtener información de operación y características de relevadores diferenciales. * Analizar los diversos esquemas de protección resultantes de subestaciones de potencia de 5.0 a 250 MVA, integrando el o los transformadores con las barras. * Realizar un proyecto de protección integral de una subestación de potencia mediante relevadores convencionales y mediante protecciones digitales.
--	---

Unidad 5: Protección de Máquinas Rotatorias de Alta Capacidad.

<i>Competencia Específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Comprender y aplicar los criterios y lineamientos de diseño de la protección eléctrica de generadores y motores de alta capacidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Obtener información de detalle de las grandes máquinas rotatorias síncronas en su diseño, construcción y características generales, así como los tipos de fallas más comunes que permitan una adecuada selección de las protecciones correspondientes. * Trazar los esquemas de protección que resulten de un sistema de protección integral para generadores de potencia, de capacidades de 2000 a 20,000 KW, con presentación y discusión en clase. * Ampliar el concepto de la curva de daño y especificaciones ANSI de máxima corriente falla soportable por los devanados estáticos de las máquinas. * Ampliar el concepto de la sobrecarga permisible de motores de media y baja tensión que deben cubrir las protecciones de sobrecarga térmica de función 49, así como su enlace coordinado con las protecciones de corto circuito. * Trazar y desarrollar los esquemas de protección de las diversas variantes de motores de 500 a 20,000 HP, tipo síncronos y de inducción, en media tensión. * Trazar en una gráfica de tiempo-corriente los puntos relevantes de corriente que un motor de C.A. presenta en su arranque, a rotor loqueado, a plena carga y en vacío, incluyendo las curvas de tiempo-corriente de las protecciones correspondientes.

Unidad 6: Coordinación de Protecciones por Sobrecorriente

<i>Competencia Específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
Aplica los criterios de coordinación de protecciones por sobrecorriente en un SEP y selecciona los relevadores correspondientes.	<ul style="list-style-type: none"> * Resolver un caso de diseño de protecciones por sobrecorriente en el que se desea coordinar la actuación de relevadores, transformadores de corriente, fusibles * primarios e interruptores secundarios con respecto a posiciones de corriente y tiempo preestablecidos y de acuerdo a las características de los equipos a proteger, entre los cuales pueden intervenir: Transformadores de potencia, alimentadores primarios, buses, generadores, motores de media y baja tensión. * Obtener del estudio: Selección y ajustes de los relevadores, selección de TC's., comprobaciones y/o selección de capacidades de fusibles primarios y secundarios, ajustes de dispositivos de baja tensión. * Trazar la gráfica general de coordinación.

12. FUENTES DE INFORMACIÓN

1. © 2018. DE LORENZO SPA. Printed in Italy. All right reserved. DE LORENZO SPA. V. le Romagna, 20. 20089. Rozzano (MI) Italy. Tel. ++39 02 8254551 - Fax ++39 02 8255181E-mail: info@delorenzo.it Web sites: www.delorenzoglobal.com.

Sistema hidroeléctrico; Sistema eólico; Sistema fotovoltaico; Transformador; Sistema de transmisión; Redes eléctricas inteligentes. Acapulco. 2020.

2. Russell Mason, C., El Arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores, Ed. CECSA, 1998.

3. Enríquez Harper, Gilberto, El ABC de la Protección de Sistemas Eléctricos por Relevadores, Ed. Limusa, México, (1995).

4. Raúl Martín, José, Diseño de Subestaciones Eléctricas, Ed. McGraw-Hill, 1995.

13. PRÁCTICAS PROPUESTAS

1. Pruebas de Relación de transformación, burden, polaridad y saturación.
2. Conexión de un relevador de sobrecorriente a un transformador de corriente y envío de disparo al interruptor.
3. Prueba a relevadores de sobrecorriente electromecánicos. Tipo IAC, CO8.
4. Prueba a un transformador de potencial.
5. Determinación del tiempo de pick-up y drop-out de un relevador auxiliar.
6. Transformadores de corriente auxiliares de relaciones múltiples.
7. Pruebas a relevadores estáticos de sobrecorriente tipo Racid, IKC913.
8. Pruebas a relevadores digitales de sobrecorriente con ajustes por computadora tipo Basler, SEL501, SEL251.
9. Coordinación de protecciones haciendo uso de la hoja logarítmica. Se conectan varios relevadores Racid en cascada.

10. Pruebas a relevador diferencial de transformador tipo BDD y RADSB.
11. Pruebas a protección diferencial de buses tipo PVD, RN23 y RADSS.
12. Pruebas a protección de distancia tipos gcx, quadramho LZ92, RAZOA, MODURES REL316, SEL121 Y 7SA511.
13. Pruebas a protección de líneas de 400 kV tipo PLS.
14. Pruebas automáticas de relevadores por medio de computadora y equipo F2000.