

## 1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	<b>Calidad de la Energía Eléctrica</b>
Carrera:	<b>Ingeniería en Energías Renovables</b>
Especialidad	<b>Gestión de la Calidad de la Energía (IENE – GCE – 2019 – 01)</b>
Clave de la asignatura:	<b>GCF – 1905</b>
(Créditos) SATCA <sup>1</sup>	<b>3 - 2- 5</b>

## 2. Presentación

### Caracterización de la asignatura

La materia pertenece al módulo de especialidad. Se cursa después de haber cubierto el 80% del plan de estudios, en el último semestre, ya que requiere que se tengan adquiridas competencias previas.

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Electricista la capacidad para:

- Planea, diseña, instala y opera sistemas eléctricos, conforme a la normatividad para el desarrollo de proyectos eléctricos eficientes y sustentables.
- Planea, diseña, instala y opera sistemas de control y automatización, utilizando tecnología de punta, para el desarrollo de proyectos eléctricos.
- Analiza y realiza mantenimiento de equipos e instalaciones eléctricas para que las condiciones de operación sean seguras, eficientes y económicas.

El alumno deberá utilizar físicamente los instrumentos de medición que le permitan identificar y medir los parámetros de los fenómenos asociados con la

---

<sup>1</sup> Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

calidad de la energía para que al término del curso pueda seleccionarlos, operarlos e interpretar las mediciones realizadas

Es importante que el estudiante participe en grupos de trabajo para evaluar la calidad de la energía, empleando métodos computacionales en su análisis.

## **Intención didáctica**

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

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

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

El curso está organizado en cinco unidades de aprendizaje.

- En la primera (10 horas), se definen los principales fenómenos que se relacionan con la calidad de la energía eléctrica. De la misma forma, se analizan los principales impactos socioeconómicos asociados a esta problemática.
- En la unidad dos (15 horas), se estudian las Interrupciones y depresiones de voltaje en un sistema eléctrico con la visión general de qué o quién causa esta situación, cómo se mide, qué norma existe, que se causa con su presencia y que soluciones están disponibles.
- En la unidad tres (15 horas), de manera similar al tratamiento de la unidad dos se estudian los sobrevoltajes transitorios en un sistema eléctrico investigando qué o quién causa esta situación, cómo se mide, qué norma existe, que efectos produce en el sistema y que soluciones están disponibles.
- En la unidad cuatro (20 horas), se estudian los armónicos de las señales de voltaje, corriente y potencia en un sistema eléctrico haciendo énfasis de qué o quién causa esta situación, cómo se mide, qué norma existe, que efectos se producen y que soluciones están disponibles.
- La unidad cinco (20 horas) se desarrolla a través de un proyecto de análisis de calidad de la energía por parte del estudiante. En una instalación eléctrica, (puede ser alguna zona del mismo tecnológico) el estudiante propone un plan de análisis, lleva a cabo inspección física, mediciones y realiza conclusiones proponiendo soluciones a los problemas encontrados por él. Esta unidad promueve en el estudiante el trabajo colaborativo y la aplicación del conocimiento general adquirido en el curso.

### 3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Instituto Tecnológico de Veracruz. Enero 16 al 20 del 2012	Academia de Ingeniería Eléctrica	Diseño de la Especialidad en Aplicaciones Industriales dentro del Nuevo Plan de Estudios de Competencias para la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Instituto Tecnológico de Veracruz. Agosto 17 al 21 del 2015	Academias de Ingeniería Eléctrica y Electrónica	Análisis y Rediseño del Módulo de Especialidad.

### 4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Comprende, identifica y analiza los problemas de calidad de la energía en sistemas eléctricos de potencia para proponer las soluciones pertinentes.

### 5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"><li>• Comprende, identifica y aplica los conceptos y leyes fundamentales que se emplean en el análisis en estado permanente de circuitos eléctricos excitados con corriente alterna, con apoyo de herramientas de análisis y simulación.</li><li>• Comprende el principio de operación de los transformadores así como su aplicación dentro de un sistema eléctrico.</li><li>• Utiliza los modelos matemáticos de las máquinas síncronas para simular diferentes condiciones de operación.</li><li>• Obtiene, mediante el modelado correspondiente, las corrientes de corto circuito y condiciones de falla de un SEP, que permitan la toma de decisiones en el diseño y operación del mismo.</li></ul>
---

- Analiza, diseña, simula construye y aplica circuitos eléctricos y sistemas electrónicos, para el control de potencia y conversión de la energía eléctrica para optimizar su uso.
- Proyecta instalaciones eléctricas de manejo y utilización de fuerza, en media y baja tensión, para la utilización en sistemas industriales y de servicios de alto consumo, respetando la normatividad vigente y utilizando paquetes computacionales adecuados.

## 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	<b>Introducción a los problemas de calidad de la energía</b>	1.1 Importancia de la calidad de la energía eléctrica 1.2 Procedimiento de evaluación de la calidad de la energía eléctrica 1.3 Términos y definiciones <ol style="list-style-type: none"> <li>Clases generales de problemas de calidad de la energía eléctrica</li> <li>Transitorios de impulso y transitorios oscilatorios</li> <li>Variaciones de voltaje de larga y corta duración</li> <li>Desbalance en el voltaje</li> <li>Distorsión de la forma de onda</li> <li>Variaciones de la frecuencia</li> </ol>
2	<b>Interrupciones y depresiones de voltaje</b>	2.1 Fuentes generadoras de depresiones e interrupciones 2.2 Estimación del comportamiento de las depresiones de voltaje 2.3 Soluciones a nivel de usuario final 2.4 Depresiones de voltaje producidas por arranque de motores
3	<b>Sobrevoltajes transitorios</b>	3.1 Fuentes de sobrevoltajes transitorios 3.2 Principios y dispositivos de protección contra sobrevoltajes 3.3 Manejo de ferorresonancia
4	<b>Armónicos</b>	4.1 Distorsión armónica de voltaje y corriente

		<p>4.2 Cantidades de sistema bajo condiciones no sinusoidales: Potencia, factor de potencia, Secuencia de fases.</p> <p>4.3 Índices armónicas :THD, TDD, factor k</p> <p>4.4 Fuentes de armónicas</p> <p>4.5 Normatividad sobre armónicas</p> <p>4.6 Efectos de la distorsión armónica</p> <p>4.7 Evaluación de la distorsión armónica</p> <p>4.8 Principios para controlar armónicos</p> <p>4.9 Dispositivos para controlar armónicas</p>
<b>5</b>	<b>Medición de la calidad de la energía</b>	<p>5.1 Planeación de un examen de calidad de la energía</p> <p>5.2 Instrumentos de medición</p> <p>5.3 Interpretación y reporte de un análisis de calidad de la energía</p>

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

Unidad 1: Introducción a los problemas de calidad de la energía	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Expresa correctamente el concepto de calidad de la energía y está informado de la problemática actual que enfrentan los sistemas eléctricos para mejorar el servicio de energía eléctrica.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p><b>Competencias instrumentales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Capacidad de organizar y planificar</li> <li>• Conocimientos básicos de la carrera</li> <li>• Conocimiento de una segunda lengua</li> <li>• Habilidades básicas de manejo de la computadora</li> <li>• Habilidades de gestión de información(habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas</li> </ul> <p><b>Competencias interpersonales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Compromiso ético</li> </ul> <p><b>Competencias sistémicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de investigación</li> <li>• Capacidad de aprender</li> <li>• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)</li> <li>• Liderazgo</li> <li>• Habilidad para trabajar en forma Autónoma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investiga sobre los problemas de calidad de la energía que se enfrentan actualmente</li> <li>• Investigar sobre la normatividad internacional sobre la calidad de la energía eléctrica</li> </ul>
Unidad 2: Interrupciones y depresiones de voltaje	

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Identifica las interrupciones y atenuaciones de voltaje, quien los causa y propone soluciones para disminuir el índice de salidas de los sistemas eléctricos de potencia.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de organizar y planificar</li> <li>• Conocimiento de una segunda lengua</li> <li>• Habilidades de gestión de información(habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas</li> </ul> <p>Competencias interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Compromiso ético</li> </ul> <p>Competencias sistémicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de investigación</li> <li>• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)</li> <li>• Liderazgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar la clasificación y la normatividad internacional que existe de las Interrupciones y depresiones de voltaje, quién los provoca y qué equipo se ven afectados.</li> <li>• Medir depresiones de voltaje en el laboratorio</li> <li>• Simular depresiones de voltaje</li> <li>• Investigar qué equipos se ocupan para proteger por sobretensiones y cómo se selecciona.</li> </ul>
<b>Unidad 3: Sobrevoltajes transitorios</b>	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Identifica el sobrevoltaje, quién lo causa y propone soluciones para regular la operación de los sistemas eléctricos de potencia.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p><b>Competencias instrumentales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Comunicación oral y escrita en su propia lengua</li> <li>• Conocimiento de una segunda lengua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar la clasificación y la normatividad internacional que existe de los sobrevoltajes, quién los provoca y qué equipos se ven afectados.</li> <li>• Medir sobretensiones en el laboratorio</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de gestión de información(habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas</li> <li>• Toma de decisiones.</li> </ul> <p><b>Competencias interpersonales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad crítica y autocrítica</li> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Compromiso ético</li> </ul> <p><b>Competencias sistémicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de investigación</li> <li>• Capacidad de aprender</li> <li>• Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones</li> <li>• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)</li> <li>• Liderazgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simular sobretensiones</li> <li>• Investigar qué equipos se ocupan para proteger por sobretensiones y cómo se seleccionan.</li> </ul>
--	--

**Unidad 4: Armónicos**

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Comprende y utiliza estrategias y herramientas necesarias para reducir el contenido armónico en las señales de tensión y de corriente y las aplica para resolver algunos problemas en la operación de equipos de electrónica de potencia</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p><b>Competencias instrumentales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de análisis y síntesis</li> <li>• Capacidad de organizar y planificar</li> <li>• Conocimientos básicos de la carrera</li> <li>• Comunicación oral y escrita en su</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Investiga sobre la Norma IEEE 519</li> <li>b) Calcula los distintos factores de distorsión armónica</li> <li>c) Hace un análisis de los transformadores con factor K</li> <li>d) Hace una investigación de campo sobre la forma de onda de la respuesta de diferentes carga industriales</li> </ul>

<p>propia lengua</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de una segunda lengua</li> <li>• Habilidades básicas de manejo de la computadora</li> <li>• Habilidades de gestión de información(habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas</li> <li>• Toma de decisiones.</li> </ul> <p><b>Competencias interpersonales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad crítica y autocrítica</li> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Compromiso ético</li> </ul> <p><b>Competencias sistémicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de investigación</li> <li>• Capacidad de aprender</li> <li>• Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones</li> <li>• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)</li> <li>• Liderazgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>e) Hace prácticas de laboratorio para visualizar la respuesta de diferentes cargas eléctricas</li> <li>f) Investiga los efectos que producen las tensiones no sinusoidales en los diferentes equipos eléctricos</li> <li>g) Clasifica los equipos eléctricos de acuerdo a su sensibilidad a problemas de forma de onda</li> <li>h) Evalúa la problemática que se presenta para los diferentes equipos eléctricos al ser excitados por funciones no sinusoidales</li> <li>i) Investiga el fenómeno de resonancia en redes de distribución con capacitores</li> <li>j) Analiza los flujos de corrientes armónicas en un sistema de distribución</li> <li>k) Resuelve problemas analíticamente y utilizando software de flujos de carga con contenido armónico</li> <li>l) Investiga las diferentes alternativas para reducir el contenido armónico.</li> </ul>
--	---

## Unidad 5: Medición de la calidad de la energía

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Planea la forma de realizar un análisis de calidad de la energía, utiliza el equipo de medición adecuado e interpreta resultados para proponer soluciones a problemas de calidad de la energía.</p> <p><b>Genéricas:</b></p> <p><b>Competencias instrumentales</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad de análisis y síntesis</li><li>• Capacidad de organizar y planificar</li><li>• Conocimientos generales básicos</li><li>• Conocimientos básicos de la carrera</li><li>• Comunicación oral y escrita en su propia lengua</li><li>• Conocimiento de una segunda lengua</li><li>• Habilidades básicas de manejo de la computadora</li><li>• Habilidades de gestión de información(habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas</li><li>• Toma de decisiones.</li></ul> <p><b>Competencias interpersonales</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad crítica y autocrítica</li><li>• Trabajo en equipo</li><li>• Compromiso ético</li></ul> <p><b>Competencias sistémicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Habilidades de investigación</li><li>• Capacidad de aprender</li><li>• Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones</li><li>• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar un plan para medir la calidad de la energía en un sistema eléctrico</li><li>• Investiga los diferentes equipos que se emplean para medir la calidad de la energía y cuál es la forma de utilizarlos</li><li>• Investiga cuales son los mejores puntos para hacer mediciones de calidad de la energía en:<ul style="list-style-type: none"><li>- Redes de distribución</li><li>- Instalaciones eléctricas industriales</li></ul></li><li>• Hace prácticas de campo en instalaciones industriales y laboratorio</li></ul>

## 8. Práctica(s)

1. Realizar un diagnóstico a una instalación eléctrica, para determinar los problemas de calidad de la energía
2. Medición corriente de arranque de un motor, y la atenuación del voltaje del sistema eléctrico.
3. Medición de la respuesta de un regulador de voltaje comercial
4. Medición de la sobretensión producida en un circuito LC
5. Medición de la distorsión de la señal de voltaje y de corriente en un sistema eléctrico.
6. Medición de la corriente de alimentación de una PC, y en un centro de cómputo.
7. Medición de señal de voltaje y corriente de entrada y salida de un variador de velocidad por frecuencia
8. Medición del factor de potencia y el factor de desplazamiento en un sistema eléctrico
9. Identificación de la instalación del sistema de tierras y el concepto de tierra aislada en una instalación eléctrica.
10. Mediciones en un área de la institución de los parámetros de calidad de la energía.

## 9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitaria, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.

- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

## 10. Evaluación por competencias

Son las técnicas, instrumentos y herramientas sugeridas para constatar los desempeños académicos de las actividades de aprendizaje.

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

- Evaluación de reportes de investigaciones documentales y experimentales.
- Revisión de tareas de los problemas asignados en forma grupal o individual.
- Evaluar con examen los conocimientos adquiridos en clase.
- Desarrollo de un proyecto de aplicación (proyecto de asignatura).

## 11. Fuentes de información

### Fuentes impresas.

Arrillaga J. and Watson N. Power System Harmonic. Wiley. 2a. edition.(2003)

1. Dugan R.G. Electric Power Quality. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2012.
2. Kusko A. & Thompson M. Power Quality in Electrical Systems. Mc Graw Hill. 2007.
3. De la Rosa F. Harmonics and Power Systems. CRC Press. Taylor & Francis. 2006
4. Sankaran C. Power Quality. Editorial Fairmont. 2003
5. Manzur G.A. Power Quality Measurement and Monitoring. ATP publications/ Fluke. 2009
6. Power Quality solutions Case studies for troubleshooters Ed. Fairmont(2009)
7. Enríquez Harper, G. La calidad de la energía en los Sistemas Eléctricos. Editorial Limusa (2006).
8. Enríquez Harper, G. El ABC de la Calidad. Editorial Limusa (2006).

### Paquetes computacionales sugeridos

1. - MATLAB <https://www.es.mathworks.com/products/matlab/>
- 2.- Harmonics <https://www.harmonicinc.com>
- 3.- PQ Toy <http://www.powerstandards.com/PQTeachingToyIndex.php>
- 4.- HASIP (Univ. De Austin) <https://books.google.com.mx/books?>
- 5.- PSCAD <https://hvdc.ca/pscad/>

### Fuentes electrónicas.

1. <https://ininin.com.mx/servicios/...y.../introduccion-a-la-calidad-de-la-energia-electrica/>
2. <http://www.powerqualityinternacional.com>
3. [https://www.cenam.mx/simposio2008/sm\\_2008/memorias/.../SM2008-S5B2-1188.pdf](https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/.../SM2008-S5B2-1188.pdf)
4. <http://www.calidaddeenergiaelectrica.com/>
5. <http://www.leonardo-energy.org>
6. <http://www.fluke.com/fluke/ares/formacion/demos/default.htm>
7. <http://www.fluke.com/fluke/ares/support/demos/default.htm>