



## Facultad de Ingeniería Comisión Académica de Posgrado

---

### Formulario de Aprobación Curso de Posgrado

**Asignatura:** Calidad de Energía: Conceptos y herramientas para su abordaje  
(Si el nombre contiene siglas deberán ser aclaradas)

---

**Profesor de la asignatura <sup>1</sup>:** Dr. Ing. Mario Vignolo, Gr. 4 IIE  
(título, nombre, grado o cargo, Instituto o Institución)

**Profesor Responsable Local <sup>1</sup>:**  
(título, nombre, grado, Instituto)

**Otros docentes de la Facultad:** Ing. Andrés Cardozo, Gr. 2 IIE, Ing. Virginia Echinope, Gr. 2 IIE, MSc. Ing. Ignacio Afonso, Gr. 3 IIE.  
(título, nombre, grado, Instituto)

**Docentes fuera de Facultad:** MSc. Ing. Gustavo Barbera, Prof. Adjunto, IITREE - Facultad de Ingeniería - UNLP, Argentina, MSc. Ing. Fernando Issouribehere, Prof. Adjunto, IITREE -Facultad de Ingeniería – UNLP, Argentina.  
(título, nombre, cargo, Institución, país)

**Instituto ó Unidad:** IIE  
**Departamento ó Area:** Departamento de Potencia

<sup>1</sup> Agregar CV si el curso se dicta por primera vez.  
(Si el profesor de la asignatura no es docente de la Facultad se deberá designar un responsable local)

---

**Horas presenciales:** 60  
(se deberán discriminar las mismas en el ítem Metodología de enseñanza)

**N° de créditos:** 8  
(de acuerdo a la definición de la UdelaR un crédito equivale a 15 horas de dedicación del estudiante según se detalla en el ítem metodología de enseñanza)

**Público objetivo y Cupos:** Ingenieros Electricistas, estudiantes de posgrado o avanzados de nivel universitario. Cupo mínimo 6, cupo máximo 25 (Actualización y posgrado)  
(si corresponde, se indicará el número de plazas, mínimo y máximo y los criterios de selección. Asimismo, se adjuntará en nota aparte los fundamentos de los cupos propuestos. Si no existe indicación particular para el cupo máximo, el criterio general será el orden de inscripción en el Depto. de Posgrado, hasta completar el cupo asignado)

---

**Objetivos:** Se pretende introducir en los conceptos básicos de la disciplina Calidad de Energía: parámetros usuales para la evaluación y el control del producto técnico y normas internacionales que los regulan, funcionamiento de los sistemas de medición de armónicas y flicker, detección de cargas perturbadoras y técnicas de estudio para evaluación y mitigación de sus emisiones, estimación de emisiones globales de parques eólicos en el punto de acoplamiento común con la red (PAC) a la cual se integran. Al finalizar el curso el alumno deberá de ser capaz de: comprender los principales parámetros que definen la calidad del producto técnico y conocer el funcionamiento y buenas prácticas de uso de instrumentos para medirlos, utilizar técnicas para detección de cargas perturbadoras y estimar emisiones globales en el PAC de un parque eólico.

---

**Conocimientos previos exigidos:** Conceptos fundamentales de las medidas eléctricas y las redes de los sistemas eléctricos de potencia.

**Conocimientos previos recomendados:** Conceptos de Probabilidad y Estadística, Máquinas Eléctricas y, Electrónica de Potencia.

---

**Metodología de enseñanza:**

(comprende una descripción de las horas dedicadas por el estudiante a la asignatura y su distribución en horas presenciales de clase práctica, teórico, laboratorio, etc.- y no presenciales de trabajo personal del estudiante)

- Horas de clase (teórico): 40
- Horas de clase (práctico): 4
- Horas de clase (laboratorio): 4
- Horas de consulta: 8
- Horas de evaluación: 4
- Subtotal de horas presenciales: 60
- Horas de estudio: 40
- Horas de resolución de ejercicios teóricos/prácticos: 20
- Horas proyecto final/monografía:
- Total de horas de dedicación del estudiante: 120

---

**Forma de evaluación:** Examen final escrito

---

**Temario:**

1. Conceptos generales.
  - 1.1 Definiciones generales.
  - 1.2 Compatibilidad Electromagnética.
  - 1.3 Parámetros de Calidad de Servicio regulados.
  - 1.4 Relevancia de los temas de Calidad de Servicio Eléctrico en los sistemas eléctricos de potencia.
  - 1.5 Reglas.
  - 1.6 Normas Internacionales.
  
2. Parpadeo (Flicker):
  - 2.1 Definiciones sobre fluctuaciones de tensión y flicker.
  - 2.2 Cálculo del Pst (Plt).
  - 2.3 Generadores de flicker.
  - 2.4 Efecto del flicker.
  - 2.5 Sensibilidad de los distintos sistemas de iluminación a las fluctuaciones de tensión.
  - 2.6 Niveles de compatibilidad, emisión y susceptibilidad. Normas IEC e IEEE.
  - 2.7 Técnicas de Medición. Flickerímetro. IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30.
  - 2.8 Mitigación del flicker.
  - 2.9 Técnicas de estudio. Modelos empleados para distintos análisis. Uso de herramientas de software para la elaboración de modelos. Presentación de casos prácticos.

3. Armónicas:
  - 3.1 Definiciones.
  - 3.2 Revisión teórica.
  - 3.3 Cargas que generan armónicas. Los nuevos sistemas de iluminación (LFC / LEDs) y la emisión de armónicas.
  - 3.4 Efectos de las armónicas sobre equipos sensibles.
  - 3.5 Niveles de compatibilidad, emisión y susceptibilidad, tanto en redes públicas como en industrias. Normas IEC e IEEE.
  - 3.6 Técnicas de Medición. Transductores. Equipos de medición. Normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-30.
  - 3.7 Medición del Factor de Potencia (FP) en presencia de armónicas. FP distorsionante y no distorsionante.
  - 3.8 Mitigación de las armónicas.
  - 3.9 Técnicas de estudio Modelos empleados para distintos análisis. Uso de herramientas de software para la elaboración de modelos. Presentación de casos prácticos.
  
4. Interrupciones y huecos de tensión:
  - 4.1 Presentación de interrupciones. Definiciones de indicadores.
  - 4.2 Valorización de las interrupciones.
  - 4.3 Niveles de calidad aceptable.
  - 4.4 Sub/sobretensiones (Sags y Swells) temporarias.
  - 4.5 Microinterrupciones ("Huecos" de tensión).
  
5. Detección de cargas perturbadoras:
  - 5.1 Métodos para la determinación de responsabilidades sobre caídas, flicker y armónicas.
  - 5.2 Aplicación de la Res ENRE 99/97 de uso en Argentina.
  - 5.3 Presentación de casos.
  
6. Efectos de la Inserción de Generación Eólica en la Calidad del Servicio Eléctrico:
  - 6.1 Emisiones individuales típicas de flicker y armónicas, para aerogeneradores de velocidad variable con topologías eléctricas DFIG y Full Converter.
  - 6.2 Norma IEC 61400-21.
  - 6.3 Métodos de estimación global de emisiones de un parque eólico.
  - 6.4 Modelado de Parques Eólicos para evaluar la Calidad del Servicio Eléctrico.
  - 6.5 Efectos de la incorporación de generación eólica en flicker y armónicas.
  - 6.6 Presentación de casos. Mediciones en campo.

**Bibliografía:**

(título del libro-nombre del autor-editorial-ISBN-fecha de edición)

- [1] "Power System Harmonics". J. Arrillaga, N.R. Watson, 2003 John Wiley & Sons, Ltd. Second Edition. ISBN: 0-470-85129-5.
- [2] "Signal Processing of Power Quality Disturbances". Math H.J. Bollen and Irene Y.H. Gu, IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc., 2006. ISBN: 13-978-0-471-73168-9.
- [3] "Understanding Power Quality Problems". Voltage Sags and Interruptions. Math H.J. Bollen, IEEE Press, P.M. Anderson Series Editor. ISBN: 0-7803-4713-7.
- [4] "Electrical Power Systems Quality". Roger C. Dugan, Mark F. Mc Granaghan, Surya Santoso and H. Wayne Beaty. Second Edition. Mc Graw Hill, 2004.
- [5] "Power quality". C. Sankaran. CRC Press, 2002. ISBN 0-8493-1040-7.
- [6] "Power Quality in Electrical Systems". Alexander Kusko and Marc T.Thompson. McGraw Hill 2007.
- [7] "Improvement in the Quality of Delivery of Electrical Energy using Power Electronics Systems". Grzegorz Benysek. Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-648-3.
- [8] "Power Electronic Converter Harmonics". Derek A. Paice. IEEE Press, ISBN: 0-7803-1137-X, 1995.
- [9] "High-Power Converters and AC Drives". Bin Wu. New Jersey: John Wiley and Sons, 2006. ISBN: 978-0-471-73171-9.
- [10] "Modern Power Electronics and AC Drives". Bimal Bose. Prentice Hall PTR, 2002. ISBN: 0-13-016743-6.

**Datos del curso**

---

**Fecha de inicio y finalización: Segundo semestre**

**Horario y Salón:**

---