

# Experiencia en el Desarrollo de Cursos de Grado y Posgrado en Radiometría y Fotometría y de Diseño de Sistemas de Iluminación

Luis Diego Marín Naranjo, Juan Ramón Rodríguez Solera

Escuela Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica  
Ciudad de la Investigación, Apartado Postal 11501-2060, San José, Costa Rica.  
lmarin@eie.ucr.ac.cr

## RESUMEN

La formación profesional en el tema de la iluminación en interiores y exteriores se complementa con el control de calidad ofrecido por la fotometría, para la verificación de la iluminación en las zonas diseñadas con base en normas locales e internacionales utilizando equipos de medición calibrados. Se presentan las experiencias logradas en cursos de grado y posgrado desarrollados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica. Se describen los temarios y lista de buenas prácticas de laboratorio en cursos de fotometría y radiometría a nivel de grado y posgrado que complementan mediciones de ensayo y calibración de iluminancímetros en el Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser. Además se describe el temario y alcance del curso de diseño de iluminación, las visitas de campo y uso de programas de cómputo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La iluminación, vista desde la temática de la salud ocupacional, resulta en un factor ambiental que puede determinar una condición segura y confortable durante la ejecución de una labor determinada, o convertirse en una condición de riesgo, de inseguridad y de pérdida de la salud física y mental. Los parámetros que establecen cuales son los niveles seguros de iluminación han sido planteados en una larga serie de estudios científicos y posteriormente, definidos claramente en las normas nacionales e internacionales que son de acatamiento obligatorio en los diferentes países.

El tema que vincula el diseño de la iluminación y la fotometría no se cubría antes del año 2007 en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica en cursos de grado ni de posgrado.

Se pensó en crear cursos que brindan a los participantes los fundamentos técnicos de un proceso de diseño de sistemas de iluminación en general, con base en el estudio de las técnicas de cálculo y aspectos cuantitativos utilizando los fundamentos de la fotometría.

El interés se centró en temas que cubren los conceptos científicos de la fotometría y el color, la percepción visual, las normas aplicables, los sistemas de iluminación artificial y natural, la transferencia de radiación óptica diurna y nocturna, las características de lámparas y luminarias, los dispositivos de control, las técnicas de conservación de energía y los métodos de diseño de iluminación.

Se complementa con problemas y casos de diseño basado en programas especializados y mediciones prácticas de laboratorio.

Esto brinda una base sólida para continuar otros estudios en el tema. En este trabajo presentamos la experiencia en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica (UCR), con el desarrollo de una serie de cursos enfocados al tema de la normalización en el campo de la iluminación.

## 2. ANTECEDENTES

El 7 de Febrero de 2006, se publica en el diario oficial "La Gaceta", de la república de Costa Rica, el reglamento: "Norma Técnica del Seguro de Riesgos del Trabajo". El ente encargado de la administración de este reglamento viene a ser el Instituto Nacional de Seguros (INS). Esto por mandato del Art. 205 del Código de Trabajo, que es la norma superior en esta materia y de acatamiento obligatorio para la regulación de las relaciones entre patronos y trabajadores ahí donde se den, dentro de los límites del territorio. Adicionalmente en dicho reglamento se establece que:

"La protección al trabajador tiene su principio jurídico en la Constitución Política de Costa Rica, donde se establece que el trabajo es un derecho del individuo y una obligación con la sociedad".

Establece que todo patrono debe adoptar en su empresa las medidas necesarias para la higiene y seguridad del trabajo, y que el seguro de riesgos del trabajo será de su exclusiva cuenta y se registrará por condiciones especiales.

Por tal motivo, dentro de la jerarquía de normas, se integra lo dispuesto en los artículos 56, 66, 73 y 74 de la Constitución Política de Costa Rica.

“Como un hecho anterior a la publicación del citado reglamento, el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) había publicado la norma INTE-31-08-06-00 en el año 2000, denominada: “Niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo”.

El reglamento publicado, cita a la norma INTECO en su Art. 5.1:

“Las normas técnicas homologadas a través del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), sobre Salud Ocupacional y Sistemas de Gestión Preventiva de los Riesgos Laborales, son documentos de referencia aplicables a la gestión preventiva en salud ocupacional, procesos, métodos y prácticas seguras de trabajo, personas y sistemas; cuyo fin es apoyar el mejoramiento continuo de las condiciones y medio ambiente de trabajo.

El Instituto las podrá adoptar como parámetro de evaluación de condiciones de salud ocupacional, en complemento o ausencia de un Reglamento existente sobre el particular, y promoverá su implementación, con independencia de que esta se acredite o no por parte de la empresa, cuando existan las condiciones para ello”.



Fig. 1. Conocimientos para la serie de cursos en Radiometría & Fotometría y Diseño de Iluminación.

Esto determinó que algunos profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica plantearan la necesidad cubrir aspectos de la fotometría y radiometría y las normas para diseño de iluminación. Se consideró impartir dos cursos que serían consecutivos. Primero un curso de Radiometría y Fotometría donde se adquieren los conocimientos necesarios sobre los fundamentos físicos del espectro electromagnético, los conceptos

metrologicos y las normas. Luego un curso sobre los fundamentos del diseño de sistemas de iluminación en edificios, donde el cual el estudiante aprende las técnicas del diseño de iluminación interior y exterior, con aplicación de criterios para el cumplimiento de las normas. La interacción de estos aspectos puede verse en la Fig. 1.

### 3. CURSO DE GRADO EN RADIOMETRÍA Y FOTOMETRÍA

El tema de la Radiometría y Fotometría fue iniciada en curso formal en el programa de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica en el año 2004. Actualmente el curso esta constituido de la siguiente forma.

- Generalidades: curso electivo en Licenciatura en Ingeniería Eléctrica en general para brindar fundamentos profesionales en la práctica del diseño.
- Requisito: IE-1071 Diseño eléctrico industrial 1.
- Créditos: 3.
- Horas: cuatro horas de teoría más dos horas de práctica por semana.
- Objetivo general: aprender conocimientos fundamentales de radiometría y fotometría aplicados al control de calidad en el manejo de la radiación óptica y la luz.
- Objetivos específicos: al finalizar el curso los estudiantes estarán en capacidad de:
  - Conocer los fundamentos de radiometría y fotometría.
  - Aprender las características prácticas de fuentes y detectores de radiación óptica.
  - Comprender las características de diseño de radiómetros y fotómetros y su calibración.
  - Usar las normas aplicables en metrología, fotometría y el diseño de iluminación.
- Metodología: clases magistrales con base en el material suministrado por el profesor y reforzado con prácticas de laboratorio a realizarse en LAFTLA (Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser Aplicada). Los estudiantes estudian la materia, refuerzan con material adicional los temas cubiertos y se evalúa con exámenes, tareas, exámenes cortos y reportes. Además se realizarán un trabajo de desarrollo sobre un tema asignado.
- Referencias utilizadas para el curso [1 - 14]
- Temario:
  1. Conceptos de sistema internacional de unidades: ISO 31:0, ISO 31:6, RTCR-26:2000.
  2. Conceptos fundamentales de radiometría: repaso de radiación óptica, convenciones, terminología, notaciones de longitud de onda y ángulo sólido, definiciones

fundamentales, radiadores lambertianos y ley de coseno de Lambert, relaciones de radiancia, irradiancia, intensidad y flujo, teoría electromagnética, polarización y flujo de fotones.

3. Conceptos fundamentales de fotometría: teoría de la luz, definiciones fotométricas, intensidad luminosa, luminancia y brillo, luminancia y visión, molestia por resplandor, iluminación e iluminancia, casos y hojas de datos.
  4. Cuerpo negro y otras fuentes de radiación óptica: radiación de cuerpo negro, ley de Planck, ley de desplazamiento de Wien, eficacia luminosa de radiación de cuerpo negro, color y distribución de temperatura, ley de Stefan-Boltzmann, intercambio de radiación, aproximación experimental de cuerpo negro, otras fuentes prácticas de radiación óptica, casos.
  5. Detección de la radiación óptica: conceptos básicos, clasificación de detectores, ruido de detección, modulación de señal y recortado de radiación, caracterización de desempeño del detector, acondicionamiento de flujo antes del detector, acondicionamiento de señal después del detector, calibración del detector, casos.
  6. Radiómetros y fotómetros: factores generales de diseño, medidores de irradiancia y radiancia, medidores de iluminancia y luminancia, calibración de fotómetros, casos.
  7. Normas y metrología en radiometría y fotometría: sistema internacional de unidades, unidades de fotones, normas CIE, normas ISO, norma nacional INTECO.
- Prácticas de laboratorio:
    - Práctica 1: medición básica de radiación óptica con radiómetro y fotómetro.
    - Práctica 2: medición de flujo de radiación óptica polarizada.
    - Práctica 3: medición con goniofotómetro básico.
    - Práctica 4: práctica con espectrofotómetro 1.
    - Práctica 5: práctica con espectrofotómetro 2.
    - Práctica 6: práctica de espectralradiometría con espectrómetro.
    - Práctica 7: práctica de espectralradiometría con monocromador.
    - Práctica 8: medición de la curva  $V(\lambda)$ .
    - Práctica 9: medición de flujo, iluminancia e intensidad luminosa.
    - Práctica 10: medición de potencia óptica con LED y fotodetector.

- Práctica 11: medición absoluta de potencia óptica con Láser.
- Práctica 12: medición de iluminancia en diversos casos aplicando normas.

El curso lo preparó e imparte el M. C. Luis Diego Marín Naranjo, profesor catedrático de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica. Está en proceso de asignación de siglas. Lo han llevado 50 estudiantes desde el año 2005. El Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser Aplicada está en desarrollo para mantener patrones ópticos de radiometría y fotometría para Costa Rica, Fig. 2.



Fig. 2. Vista del laboratorio de Radiometría y Fotometría (LAFTLA).



Fig. 3. Detalle de banco fotométrico y patrones para Radiometría & Fotometría (LAFTLA).

El curso lo han aprobado en los últimos tres años un 98 % de estudiantes. Los estudiantes están en el último año de grado y deben haber aprobado el curso de Diseño eléctrico industrial.

#### 4. CURSO DE POSGRADO EN FOTOMETRÍA Y DISEÑO DE ILUMINACIÓN

- Objetivo general: aprender los conceptos fundamentales de la fotometría aplicados al diseño de iluminación eficiente tanto diurna como nocturna.
- Objetivos específicos: al finalizar el curso los estudiantes estarán en capacidad de:
  - Aprender los fundamentos de la fotometría aplicados a iluminación.
  - Aprender las características prácticas de fuentes de luz para iluminación.
  - Entender las características de cálculos y diseño de iluminación.
  - Aplicar las normas aplicables en fotometría y en el diseño de iluminación.
- Metodología: clases magistrales utilizando el material escrito suministrado por el profesor, el cual se basa en la bibliografía, apoyadas con simulaciones de computadora y reforzadas con prácticas de laboratorio realizadas en el Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser Aplicada. Los estudiantes estudian la materia de los temas cubiertos y esta se evalúa con exámenes, tareas, exámenes cortos y reportes prácticos de laboratorio.
- Temario:
  1. Normas relativas a fotometría e iluminación: ISO 31:6, RTCR-26:2000, normas CIE, norma INTE 31-08-06-2000.
  2. Fundamentos de fotometría: física de la luz, el color y la visión, curvas de distribución, conceptos de fotometría.
  3. Equipos y sistemas de iluminación: conceptos fotométricos de fuentes de luz (incandescentes, fluorescentes, descarga de alta intensidad, LED), luminarias.
  4. Cálculos de iluminación: determinación de la iluminación, fotometría para determinación de la calidad y cantidad de iluminación, repaso de método de cavidad zonal, método de punto, casos.
  5. Diseño de iluminación: costo de la iluminación, proceso de diseño, consideraciones de diseño, desarrollo de diseño, documentación, montaje y realización, mediciones de iluminación.
- Referencias utilizadas para el curso [1 - 14]

Este curso lo diseñó e impartirá el M. C. Luis Diego Marín Naranjo, profesor catedrático de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica. Las siglas asignadas son PF-2135 con 3 créditos. Se impartirá por primera vez en el primer ciclo del año 2009.

Las prácticas se realizarán en el Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser Aplicada que está en desarrollo para mantener patrones ópticos para radiometría y fotometría para el país, Fig. 3.

#### 5. CURSO DE GRADO EN DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

##### 5.1. Aspectos Metodológicos

El curso de diseño de sistemas de iluminación fue incluido en el programa de Licenciatura, como materia optativa, teniendo como requisito el curso de Radiometría y Fotometría y adicionalmente, el curso Diseño Eléctrico Industrial 1, Fig. 4. Se tiene entonces que los estudiantes que aspiran a llevar este curso, serían aquellos que tienen una base tanto en los conceptos fotométricos, como en el campo del diseño de edificios.



Fig. 4. Aspectos metodológicos.

##### 5.2. Recursos Tecnológicos para el Curso

Al igual que los demás cursos de nuestra escuela, se dispone de un recurso llamado Claroline con el cual se diseña una página web<sup>1</sup> para manejar la información general del curso. En esta página los estudiantes deben suscribirse, y con esto se establece un medio de comunicación directa entre estudiantes y profesores, en el cual se pueden intercambiar materiales, tareas, mensajería, etc. Además se cuenta con una sala de microcomputadores para uso exclusivo de los estudiantes, en sus trabajos de este y otros cursos.

##### 5.3. Referencias para el Curso

Las referencias utilizadas para el curso son las que se listan para este mismo artículo, de la 15 a la 19.

##### 5.4. Relación con la Industria

El curso ha contado con la colaboración de la industria instalada en el país, que ha aportado materiales y recursos humanos, a nivel de charlas

<sup>1</sup>[www.eie.ucr.ac.cr/cursos/claroline/course/index.php?cid=IE1103\\_001](http://www.eie.ucr.ac.cr/cursos/claroline/course/index.php?cid=IE1103_001).

técnicas y talleres de capacitación sobre el software, que posteriormente se usa en los talleres de diseño. Asimismo algunos estudiantes de este curso han sido invitados a realizar pasantías para su posterior contratación. Se cuenta con LAFTLA para la medición y calibración de equipos.

**5.5. Técnicas de Diseño Asistido por Computadora**

Se cuenta con el programa Dialux, y anteriormente se usó el Relux. Ambos son programas de licencia libre y son promovidos en la Comunidad Económica Europea como una herramienta de diseño de iluminación, que es financiada por la industria de la iluminación, a condición de que sus productos sean incluidos en las bibliotecas del programa y sean usados por los diseñadores en sus trabajos.

**5.6. Talleres de Diseño**

La evaluación del curso se hace enteramente examinando el trabajo de los estudiantes en talleres de diseño, con proyectos de diseño reales, de modo que los estudiantes tengan una experiencia de aprendizaje que simula vivamente lo que posteriormente será su propia experiencia profesional. El diseño solicitado en los talleres se basa en la norma de INTE-31-08-06-00.

**5.7. Visitas de Campo**

Una actividad ha sido la de las visitas de campo, donde los estudiantes pueden constatar las condiciones físicas de edificios con distintos usos y verificar a través de mediciones, si en sus distintas áreas se cumplen determinadas condiciones dictadas por la norma, o incluir datos más realistas en sus proyectos de taller. En Fig. 5 se describen las distintas actividades del curso.



Fig. 5. Visita de campo a BNCR.

**5.8. Ejemplo de Taller de Diseño**

Un ejemplo de una actividad de taller se presenta con el diseño de iluminación de la Biblioteca Nacional de Costa Rica (BNCR) se presenta en las

Figs. 6 a 8. En este caso las autoridades de la BNCR solicitaron la colaboración de la Universidad de Costa Rica en un proyecto de remodelación que se llevaría a cabo. Así los arquitectos de la BNCR aportaron los archivos electrónicos en Autocad del edificio, y una serie de parámetros técnicos de diseño.

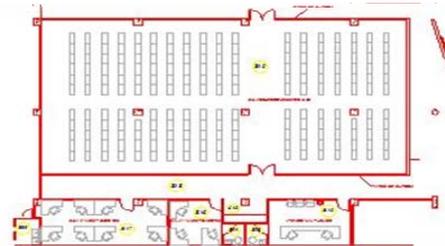


Fig. 6. Distribución Biblioteca Nacional (Sótano).



Fig. 7. Simulación en 3D de sótano, lograda con el programa Dialux.

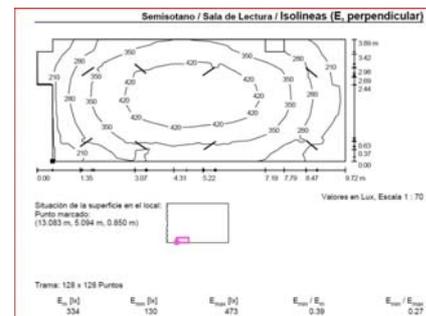


Fig. 8. Diagrama de isolíneas de distribución espacial de niveles de iluminación en el sótano

Este curso lo brinda el Ing. Juan Ramón Rodríguez Solera profesor adjunto de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica. Las siglas del curso son IE-1103. Se impartió en esta modalidad por primera vez en el primer ciclo del año 2007. Este curso lo han tomado en total a la fecha unos 75 estudiantes. El porcentaje de aprobación ha sido un 95 %.

## 6. CONCLUSIONES

Los cursos han tenido muy buena aceptación tanto en los participantes como en la industria. Los cursos preparan a los profesionales ya graduados con la realidad nacional ya que conocen de conceptos prácticos, salud ocupacional, diseño y normalización. En fotometría se familiarizan con el proceso metrológico antes desconocido y los preparan para la industria. Además conocen de la necesidad de calibrar sus equipos de medición. El uso del equipo de radiometría y fotometría existente en LAFTLA incluye lámparas, Láseres, detectores, medidores y equipos optomecánicos para la aplicación metrológica apropiada.

Está en proceso la creación de un laboratorio de iluminación para aplicación de las normas.

## AGRADECIMIENTOS

Universidad de Costa Rica  
FUNDEVI  
Ministerio de Ciencia y Tecnología de Costa Rica

## REFERENCIAS

- [1] McCluney R. *Introduction to radiometry and photometry*, Artech House, Boston, 1994.
- [2] DeCusatis C. Editor, *Handbook of applied photometry*, AIP Press, OSA, New York, 1998.
- [3] Murdoch J. B. *Illumination engineering*, Visions Communications, York, PA, 1994.
- [4] Lindsey J. L. *Applied Illumination Engineering*, Fairmont Press Publication, New Jersey, 1991.
- [5] A. Ryer, *Light measurement handbook*, International Light, New Jersey, 1997.
- [6] Bennett. C. A., *Principles of physical optics*, John Wiley, New York, 2008.
- [7] Brooker G. *Modern classical optics*, Oxford, New York, 2003.
- [8] Oriel instruments, *The book of photon tools*, Oriel company manual, 1998.
- [9] PASCO Scientific, *Spectrophotometer system*, Pasco manual, 1998.
- [10] ISO 31-6. (1992). Quantities and units – Part 6: Light and related electromagnetic radiations. ISO, International Organization for Standardization. Ginebra, Suiza.
- [11] ISO 31-0. (1992). Quantities and units – Part 0: General principles. ISO, International Organization for Standardization. Ginebra, Suiza.
- [12] National Research Council (NRC) Canada. *Summary of lectures: Photometry, radiometry & colorimetry*, Ottawa, Canada, INMS NRC, 2002.
- [13] Material de referencia de cursos cortos Radiometría, Espectroradiometría y Fotometría en NIST y CENAM.
- [14] Reglamento Técnico Costa Rica RTCR 26:2000. Metrología y unidades de medida, Decreto 660 MEIC, San José, Costa Rica.
- [15] Materiales técnicos suministrados por Sylvania SLI Costa Rica y apoyo para el programa Dialux.
- [16] Luminotecnia. Enciclopedia Ceac de Electricidad.
- [17] Norma costarricense de iluminación en interiores INTE-310806-2000.
- [18] AMERICAN ELECTRICIAN'S HANDBOOK. DIVISION 10: ELECTRIC LIGHTING.
- [19] <http://edison.upc.edu/curs/llum/>