

## **Prototipo para la medición de flujo luminoso basado en los principios de la esfera integradora.**

F. Martínez Vargas<sup>i</sup>, J.G. Pérez Muñoz<sup>ii</sup>, R. Nava Carvantes<sup>iii</sup>, M.A. García Hernández<sup>iv</sup>.

Instituto Tecnológico de Puebla.

Avenida Tecnológico No. 420, Col. Maravillas, C.P.72220.

Puebla, Pue., México.

[fmtzvargas@gmail.com](mailto:fmtzvargas@gmail.com), [jpm104@yahoo.com.mx](mailto:jpm104@yahoo.com.mx), [rodrigo-nava@hotmail.com](mailto:rodrigo-nava@hotmail.com), [gaheman@hotmail.com](mailto:gaheman@hotmail.com)

### **RESUMEN**

En este artículo se presentan los resultados del desarrollo de un prototipo para la medición del flujo luminoso en fuentes de luz artificial basado en los principios de la esfera integradora. Este prototipo es uno de los equipos didácticos propuestos en el programa de auto-equipamiento del laboratorio de luminotecnia del Instituto Tecnológico de Puebla en México, y forma parte de las acciones que pretenden dar respuesta al Programa para la Reforma de la Educación Superior Tecnológica al cual fueron convocados los institutos tecnológicos de educación pública del país. Este fotómetro didáctico fue desarrollado para la evaluación de fuentes de luz artificial de pequeñas dimensiones, tal es el caso de lámparas automotrices y LED's de alta intensidad, utilizando para su construcción materiales de bajo costo, pero que por su calidad ofrezca la posibilidad de obtener los resultados de un modelo comercial. Esto permite la reproducción inmediata del modelo en los institutos tecnológicos del país que en su oferta educativa incluyen la carrera de Ingeniería Eléctrica, contribuyendo con esto al desarrollo de tecnología propia de alta confiabilidad.

### **ABSTRACT**

In this paper the results of the development of a prototype for measurement of the luminous flux in artificial light sources are presented, based on the principles of the integrating sphere. This prototype is one of the proposed didactic sources proposed for the self-equipment program in the illumination laboratory in the Technological Institute of Puebla in Mexico, and it is part of the actions that pretend to give an answer to the Technological Superior Education Program, where all the Technological Institutes of Public Education were called. This didactic photometer was developed for the artificial light sources evaluation of small dimensions, such as automotive lamps and LED's of high intensity, using for its construction low-cost materials, but with such a quality that offers the possibility of achieving the results of a commercial model. These characteristics allows the immediate reproduction of the of the model in the Technological Institutes of the country that offer Electric Engineering, collaborating this way to the development of high confiability own technology.

### **Introducción.**

La Dirección General de Educación Superior Tecnológica dependiente de la Secretaría de Educación Pública en México, atendiendo al encargo sectorial, marcado en el Programa de Modernización Educativa y en el Programa para la Reforma de la Educación Superior Tecnológica, de elevar la calidad de la educación a través de acciones que permitan la evaluación de los contenidos y la generación de métodos educativos que permitan que los estudiantes vinculen lo aprendido con su entorno, ha venido desarrollando, el Programa de Revisión Curricular de los planes y programas de las carreras que imparte. De este Programa se han sucedido acciones tales como:

La elaboración de las guías mecánicas en laboratorios y el proyecto de auto-equipamiento.

En el transcurso de los trabajos de este Programa, ha quedado manifiesta la preocupación por cambiar las maneras de enseñar, romper con los métodos tradicionales que propiciaban la pasividad de los estudiantes y promover la participación de éstos en procesos de aprendizaje más activos, que los enfrenten a problemas de la realidad y puedan ver la trascendencia de los conocimientos que van adquiriendo para su futuro desempeño profesional. Esta propuesta pretende rescatar la importancia de las prácticas en la formación académica de los futuros egresados del Sistema y la posibilidad de desarrollar actividades de investigación experimental y generar aprendizajes consistentes, en éste ámbito de la

creación y recreación del conocimiento científico y tecnológico, buscando con ello imprimir en la mente del estudiante, el valor de la investigación en su formación profesional.

Es importante reconocer que no es suficiente que el estudiante aprenda sólo conocimientos que fueron producidos en el pasado, que son los que obtiene a través de los libros o cursos tradicionales. Al estudiante le gustaría saber que está aprendiendo la ciencia y la tecnología que se están desarrollando y entender cómo se aplican en su entorno social.

Los contenidos aprendidos en los libros, de algún modo, dejan de ser funcionales poco tiempo después de que los estudiantes empiezan a ejercer como profesionales. Es más importante que estos aprendan, cómo se obtienen los conocimientos, cómo se llega a tener la información, a través de la investigación, con el estudio de fuentes significativas, dónde aprender los avances más recientes. Es para enseñar esto, donde adquiere su verdadero sentido la vinculación de la investigación con el aprendizaje.

Como consecuencia de la revisión curricular al plan de estudios de la carrera en Ingeniería Eléctrica, que actualmente forma parte de la oferta educativa del Instituto Tecnológico de Puebla, se incluyó como parte del módulo de especialidad en “Instalaciones Eléctricas” la asignatura de Proyectos de Iluminación con un valor de 10 créditos, es decir que además de 4 sesiones de una hora en el aula, se ofrece una sesión semanal de 2 horas en laboratorio. La propuesta del propio programa para esta materia ha presentado el reto de incluir en el mismo, una batería de prácticas que permitan que el alumno con una nueva actitud orientada a la investigación refuerce los conocimientos significativos de la misma.

La necesidad de mantener a la vanguardia los conocimientos ofrecidos en nuestras instituciones, exige de las mismas una actualización constante en cuanto al equipo existente en los laboratorios, esto no puede aplicarse a todas las áreas del conocimiento ya que los costos por concepto de adquisición del equipo harían incooperables algunas de nuestras carreras.

Ante los nuevos retos del proceso cognoscitivo en las instituciones de educación tecnológica que consideran que la generación de conocimientos es un proceso que conjunta la reflexión teórica con el estudio de la práctica, por el camino de la investigación, se presenta la

valiosa posibilidad de unir los esfuerzos del maestro y los estudiantes en el desarrollo de las prácticas de laboratorio y el auto-equipamiento de los mismos, propiciando la creatividad en ambos.

El laboratorio de Iluminación en el Instituto Tecnológico de Puebla que ofrece el programa de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, actualmente cuenta con un “Fotómetro de Celda Móvil controlado por computadora”, que cabe señalar fue desarrollado por estudiantes de la misma carrera a través de un proyecto de desarrollo tecnológico similar al aquí expuesto, que permite a los estudiantes de la asignatura entender y experimentar el comportamiento de la luz emitida por las diferentes fuentes de luz artificial, llámese lámparas o luminarias de tamaños moderados.

Entre los conceptos que se estudian se encuentran: La curva de distribución luminosa en fuentes de luz artificial en sus formas rectangular y polar, la clasificación de lámparas y luminarias de acuerdo a criterios propuestos por comités especializados de organizaciones internacionales, el flujo luminoso emitido, la intensidad luminosa media esférica, la altura de montaje recomendable, la relación del Espaciamiento/Altura de montaje (S/HM) o criterio de espaciamiento de las luminarias para interiores y el coeficiente de utilización. Sin embargo, para complementar el análisis de las fuentes de luz artificial y completar el entendimiento de los conceptos que se consideran como mínimos en las normas mexicanas para pruebas de fuentes de luz artificial (NMX), así como para la presentación de Fichas Fotométricas se requiere complementar el Fotómetro con otros equipos, que cabe señalar, se recomienda no sean adquiridos sino desarrollados por los propios estudiantes

Uno de los equipos propuestos para la medición del flujo luminoso y la evaluación de las características de reproducción cromática y aspecto del color de las fuentes de luz artificial es la esfera integradora. Se presenta entonces la posibilidad de poner en marcha un proyecto de desarrollo tecnológico que permita además, el auto-equipamiento del Laboratorio de Iluminación, así como la inclusión de prácticas que contemplen procedimientos normalizados para la obtención de los parámetros antes señalados.

El amplio contenido del programa de estudios en cuanto a Fotometría y Colorimetría

exigió un análisis previo exhaustivo sobre el método más idóneo y accesible para implantarse en el laboratorio de Iluminación, que no sólo atendiera la problemática práctica propuesta, sino que ubicara a la investigación como un método real de aprendizaje en la formación del estudiante. En este sentido, cabe aclarar que la investigación, como actividad del estudiante se relaciona con aquellos procesos de aprendizaje que utilizan conceptos, métodos y técnicas de la investigación como formas de aproximación al conocimiento, al aprendizaje significativo. Es una forma de introducir al estudiante al quehacer de la indagación, con esto se busca que éste conozca los criterios que guían la selección de un problema práctico para su tratamiento, su significación e interpretación.

## **Desarrollo de la Propuesta.**

### **Objetivos.**

Generalmente se concibe a la investigación como un proceso de indagación y descubrimiento que nos permite conocer y explicar una porción importante y significativa de la realidad; Este proceso no es fortuito, siempre tiene una intención y un sentido, productos de la necesidad de vincularse objetivamente con la realidad y comprender de una manera racional, el complejo mundo que nos rodea, en la investigación se estudian situaciones, se relacionan hechos y fenómenos y se analizan comportamientos; de modo, que el objeto de conocimiento cada vez adquiere mayor complejidad y precisión, el proceso de conocimiento, como aproximación sucesiva a la realidad, se da en un escenario en el que el sujeto toma parte de esa realidad y la atiende a través de la investigación, como primer objetivo del presente proyecto, se propuso equipar al laboratorio con un prototipo desarrollado en la propia institución que le permita al estudiante mantener una actitud permanentemente activa y no pasiva y mecanicista, auxiliado de la computadora que con software también desarrollado en el presente proyecto de investigación le permita comprobar en cualquier momento los resultados de sus experiencias.

El equipamiento propuesto se desarrolló de manera tal que como segundo objetivo se sugirió se armara un prototipo con asistencia de alumnos del propio instituto, propiciando la creatividad de los mismos alentando la participación de ellos en el Concurso Nacional de Creatividad del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos del país. En este trabajo, la creatividad juega un papel

importante ya que da la posibilidad de inventar y descubrir. Implica un dominio previo de conocimientos que serán sometidos por el sujeto que investiga a cuestionamientos diversos, a la duda, a la búsqueda de precisión y a la apertura a distintas posibilidades.

Puesto que el primer objetivo sugiere la posibilidad de auxiliar en todo momento al estudiante a través de la comprobación del resultado de sus experiencias en el laboratorio mediante el uso de la computadora, como tercer objetivo se propuso el desarrollo de software. En el proceso de investigación están presentes permanentemente los procedimientos lógicos de la inducción, deducción, análisis y síntesis. Se pueden desarrollar, tanto en el complejo, que no incomprensible, mundo del científico, como en el ámbito académico del maestro y del estudiante, evidentemente con distintos propósitos; en el primer caso para hacer avanzar la ciencia y la tecnología en la explicación y comprensión de sus diferentes objetos de estudio y trabajo y, en el segundo caso, para hacer posible el desarrollo de experiencias de aprendizaje significativas en la formación del estudiante.

Un cuarto y último objetivo fue el proponer y desarrollar para la guía de prácticas de la asignatura de “Proyectos de Iluminación” un bloque de al menos tres prácticas de laboratorio que complementen su programa.

### **El flujo luminoso (unidades y definiciones).**

La Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002[1] “Sistema General de Unidades de Medida”, basada en las resoluciones y acuerdos que sobre el Sistema Internacional de Unidades (SI) se tuvieron en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) -hasta su 21a. Convención realizada en 1999- señala como cantidad fotométrica fundamental a la *intensidad luminosa*, expresada en candelas. La Tabla 1. “Nombres, símbolos y definiciones de las unidades SI de base” de esta norma define a la *candela* (cd) como: “*La intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz y cuya intensidad energética en esa dirección es  $1/683$  watt por esterradian [16a. CGPM (1979), Resolución 3] [1]*”, la tabla 2 de la misma norma define al esterradian como “*el ángulo sólido que tiene su vértice en el centro de una esfera y que intercepta sobre la superficie de esta esfera una área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera (ISO-R-31/1)*”, mientras que el watt es

una unidad derivada, expresada en la tabla 4 de la misma NOM-008, como 1 J/s (energía por unidad de tiempo).

Dos cantidades o medidas importantes de la luz basadas en la candela son las correspondientes al *flujo luminoso* y la *iluminancia*. Para entender estos dos términos y su relación con la intensidad luminosa, se considera a una fuente de energía luminosa ubicada en el centro de una esfera, con superficie interna de reflectancia cero, a dicha fuente se le puede denominar “fuente puntual” y se considera que irradia energía luminosa uniformemente en todas direcciones. Para una esfera cuyo radio es de una unidad (cm, m, etc.), cualquier área de una unidad cuadrada ( $\text{cm}^2$ ,  $\text{m}^2$ , etc.) sobre la superficie de la esfera, abarca un ángulo sólido de un esterradian (que puede representarse por un cono). Si se considera que la intensidad luminosa de la fuente es de 1 cd en cualquier dirección, al flujo radiante que incide sobre la porción de superficie antes señalada se denomina flujo luminoso.

La unidad del flujo luminoso es el lumen (lm), y se define como la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie de magnitud igual a una unidad cuadrada, proveniente de una fuente puntual de una candela ubicada al centro de dicha esfera. Nótese que la cantidad de flujo luminoso que incide sobre la superficie interna de la esfera es independiente del tamaño de la misma. Para una esfera de radio uno, se puede demostrar por geometría, que el área de la esfera es igual a  $4\pi$  unidades cuadradas, el flujo luminoso producido por una fuente puntual de 1 cd será de  $4\pi$  lm.

El flujo luminoso de una fuente de luz artificial se puede obtener por medición en un fotómetro de esfera por comparación con una lámpara patrón de flujo luminoso. Al hacer la medición, la fuente de luz y la lámpara patrón se colocan sucesivamente en el mismo lugar en la esfera integradora. La iluminancia indirecta en la superficie de la esfera se toma como la medida del flujo luminoso.

#### **Métodos de medición del flujo luminoso.**

El flujo luminoso de una fuente de luz artificial (sean lámparas o luminarias) se puede obtener por diferentes métodos, entre los que se pueden destacar los siguientes: A partir de la distribución de la intensidad luminosa o bien la distribución de la iluminancia, estas mediciones se pueden obtener empleando un goniófotómetro; y a partir de mediciones

fotométricas o espectrales obtenidas en una esfera integradora.

Si bien el laboratorio de luminotecnia del Instituto Tecnológico de Puebla cuenta con un goniófotómetro didáctico que permite caracterizar fuentes de luz artificial (lámparas o luminarias) de tamaños reducidos (hasta 50 cm de diámetro), se considera que el cálculo del flujo luminoso a partir de la distribución de la intensidad luminosa no es un método apropiado para caracterizar lámparas desnudas, ya que los errores al determinar la distribución de la intensidad luminosa se transfieren al cálculo del flujo luminoso. Entre los errores en la medición de la intensidad luminosa se pueden mencionar: La inexactitud del equipo de medición; la consideración de amplitudes angulares inadecuadas; sombras de las propias fuentes de luz, las partes mecánicas del goniófotómetro y los soportes; y la variación del voltaje durante el proceso de medición.

La emisión luminosa de una fuente de luz obtenida a través de un fotómetro de esfera se hace por comparación con el flujo luminoso de una lámpara patrón. Al hacer la medición, la fuente de luz y la lámpara patrón se colocan sucesivamente en el mismo lugar en la esfera integradora. La iluminancia indirecta en la superficie de la esfera se toma como la medida del flujo luminoso. La lámpara patrón puede obtenerse solicitando al Centro Nacional de Metrología (CENAM) la calibración de diferentes bombillas, quien realiza la medición del flujo luminoso de éstas empleando una esfera integradora.

Este método permite, además de obtener el flujo luminoso por contraste, evaluar la distribución de la potencia espectral, la temperatura del color de la fuente y el índice de reproducción cromática de la misma.

#### **La esfera integradora, principios de funcionamiento.**

El principio de medición en una esfera integradora está basado en la integración espacial del flujo radiante generado dentro de la esfera y que puede ser percibido por un detector fotométrico. Cuando una lámpara se coloca en el centro de la esfera cuya superficie interna posee un recubrimiento con una alta reflectancia  $\rho$  la energía luminosa que la lámpara emite se refleja un gran número de veces en su superficie interna y en consecuencia la iluminancia  $E_v$  generada en cualquier punto resulta ser proporcional al flujo luminoso  $\Phi_v$  emitido por la lámpara (ecuación 1):

$$\Phi_v = \frac{4\pi r^2(1-\rho)E_v}{\rho} \quad (\text{ecuación 1})$$

Esta expresión no es válida cuando la superficie de la esfera no es perfectamente uniforme; sin embargo, debido a las múltiples reflexiones de la luz dentro de la esfera, la distribución de la luz reflejada sí será lo suficientemente uniforme para permitir la suposición asumida en la ecuación 1. Si se aplica esta teoría a las mediciones de flujo luminoso total de una lámpara, entonces se asume que el detector debe recibir solamente la luz reflejada por las paredes de la esfera; y por consecuencia se vuelve necesario bloquear la incidencia directa de la luz hacia el detector mediante una pantalla. Se puede definir entonces un factor al que se le conoce como "factor de esfera" de la siguiente forma (ecuación 2):

$$k = \frac{4\pi r^2(1-\rho)}{\rho} \quad (\text{ecuación 2})$$

En la práctica, el valor de  $k$  se puede obtener a partir de una fuente patrón de flujo luminoso conocido  $\Phi_N$ , midiendo la iluminancia  $E_N$  de esta lámpara en la esfera integradora (ecuación 3).

$$k = \frac{\Phi_N}{E_N} \quad (\text{ecuación 3})$$

Sustituyendo  $k$  de la ecuación 3 la ecuación 1 se puede determinar el valor del flujo luminoso de una lámpara bajo prueba al medir la iluminancia de ésta en la esfera integradora (ecuación 4).

$$\Phi_v = \frac{\Phi_N}{E_N} E_v \quad (\text{ecuación 4})$$

El fotómetro está constituido por: Una esfera hermética que no permite la entrada de luz desde el exterior, cuya superficie interior es teóricamente difusa perfecta; un poste o soporte para la fuente bajo prueba; un portalámparas que permita la conexión de la fuente al exterior, un baffle o pantalla y su soporte; y la celda o detector de un luxómetro calibrado (ver figura 1).

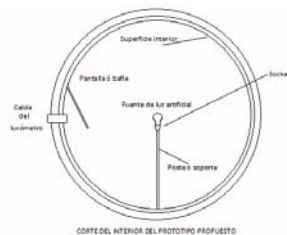


Figura 1. Esquema general de una esfera integradora.

## Diseño y fabricación del prototipo.

El diseño y fabricación de una esfera integradora requiere del cálculo y selección de algunos parámetros básicos. Entre éstos se incluyen: El diámetro óptimo de la esfera, basado generalmente en el número y el tamaño de las aberturas portuarias y de los dispositivos periféricos, además del tipo y tamaño de las fuentes de luz que pretendan evaluarse en ella; las características de la capa interna, que habrá de considerar su gama espectral; el uso de baffles con respecto a la radiación de la luz incidente y al campo visual del detector o celda del luxómetro; así como del alcance en medición que se pretenda dar a la esfera (aspectos cromáticos de las fuentes de luz o sólo fotométricos).

1. Dimensiones. La Commission Internationale de l'Eclairage o Comisión Internacional en Iluminación de la Comunidad Europea, conocida mundialmente por sus siglas como la CIE, recomienda que para las lámparas fluorescentes tubulares, el diámetro de la esfera debe ser de por lo menos dos veces la dimensión más larga de la lámpara y que para lámparas compactas el diámetro de la esfera debe ser por lo menos de diez veces la dimensión más grande de la lámpara [2]. En el caso que nos ocupa, se propuso un diámetro de 24 cm, lo cual nos remite a la posibilidad de evaluar lámparas compactas de hasta 2.4 cm.

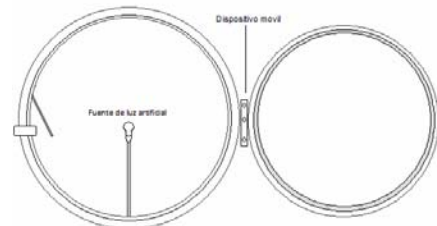


Figura 2. Esfera integradora de 24 cm de diámetro.

2. Materiales y superficie interna. El material propuesto para la construcción del cuerpo de la esfera fue la fibra de vidrio.

El significado estricto de la frase "fibra de vidrio" hace referencia a una especie de entelado realizado a partir de diminutos hilos de vidrio entrelazados entre sí generando una malla o trama. El origen del término proviene del idioma inglés "fiber glass" y ha sido adoptado en forma casi textual en el idioma español. Los hilos de vidrio se obtienen mediante el paso -en forma industrial- de vidrio líquido a través de una pieza resistente con pequeños orificios conocido como "espinerette". Luego se deja enfriar o solidificar logrando que el producto

final permanezca con flexibilidad suficiente como para poder entretejerlo y formar una malla o tela.

La fibra de vidrio es conocida con el símbolo GF (glass fiber) o GFK. Su densidad es 1.6 en tanto que la resistencia en relación a la tracción es de 400 a 500 N/mm. Entre las características de este material se pueden mencionar las siguientes: Excelente aislante térmico, inerte a numerosas sustancias incluyendo los ácidos, gran maleabilidad y altamente resistente a la tracción.



Figura 3. Etapas en la construcción del cuerpo de la esfera.

Mientras el exterior de la esfera se recubrió con pintura automotriz color azul, el interior requirió de mayor atención. Las esferas comerciales incluyen diferentes capas de pintura en aerosol de sulfato de bario y de capas embalsadas de PTFE, tal es el caso de las marcas Spectralon®, Spectrafect®, Duraflect™, e Infragold™. En nuestro caso, se recurrió únicamente a la aplicación de cinco capas de pintura atomizada de sulfato de bario en color blanco hasta alcanzar un espesor de 2 mm. Posteriormente se pulió con lija de agua hasta obtener una superficie difusora mate.



Figura 4. Etapas en la pintura interna y externa de la esfera

3. Bafle y Soporte. Es conveniente montar una pantalla o bafle dentro de la esfera integradora, de manera que ninguna luz directa desde la fuente pueda alcanzar la cabeza del fotómetro. Es recomendable que esta pantalla tenga la mayor reflectancia posible y que sea de naturaleza no selectiva y difusa, por lo que se utilizó también fibra de vidrio para su construcción con un terminado en pintura atomizada de sulfato de bario blanco en cinco capas pulida hasta lograr un acabado difuso mate.



Figura 5. Etapas construcción y acabado del bafle.

Con la finalidad de darle rigidez y facilidad en la operación al conjunto, se propuso la construcción de una base de hierro estructural sujeta a la esfera en las pestañas destinadas para ese fin.

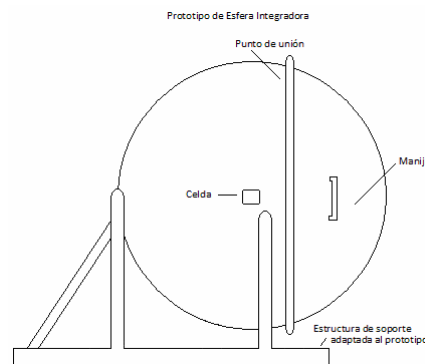


Figura 6. Estructura de sujeción de la esfera.

4. Lámpara patrón. Para la operación de la esfera se requiere de una lámpara patrón de flujo conocido similar a la que se pretende evaluar. Esto es necesario considerando la

medición se realiza bajo el principio de sustitución, ambas bombillas, la fuente patrón y la lámpara bajo prueba, deben cubrir las siguientes características: La misma dimensión y forma, la misma distribución espectral y la misma distribución de luz espacial. Si la fuente de luz por medir y la bombilla patrón se diferencian en una o más de estas propiedades, entonces pueden incurrir en errores de medición.

La influencia de las diferentes distribuciones espectrales se puede eliminar, pero solamente cuando se den detalles completos de la respuesta espectral del equipo de medición (incluida la cabeza del fotómetro y la pintura de la esfera) y las distribuciones de la potencia espectral de la fuente de luz medida y del patrón. Es posible corregir la influencia de las diferentes dimensiones y formas mediante el uso de una bombilla auxiliar (aún no incluida en este prototipo).

La mayoría de patrones de flujo luminoso corresponden a las bombillas incandescentes, pero se pueden usar como patrones otros tipos de bombillas. Es recomendable emplear al menos 3 bombillas patrón para calibrar los patrones de trabajo para uso diario. La calibración de los patrones de trabajo con las 3 bombillas patrón se debe repetir a intervalos apropiados, de esta forma, se puede detectar fácilmente un cambio en alguno de los patrones [3].

Para el prototipo se obtuvo el flujo luminoso de una bombilla automotriz de 15 w, 12 v en corriente directa, caracterizada en el Centro Nacional de Metrología en México (CENAM).

5. Programa de cómputo. Con la finalidad de facilitar los cálculos, se desarrolló un programa de cómputo que permite la obtención del flujo luminoso, la eficacia y eficiencia de la fuente bajo prueba, además de la impresión de los resultados del ensayo. Este programa se desarrolló en Visual Basic V5.0 y se intituló Spectral Wizard<sup>MR</sup> Ver. 1.2



Figura 7. Pantallas de acceso a Spectral Wizard<sup>MR</sup>.

6. Modelo final. El modelo incluye un luxómetro calibrado, un voltímetro calibrado y una fuente regulada de CA/CD.

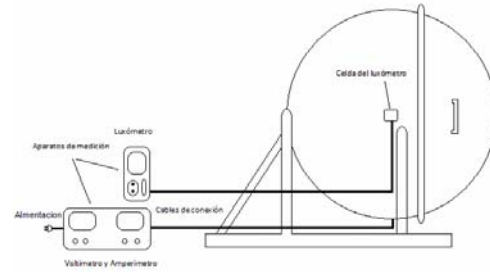


Figura 6. Prototipo para la medición del flujo luminoso, modelo final.

## Conclusiones

Si bien el desarrollo de tecnología propia en instituciones de educación pública no es una tarea sencilla, la participación entusiasta de los estudiantes le hace una actividad atractiva, de retos y compromisos que se ven cristalizados al constatar que los equipos resultan de gran utilidad en los procesos de enseñanza-aprendizaje en los laboratorios y las aulas de nuestros planteles. Con la investigación como forma de acceso al conocimiento, el estudiante comprende la vinculación entre la teoría y la práctica, y toma conciencia de los aportes al conocimiento científico y tecnológico, proveniente de diversos campos disciplinarios, que se integran en la indagación de un problema de la realidad y en el desarrollo de un campo profesional.

El prototipo para la medición de flujo fue presentado en el Concurso Nacional de Creatividad del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica en su etapa regional obteniendo el segundo lugar en el área de Ingeniería Eléctrica, logrando con ello el pase a la etapa Nacional a celebrarse el próximo año en la ciudad de Veracruz, Veracruz, México.

## Referencias:

[1] Secretaría de Economía. “Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida”. Diario Oficial de la Federación 24-Oct-2002.

[2] Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). *CIE 84-1989 "The Measurement of Luminous Flux"*. 1ra edition. CIE. Viena, Austria. 1989.

[3] Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). *"Lighting Handbook, Reference and Application"*. 8th edition. Publications Department IESNA, New York, 1995.



i El M.C. Felipe Martínez Vargas es Ingeniero Industrial Electricista egresado del ITPuebla y Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial con especialidad en Sistemas de Calidad graduado en el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador adscrito a la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Puebla, México, en donde además colabora como responsable del área de desarrollo en iluminación. Es Miembro del Cuerpo académico "Tecnologías para la Evaluación Ergonómica de Factores Ambientales en Entornos Laborales", es Agente Capacitador Externo de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social con registro número MAVF5911101G0-0005, y participa como miembro activo del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas de Puebla, A.C., y de la Sociedad de Ergonomistas de México, A.C.



ii El M.C. Jaime Guadalupe Pérez Muñoz es Ingeniero Industrial Mecánico egresado del ITOzizaba y Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial con especialidad en Manufactura graduado en el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador adscrito a la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Puebla, México. Es Miembro del Cuerpo académico "Tecnologías para la Evaluación Ergonómica de Factores Ambientales en Entornos Laborales", es Agente Capacitador Externo de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social con registro número PEMJ601212FU2, y participa como miembro activo de la Sociedad de Ergonomistas de México, A.C.



iii Rodrigo Nava Carvantes es Técnico Medio Superior en Electricidad graduado en el Centro de Estudios de Bachillerato Industrial y de Servicios No. 16 y es estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Puebla, México, cursa actualmente el noveno semestre y forma parte del grupo de desarrolladores de equipo didáctico para el laboratorio de luminotecnia de la institución.



iv Marco Antonio García Hernández es estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Puebla, México, cursa actualmente el noveno semestre y forma parte del grupo de desarrolladores de equipo didáctico para el laboratorio de luminotecnia de la institución.