

# Construcción de medidor de potencia óptica de alta exactitud para fibras ópticas

**Héctor A. Castillo-Matadamas**

Centro Nacional de Metrología, Dirección de óptica y radiometría  
*hcastill@cenam.mx.*

**Luis F. Demeneghi-Diaz**

Centro Nacional de Metrología, Dirección de óptica y radiometría

**Juan M. Ortiz-Meléndez**

Centro Nacional de Metrología, Dirección de óptica y radiometría

**Zeus E. Ruiz-Gutiérrez**

Centro Nacional de Metrología, Dirección de óptica y radiometría

**Juan C. Molina-Vázquez**

Centro Nacional de Metrología, Dirección de óptica y radiometría

## Resumen

En este trabajo se describe el diseño y la implementación de un medidor de potencia óptica – MPO – para uso en el área de fibras ópticas de telecomunicaciones. El dispositivo opera en el intervalo de longitud de onda de 950 nm a 1 650 nm usando un fotodiodo de arseniuro de indio-galio – InGaAs – y su respuesta en potencia fue linealizada de 0.07 mW a 0.70 mW. El ingreso de haz de luz se realiza por medio de fibra óptica de telecomunicaciones y la medición está basada en un fotodiodo estabilizado en temperatura, amplificador de transimpedancia, amplificación de tensión, conversión digital y comunicación inalámbrica de datos operada por microcontrolador. El prototipo descrito fue probado como referencia de medición de potencia acoplada a fibra en

condiciones de laboratorio de metrología con incertidumbre de medición inferior a 2.2% para las longitudes de onda de 1 310 nm, 1 550 nm y 1 625 nm.

**Palabras claves:** metrología, medición de potencia óptica, fibras ópticas.

## 1. Introducción

La industria de las telecomunicaciones se ha convertido en uno de los motores de la sociedad. Cada día se identifican más actividades que se apoyan fuertemente en este sector. Para el desarrollo económico y social de los países es tal la importancia de esta industria, que es evidente la ventaja que presentan las naciones con una industria de las telecomunicaciones competitiva y madura, con respecto a las naciones que carecen de ella.

México no ha querido quedarse atrás y en los últimos años su entorno de mercado ha mostrado ya altos niveles de concentración y crecimiento. Aunque la mayoría de los servicios aún se encuentran concentrados en un agente, servicios como la telefonía fija, telefonía celular y banda ancha, son ya suministrados también por otros operadores reduciendo la diferencia que en el mediano plazo podría resultar en un reequilibrio de fuerzas.

La adopción de servicios de telecomunicaciones de calidad en México está condicionada por factores como la disponibilidad de equipos versátiles y adecuados, la cobertura del servicio y las capacidades de los usuarios. Dichos factores pueden tener consecuencias importantes sobre el crecimiento de los mercados y el futuro de la industria.

Por lo tanto, para continuar con el desarrollo sostenido que se ha estado dando en estos últimos años y aumentar la calidad en los servicios, se requiere que los sistemas electrónicos y ópticos de comunicación con los que cuenta el país sean sistemas confiables y trazables al Sistema Internacional de Unidades – SI – empleando como referencia patrones nacionales [1].

El medidor de potencia óptica – MPO – es el instrumento que se encarga de medir la intensidad luminosa de una señal óptica. Este instrumento se utiliza para medir la pérdida de energía durante la transmisión, controlar la potencia del láser en la generación de una señal óptica y evaluar la electrónica de un receptor de señales en el campo de las telecomunicaciones.

El MPO se compone básicamente de un detector de semiconductor – tales como Si, Ge o InGaAs – que transforma la luz en corriente eléctrica, un control de temperatura, un amplificador de transimpedancia y un convertidor que cambia de una señal en tensión eléctrica a una señal digital.

En este trabajo se presentan los primeros resultados de la fabricación y caracterización metrológica de un MPO desarrollado en el laboratorio de Potencia Óptica de CENAM. Este prototipo tiene como objetivo en su versión final el emplearse como patrón de referencia en mediciones de potencia óptica teniendo un costo inferior y alcanzando características metrológicas similares de las que se ofrecen actualmente en el mercado.

## **2. Desarrollo**

El prototipo del medidor de potencia óptica – MPO – fue diseñado considerando algunos requerimientos metrológicos importantes que fueron obtenidos de la experiencia en el uso y calibración de MPO's y fuentes láser en el laboratorio de fibras ópticas del CENAM, entre los requerimientos integrados en el diseño del instrumento están los siguientes:

- I. Operación para intervalo de longitud de onda entre 900 nm y 1 650 nm, con lo que se pueden evaluar las fuentes láser usadas en telecomunicaciones como por ejemplo en fibras monomodo a longitud de onda de 1 310 nm, 1 550 nm y 1 625 nm.
- II. Incertidumbre de medición menor o igual a 2.2% alcanzada para cada valor de calibración a las longitudes de onda de 1 550 nm y 1 625 nm ampliamente utilizadas en el ámbito de comunicación por fibra óptica.

- III. Compensación del detector por temperatura para mejorar la reproducibilidad de los valores de fotocorriente producidos aún en condiciones de laboratorio.
- IV. Es necesario incluir receptor de fibra para conector tipo FC/PC y medición de haz libre para permitir su calibración directa con fuentes láseres y radiómetro criogénico.
- V. Posibilidad de que la electrónica de acondicionamiento de señal del fotodetector, estabilización térmica y comunicación sea incluida en la cabeza del sensor para evitar un cable de datos-control desde un módulo externo. Con la comunicación de datos en forma inalámbrica también se evitan plataformas dedicadas.

### **Operación de prototipo**

El concepto general que considera los requerimientos indicados está plasmado en el siguiente esquema:

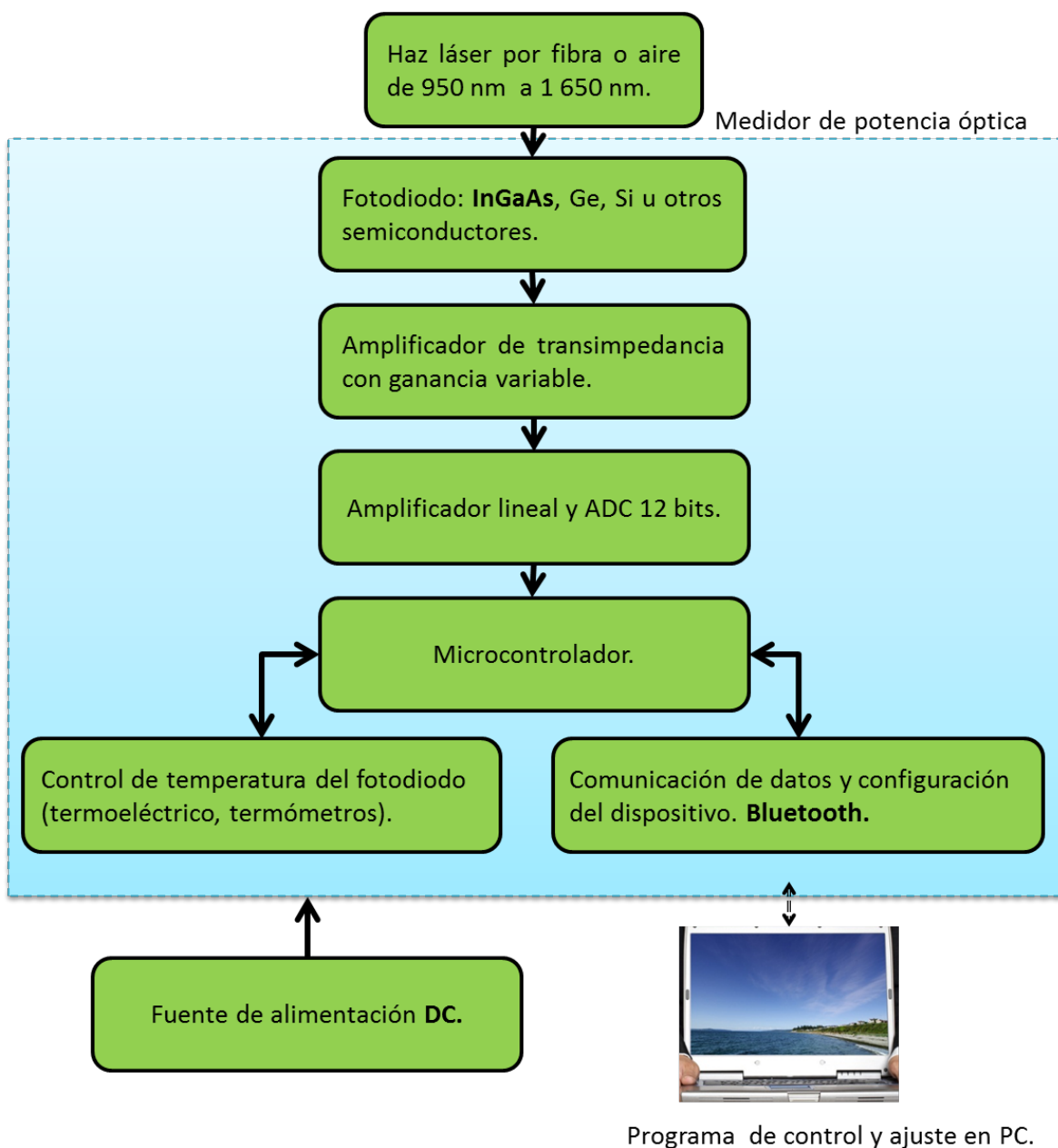


Fig. 1. Concepto general de diseño para el MPO.

Para asegurar la calibración del instrumento al nivel de exactitud adecuado, es necesario que pueda ingresar un haz láser en aire para realizar la calibración por medio de comparación contra patrones de alta exactitud, por ejemplo radiómetros piroeléctricos o bien radiómetro criogénico, en ambos casos el procedimiento de medición requiere de un

haz láser estabilizado con potencia máxima de 2 mW, incidiendo directamente sobre la superficie del detector. Sin embargo para su uso en laboratorio, el instrumento debe incorporar conector a fibra óptica con un haz de luz del mismo diámetro que el haz usado para calibración a fin de obtener valores de irradiancia semejantes y acercar el procedimiento de calibración al procedimiento de uso del instrumento; el diámetro del haz de luz debe ser calculado o medido en la posición de la superficie del sensor semiconductor [2].

Es altamente deseable que una cabeza de medición de un MPO sea fácil de instalar, ligera y con el mínimo de cables, por lo cual una sola tensión eléctrica de alimentación proveniente de una fuente conmutada es una solución adecuada para proveer la potencia eléctrica requerida para la operación del dispositivo. En este caso el diseño consideró el uso de una fuente de 19 V a 4 A para la operación del MPO.

### **Diseño e implementación del prototipo**

En la Fig. 2 se observa la fotografía del prototipo construido, el MPO está constituido por un cuerpo cilíndrico como el mostrado, ensamblado a partir de dos secciones; la longitud total del instrumento es de 190 mm con un diámetro de 50 mm. La sección frontal contiene la tapa con conector FC para fibra óptica y puede ser retirada para la medición con haz libre. Esta sección del instrumento contiene al fotodiodo de InGaAs; que ha sido montado a un ángulo de 5 grados respecto a la incidencia del haz infrarrojo proveniente de la fibra óptica. Este montaje evita que la luz reflejada por la ventana de protección del fotodiodo incida en la fibra óptica afectando la estabilidad de la fuente láser.

La base del fotodiodo está colocada sobre un disipador térmico que es enfriado o calentado a fin de mantenerlo a una temperatura constante. El disipador térmico cambia su temperatura por medio de un dispositivo termo eléctrico – Peltier – el cual disipa al cuerpo del instrumento.



**Fig. 2. Imagen del prototipo de medidor de potencia óptica.**

La segunda sección del prototipo contiene las tarjetas electrónicas para el acondicionamiento, amplificación y digitalización de la señal del fotodiodo y adicionalmente la comunicación inalámbrica para la transferencia de datos del instrumento. La tapa posterior de esta sección contiene el único conector eléctrico del instrumento, en el cual se conecta la fuente de alimentación o bien la posible conexión a batería externa. El cuerpo cilíndrico cuenta con orificio para fijación de tornillo/poste para soportar el medidor en un pedestal adecuado para su utilización en laboratorio.

El MPO se comunica por medio de una conexión Bluetooth a una PC con el programa de control y captura del dispositivo. El programa para la PC puede modificar los valores del control de temperatura y los parámetros de medición para ajustar los valores de integración interna del muestreo de datos, el promedio de las lecturas de potencia realizadas y habilitar/deshabilitar los algoritmos de control digital automático de temperatura. Los parámetros de operación y medición son almacenados en una memoria no volátil del instrumento y el usuario no requiere interacción con estos parámetros para el uso convencional.

En la Fig. 3 se muestra la interface de usuario del programa de control y captura del instrumento, el MPO inicia su operación sin la intervención del programa conectando la

fuente de alimentación al conector en el instrumento. La comunicación con el programa de lectura se realiza a petición de la PC y tiene un consumo mínimo de potencia eléctrica menor de 5 W con el control de temperatura deshabilitado.

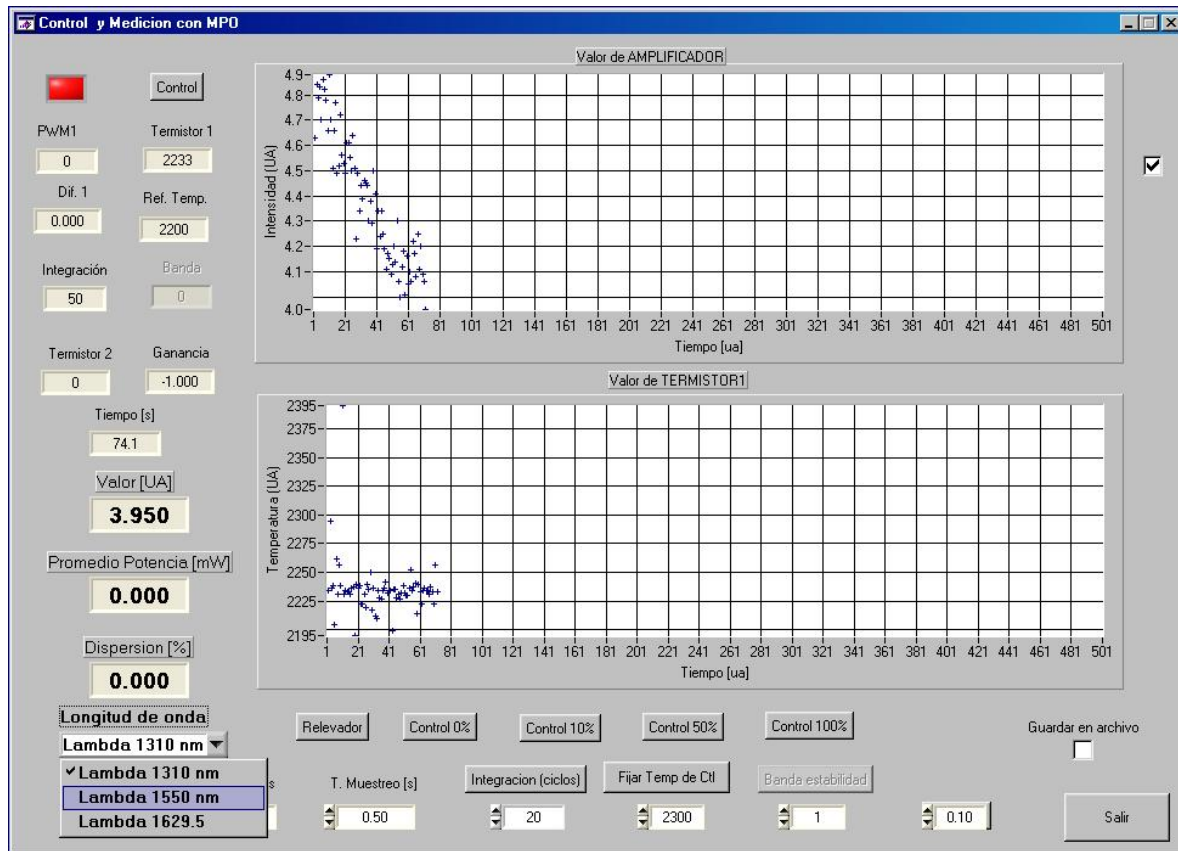


Fig. 3. Programa de operación y control del MPO.

Durante el proceso de calibración del instrumento se realizó el ajuste requerido para la interpretación de las unidades arbitrarias provenientes del convertidor analógico digital. Se consideró importante que el algoritmo o función de ajuste de las unidades se realizara en el programa de la PC debido a que cualquier modificación de la programación del microcontrolador del instrumento queda fuera del alcance del usuario, no así las modificaciones en archivo o tablas de datos que pueden ser ajustados por el usuario con los datos posteriores a una calibración.



Los resultados obtenidos para la linealidad de potencia a 1 550 nm se muestran en la Fig. 4. Los datos fueron adquiridos para un intervalo de potencia de 0.07 mW a 0.70 mW usando una fuente de fibra óptica de laboratorio con especificación de bajo ruido, durante el proceso de medición se compararon los datos usando un patrón secundario para medición de potencia óptica trazable al patrón nacional del flujo radiante del CENAM.

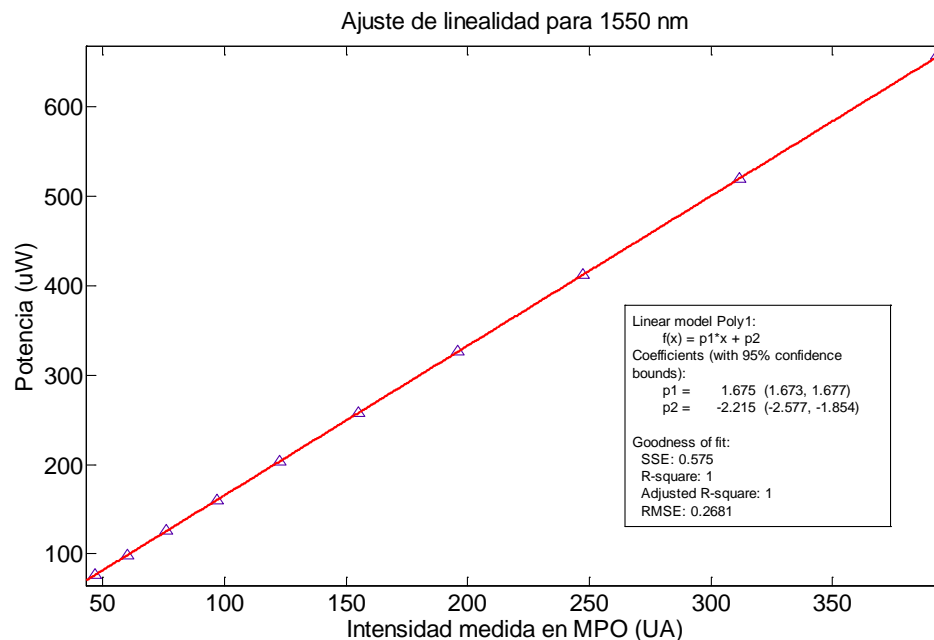


Fig. 4. Función lineal de ajuste de potencia del MPO para 1 550 nm.

Nota: Dado que las especificaciones del detector óptico utilizado [3, 4] reportan alta linealidad para potencias menores a los 2 mW, no es necesario realizar el ejercicio de linealidad en potencia a las longitudes de onda de trabajo de 1 310 nm y 1 625 nm.

### 3. Incertidumbre de medición

Dentro de los requerimientos considerados, la incertidumbre de medición es la especificación de mayor demanda para el diseño y está relacionada directamente con el nivel de ruido conseguido del sensor semiconductor y etapa de amplificación, la linealidad de respuesta en potencia y finalmente el ajuste numérico para la conversión a unidades a potencia absoluta – función lineal de la Fig. 4. En la tabla 1 se muestra una estimación de la incertidumbre de medición del instrumento considerando únicamente su respuesta final incluyendo el ajuste a la función de conversión de unidades [5, 6].

En la calibración del instrumento se observa que la fuente de incertidumbre que domina es la repetibilidad asociada a los niveles de ruido del semiconductor-amplificador, lo cual se puede reducir mejorando los filtros incluidos en hardware o mejorar la integración numérica realizada por el microcontrolador – filtro digital – durante la adquisición de datos de medición. La incertidumbre de calibración mostrada en la tabla 1 es menor al objetivo de 2.2% y consistente con la incertidumbre requerida para un instrumento secundario de laboratorio.

Magnitud	Fuente	Incertidumbre Relativa	Tipo de Distribución	Incertidumbre Estandar relativa %	Contribución porcentual	
Mediciones	Repetibilidad de las mediciones	0.96%	tipo A, normal	0.96%	0.960%	
Patrón	Calibración del patrón	0.11%	tipo B, normal/ k=2	0.06%	0.055%	
	Uniformidad espacial	0.20%	tipo B, rectangular	0.06%	0.058%	
	Resolución	0.00%	tipo B, rectangular	0.00%	0.001%	
MPO	Resolución del MPO	0.29%	tipo B, rectangular	0.08%	0.084%	
	Variación en longitud de onda	0.00%	tipo B, rectangular	0.00%	0.000%	
	Temperatura del instrumento	0.08%	tipo B, rectangular	0.02%	0.024%	
	Geometría y tamaño de Haz	0.40%	tipo B, rectangular	0.23%	0.231%	
	Estabilidad Potencia de la fuente	$\lambda = 1\ 550\ \text{nm}$		tipo B, rectangular	0.29%	0.289%
				<b>Incert. combinada</b>	<b>1.04%</b>	
<b>Incert. expandida k=2</b>				<b>2.07%</b>		
			Pot. de referencia ( $\mu\text{W}$ )	99.35		

Tabla 1. Estimación de la incertidumbre de calibración.

#### 4. Resumen de especificaciones técnicas alcanzadas

En la tabla 2 se muestra un resumen de las especificaciones técnicas alcanzadas con el prototipo del medidor de potencia óptica implementado.

Especificación	Valores
Intervalo de calibración del medidor de potencia óptica:	1310 nm a 1625nm
Fotodiodo (sensor).	InGaAs hamamatsu G8370-05.
Escalas de ganancia para conversión amplificador de transimpedancia:	$10^3 V \cdot A^{-1}$ y $10^4 V \cdot A^{-1}$
Estabilización del MPO:	Por temperatura con intercambiador termoelectrico y sensores de temperatura.
Conversión analógica digital:	12 bits ADC con referencia a 5 V.
Alimentación del dispositivo:	19 V, 4A corriente directa.
Comunicación externa:	Inalámbrica vía Bluetooth a pc o dispositivo móvil.
Tamaño de la cabeza de medición:	Cilindro de 50 mm de diámetro y 190 mm de largo.
Incertidumbre de medición(1310nm, 1550nm, 1625 nm)	2.1 % de la escala.

**Tabla 2. Resumen de especificaciones.**

## 5. Conclusiones

En el presente trabajo se demuestra la operación adecuada y caracterización metrológica del diseño propuesto para los diversos módulos que conforman un medidor de potencia óptica. El prototipo que fue construido ha probado su operación, teniendo ventajas funcionales con respecto a modelos comerciales, como son la operación simple con un amplificador de transimpedancia, etapa de amplificación y digitalización de la señal contenidos dentro de la cabeza de medición, así como la comunicación de datos inalámbrica y su reducido tamaño sin requerir de un módulo o plataforma dedicada.

Las pruebas y calibraciones realizadas al instrumento permitieron estimar sus límites de operación y confirmaron que la incertidumbre de medición en las longitudes de onda calibradas es menor al 2.2% con alta linealidad en potencia óptica.

El esquema de medición y bloques funcionales planteados pueden ser aplicados para diversos detectores basados en semiconductor lo que amplía la región espectral que puede ser cubierta con este tipo de dispositivos. Adicionalmente el costo de construcción es muy inferior a los modelos comerciales y con alto valor agregado por la posible adquisición, procesamiento y análisis de datos en forma remota incluso con posibilidad simple de migrar a mediciones por medio de dispositivos móviles.

## 6. Referencias

- [1] Norma IEC 61315 "Calibration of fiber- optic power meters". Second edition 2005.
- [2] M. López, W. Schmid, "Calibración De Medidores De Potencia Óptica Utilizados En Sistemas De Fibra Óptica", Publicación Técnica CNM-MFO-PT-003, Centro Nacional de Metrología, México, – 2000.
- [3] MEDICIÓN DE NO-LINEALIDAD EN FOTODIODOS DE Ge E InGaAs A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA Y TAMAÑO DE HAZ. [http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/descarga/simposio%202002/simp osio\\_2002.htm](http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/descarga/simposio%202002/simp osio_2002.htm), Septiembre, – 2013.
- [4] InGaAs PIN Photodiode G8370 Series. <http://www.hamamatsu.com>. Noviembre, – 2013.
- [5] Bureau Internationale des Poids et Mesures, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1993.
- [6] Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, "Guía para la Expresión de Incertidumbre en las Mediciones", NMX-CH-140-IMNC-2002, IMNC, IMNC, México, – 2002.