



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**  
**RESIDENCIA PROFESIONAL**

**CARACTERIZACIÓN TEMPORAL Y  
ESPACIAL DE UN SENSOR DE  
TEMPERATURA DE FIBRA ÓPTICA**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

PRESENTA

**REYNA EUSTACIA CRUZ CARBAJAL**

ASESOR

**DR. JORGE LUIS CAMAS ANZUETO**

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS, 2016

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES .....</b>	<b>5</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	5
1.2 INFORMACIÓN DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO .....	6
1.2.1 Historia del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.....	6
1.2.2 Misión .....	7
1.2.3 Visión.....	7
1.2.3 Localización .....	7
1.3 ANTECEDENTES.....	8
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
1.5 OBJETIVOS .....	9
1.5.1 Objetivo general.....	9
1.5.2 Objetivo específico .....	9
1.6 JUSTIFICACIÓN .....	9
1.7 DELIMITACIÓN .....	9
<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1 SENSOR ÓPTICO .....	10
2.2 FIBRA ÓPTICA .....	10
2.2.1 Tipos de Fibra óptica .....	10
2.3 SENSORES DE FIBRA ÓPTICA .....	11
2.3.1 Sensor de temperatura de Fibra óptica .....	12
2.3.2 Ejemplos de sensores de Temperatura de Fibra óptica .....	12
2.3.3 Aplicaciones de sensores de temperatura .....	13
2.4 RETROREFLECTOR DE FIBRA ÓPTICA .....	14
2.5 LÁSER OPF372A .....	14
2.6 FOTODETECTOR OPF472 .....	15
2.7 ACOPLADOR .....	15
2.8 CONECTORES .....	16
2.8.1 Conectores ST.....	16
2.9 ARDUINO UNO .....	16
<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>18</b>
3.1 DESARROLLO DEL PROYECTO .....	18
3.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	20
3.2.1 FUNCIONAMIENTO .....	21
3.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA PARA CARACTERIZAR EL SENSOR DE TEMPERATURA DE FIBRA ÓPTICA DE FORMA TEMPORAL .....	22

3.3.1 Configuración Transmisiva .....	22
3.3.2 Configuración Reflexiva .....	23
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DE FIBRA ÓPTICA DE FORMA ESPACIAL .....	26
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
CARACTERIZACIÓN EN CONFIGURACIÓN TRANSMISIVA DE FORMA TEMPORAL .....	28
CARACTERIZACIÓN EN CONFIGURACIÓN REFLEXIVA DE FORMA TEMPORAL .....	29
CARACTERIZACIÓN DE FORMA ESPACIAL .....	30
5 CONCLUSIONES .....	32
6 REFERENCIAS .....	33
7 ANEXOS .....	34
A1. Datasheet Láser OPF372A .....	34
A2. Datasheet Fotodetector OPF472 .....	37
A3. Datasheet Retroreflector de fibra óptica M105L01-P01-1 .....	40
A4. Adaptador de fibra óptica S120-ST .....	41
A5. Sensor de potencia S120VC .....	42
A6. Programación en Arduino .....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Sensor de fibra óptica extrínseco e intrínseco .....	5
FIGURA 1.2 Ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.. .....	7
FIGURA 2.1 Diagrama básico de un sensor óptico .....	10
FIGURA 2.2 Tipos de fibra óptica .....	11
FIGURA 2.3 Fibra óptica extrínseca .....	12
FIGURA 2.4 Fibra óptica intrínseca .....	12
FIGURA 2.5 Sensor de temperatura de fibra óptica con burbuja de aire .....	13
FIGURA 2.6 Retroreflector óptico .....	14
FIGURA 2.7 LED OPF372A .....	14
FIGURA 2.8 Fotodetector OPF472 .....	15
FIGURA 2.9 Tipos de acopladores .....	15

FIGURA 2.10 Conector ST.....	16
FIGURA 2.11 Estructura del arduino UNO .....	17
FIGURA 3.1 Estructura del cubo para concentra la temperatura .....	18
FIGURA 3.2 Sensor DS18B20 .....	19
FIGURA 3.3 Celda de Peltier .....	19
FIGURA 3.4 Diagrama a bloques del sistema de adquisición de datos .....	20
FIGURA 3.5 Gráfica de la temperatura con respecto al tiempo .....	21
FIGURA 3.6 Gráfica del voltaje del sensor de transimpedancia con respecto a la temperatura .....	21
FIGURA 3.7 Configuración transmisiva .....	22
FIGURA 3.8 Medidor de potencia PM320E .....	23
FIGURA 3.9 Fuente de alimentación programable .....	23
FIGURA 3.10 Características del PM320E .....	24
FIGURA 3.12 Configuración reflexiva .....	25
FIGURA 3.13 DH-mini.....	26
FIGURA 3.14 Q-POD.....	26
FIGURA 4.1 Potencia del sensor de temperatura de fibra óptica en configuración transmisiva .....	28
FIGURA 4.2 Potencia del sensor de temperatura de fibra óptica en configuración reflexiva .....	29
FIGURA 4.3 Q-POD Soporte de cubetas con control de temperatura .....	29
FIGURA 4.4 Gráfica de potencia del sensor de temperatura de fibra óptica de -0°C a 100°C .....	30
FIGURA 4.5 Muestra de referencia de PVC y muestra de PVC y lofina a 80mg... 30	
FIGURA 4.6 Gráfica de absorbancia de 20°C a 40°C.....	31

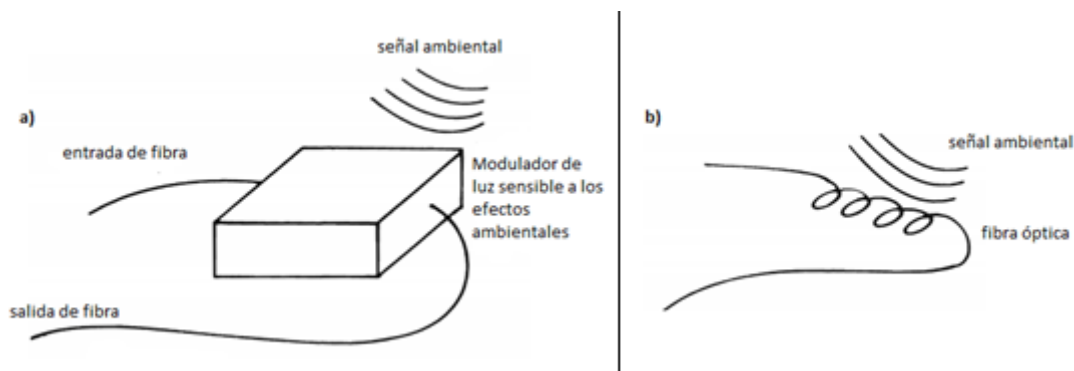
# CAPITULO 1. GENERALIDADES

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad hemos visto que la fibra óptica toma un papel muy importante, hoy en día el uso más relevante que se le da es en los sistemas de comunicación, pero también tomemos en cuenta que la fibra óptica es utilizada para transmitir información a corta o larga distancia debido a que proporciona menos pérdidas en la recepción de los datos.

Una de las aplicaciones que tiene la fibra óptica es que puede funcionar como sensor. Entre los sensores se encuentran los “sensores ópticos” y “los sensores de fibra óptica”, donde la magnitud a medir introduce modificaciones a la luz o genera luz, según sea el caso, que se transporta a través de fibra óptica y se detecta para su conversión al dominio eléctrico a través de una unidad optoelectrónica, que se encarga, además de procesar la señal recibida y extraer la información requerida [1].

Las fibras ópticas se utilizan para detectar los efectos ambientales de dos maneras distintas. Estos métodos, extrínsecos e intrínsecos de detección, se ilustran en la Figura 1.1. Las fibras pueden utilizarse estrictamente como portadores de información que conducen a una caja negra para imprimir información sobre un haz de luz que se propaga a un receptor remoto a través de una segunda o, en algunos casos, la misma fibra. La caja negra puede contener espejos, una celda de gas o líquido, un brazo en voladizo o docenas de otros mecanismos que pueden generar, modular o transformar un haz de luz. El segundo tipo de sensor de fibra se basa en las propiedades de la propia fibra óptica para convertir una acción ambiental en una modulación del haz de luz que pasa a través de ella. Esta segunda clase puede dividirse además en subclases considerando el tipo de modulación impresa en el haz de luz, tal como intensidad, fase o modulación de polarización [2].



**Figura 1.1** a) Sensor de fibra óptica extrínseca o híbrida que consiste en fibras de entrada y salida que llevan luz hacia y desde una caja negra que modula el haz de luz cuando se activa mediante una señal ambiental; (B) sensor de fibra óptica intrínseco o de fibra total cuyas propiedades de caudal son moduladas por una señal ambiental impactante.

## 1.2 INFORMACIÓN DE LA INSTITUCIÓN

### 1.2.1 Historia del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez fue fundado el 24 de octubre de 1972, comprometido con brindar servicios de Educación Superior Tecnológica de calidad para la comunidad en el Estado de Chiapas busca transformar y fortalecer el desarrollo integral de sus estudiantes con base en los principios de justicia social, equidad y transparencia, se encuentra ubicado en el centro del estado de Chiapas, que por su gran variedad de climas y suelos es propio para el cultivo de muy diversas especies vegetales nativas y adaptadas, con lo que se puede desarrollar la agroindustria, así como muchos otros procesos industriales a partir del gran potencial que ofrece este estado, en el cual el Instituto debe constituirse en el sujeto de cambio, al presentar alternativas de desarrollo sustentable del estado en forma multidisciplinaria.

Es una institución pública dependiente de la Secretaria de Educación Pública, actualmente imparte 8 licenciaturas y 3 programas de posgrado:

<i>Licenciaturas</i>	<i>Posgrado</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Ingeniería Mecánica</i></li><li>• <i>Ingeniería Industrial</i></li><li>• <i>Ingeniería Eléctrica</i></li><li>• <i>Ingeniería Electrónica</i></li><li>• <i>Ingeniería Logística</i></li><li>• <i>Ingeniería en Gestión Empresarial</i></li><li>• <i>Ingeniería en Sistemas Computacionales</i></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica</li><li>• Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica</li><li>• Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología</li></ul>

Algunos de los laboratorios con los que cuenta el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez son los siguientes:

- Microbiología
- Química
- Química pesada
- Mecánica
- Eléctrica
- Electrónica
- Sistemas computacionales
- Ingeniería industrial
- Planta piloto
- Polo Tecnológico Nacional

## 1.2.2 MISIÓN

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respecto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

## 1.2.3 VISIÓN

Ser una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

## 1.2.4 UBICACIÓN

En la siguiente figura 1.2 se muestra la ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez



**Figura 1.2** Ubicación: Carretera Panamericana Km 1080. Tuxtla Gutiérrez Chiapas, C.P. 29050.

### 1.3 ANTECEDENTES

En León Guanajuato, Septiembre de 2003 se realizó en el Centro de Investigaciones en Óptica, una Tesis denominada “**Caracterización del desempeño de un sensor de temperatura basado en fibra óptica dopada con Erbio**” presentado por el Ing. Víctor Eduardo López Padilla, como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias Ópticas.

El objetivo del presente trabajo es la evaluación el desempeño de un sensor de temperatura construido con fibra óptica dopada con Erbio, basado en la dependencia de la temperatura del tiempo de vida del estado excitado.

Los sensores típicos de temperatura basados en fibras ópticas operan en la región visible o cercana al visible del espectro, y son utilizados principalmente para mediciones en el rango de temperatura bajo a moderado (-100 °C – 300 °C). Los sistemas más sensibles utilizan la fibra misma como elemento sensor. Para fabricar un dispositivo sensor de temperatura, la fibra es configurada en tal manera que es afectada por el cambio en la temperatura que está siendo medida.

En el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez se realizó un proyecto denominado “**Instrumentación de un Sensor de Temperatura por Onda Reflectiva**”, cuyo objetivo era instrumentar y caracterizar el sensor de temperatura de fibra óptica en un rango de temperatura de 20°C a 90°C. Realizado por Mauricio Iván Guillen Escobar, como proyecto de Residencia Profesional.

### 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Laboratorio de Opto-mecatrónica, con el que cuenta el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, se ha desarrollado investigaciones y proyectos que relacionan el uso de la fibra óptica. Partiendo de que la fibra óptica tiene varios usos en el campo de la electrónica, siendo utilizado como sensor, y dentro de las variedades de sensores con los que se cuenta, nos enfocamos en los sensores de temperatura.

Lo que se pretende realizar en este proyecto es la caracterización de un sensor de temperatura de fibra óptica, con el fin de mejorar la sensibilidad del sensor al ser sometido a diferentes grados de temperatura.



## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar un sensor de temperatura de fibra óptica de forma espacial y temporalmente con temperaturas controladas.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Construir el sensor de temperatura de Fibra Óptica en configuración transmisiva y reflexiva.
- Caracterizar el sensor en función de la temperatura temporal y espacialmente.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Con la realización de este proyecto lo que se pretende es innovar un sensor de temperatura de fibra óptica. Tomando en cuenta que una de las características de la fibra óptica es que es un material con menor impacto de contaminación al medio ambiente.

Considerando también que en el mercado hay una variedad de sensores de temperatura pero a un alto costo, lo que se desea es mejorar este aspecto.

El uso de la fibra óptica se opta porque es un medio de transmisión que nos proporciona menos pérdidas al enviar la información, para lograr esto, si en dado caso se necesitan realizar empalmes, estos tienen que ser con el menor número de pérdidas para que la luz emitida por el láser llegue completa al receptor.

## **1.7 DELIMITACIÓN**

Existiendo variedades de sensores de temperaturas, se ha decidido trabajar con un sensor de temperatura de fibra óptica, siendo que nos proporciona mejora en la obtención de datos, y al interactuar con un material termocrómico y a su vez exponiéndolo a altas y bajas temperaturas podremos observar su comportamiento en cuanto a la potencia del láser que emite la luz, y la absorbancia que nos proporciona este material termocrómico que actúa como capa sensible que permite el paso de la luz y así poder obtener las mediciones adecuadas a las que queremos llegar.

## CAPITULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 SENSORES OPTICOS

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta. Una mejora de los dispositivos sensores, comprende la utilización de la fibra óptica como elemento de transmisión de la luz.

Los sensores ópticos presentan importantes ventajas, es un método no destructivo y no invasivo, ofrece posibilidades de integración en sistemas más complejos, ofrece posibilidades de control a distancia de lugares poco accesibles físicamente. En la figura 2.1 se muestra un diagrama básico de lo que es un sensor óptico.



**Figura 2.1** Diagrama básico de un sensor óptico

### 2.2 FIBRA ÓPTICA

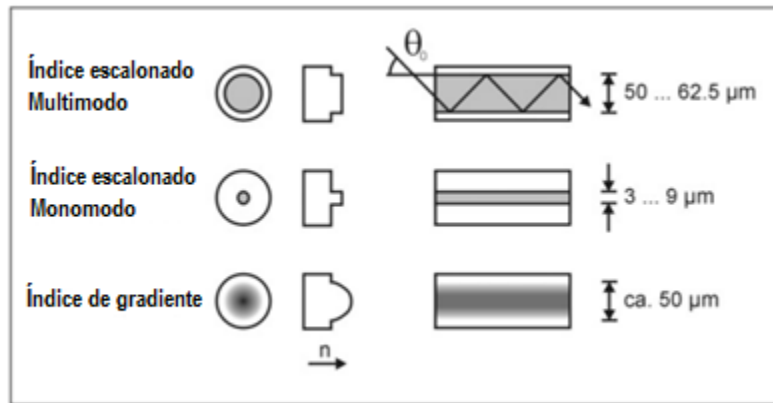
Las fibras ópticas son elementos muy convenientes para guiar la luz de una fuente de luz a algún objetivo distante. No sólo se emplean en redes de transmisión de datos de alta velocidad, sino también para fines de iluminación, particularmente cuando hay una fuente luminosa central cuya luz se distribuirá a diferentes posiciones distantes.

Las ventajas de las fibras ópticas son sus pequeñas dimensiones y peso, su flexibilidad, la ausencia de emisiones electromagnéticas, su insensibilidad frente a las interferencias electromagnéticas y, por lo tanto, la capacidad de guiar las señales en ambientes perturbados eléctricamente y magnéticamente. Las fibras ópticas soportan altas frecuencias portadoras y anchos de banda de señal altos. A pesar de estas ventajas, la luz también sufre efectos de amortiguación durante el transporte, y cuando las señales deben ser transportadas a grandes distancias, se deben instalar repetidores [3].

#### 2.2.1 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Hay tres tipos principales de fibras, clasificadas por sus distribuciones de índice de refracción radial (Figura 2. 2). Las fibras de los perfiles escalonados existen como fibras monomodo y multimodo. Tienen índices de refracción uniformes, pero diferentes en el núcleo y el revestimiento. Entre el núcleo y el revestimiento, hay una pronunciada disminución en el índice de refracción de alrededor del 1%.

Aunque el diámetro exterior de la fibra es de 125  $\mu\text{m}$ , el diámetro del núcleo está entre 50 y 60  $\mu\text{m}$  para las fibras multimodo y entre 3 y 9  $\mu\text{m}$  para las fibras monomodo.



**Figura 2.2** Tipos de fibra óptica

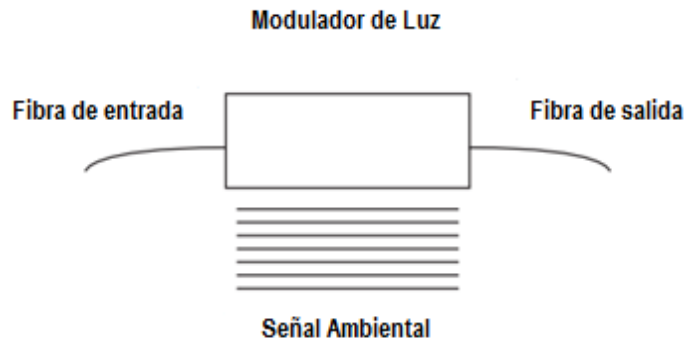
### 2.3 SENSORES DE FIBRA ÓPTICA

La tecnología de sensores de fibra óptica ofrece la posibilidad de detectar diferentes parámetros como tensión, temperatura, presión en ambientes hostiles y ubicaciones remotas. Este tipo de sensores modula algunas características de la onda luminosa en una fibra óptica de tal intensidad y fase o utiliza fibra óptica como medio para transmitir la información de mediciones.

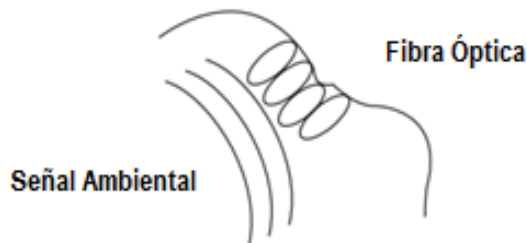
Las ventajas de los sensores de fibra óptica es que se consideran como un componente clave en la mejora de procesos industriales, sistemas de control de calidad, diagnósticos médicos y la prevención y control de anomalías generales del proceso.

Los sensores de fibra óptica suelen agruparse en dos clases básicas denominadas sensores de fibra óptica extrínsecos o híbridos y sensores intrínsecos o de toda fibra. La figura 2.3 ilustra el caso de un sensor de fibra óptica extrínseca. En este caso, una fibra óptica conduce a una "caja negra" que imprime información sobre el haz de luz en respuesta a un efecto ambiental. La información podría ser impresionada en términos de intensidad, fase, frecuencia, polarización, contenido espectral u otros métodos. Una fibra óptica transporta entonces la luz con la información ambientalmente impresa de nuevo a un procesador óptico y / o electrónico. En algunos casos, la fibra óptica de entrada también actúa como la fibra de salida.

El sensor intrínseco o de todas las fibras que se muestra en la Figura 2.4 usa una fibra óptica para transportar el haz de luz, y el efecto ambiental impresiona la información sobre el haz de luz mientras está en la fibra [4].



**Figura 2.3** Los sensores de fibra óptica extrínseca consisten en fibras ópticas que conducen hacia y desde una "caja negra" que modula el haz de luz que pasa a través de ella en respuesta a un efecto ambiental.



**Figura 2.4** Los sensores de fibra óptica intrínsecos se basan en que el haz de luz que se propaga a través de la fibra óptica está siendo modulado por el efecto ambiental ya sea directamente a través de cambios de longitud de trayectoria óptica inducidos ambientalmente en la propia fibra.

### 2.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA DE FIBRA ÓPTICA

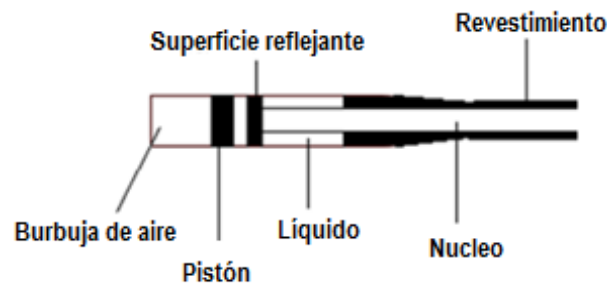
Los sensores de temperatura de fibra óptica consisten tanto en elementos extrínsecos como intrínsecos para medir la temperatura. Hay muchas maneras de clasificar estos sensores también. Pueden clasificarse debido a su naturaleza que incluiría sensores interferométricos, codificación de longitud de onda, sensores resonantes, distribuidos o incluso dispositivos basados en la relación de intensidad. También pueden caracterizarse por su modulación utilizada para codificar la información de temperatura [5].

### 2.3.2 EJEMPLOS DE SENSORES DE TEMPERATURA DE FIBRA ÓPTICA

Un tipo muy básico de sensor de temperatura de fibra óptica ha existido desde 1985. Este concepto pondría la fibra en una cápsula en la superficie reflectante. Entonces en el otro lado de la superficie aparecería una burbuja de aire. La burbuja fluctuaría en función de la temperatura. Esto permitió que el

revestimiento termo sensible de la fibra se contrajera o se expandiera. Junto con el cambio del revestimiento, la atenuación de la luz en la fibra y la apertura numérica habría cambiado debido a la temperatura.

Este sensor, incluso a partir de 1985 fue capaz de obtener una sensibilidad de mejor que 0,1 grados Celsius. El pro de este diseño es que en aplicaciones médicas o biológicas, el rango de temperatura es muy estrecho, lo que les permite utilizar este diseño de bajo costo mostrado en la Figura 2.5 Pero, el diseño de este diseño es que el rango de detección de temperatura es muy limitado en que muchas otras aplicaciones alrededor del mundo no podrían utilizar.



**Figura 2.5** Sensor de temperatura de fibra óptica con burbuja de aire

Para el segundo tipo de sensor de temperatura de fibra óptica, está el sensor interferométrico. Este sensor es una técnica utilizada en casi cualquier tipo de medición de la cantidad física. La interferometría por sí misma producirá mediciones de longitud de muy alta resolución, y se han creado técnicas de fibra óptica en las que un cierto mensurando puede convertirse en un cambio de presentación. Mediciones de alta precisión son exactamente en lo que los interferómetros de fibra óptica son los mejores, cuando se trata de medir la temperatura.

### 2.3.3 APLICACIONES DE SENSORES DE TEMPERATURA

Hay muchas aplicaciones en el mundo actual que necesitan y utilizan sensores de temperatura de fibra óptica.

Estas aplicaciones incluyen:

- Monitorización de cables de alta tensión y líneas de transmisión
- Detección de temperatura por microondas
- Imágenes de resonancia magnética, monitorización de la temperatura de la RMN
- Detección de temperatura transparente por rayos X
- Sensores de temperatura para calentadores inductivos
- Medición de la temperatura del plasma

## 2.4 RETROREFLECTOR ÓPTICO

Estos retroreflectores están diseñados para reflejar la luz de entrada a través del conector hacia atrás a través de la fibra. Se pueden utilizar para crear un interferómetro de fibra, para medir de nuevo reflexiones desde dentro de un componente de fibra óptica, o para construir un láser de fibra de baja potencia. Un extremo del casquillo de la fibra se recubre con una capa de plata protegido para proporcionar una reflexión media de  $\geq 97.5\%$  para la luz de 450 nm de longitud de onda de límite superior de la fibra (Figura 2.6).



**Figura 2.6** Retroreflector óptico M105L01-P01-1

El otro extremo tiene ya sea un FC / PC (disponible con SM, PM, o fibra MM) o FC / APC (disponible con SM o fibra PM) de 2,0 mm conector de llave estrecha. Para fibras PM, la clave estrecha está alineado con el eje lento.

## 2.5 LÁSER OPF342A

Láser es un acrónimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Emisión de luz por emisión estimulada de radiación). Este transmisor (Figura 2.7) es un LED GaAlAs de 850nm y está específicamente diseñado para lanzar eficientemente la energía óptica en fibras que varían en tamaño de fibra de 50 / 125 $\mu$ m hasta 200 / 300 $\mu$ m de diámetro.



**Figura 2.7** LED OPF372A

## 2.6 FOTODETECTOR OPF472

Un fotodetector es un sensor que genera una señal eléctrica dependiente de la luz u otra radiación electromagnética que recibe. Algunos están basados en el efecto fotoeléctrico, otros en el fotovoltaico, otros en el fotoelectroquímico y otros en la fotoconductividad.

El OPF472 que se muestra en la figura 2.8 es un fotodiodo PIN de silicio de bajo ruido montado en un paquete de bajo costo para aplicaciones de fibra óptica. Ofrece una respuesta rápida a polarización moderada y es compatible con fuentes de diodos láser y láser en la región de longitud de onda de 800-1000 nm. La baja capacitancia mejora el rendimiento de señal a ruido en aplicaciones típicas de LAN de corto alcance.



**Figura 2.8** Fotodetector OPF472

## 2.7 ACOPLADOR

Imagine una fibra óptica que transporta una señal de entrada que necesita conectarse a dos destinos diferentes. La señal debe dividirse en dos. Esto se logra fácilmente mediante un acoplador. Cuando se utiliza para este propósito, a menudo se conoce como un divisor. Los acopladores son bidireccionales, que pueden llevar la luz en cualquier dirección (Figura 2.9).

Un acoplador con una sola fibra en un extremo y dos en el otro extremo se denominaría un acoplador 1x2 (leído como uno por dos). Aunque 1x2 y 2x2 son los tamaños más comunes que se pueden obtener en una amplia gama de tipos hasta 32x32 y pueden interconectarse para obtener tamaños no estándar. Los divisores son más comunes que los combinadores y esto ha hecho más natural referirse al extremo de una sola fibra como la entrada [6].



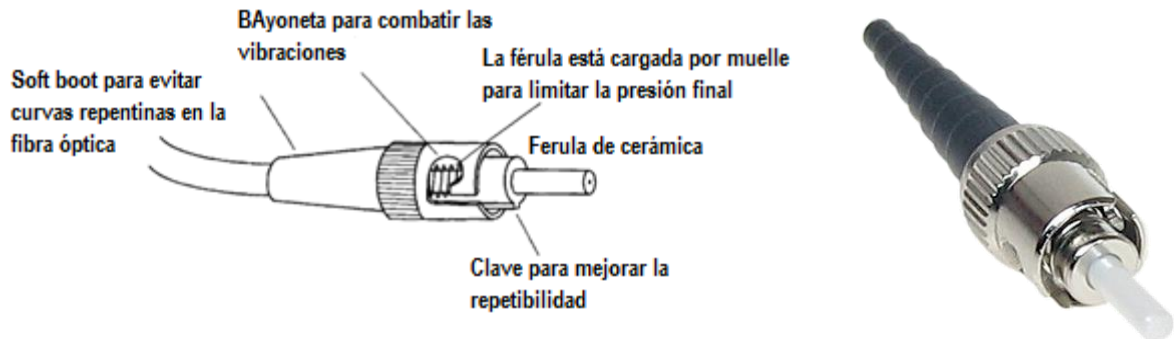
**Figura 2.9** Tipos de acopladores

## 2.8 CONECTORES

Los conectores y adaptadores son los enchufes y tomas de un sistema de fibra óptica. Permiten la redirección de los datos y la conexión de los equipos a los sistemas existentes.

### 2.8.1 CONECTORES ST (Strsight-Tip)

Estos conectores que se muestran en la figura 2.10 fueron desarrollados por la compañía estadounidense, AT & T, tiene una montadura de bayoneta y una férula larga y cilíndrica de 2.5 mm usualmente de cerámica o polímero para sostener a la fibra. La mayoría de las férulas son de cerámica pero hay algunas de ellas de metal o plástico. Y debido a que tienen un resorte interno, se debe asegurar que se insertan adecuadamente.



**Figura 2.10** Conector ST

## 2.9 ARDUINO UNO

Tomando en cuenta las características de diferentes microcontroladores se seleccionó el que tiene más ventajas para su uso. El circuito integrado que se seleccionó es la placa Arduino Uno.

Presenta características muy versátiles que le permiten aplicaciones en un gran número de variedades, además de contar con módulos Ethernet con puerto RJ-45 para la conexión a internet y la posibilidad de enviar datos. Arduino UNO.

Arduino es una plataforma para computación física de código abierto basada en una simple tarjeta I/O y un entorno de desarrollo que implementa el procesamiento/idioma de cableado (Processing/Wiring). Arduino puede ser usado para desarrollar objetos autónomos interactivos o puede ser conectado a software en su ordenador (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP), en la tabla 2.1 se muestran las características eléctricas.

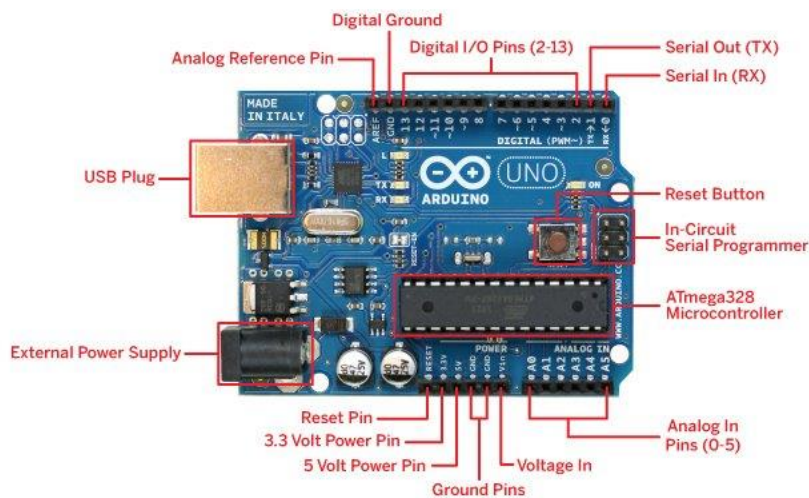


El IDE de código abierto puede ser descargado de forma gratuita (en la actualidad para Mac OS X, Windows y Linux).

**Tabla 2.1 Características generales del Arduino UNO**

<b>Características</b>	<b>Arduino Uno</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Microcontrolador</i></li> <li>• <i>Arquitectura</i></li> <li>• <i>Tensión de funcionamiento</i></li> <li>• <i>Memoria Flash</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ATmega328</li> <li>• AVR</li> <li>• 5 V</li> <li>• 32 KB de los cuales 0.5KB utilizado por cargador de arranque</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>SRAM</i></li> <li>• <i>Velocidad de reloj</i></li> <li>• <i>E/S analógicas</i></li> <li>• <i>EEPROM</i></li> <li>• <i>Corriente continua para pines I/O</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2KB</li> <li>• 16MHZ</li> <li>• 6</li> <li>• 1KB</li> <li>• 40 mA en pines I/O ; 50 mA en 3.3 V Pin</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Voltaje de entrada</i></li> <li>• <i>E/S digitales</i></li> <li>• <i>Salida PWM</i></li> <li>• <i>Tamaño de PCB</i></li> <li>• <i>Peso</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7-12 V</li> <li>• 20(6 proporcionan una salida PWM)</li> <li>• 6</li> <li>• 53,4x68,6 mm</li> <li>• 25g</li> </ul>

En la figura 2.11 se muestra donde están ubicados los elementos más importantes que componen la placa Arduino UNO:



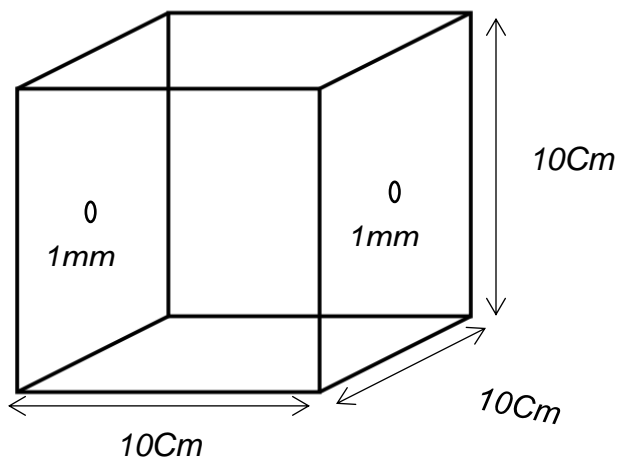
**Figura. 2.11 Estructura del Arduino UNO**

## CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1 DESARROLLO DEL PROYECTO

Anteriormente se diseñó un sistema para la caracterización de un sensor de temperatura de fibra óptica, donde el sensor se someterá a temperaturas controladas que van de 9° a 60°C. Estas temperaturas el usuario podrá manipularlas por medio de una programa realizado en Arduino.

Este sistema cuenta con un deposito cubico de vidrio (Figura 3.1) que nos sirve para mantener la temperatura encerrada y así con la ayuda de un sensor de temperatura ir monitoreando a que temperatura se encuentra.



**Figura 3.1** Características del cubo para concentrar la temperatura

El sensor que se utilizó para monitorear la temperatura a la cual está sometido nuestro sensor de temperatura de fibra óptica, es el sensor *DS18B20* que se muestra en la figura 3.2, cuenta con una salida digital de un solo hilo, reporta grados Celsius con una precisión de 9-12 bits, -55 °C a 125 °C (+/-0.5 °C).

#### **Características:**

- Interfaz de 1 solo hilo (1-Wire®) que requiere un solo pin para comunicaciones
- Cada dispositivo cuenta con un único número de serie de 64 bits almacenado en su ROM interna
- Capacidad de multidespliegue (Multidrop) simplifica las aplicaciones de monitoreo distribuido de temperatura
- No requiere componentes externos
- Puede ser energizado desde la línea de datos. Rango de voltaje de alimentación: 3.0 V a 5.5 V

- Mide la temperatura de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-67\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $+257\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
- Precisión de  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Resolución seleccionable por el usuario de 9 a 12 bits
- Convierte la temperatura a una palabra de 12 bits en 750 ms (máx.)
- Configuraciones de alarma definibles por el usuario no volátiles (NV)
- Comando de búsqueda de alarma identifica la dirección del dispositivo cuya temperatura está fuera de los límites pre-programados (condición de alarma de temperatura)
- Las aplicaciones incluyen controles de termostato, sistemas industriales, productos de consumidor, termómetros o cualquier sistema termalmente sensible



**Figura. 3.2** Sensor DS18B20

Para realizar el proceso de enfriamiento y calentamiento se utilizó una celda de Peltier (figura 3.3), esta crea un diferencial de temperatura en cada una de sus caras. Una de ellas se calienta mientras la otra se enfría.



**Figura 3.3** Celda de peltier

Para el control de la celda de peltier también se le integro una resistencia eléctrica, que para que esto funcionara correctamente se diseñó una etapa de potencia, para que se pudiera controlar con el arduino.

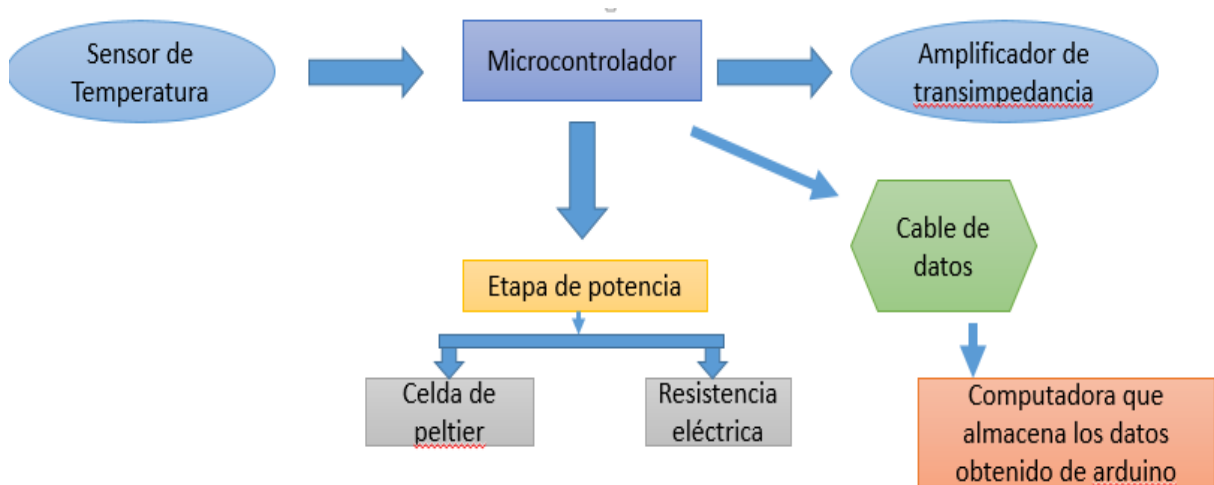
### 3.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para comenzar el monitoreo y adquisición de datos del sensor de temperatura de fibra óptica, el primer paso que se debe de hacer es cargar el programa en el microcontrolador que usaremos, que en este caso es el arduino uno. El programa que se carga al microcontrolador es para poder caracterizar el sensor a la temperatura que el usuario le asigne.

Una vez asignando en el programa la temperatura a la que se desea alcanzar, en nuestro caso asignamos una temperatura de 9° C como mínima, y una temperatura máxima de 60°C. Lo que hace principalmente al iniciar el programa es que de la temperatura ambiente a la que se encuentra el sensor, la celda de peltier inicia su funcionamiento empezando a enfriar, la temperatura disminuye a 9°C, una vez alcanzado esta temperatura la celda de peltier se apaga y la resistencia eléctrica comienza a calentar para que alcance la temperatura máxima.

Los datos obtenidos se van guardando en el monitor serial del arduino, posteriormente estos datos se pasa a Excel para que podamos graficar los datos obtenidos.

El siguiente diagrama a bloque que se muestra en la figura 3.4 muestra de forma detallada la secuencia que sigue el sistema de adquisición de datos.

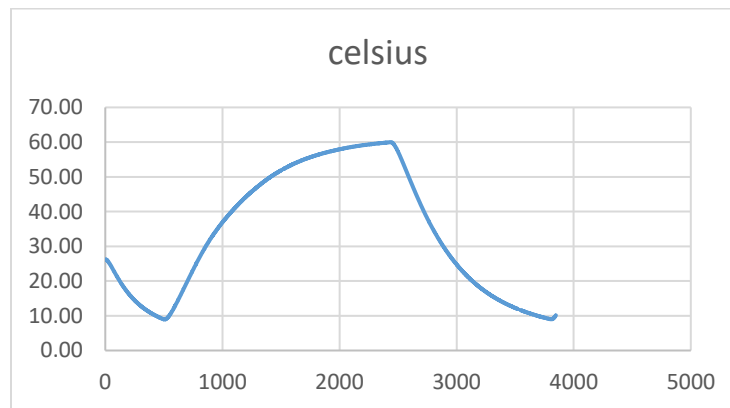


**Figura 3.4** Diagrama a bloques del funcionamiento del sistema de adquisición de datos

### 3.2.1 FUNCIONAMIENTO

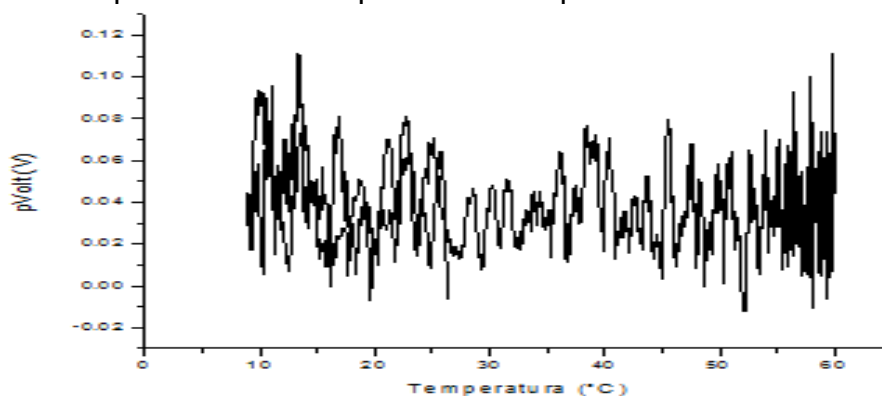
Una vez teniendo cargado el programa en el microcontrolador, determinamos la temperatura mínima y máxima que queremos alcanzar con el sistema. Durante ese proceso de enfriamiento y calentamiento Matlab monitorea lo que pasa con el sensor de transimpedancia y el sensor de temperatura, posterior a esto se grafica la temperatura y los datos obtenidos se guardan en una hoja de datos de Excel para que podamos ver donde hubo una variación de voltaje y así caracterizar el sensor.

En la siguiente grafica (Figura 3.5), podemos observar el cambio de temperatura que ocurre cuando se inicia el sistema de caracterización, observamos que comienza con la temperatura ambiente que es de aproximadamente de 25°C donde comienza a disminuir llegando a los 9°C indicado por el usuario en el programa en arduino, así mismo al llegar a la temperatura mínima deseada el sistema comienza a calentar y la temperatura empieza a subir, llegando a la temperatura máxima determinada por el usuario que son 60°C.



**Figura 3.5** Grafica de la temperatura con respecto al tiempo

En la siguiente gráfica (figura 3.6) observamos la variación del voltaje del sensor de transimpedancia con respecto a la temperatura a la cual ha sido programada.



**Figura 3.6** Gráfica del voltaje del sensor de transimpedancia con respecto a la temperatura.

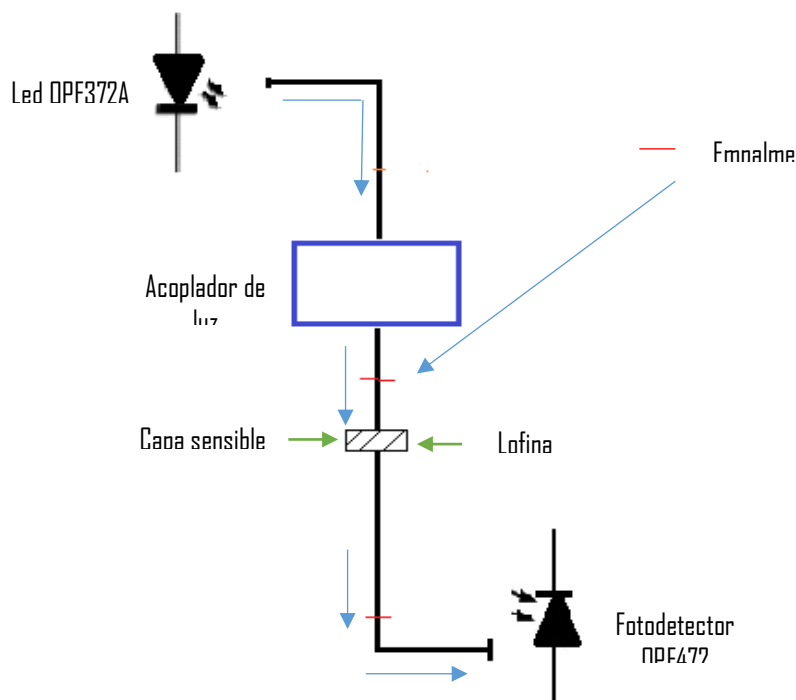
### 3.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA PARA CARACTERIZAR EL SENSOR DE TEMPERATURA DE FIBRA ÓPTICA DE FORMA TEMPORAL

Este proyecto se basa en dos partes, la primera es medir el comportamiento del sensor de fibra óptica de forma temporal y observar la variación que presenta la potencia del láser con respecto a la temperatura.

Para la caracterización temporal se tomara en cuenta dos configuraciones; transmisiva y reflexiva. Para ambas configuraciones se utilizó el láser OPF372A y el fotodetector OPF472, ambos con sus conectores correspondientes, en este caso se usaron los conectores ST.

#### 3.3.1 CONFIGURACIÓN TRANSMISIVA

En la siguiente imagen (figura 3.7) se muestra cómo va conectado la configuración transmisiva, observamos que lleva un acoplador de luz, donde se dividen dos fibras, una que va conectado al Led OPF372A y la otra que va conectado al fotodetector OPF472, observamos que entre el acoplador y el fotodetector hay un empalme, este empalme se realizó para colocar la fibra óptica que lleva una capa sensible que nos funciona como el sensor de temperatura de fibra óptica, esta parte donde se encuentra la capa sensible va colocada dentro del cubo de vidrio que es donde se almacena la temperatura a la que el usuario indica con el programa anteriormente ya mencionado.



**Figura 3.7** Configuración transmisiva

### 3.3.2 CONFIGURACIÓN REFLEXIVA

Para la construcción de la configuración reflexiva, debido a la falta de energía para el fotodetector, se optó por utilizar una fuente externa que alimentara al láser y que a su conjunto un medidor de potencia (figura 3.8), en este caso usamos el PM320E que es ideal para mediciones precisas, pudiéramos obtener las mediciones correctas con respecto a la potencia que obtenemos de nuestro sensor al estar en incremento y decremento de temperaturas.

La fuente de alimentación externa que se utilizó, es una fuente de alimentación programable de DC (figura 3.9), donde podemos determinar a qué voltaje y corriente queremos que trabaje nuestro LED OPF372A.



Figura 3.8 Medidor de potencia PM320E



Figura 3.9 Fuente de alimentación programable

En la siguiente tabla (figura 3.10) se muestran las características del medidor de potencia.

Ít #	PM320E
Sensores compatibles	Fotodiodo, térmica, y piroeléctrico
número de canales	2
Margen de potencia óptica <sup>de una</sup>	100 pW a 200 W
Rango de Energía óptica <sup>de una</sup>	10 $\mu$ J a 15 J
Sensor de longitud de onda Rango de <sup>una</sup>	185 nm - 25 micras
Mostrar la velocidad de actualización	20 Hz
ancho de banda de <sup>una</sup>	DC - 100 kHz
Alcance del sensor fotodiodo <sup>b</sup>	100 nA - 10 mA
Alcance del sensor de termopila <sup>b</sup>	1 mV - 1 V
Alcance del sensor piroeléctrico <sup>b</sup>	100 mV - 100 V

a. sensor dependiente

b. Rangos seleccionables en Watts (fotodiodo y termopila) o Joules (piroeléctrico) y depende de sensor utilizado.

**Figura 3.10** Características del PM320E

En la construcción de la configuración reflexiva a diferencia de la configuración transmisiva, a esta se le conecta un retroreflector óptico donde al transmitir el paso de luz este regresa nuevamente y va dirigido al receptor, en este caso cambiamos el fotodetector OPF342 por el sensor S120-VC que va conectado a uno de los canales del medidor de potencia PM320E.

En la figura 3.11 se muestra una tabla con las características del sensor S120-VC

*Sensor S120VC*

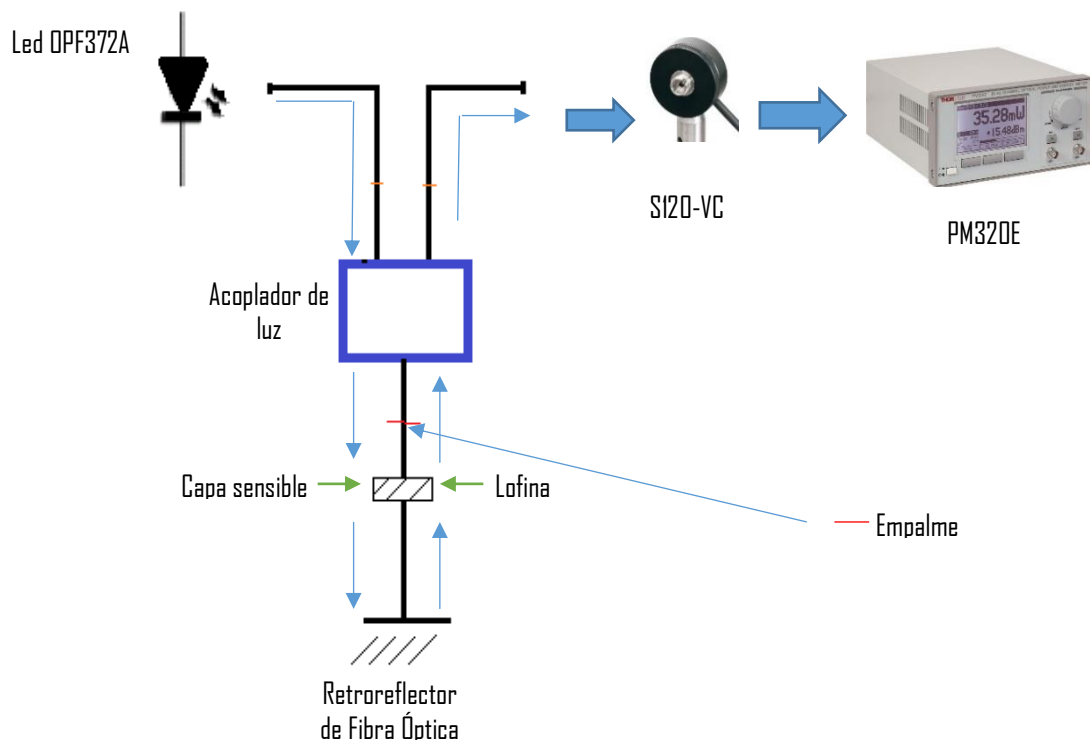


<i>Tamaño de apertura</i>	Ø9,5 mm
<i>Rango de longitud de onda</i>	200-1100 nm
<i>Rango de poder</i>	50nW – 50mW
<i>Tipo de detector</i>	Sin fotodiodo (UV ampliada)
<i>Linealidad</i>	± 0.5%
<i>Resolución (Medido con la consola PM100D en el establecimiento de bajo ancho de banda.)</i>	± 3% (440 - 980 nm)
	± 5% (280 - 439 nm)
	± 7% (200 - 279 nm, 981 - 1100 nm)



**Figura 3.11** Especificaciones del sensor S120VC

El siguiente diagrama (figura 3.12) muestra el proceso que se realiza en la configuración transmisiva, si seguimos las indicaciones de las flechas, vemos que primero la información va del LED OPF372A se dirige al acoplador de luz, donde pasa por el sensor de temperatura de fibra óptica que es la que está colocada dentro del cubo de vidrio, después pasa por el retroreflector óptico que es donde regresa la información pasa nuevamente al sensor de temperatura de fibra óptica, regresa al acoplador de luz y finalmente llega al sensor de potencia S120-VC que va conectado a uno de los canales del medidor de potencia PM320E.



**Figura 3.12** Configuración reflexiva

### 3.4 SISTEMA PARA CARACTERIZAR EL SENSOR DE TEMPERATURA DE FIBRA ÓPTICA DE FORMA ESPACIAL

En esta parte lo que queremos medir es la absorbancia, definiéndola como la relación que hay entre la intensidad de la luz que incide sobre una muestra y la intensidad de esa misma luz que es transmitida a través de esa muestra. La absorbancia sigue siendo la técnica espectroscópica más ampliamente utilizado para el estudio de líquidos y gases debido a su simplicidad, precisión y facilidad de uso. Un espectro de absorbancia se puede utilizar como una herramienta cualitativa para identificar sustancias, o como una herramienta cuantitativa para medir la concentración de una molécula en solución.

Para realizar la medición de absorbancia el equipo que se utilizó fue un DH-mini, que produce una salida fuerte a través de los rayos UV-Visible y near-IR desde 200-2500 nm. El DH-mini permite aplicaciones que son desafiantes para fuentes de luz compactas, como mediciones de reflexión basadas en sondas de fibra donde el rendimiento es un reto. Las mediciones de absorción y transmisión con muestras opacas u ópticamente densas también se benefician de la alta intensidad del DH-mini.

El DH-mini (figura 3.13) está repleto de características que lo hacen fácil de usar. Las bombillas de tungsteno y fuente de deuterio se pueden encender y apagar individualmente, limitando la luz dispersa en mediciones difíciles. Un obturador interno se puede abrir y cerrar con botones simples con indicadores LED en el panel frontal. Para procesos automatizados o mediciones remotas, también se puede utilizar una señal TTL para controlar todas las funciones.



**Figura 3.13** DH-mini

También cuenta con Q-POD (figura 3.14), fue diseñado para utilizarse con espectrómetros de fibra óptica y proporcionan un control preciso de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cada unidad se calibra usando un termómetro trazable de NIST e incluye la agitación magnética de la velocidad variable, la purga seca del gas y la entrada de la sonda del termómetro. Cuando se combinan con espectrómetros y accesorios de Ocean Optics, los compartimentos de muestras qpod son ideales para mediciones de absorbancia y fluorescencia que requieren un control cuidadoso de la temperatura de la muestra.



**Figura 3.14** Q-POD controlador de temperatura

En esta parte lo único que realizamos es colocar nuestra muestra en el controlador de temperatura y con el software vamos variando la temperatura, en este caso la temperatura a la que se sometió la muestra es de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante este rango de temperatura se medirá la absorbancia.

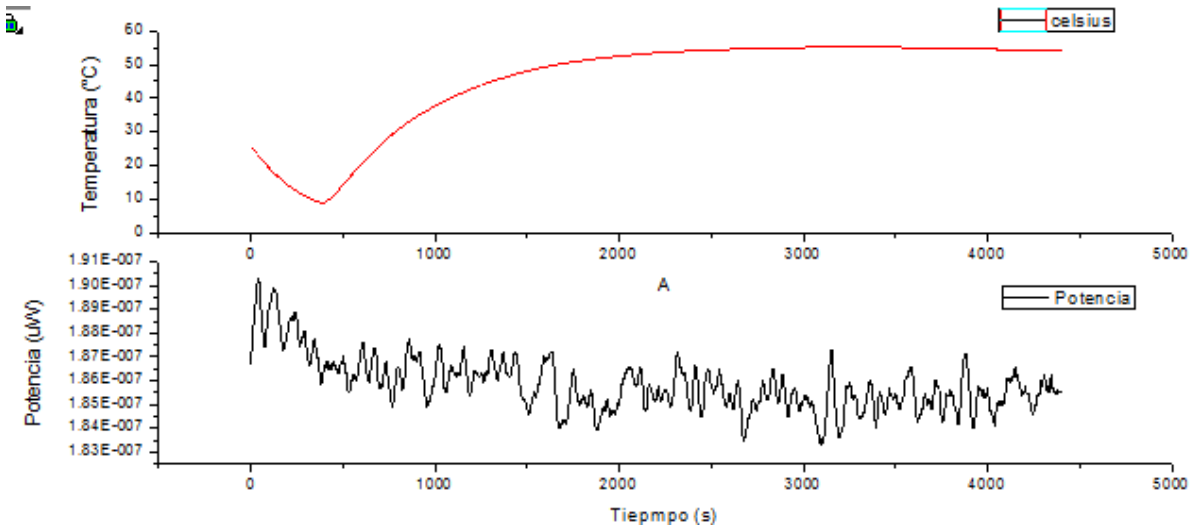
## CAPITULO 4. RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZACIÓN EN CONFIGURACIÓN TRANSMISIVA DE FORMA TEMPORAL

Para realizar las pruebas con esta configuración, primero se cargó el programa al microcontrolador, en nuestro caso al arduino uno, antes de iniciar el programa, el sensor de temperatura debe estar colocado dentro del cubo de vidrio, una vez colocado ahí se inicia el programa, y la temperatura comienza a bajar a 9°C que es la temperatura mínima programada por el usuario una vez llegando a esta temperatura, la resistencia eléctrica comienza a calentar para que la temperatura alcance su nivel máximo, en este proceso de calentamiento y enfriamiento, los datos se van guardando en un archivo Excel para después graficar y observa su comportamiento.

La caracterización en configuración transmisiva como se muestra en la figura 3.7, se observa el proceso que va a realizar, al encender la fuente que alimenta al laser, y al cambio de temperatura que se está sometiendo el sensor, la luz viaja sobre la fibra óptica pasando por el acoplador de luz y dirigiéndolo a la salida correspondiente, como se observa en la figura, hasta llegar al fotodetector donde este capta la potencia que transmite el láser.

En la gráfica que se muestra en la figura 4.1, observamos el comportamiento de la potencia, y vemos la variación que hay conforme al cambio de temperatura. La temperatura inicia en 26°C y disminuye a 9°C al llegar a la temperatura mínima que nosotros hemos decidido, el sistema comienza a calentar para alcanzar la temperatura máxima que es 60°C. Y observamos que conforma la temperatura va aumentando la potencia va disminuyendo.

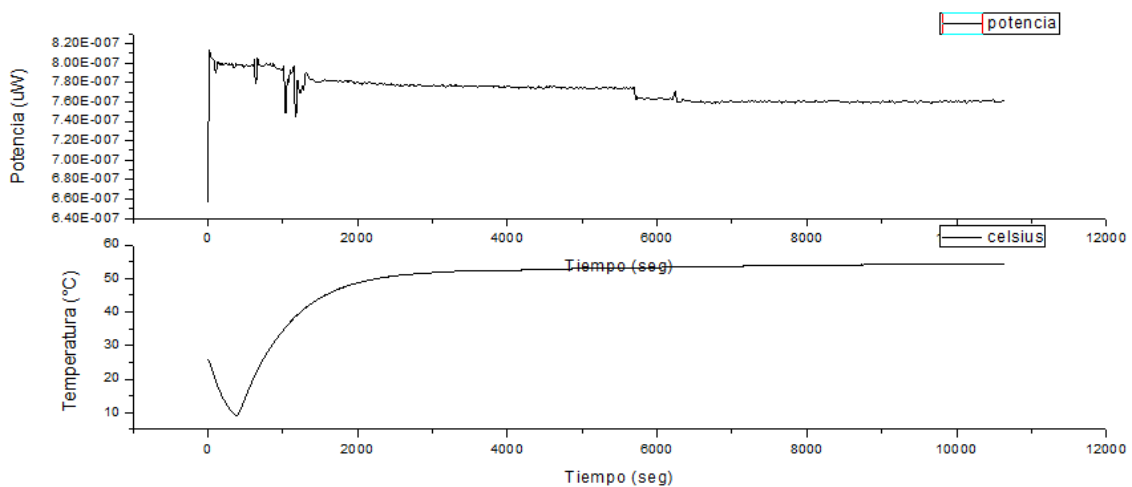


**Figura 4.1** Potencia del sensor de temperatura de fibra óptica en configuración transmisiva

#### 4.2 CARACTERIZACIÓN EN CONFIGURACIÓN REFLEXIVA DE FORMA TEMPORAL

El procedimiento para realizar esta prueba fue el mismo que con la configuración transmisiva, a excepción que los datos que vamos a observar serán distintos, ya que en esta configuración tenemos conectado un retroreflector óptico que hace que la información que llegue vuelva a regresar.

Se obtuvo la siguiente gráfica (figura 4.2), las temperaturas que se asignaron fueron de 9°C a 60°C.



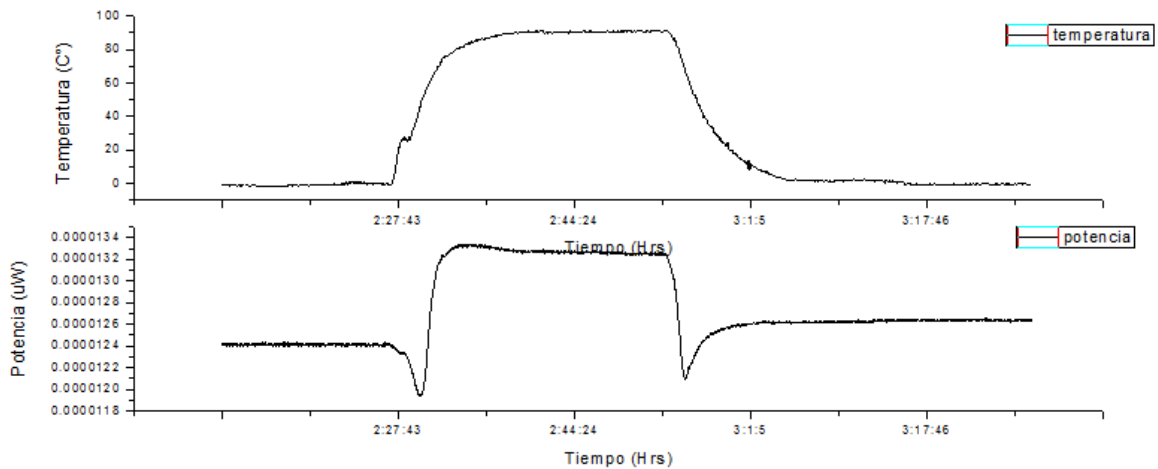
**Figura 4.2** Potencia del sensor de temperatura de fibra óptica en configuración reflexiva

Se realizó una prueba donde se midió la potencia del sensor de temperatura de fibra óptica que se colocó en la Q-POD (figura 4.3), con el software del controlador de temperatura se determinaba a que temperatura se deseaba poner, en este caso la prueba que se realizó fue de -0°C a 100°C.



**Figura 4.3** Q-POD Soportes de cubetas con control de temperatura

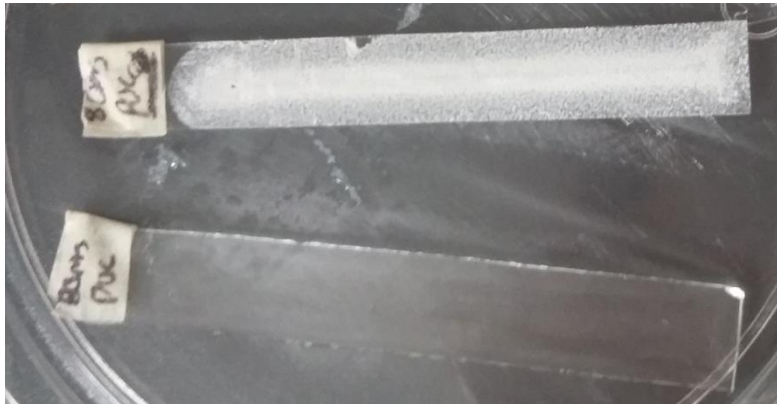
Se obtuvo la siguiente gráfica (figura 4.4), donde observamos el comportamiento de la potencia con respecto a la temperatura a la que se sometió el sensor.



**Figura 4.4** Gráfica de potencia del sensor de temperatura de fibra óptica de  $-0^{\circ}$  a  $100^{\circ}\text{C}$

### 4.3 CARACTERIZACIÓN DE FORMA ESPACIAL

La muestra que analizamos para medir la absorbancia era de PVC con Iofina (figura 4.5), utilizando el PVC como nuestra muestra de referencia. Para realizar esta prueba colocamos las muestras dentro del Soporte de cubetas con control de temperatura Q-POD.

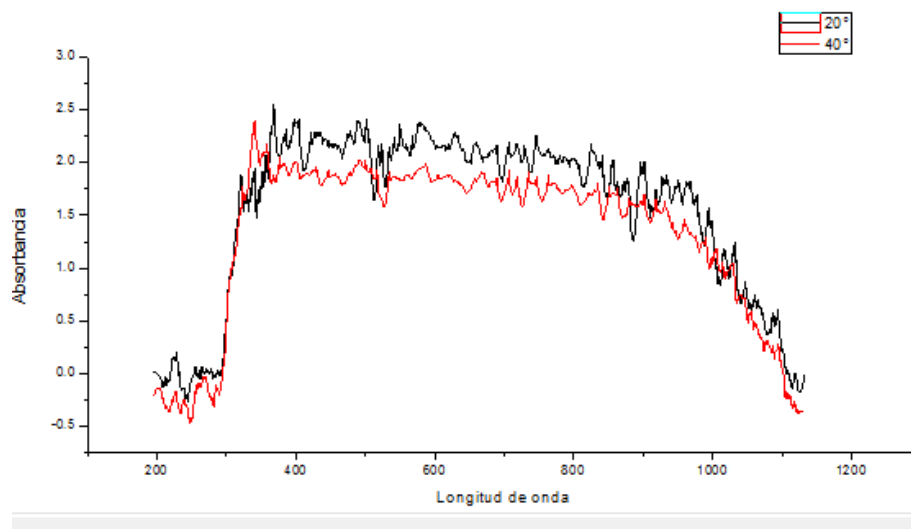


**Figura 4.5** Muestra de referencia de PVC y muestra de PVC y Lofina a 80mg

El rango de temperatura que se le aplico a las muestras fue de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ , con un tiempo de 10min por  $5^{\circ}\text{C}$ . Este tiempo que se le aplico de espera fue para que la muestra pudiera alcanzar la temperatura a la que se deseaba.

En la gráfica de la figura 4.6 observamos la variación de absorbancia que presenta la muestra de Lofina-PVC, con un rango de longitud de onda de 200nm a 1100nm.

Observamos que de 200 nm a 300nm hay una variación de absorbancia de 0 a 2.5 en el rango de temperatura de  $20^{\circ}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ . Conforme la temperatura va aumentando la absorbancia va siendo menor.



**Figura 4.6** Grafica de absorbancia de  $20^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$

## 5. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto observamos varios factores que debemos tomar en cuenta para la caracterización de un sensor, en nuestro caso caracterizamos un sensor de temperatura utilizando fibra óptica, para esto los aspectos que debemos tener en cuenta para que se realice un buen trabajo, es que si nuestra fibra debe tener un empalme, este debe de ser con el menor valor de perdida ya que si tiene un valor mayor de perdida esto afecta en la recepción de los datos.

Uno de los factores que debemos tomar en cuenta para la alimentación del láser que usemos, es que este debe tener una buena fuente de alimentación de voltaje, otro factor que debemos tener en cuenta es la corriente que se le administra. En este proyecto se realizó pruebas con dos tipos de fuentes, una fue con una fuente diseñada por nosotros, y otra con una fuente adquirida por un proveedor. La diferencia que existe en ambas fuentes es que en una hay más variación de corriente y que esto afecta a la lectura de los datos que nos proporciona el láser.



## 6. REFERENCIAS

- [1] J. W. a. Sons, Fiber Optic sensor: an introduction for Engineers and Scientists, Estados Unidos , 1991.
- [2] W. B. S. J. ERIC UDD, «FIBER OPTICS SENSOR AN INTRODUCTION FOR ENGINEERS AND SCIENTISTS,» John Wiley & Sons, Inc., Publication, CANADÁ, 2011.
- [3] J. Haus, «Optical Fibers,» de *Optical Sensor Basics and Applicationn*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010, pp. 46-49.
- [4] P. B. R. F. T. Y. Shishuo Yin, «Basic Concepts and Intensity-Based Fiber Optic Sensor,» de Fiber Optics Sensors, London New York, Taylor & Francis Group, 2008, pp. 2-9.
- [5] Fiber-optic temperature and positioning sensors, Mississippi State University.
- [6] J. Crisp, «Couplers,» de Introduction Fiber Optic, Newnes, 2001, pp. 125-128.  
«Thorlabs,» [En línea]. Available: <https://www.thorlabs.com/>.  
«OceanOptics,» [En línea]. Available: <http://oceanoptics.com/>.

## 7. ANEXOS

### A1. DATASHEET, OPF372A

#### Fiber Optic Transmitter OPF372 Family



##### OPF372 Family

- Low Cost 850 nm LED technology
- Popular ST<sup>®</sup> style receptacle
- Pre-tested with fiber to assure performance
- Component pre-mounted and ready to use
- 35MHz operation



The OPF372 family fiber optic transmitters are high performance devices packaged for data communication links. This transmitter is an 850nm GaAlAs LED and is specifically designed to efficiently launch optical power into fibers ranging in size from 50/125 $\mu$ m up to 200/300 $\mu$ m diameter fiber. Multiple power ranges with upper and lower limits are offered which allows the designer to select a device best suited for the application.

This product's combination of features including high speed and efficient coupled power makes it an ideal transmitter for integration into all types of data communications equipment.

The mechanical design of this packaged is intended for PC Board or panel mounting. It is shipped with a lock washer, jam nut, 2 #2-56 screws, and a protective dust cap.

##### Applications

- Industrial Ethernet equipment
- Copper-to-fiber media conversion
- Intra-system fiber optic links
- Video surveillance systems

Typical Coupled Power $I_f = 100\text{mA}$ , $25^\circ\text{C}$						
Fiber Size	Type	N.A.	OPF372A	OPF372B	OPF372C	OPF372D
50/125 $\mu$ m	Graded Index	0.20	29 $\mu$ W	19 $\mu$ W	12.5 $\mu$ W	7.5 $\mu$ W
62.5/125 $\mu$ m	Graded Index	0.28	89 $\mu$ W	51 $\mu$ W	35 $\mu$ W	27 $\mu$ W
100/140 $\mu$ m	Graded Index	0.29	200 $\mu$ W	129 $\mu$ W	87 $\mu$ W	60 $\mu$ W
200/300 $\mu$ m	Step Index	0.41	750 $\mu$ W	606 $\mu$ W	463 $\mu$ W	320 $\mu$ W

## Absolute Maximum Ratings

$T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

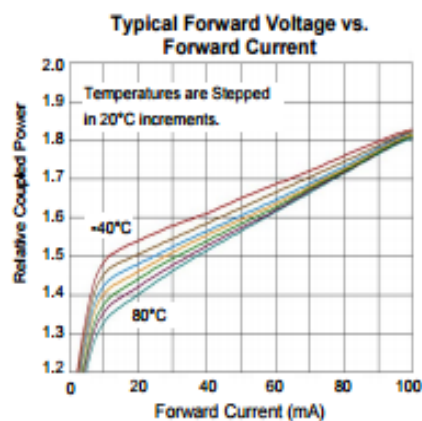
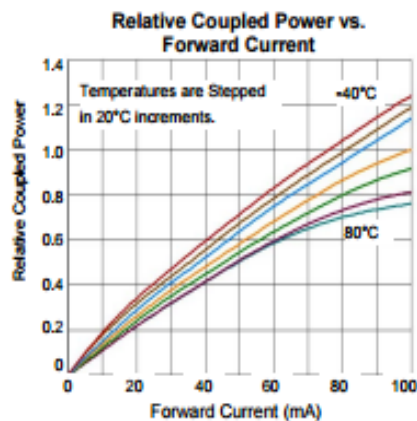
Storage Temperature Range	-55° C to +100° C
Operating Temperature Range	-40° C to +85° C
Lead Soldering Temperature <sup>(1)</sup>	260° C
Continuous Forward Current <sup>(2)</sup>	100 mA
Maximum Reverse Voltage	1.0 V

## Electrical/Optical Characteristics ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	CONDITIONS
$P_{OC}$	Total Coupled Power 50/125 mm Fiber, NA = 0.20	OPF372A	25.0	29.0		$\mu\text{W}$ $I_F = 100\text{ mA}$
		OPF372B	15.0	19.0		
		OPF372C	10.0	12.5		
		OPF372D	5.0	7.5		
$V_F$	Forward Voltage		1.8	2.2	V	$I_F = 100\text{ mA}$
$V_{R1}$	Reverse Voltage	1.8			V	$I_R = 100\ \mu\text{A}$
$\lambda$	Wavelength	830	850	870	nm	$I_F = 50\text{ mA}$
$\Delta\lambda$	Optical Bandwidth		45	60	nm	$I_F = 50\text{ mA}$
$t_r, t_f$	Rise and Fall Time		6.0	10.0	ns	$I_F = 100\text{ mA}$ ; 10% to 90% <sup>(3)</sup>

### Notes:

- Maximum of 5 seconds with soldering iron. Duration can be extended to 10 seconds when flow soldering. RMA flux is recommended.
- De-rate linearly at 1.33mA /°C above 25°C.
- No Pre-bias.
- All Optek fiber optic LED products are subjected to 100% burn-in as part of its quality control process. The burn-in conditions are 96 hours at 100mA drive current and 25°C ambient temperature.

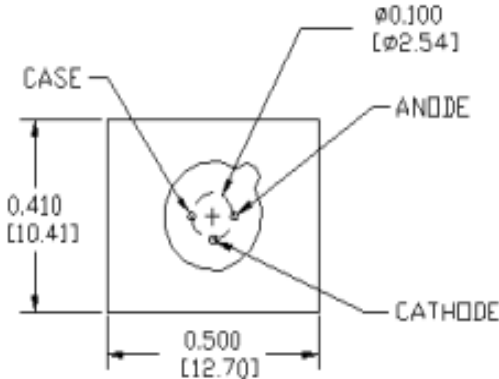
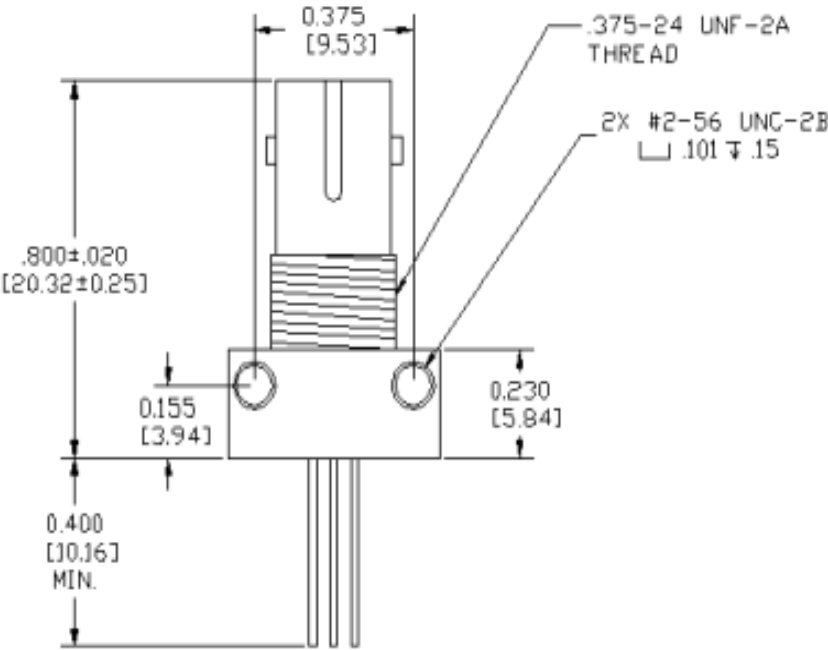


OPTEK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

Fiber Optic Transmitter  
OPF372 Family



Mechanical Data



DIMENSIONS ARE IN INCHES (MILLIMETERS)

OPTEK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

OPTEK Technology Inc.— 1645 Wallace Drive, Carrollton, Texas 75006  
Phone: (800) 341-4747 FAX: (972) 323-2398 sensors@optekinc.com www.optekinc.com

Issue B 4/2013  
Page 3 of 3

## A2. DATASHEET, OPF472

### Fiber Optic Detector OPF472



#### OPF472

- High speed, low capacitance
- Popular ST<sup>®</sup> style receptacle
- Pre-tested with fiber to assure performance
- Component pre-mounted and ready to use
- 35MHz operation minimum



The OPF472 is a low noise silicon PIN photodiode mounted in a low cost package for fiber optic applications. It offers fast response at moderate bias and is compatible with LED and laser diode sources in the 800-1000 nm wavelength region. Low capacitance improves signal to noise performance in typical short haul LAN applications.

The OPF472 is designed to be compatible with multimode optical fibers from 50/125 to 200/300 microns.

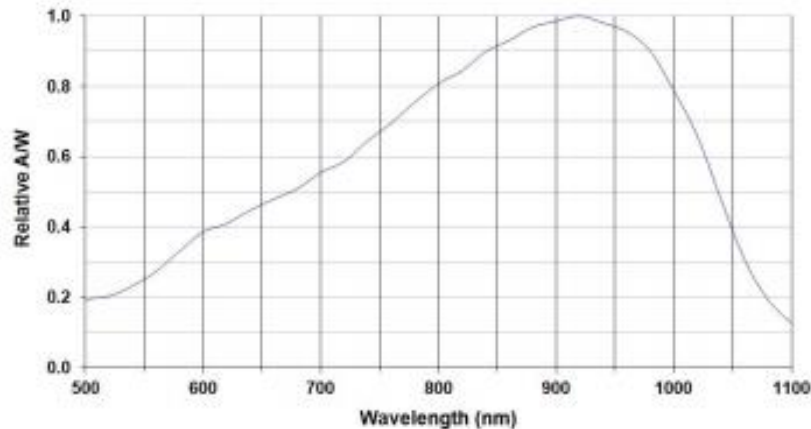
#### Applications

- Industrial Ethernet equipment
- Copper-to-fiber media conversion
- Intra-system fiber optic links
- Video surveillance systems



RoHS

#### Typical Responsivity



ST<sup>®</sup> is a registered trademark of AT&T.

OPTEK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

OPTEK Technology Inc.— 1645 Wallace Drive, Carrollton, Texas 75006  
Phone: (800) 341-4747 FAX: (972) 325-2396 [sensors@optekinc.com](mailto:sensors@optekinc.com) [www.optekinc.com](http://www.optekinc.com)

Issue B 4/2013  
Page 1 of 3

### Absolute Maximum Ratings

T<sub>A</sub> = 25° C unless otherwise noted

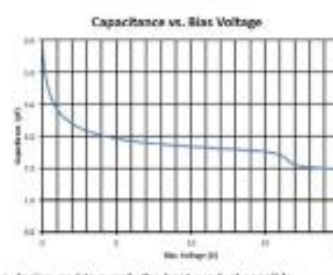
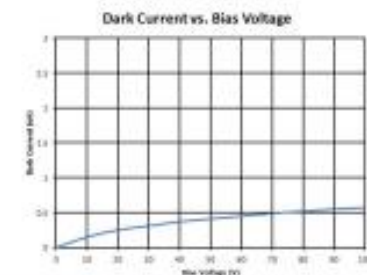
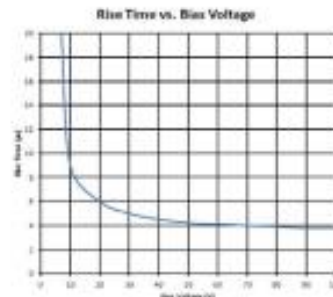
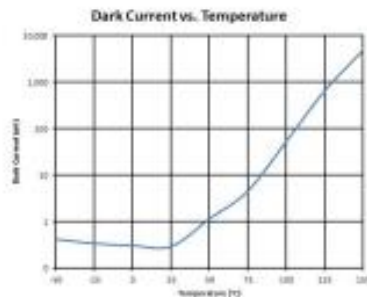
Storage Temperature Range	-55° C to +100° C
Operating Temperature Range	-40° C to +85° C
Lead Soldering Temperature <sup>(1)</sup>	260° C
Continuous Power Dissipation <sup>(2)</sup>	200 mW
Maximum Reverse Voltage	100 VDC

### Electrical/Optical Characteristics (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	CONDITIONS
R	Responsivity	0.45	0.55		A/W	V <sub>R</sub> = 5.0V; 50/125µm fiber; λ = 850nm
I <sub>b</sub>	Dark Current		0.1	5.0	nA	V <sub>R</sub> = 5.0V
λ <sub>p</sub>	Peak Response Wavelength		905		nm	
t <sub>r</sub>	Output Rise Time		6.0		ns	V <sub>R</sub> = 15V; R <sub>L</sub> = 50Ω, 10%-90%
C <sub>T</sub>	Total Capacitance		3.0		pF	V <sub>R</sub> = 20V

**Notes:**

- Maximum of 5 seconds with soldering iron. Duration can be extended to 10 seconds when flow soldering. RMA flux is recommended.
- De-rate linearly at 2.67mW/°C above 25°C.

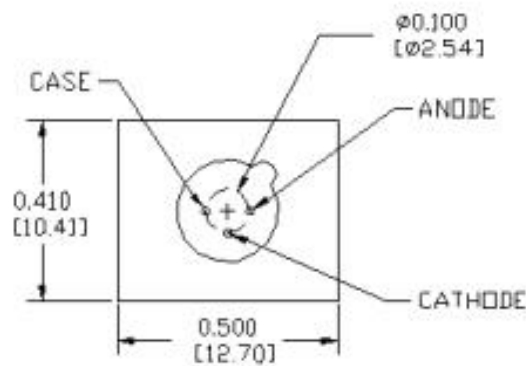
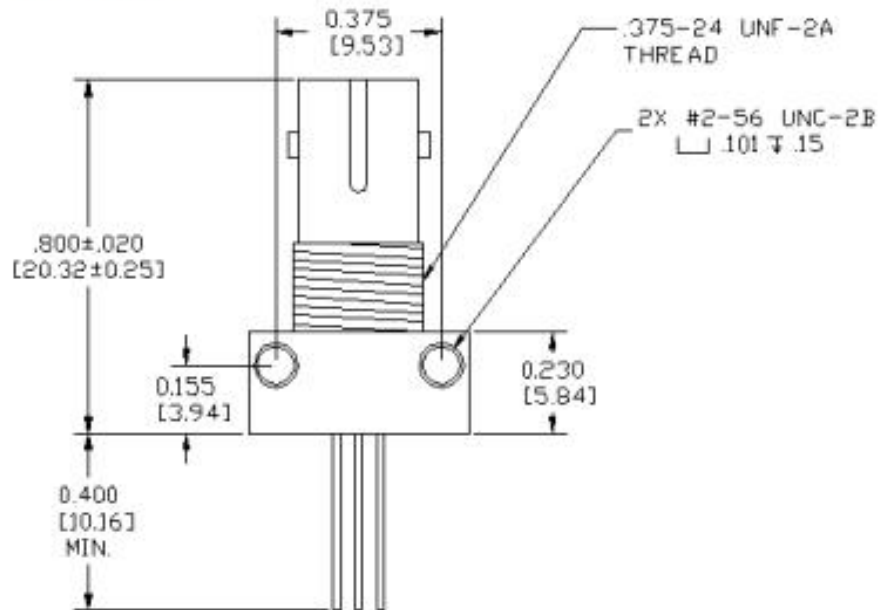


In order to improve design and to supply the best product possible.

# Fiber Optic Detector OPF472



## Mechanical Data



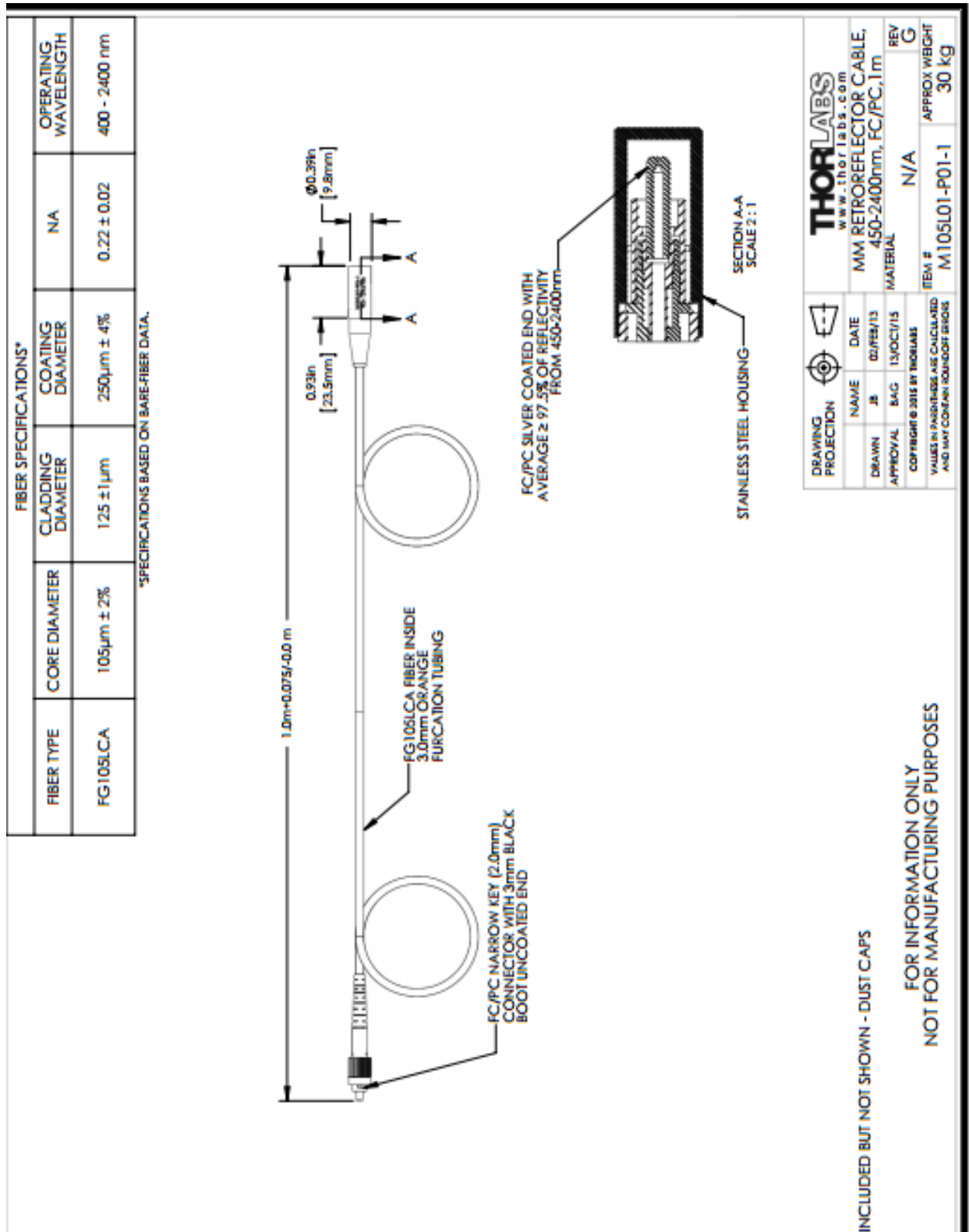
DIMENSIONS ARE IN INCHES (MILLIMETERS)

OPTEK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

OPTEK Technology Inc.—1545 Wallace Drive, Carrollton, Texas 75006  
Phone: (800) 341-4747 FAX: (972) 323-2396 sensors@optekinc.com www.optekinc.com

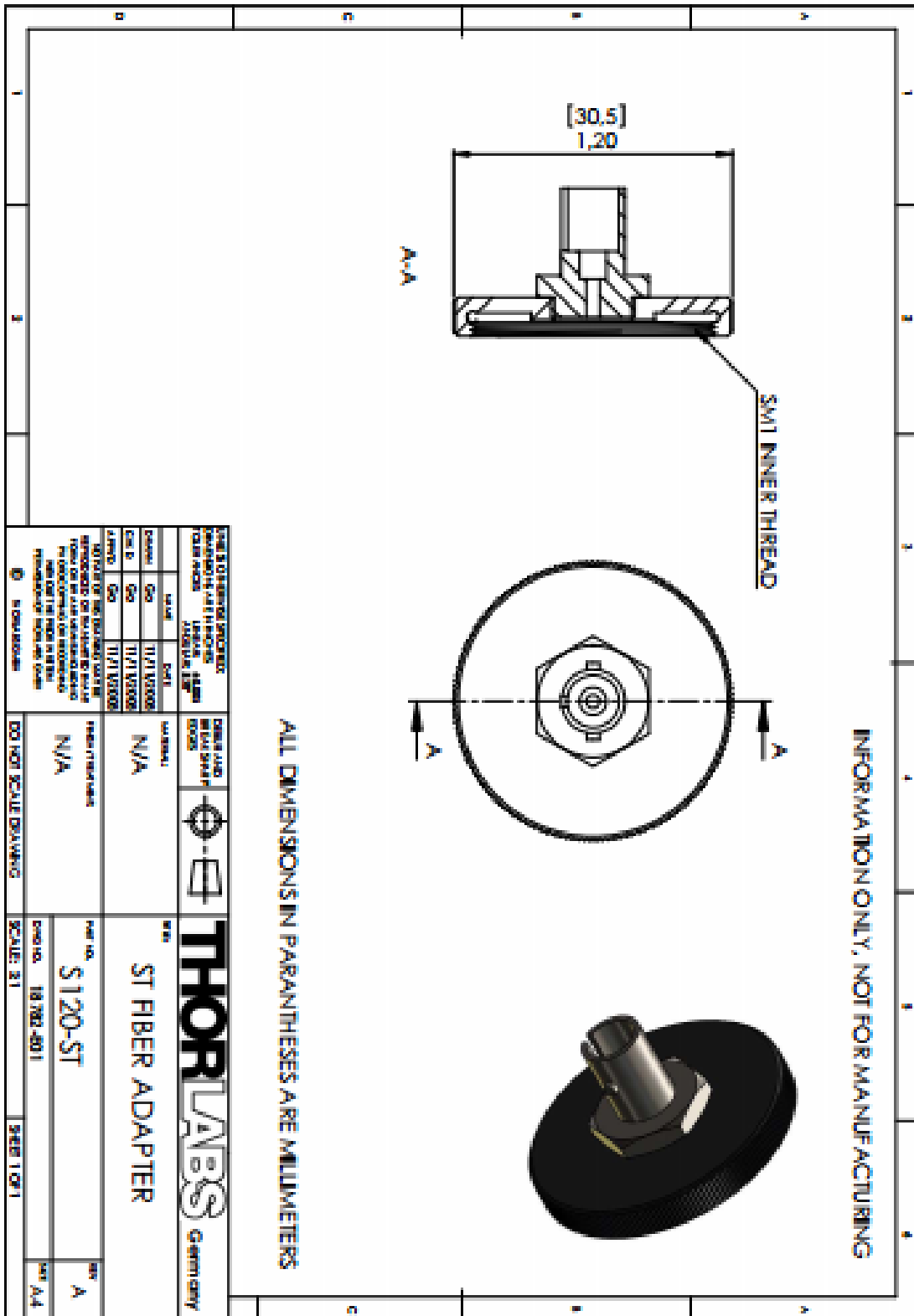
Issue B 4/2013  
Page 3 of 3

### A3. DATASHEET, M105L01-P01-1





# A4. ADAPTADOR DE FIBRA ÓPTICA S120-ST



## A5. Sensor de potencia S120VC

FOR INFORMATION ONLY  
NOT FOR MANUFACTURING PURPOSES

SECTION A-A

HEAD/FILTR SURFACE

DETECTOR SURFACE

0.5mm  
[0.5mm]  
0.1mm  
[0.3mm]  
0mm  
[1.0mm]

0.5mm  
[0.5mm]

0.5mm  
[13.2mm]

VIEW BUS

SWITCHER HEAD

SOLDER AND WIRE POSITIONING

0.5mm  
[0.5mm]

0.5mm  
[0.5mm]

0.1mm  
[0.1mm]

13.2mm  
[13.2mm]

40° (15μ) CHISEL TO DR. WATER COOLANT

USE ROUND MECHANICAL BRUSHES TO PRESS FROM BOTH SIDES FOR FLUORESCENCE AND LUMINESCENCE

THOR TEST

CONNECTOR PIN DIAGRAM

1	EPROM DATA
2	NO ANODE & NIC GROUND
3	POLARIZING
4	EPROM GROUND
7	NIC
1,4,5,6	NIC

Producing PROJECTION	NAME DATE	<b>THORLABS</b> www.thorlabs.com	
DRAWN QD DAY/13		SILICON POWER HEAD	
APPROVAL HZG DAY/13		MATERIAL N/A	REV. B
CONNECTOR PART NUMBER			PART'S WEIGHT 0.1 kg
VIEWING MECHANISM AND COOLANT TIP			
40° (15μ) CHISEL TO DR. WATER COOLANT			

## A6. Programación en Arduino

```
#include <OneWire.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>

OneWire ds (A0); // on pin 10 (a 4.7K resistor is necessary)
LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2);
int linea = 0;
int LABEL = 1;
int valor = 0;
int i; // variable de iteraciones
int s; //medida en segundos del periodo en el que se toman las medidas
int v;
int peltier = 10;
int resistencia = 9;
const int inPinA1 = A1;
int sensorValue = 0;
int Temp=9; //Parámetro de encendido de la resistencia o la celda de peltier

byte grado[8] = {
  0b00111,
  0b00101,
  0b00111,
  0b00000,
  0b00000,
  0b00000,
  0b00000,
  0b00000
};
byte termometro[8] = {
  0b00100,
  0b01010,
  0b01010,
  0b01110,
  0b01110,
  0b11111,
  0b11111,
  0b01110
};
void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Hora,celsius,pVolt0,linea");

  /* lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Residencia");
```

```

lcd.createChar(7, grado);
lcd.createChar(9, termometro);*/
pinMode(peltier,OUTPUT);
pinMode(resistencia,OUTPUT);
pinMode(inPinA1,INPUT);
digitalWrite(peltier,HIGH);

}
void loop(void) {
  for(i=0;i<=4999;i++) { //realiza 5 iteraciones
    byte i;
    byte present = 0;
    byte type_s;
    byte data[12];
    byte addr[8];
    float celsius, fahrenheit;

    if ( !ds.search(addr)) {
      // Serial.println("No more addresses.");
      Serial.println();
      ds.reset_search();
      delay(250);
      return;
    }
    // Serial.print("ROM =");
    for( i = 0; i < 8; i++) {
      // Serial.write(' ');
      // Serial.print(addr[i], HEX);
    }
    if (OneWire::crc8(addr, 7)!= addr[7]) {
      // Serial.println("CRC is not valid!");
      return;
    }
    // Serial.println();
    // the first ROM byte indicates which chip
    switch (addr[0]) {
      case 0x10:
        // Serial.println(" Chip = DS18S20"); // or old DS1820
        type_s = 1;
        break;
      case 0x28:
        // Serial.println(" Chip = DS18B20");
        type_s = 0;
        break;

```

```

case 0x22:
// Serial.println(" Chip = DS1822");
  type_s = 0;
  break;
default:
// Serial.println("Device is not a DS18x20 family device.");
  return;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44); // start conversion, use ds.write(0x44,1) with parasite power on at the end
// delay(1000); // maybe 750ms is enough, maybe not
present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // Read Scratchpad
//Serial.print(" Data = ");
//Serial.print(present, HEX);
//Serial.print(" ");
for ( i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
  data[i] = ds.read();
// Serial.print(data[i], HEX);
  //Serial.print(" ");
}
// Serial.print(" CRC=");
// Serial.print(OneWire::crc8(data, 8), HEX);
// Serial.println();

// Convert the data to actual temperature
// because the result is a 16 bit signed integer, it should
// be stored to an "int16_t" type, which is always 16 bits
// even when compiled on a 32 bit processor.
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
if (type_s) {
  raw = raw << 3; // 9 bit resolution default
  if (data[7] == 0x10) {
    // "count remain" gives full 12 bit resolution
    raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
  }
} else {
  byte cfg = (data [4] & 0x60);
  // at lower res, the low bits are undefined, so let's zero them
  if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7; // 9 bit resolution, 93.75 ms
  else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3; // 10 bit res, 187.5 ms
}

```

```

else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1; // 11 bit res, 375 ms
//// default is 12 bit resolution, 750 ms conversion time
}
int pinReadA1 = analogRead(inPinA1);
float pVolt0 = pinReadA1 / 1024.0 * 5.0;
celsius = (float)raw / 16.0;

if(celsius <=Temp){
  digitalWrite(peltier,LOW);
  digitalWrite(resistencia,HIGH);
}
if(celsius >= Temp+61){
  digitalWrite(peltier,HIGH);
  digitalWrite(resistencia,LOW);
}
linea++;
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(celsius);
Serial.print(",");
Serial.print(pVolt0);
Serial.print(",");
Serial.println(linea);
delay(1000);
}

}

```