

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



PROYECTO FIN DE CARRERA

DPTO. TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

**AUTOMATIZACIÓN DE MEDIDAS EN LABVIEW PARA LA ELECTRÓNICA DE ACONDICIONAMIENTO
EN SENSORES DE FIBRA ÓPTICA DE PLÁSTICO: APLICACIÓN A SISTEMAS DE STRUCTURAL HEALTH
MONITORING (SHM) EN AERONÁUTICA**

Alumno:

Carlos Miguel Gómez Vargas

Tutores:

Prof. Dr. David Sánchez Montero

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

Leganés, Octubre de 2013

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Motivación y objetivos.....	8
1.2 Metodología.....	10
CAPÍTULO 2 ESCENARIO DE APLICACIÓN.....	11
2.1 Cables de Fibra Óptica de Plástico.....	12
2.2 Sistema Óptico.....	14
2.3 Sensores de Fibra Óptica.....	15
2.4 Red de Sensores de en Fibra Óptica de Plástico.....	17
CAPÍTULO 3 CONCEPTOS PARA EL DISEÑO DEL SENSOR DE FIBRA ÓPTICA.....	21
3.1 Multiplexación Óptica.....	21
3.2 Sensor de Intensidad basado en la curvatura de la POF.....	22
3.3 Sensor de POF para sistemas de Structural Health Monitoring (SHM).....	24
CAPÍTULO 4 DISEÑO Y MONTAJE DEL SENSOR DE FIBRA ÓPTICA DE PLÁSTICO.....	26
4.1 Fibra Óptica de Plástico.....	27
4.2 Transmisor.....	27
4.2.1 Circuito.....	28
4.2.2 Circuito Driver para el LED.....	28
4.3 Receptor.....	31
4.3.1 Circuito.....	32
4.3.2 Amplificador de transimpedancia.....	32

4.3.3	Circuito Digitalizador.....	34
4.4	Montaje de la PCB.....	35
CAPÍTULO 5 AUTOMATIZACIÓN DE MEDIDAS EN LABVIEW		39
5.1	Introducción programación Labview.....	39
5.2	Instrumentación Virtual.....	40
5.3	Software LabVIEW© de National Instruments y Measurement and Automation Explorer (MAX).....	41
5.3.1	Aplicaciones de LabVIEW©.....	41
5.3.2	Programación gráfica con LabVIEW©.....	41
5.3.3	Evolución de LabVIEW©.....	44
5.3.4	Software Measurement and automation Explorer (MAX).....	45
5.3.5	Hardware de adquisición de datos.....	46
5.4	Tarjeta de adquisición NI USB-6009.....	49
CAPÍTULO 6 CONCEPTOS DE DISEÑO LABVIEW.....		54
6.1	Diagrama de flujo.....	54
6.2	Estados de funcionamiento.....	55
CAPITULO 7 DISEÑO Y MONTAJE DE LA TARJETA NI-USB 6009.....		59
CAPITULO 8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....		62
	Anexo I.....	64
	Anexo II Presupuesto.....	66
REFERENCIAS.....		68

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1** Localización de sensores en un sistema de SHM
- Figura 2.1** Constitución del sistema óptico
- Figura 2.2** Diagrama de bloques del sistema completo de fibra óptica y sistema de adquisición..
- Figura 2.3 (a)** Sensor de fibra óptica modulado en intensidad por microdeformaciones.
- Figura 2.3 (b)** Ejemplo de transmisión de la luz en una fibra óptica
- Figura 2.4** Mallado de distribución mallada del sensor POF para la medida de impactos
- Figura 2.5** Deformación vs. Fuerza
- Figura 3.1** Reflexión total interna en la POF se conserva si no se trata de curvar.
- Figura 3.2** La intensidad de luz disminuye cuando la POF es doblada hacia el lado de donde fue modificada.
- Figura 3.3** La intensidad de luz aumenta cuando la POF es doblada hacia el lado opuesto de donde fue modificada.
- Figura 3.4** Deformación de la POF debido a fuerzas externas o imperfección.
- Figura 4.1** Diagrama de Bloques del sensor POF.
- Figura 4.2** Diagrama de bloques del transmisor.
- Figura 4.3** Circuito driver para el LED con entrada analógica
- Figura 4.4 (a)**. Señal de ingreso del circuito driver con señal analógica
- Figura 4.4 (b)** Señal de salida del circuito driver con señal analógica
- Figura 4.5** Circuito driver con ingreso digital.
- Figura 4.6** Señales de ingreso (verde) y salida (roja) del circuito driver con ingreso digital – Simulado en orcad-.
- Figura 4.7** Circuito transmisor con ingreso analógico y digital
- Figura 4.8** Diagrama de bloques del Receptor
- Figura 4.9** Diseño del amplificador de transimpedancia
- Figura 4.10** Circuito Digitalizador
- Figura 4.11 (a)** Esquemático del Circuito de recepción mediante FO.
- Figura 4.11 (b)** Salida del circuito de digitalización –Simulado en Orcad
- Figura 4.12** PCB del Emisor
- Figura 4.13** PCB del Receptor
- Figura 4.14** PCB del Circuito transmisor para la red de Sensores POF
- Figura 4.15** PCB del Circuito Receptor para la red de Sensores POF
- Figura 4.16** Sección horizontal del mallado de sensores POF
- Figura 4.17** Malla de Sensores POF
- Figura 5.1** Panel frontal y diagrama de bloques

Figura 5.2 Panel Frontal.

Figura 5.3 Diagrama de bloques de una tarjeta de adquisición ADC/DAC.

Figura 5.5. Conexiones de la DAQ USB-6009. Terminales analógicos del pin 1 al 16, terminales digitales del pin 17 a 32.

Figura 6.1 Diagrama de la máquina de estados.

Figura 6.2 Etapa de adquisición de datos

Figura 6.3 Etapa de creación de archivo

Figura 6.4 Etapa de adquisición y almacenamiento.

Figura 6.5 Medición sobre canal 1.

Figura 7.1 Diagrama de conexión para 3 canales

Figura 7.2 Panel frontal monitorizando impactos.

Figura 7.3 Tabla de adquisición

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Comparativa entre POF y fibra óptica de vidrio

TABLA 2.2 Tipos de sensores para la detección de deformaciones

TABLA 2.3 Máxima medida de tensión permitida con tres sistemas de sensado distintos

TABLA 5.1 Esquema comparativo de las características de diferentes dispositivos de adquisición de datos.

TABLA 5.2 Especificaciones tarjeta NI USB 6009

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se pretende desarrollar una aplicación mediante la herramienta de instrumentación virtual Labview a una red de sensores implementados en sistemas de Structural Health Monitoring (SHM) que sea capaz de adquirir datos en tiempo real así como almacenarlos para su posterior análisis. Los sensores aplicados a dicho sistema son sensores basados en fibra óptica de plástico (POF, del inglés Plastic Optical Fiber), cuyo estudio e investigación parten de proyectos anteriores.

En redes de comunicación de datos de corta distancia, la necesidad de disponer de comunicaciones de alta velocidad que sean fáciles y asequibles está en continuo crecimiento. A pesar de que habitualmente se emplea la vía inalámbrica para realizar tales comunicaciones, cuando se crea la necesidad de garantizar un servicio de alta calidad o la aplicación es sensible a las interferencias electromagnéticas, la comunicación inalámbrica deja de ser un canal válido. En tales circunstancias, la fibra óptica de plástico (POF) es la opción ideal. Los sistemas basados en POF, a pesar de ser menos conocidos y utilizados que los basados en fibra óptica de vidrio (FO), resultan ser más económicos y su uso está extendido a entornos tales como los motores de los trenes de alta velocidad ^[1] o a los sistemas de entretenimiento multimedia de los automóviles de gama alta ^[2]. Igualmente, los sensores ópticos basados en fibras ópticas están incrementando su tasa de aceptación e incursión en el mercado de las aplicaciones de sensado. Por ejemplo, ya hace una década se estimaba que 1 de cada 7 sensores desarrollados para aplicaciones en el hogar digital estaban basados en fibra óptica ^[3]. Y dentro de este campo, las fibras ópticas de plástico parecen presentar un nicho de mercado en continua expansión ^[4].

La principal ventaja de la POF, aparte de estar fabricada con materiales de bajo costo, reside en su mayor diámetro de núcleo, comparadas con las tradicionales fibras de sílice (SiO₂), tanto monomodo como multimodo. Esto, permite un acoplamiento sencillo y robusto entre la fibra óptica y la fuente de luz, haciendo posible su fácil manipulación. Además la elasticidad intrínseca

de las POFs, las hacen más insensibles a las vibraciones mecánicas y más resistentes a fisuras, propiedad que las fibras ópticas de vidrio es más difícil de garantizar.

Por otro lado, el mercado de las POFs desde el año 2008 ha presentado un notable progreso. Las empresas, hoy en día, tienen un interés especial en reforzar sus estrategias en lo que respecta a las POFs. En dicho campo mercantil y tecnológico se están introduciendo empresas de China, Taiwán, Japón, EE.UU., Canadá, Europa, Corea y Australia, como Fuji Photo Film, Asahi Glass, Chromis, Lucina, etc., con una clara disposición a trabajar con este tipo de fibra.

Los principales motivos de este interés en las POF son:

- i) La necesidad de soluciones ópticas de bajo coste.
- ii) La aceptación por parte de los fabricantes europeos de automóviles del estándar “Media Oriented Systems Transport” (MOST) ^[5] para la transmisión de datos a través de POF.
- iii) La reciente aprobación del *Estándar 1394b* ^[6], lo que aumenta la distancia entre nodos a 100 metros a velocidades de hasta 3.29 Gbps. Estas tasas de transmisión de datos con alcance de 100m son fácilmente soportadas por las POF. En anteriores investigaciones ^[7] se pudo verificar que con la POF es posible conseguir unas tasas de transmisión de 11Gbps para una distancia de 100m.
- iv) Sus numerosas aplicaciones, en ámbitos tan diversos como la automatización, consumo, controles industriales, interconexiones, medicina, etc.

Por el gran potencial que presenta este tipo de fibras, hace muy interesante su estudio, tanto teórico como experimental.

Este proyecto iniciará con una introducción del ámbito de aplicación del presente proyecto y, paso a paso, se verá porqué se utilizará la POF para el diseño y desarrollo de la electrónica de un sistema de sensado para sistemas de Structural Health Monitoring (SHM) aplicados en aeronáutica. Se profundizará en la automatización de las medidas y la captura de datos mediante el software Labview, una potente herramienta que permite monitorizar en tiempo real parámetros asociados a las deformaciones de los materiales, en este caso permitiendo monitorizar y capturar información e incluso previniendo rupturas o deformaciones plásticas en las estructuras.

1.1 Motivación y Objetivos

Los sistemas aeronáuticos actuales están compuestos de una gran cantidad de de sistemas hidráulicos, electrónicos, de propulsión, de materiales de gran rigidez pero no pesados, etc. Para garantizar la calidad y viabilidad de estos sistemas se debe realizar una monitorización extensa. Sin embargo se trata de un ambiente de sensado claramente hostil en cuanto a interferencias electromagnéticas, puesto que aparte de estos sistemas habría que añadir toda la aviónica que posee la aeronave. Centrándonos en las propiedades estructurales de los materiales que conforman una aeronave la monitorización, en un principio, del estado de un sistema aeronáutico se realizaba aunque en la actualidad algunos sistemas aeronáuticos todavía lo tienen, con galgas extensiométricas situadas en diferentes puntos de la aeronave para determinar el estado de fatiga del mismo. Sin embargo, estos sistemas no son capaces de determinar si existen inicios de fallos en la estructura del aéreo

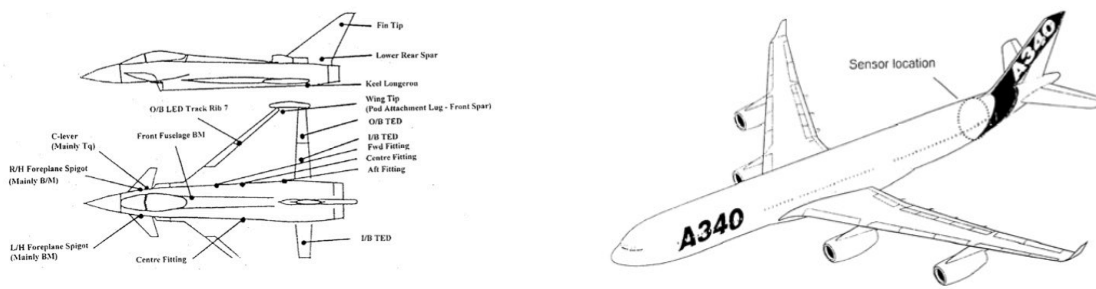


Figura 1.1 Localización de sensores en un sistema de SHM: a. con galgas extensiométricas en el Eurofighter 2000 ^[8] b. Con redes de sensores Bragg en un Airbus A340-600/45/ ^[9]

Posteriormente se reemplazó esta tipología por sensores ópticos, basados en redes de sensores de Bragg, las cuales son capaces de monitorizar el estado estructural de la aeronave (Figura 1.1). Este tipo de configuración tomó mucha fuerza en el campo de la aeronáutica, debido a que se caracteriza en ser insensible a fuentes electromagnéticas (problema que tenían las galgas extensiométricas) y ofrecer la posibilidad de tener varios sensores en una misma fibra óptica

(multiplexado). Adicionalmente, su tamaño reducido y poco peso contribuyen a una mayor eficiencia en consumo de combustible por parte de la aeronave. El material con el que normalmente se realizaban estas fibras ópticas era dióxido de silicio (SiO_2) o normalmente conocido como sílice. Luego de realizar diferentes pruebas para optimizar la fibra, un grupo de investigadores ^[10] encontraron una alternativa más económica de realizar fibras ópticas, el plástico.

Con este tipo de fibra óptica de plástico (POF), se desea diseñar y desarrollar una red de sensores de fibra óptica capaz de medir deformaciones en materiales que sirven para la fabricación de sistemas aeronáuticos, luego de ser impactado por un determinado o indeterminado objeto, y así verificar si el material sufre alguna variación física.

Se utilizará la POF como medio transmisor de luz y, a la vez, sensor de fibra óptica ya que ésta se caracteriza por ser flexible (soportar $3\mu\text{m}$ de radio crítico de curvatura a 650nm). Su fácil manipulación hace a la POF muy viable para la monitorización y/o la detección de deformaciones en una estructura.

Podemos considerar por tanto la fibra óptica de plástico un elemento que se conformará como parte de un sistema de automatización capaz de medir variables físicas, ejercer acciones de control y transmisión de señales.

La idea es utilizar esta red de sensores de fibra óptica como un elemento más, que facilite la implementación de funciones de análisis, optimización, autodiagnóstico, aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.

1.2 Metodología

Para desarrollar el presente proyecto partiremos de la red de sensores POF que será aplicada a sistemas de Structural Health Monitoring (SHM) en aeronáutica, el cual nos permitirá registrar en qué parte del material ocurrió un impacto y si existe riesgo de fallo estructural del propio material.

Como punto de partida utilizaremos un circuito electrónico desarrollado previamente en un proyecto anterior consistente en una placa driver para diferentes transmisores ópticos tipo LED, el cual tendrá capacidad de transmitir una señal modulada de modo Analógico o Digital, así como una placa de recepción donde se ubican los fotodetectores además de su electrónica de acondicionamiento.

El desarrollo de este proyecto se centra en la adquisición digital de las señales provenientes de la etapa de recepción así como la programación e instrumentación virtual en Labview para el posterior estudio y tratamiento de las señales recibidas.

Para verificar la fiabilidad de las medidas del sensor POF se realizarán una serie de lecturas en la sección de recepción del sensor mediante un osciloscopio. Si estas lecturas son similares a las adquiridas se comprobará la validez del diseño. Siendo así, se integrará esta aplicación como parte del sistema Structural Health Monitoring (SHM) en aeronáutica.

CAPITULO 2 ESCENARIO DE APLICACIÓN

Desde un punto de vista teórico, el funcionamiento de las fibras ópticas de vidrio y las fibras ópticas de plástico (POFs) están sujetas a los mismos principios físicos. Queda por tanto valorar en qué entornos de funcionamiento dichas fibras deben ser utilizadas, optimizando el rendimiento y coste de aplicación de las mismas.

Los principios básicos de su funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell^[11]. Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que éste no atraviese el revestimiento o cubierta, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia del rayo en la interfaz núcleo-cubierta de la fibra óptica es superior al ángulo límite.

En un sistema optoelectrónico de comunicaciones, la luz producida por una fuente genérica de luz, viaja a través del núcleo debido a la reflexión que se produce en la cubierta, y es convertida en señal eléctrica en el extremo receptor. La fibra óptica es un medio excelente para la transmisión de información debido a sus excelentes características: gran ancho de banda, baja atenuación de la señal, integridad, inmunidad a interferencias electromagnéticas, alta seguridad y larga duración. Su mayor desventaja es su coste de producción superior al resto de los tipos de cable, debido a necesitarse el empleo de vidrio de alta calidad y la fragilidad de su manejo en producción. Esto supone una ventaja de las POFs frente a la fibra óptica de vidrio puesto que además de tener costes de producción inferiores, su resistencia y gran flexibilidad permite su uso en entornos sometidos a impactos o deformaciones.

2.1 Cables de Fibra Óptica de Plástico (POF)

Se puede apreciar (TABLA 2.1) una comparación entre las fibras ópticas de plástico y de vidrio, y el porqué este proyecto parte de la fibra óptica de plástico POF para su desarrollo.

	Fibra Óptica de Plástico (POF)	Fibra Óptica de Vidrio
Costo de los componentes	Económicos	Muy caros
Perdidas	Media – Alta	Media – Baja
Conexiones	Fácil conexionado: No requiere experiencia o herramientas especiales.	Toma más tiempo el conexionado: requiere formación y herramientas especiales
Manipulación	Fácil	Requiere formación y cuidado
Flexibilidad	Flexible	Frágil
Rango de operación típico (Longitud de onda)	Visible	Infrarrojo
Apertura Numérica	Alta (0.4)	Baja (0.1 – 0.2)
Ancho de Banda típico (BW)	(11 Gbps por 100 m)	(40Gbps·km)
Equipo de pruebas	Bajo Costo	Costoso
Costo del Sistema	Bajo en su totalidad	Alto

TABLA 2.1 Comparativa entre POF y fibra óptica de vidrio

Existen diferentes tipos de cables de fibra óptica de plástico disponibles en el mercado, los cuales se diferencian según las características anteriormente mencionadas.

La fibra óptica de plástico se puede usar en aplicaciones en las que se requiere del movimiento o de la flexión del cable, por eso es muy utilizado en entornos industriales. Sin embargo, cuando la abrasión del cable o los impactos ocasionales al mismo son una preocupación, se suelen utilizar los cables de fibra óptica de vidrio recubiertos de acero inoxidable. Su resistencia a sustancias químicas como solventes ácidos y alcalinos, que pueden dañar el núcleo de fibra de polietileno, es

baja. Aunque, el forro ofrece cierta protección contra el agua, su uso a largo plazo en ambientes con sustancias químicas, podría destruir por completo el material del núcleo.

Queda al margen del proyecto el análisis de los efectos que se producen por las distancias de transmisión y recepción, que en este caso fueron requisito previo en el diseño del sensor POF. Este proyecto no se preocupará por este efecto, ya que la distancia entre la transmisión y recepción será muy corta y los tramos de fibra analizados serán del orden de unidades de metros. En la etapa de recepción los niveles de potencia óptica recibida se mantendrán dentro de un rango de valores determinados.

2.2 Sistema Óptico

El sistema óptico de sensado que se analizará está formado por tres partes básicas, las cuales están representadas en la (Figura 2.1): etapa de transmisión, medio físico o canal de transmisión y, por último, parte receptora o de recepción.

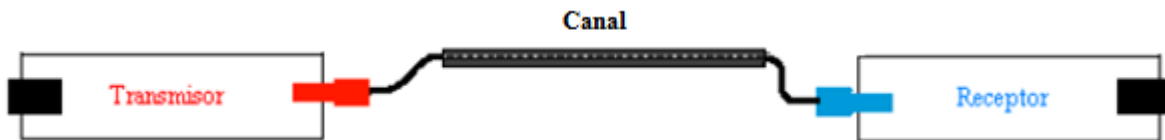


Figura 2.1. Constitución del sistema óptico

El transmisor, está compuesto de un modulador y una fuente de luz con su respectivo circuito driver. La luz con la información viaja por el canal –fibra óptica- para después ser recibida por el receptor, el cual se compone de un fotodetector, un amplificador para amplificar la señal, y un demodulador para obtener la información que fue transmitida.

En el caso de este proyecto el circuito receptor no hizo uso de etapas de amplificación óptica para contrarrestar la atenuación, ya que la distancia entre el transmisor y el receptor no es grande. La siguiente figura 2.2 muestra el diagrama de bloques del sistema completo y el sistema de adquisición.

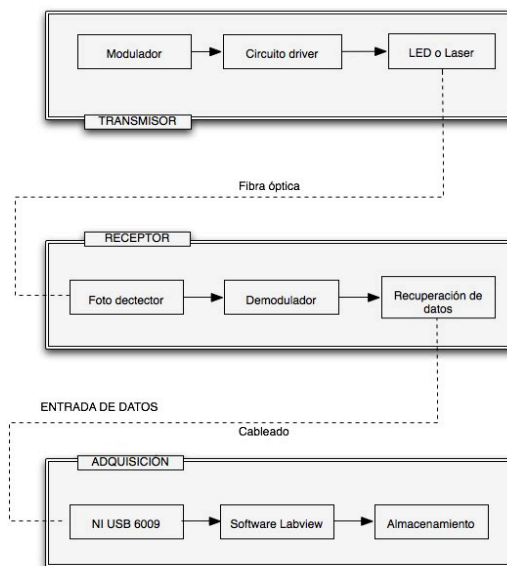


Figura 2.2. Diagrama de bloques del sistema completo de fibra óptica y sistema de adquisición..

2.3 Sensores en Fibra Óptica

Existe una gran variedad de sensores que se pueden utilizar para medir deformaciones y temperaturas en estructuras aeronáuticas entre los que cabe destacar tres tipos: ópticos, electromagnéticos y electromecánicos. Los sensores de fibra óptica son muy adecuados para su integración en materiales compuestos por sus pequeñas dimensiones y su reducido peso. Los mejores sensores para integrar en materiales compuestos son las fibras ópticas o las placas finas de cerámicos piezoeléctricos. A continuación se analizan con más detalle los diferentes tipos de sensores ópticos según su principio de operación.

Por otra parte, las fibras ópticas están formadas por distintos materiales en el núcleo tales como silicio (incluyendo diferentes concentraciones de sustancias dopantes) y plástico entre otros y presentan uno o dos revestimientos de dichos materiales con un grosor que varía típicamente entre los 125 μm (fibra óptica de vidrio) a 500 μm ó 1000 μm (fibra óptica de plástico). El uso de qué material queda determinado por el conjunto sensor y material de la estructura así como por las condiciones a las que ambos serán sometidos. En nuestro caso, un factor determinante a la hora de la elección ha sido las deformaciones a las que será sometida la red POF.

Los sensores ópticos se pueden clasificar en cuatro tipos básicos: sensores de *Intensidad* (la magnitud afectada es la potencia óptica), *Interferométricos* (fase de la luz), *Polarimétricos* (polarización de la luz) o *Espectroscópicos* (longitud de onda de la luz).

El sensor objeto de estudio en este proyecto es un sensor de intensidad por curvatura donde la luz que atraviesa la fibra modula su intensidad gracias a una disminución de ésta, debido a pérdidas en el núcleo por curvaturas en la fibra. Es decir, si la fibra es sometida a una curvatura con un determinado radio causa pérdidas de luz por radiación de la misma hacia la cubierta de la fibra y posterior atenuación, detectándose una disminución de potencia óptica a la salida de la fibra.

La configuración de ***El sensor de intensidad por curvatura***, consiste en una fuente de luz, un tramo de FO, un sistema que induce micro-deformaciones el cual es controlado para que no destruya la fibra y un sistema de detección. Un ejemplo de esta configuración puede apreciarse en la Figura 2.3 (a).

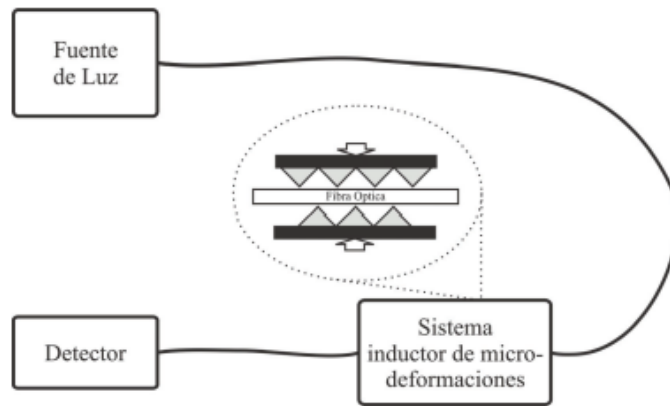


Figura 2.3 (a) Sensor de fibra óptica modulado en intensidad por microdeformaciones.

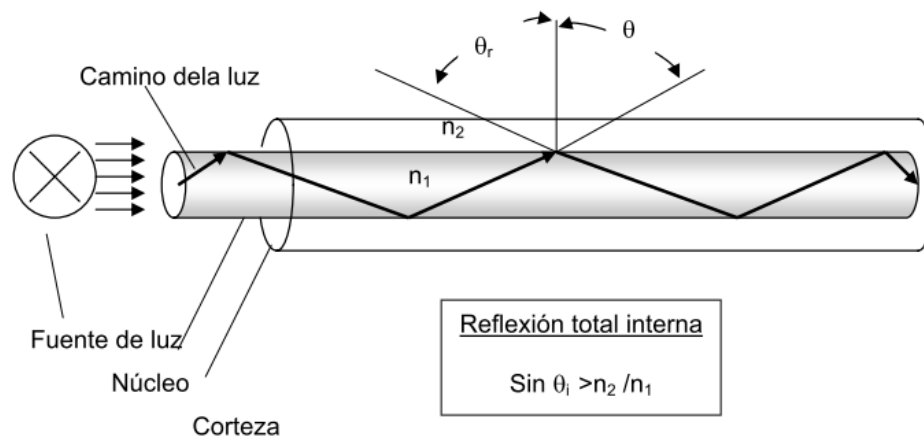


Figura 2.3 (b) Ejemplo de transmisión de la luz en una fibra óptica

La Figura 2.3 (b) un ejemplo de transmisión de la luz a lo largo de la fibra óptica, donde n_1 indica el índice de refracción del núcleo y n_2 indica el índice de refracción de la cubierta. El núcleo de la fibra óptica transporta la luz que llega de una fuente óptica, que puede ser un fotodiodo o un láser. Por la diferencia en el índice de refracción entre el núcleo y la cubierta, la luz dentro del núcleo es reflejada en la interfaz núcleo-cubierta propagándose dentro del núcleo de la misma, según se deduce de la ley de Snell. Se observan pérdidas importantes de intensidad solamente cuando la fibra está flexionada con radios pequeños menores de $R = 30 \text{ mm}$, o cuando está sometida a fuerzas transversales significativas.

2.4 Red de Sensores en Fibra Óptica de Plástico

En el presente proyecto, el sensor POF, basado en intensidad óptica, se desarrolló para medidas de SHM en aplicaciones aeronáutica. En concreto, para la medida de impactos en aeronaves junto con medidas de elongación y esfuerzo para sistemas de Structural Health Monitoring (SHM) en aviones. Para ello, los impactos se realizarán sobre muestras de material con la misma composición e idénticos a los que conforman la estructura de la aeronave.

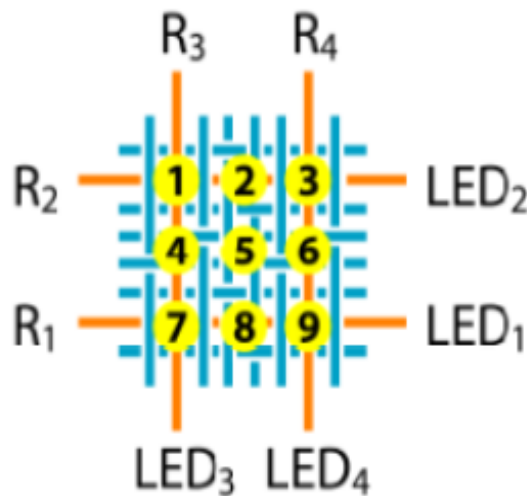


Figura 2.4. Mallado de distribución mallada del sensor POF para la medida de impactos

Se utilizará la fibra óptica de plástico, ya que ésta permite medidas de deformación con rangos mucho mayores frente a las de sílice (mayor flexibilidad). Este tipo de topología (Figura 2.4) se empleará para conseguir una medida cuasi-distribuida a partir de la detección localizada con mallas de fibras/POF textil o con técnicas de multiplexación espacial, temporal o en longitud de onda.

En la TABLA 2.2 se muestran diferentes tipos de sensores, tanto comerciales como en investigación, utilizados para la medida de deformación en un material.

Sensor	Longitud del sensor	Máxima medida de tensión permitida	Embebido / Montado en superficies	Respuesta Dinámica	Robusteza / Intrusión
Galga Resistiva	200µm-120mm	1% (hormigón) 3% (acero)	Ambos	Rápida	Delicada al embeber. Requiere superficie preparada e cableada.
Galga Cementada "cableada"	25mm-150mm	0.3%	Embebido	Muy lenta	El cable-sensor ocupa bastante espacio al embeber.
LVDT (Transformador diferencial de variación lineal)	10nm-300mm	8%	Superficie	Rápida	El montaje del sensor puede afectar las medidas
Holografía	1cm-50m	Sin limite	Superficie	Extremadamente lenta	Método no invasivo. Medidas quasi-estáticas
Interferometría de Speckle	1cm-50m	Sin limite	Superficie	Media	Método no invasivo. Medidas quasi-estáticas
Dispositivos Piezo-cerámicos	100nm-5cm	0.1%	Ambos	Rápida	Frágil, difícil de embeber. Tamaño reducido
Aleaciones con "memoria de Forma"	Sin limite	6%	Ambos	Lenta	En forma fibra o film. Mínima invasión.
Fibra óptica de vidrio	Sin limite	1%	Ambos	Rápida	Mínima invasión debida a la fibra.
Fibra óptica de plástico	Sin limite	12% Mayor limite elástico	Ambos	Media – rápida	Mínima invasión debida a la fibra. Mayor durabilidad

TABLA 2.2 Tipos de sensores para la detección de deformaciones

Las fuerzas externas pueden generar una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), o una deformación permanente hasta llegar a la ruptura del material (deformación plástica). En la Figura 2.5 se aprecia el comportamiento de dos materiales, acero (azul) y hormigón armado (rosada), a los cuales se les aplica una fuerza, hasta llevarlos al punto de ruptura.

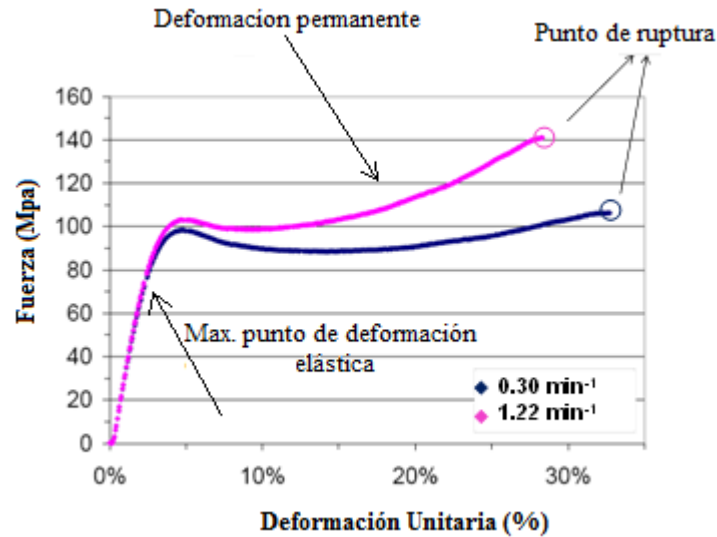


Figura 2.5. Deformación vs. Fuerza

La TABLA 2.3 es una tabla comparativa, en la cual se mide la capacidad de tres sistemas de sensado, los dos últimos basados en el dominio óptico. Se aprecia que el rango de medida de deformación unitaria es mayor en la red de sensores POF, ya que gracias a la flexibilidad que caracteriza a la fibra POF puede monitorizar el material o materiales hasta que tengan deformaciones permanentes sin que ésta sufra daños.

	Galgas extensiométricas	Redes de Bragg ^[12] (FGB) convencionales	Fibra óptica de plástico (POF) PMMA
Acero (5%)	~3%	~2%	6 – 12% (potencial)
Hormigón armado (2%)	~1%	~1.5%	6 – 12% (potencial)

TABLA 2.3 Máxima medida de tensión permitida con tres sistemas de sensado distintos

Como conclusión queda justificada por los siguientes motivos la utilización de la fibra óptica de plástico en sistemas de Structural Health Monitoring (SHM) en aviones como punto de partida para el posterior desarrollo del sistema de análisis.

Sus principales ventajas son:

- Detectan distintos parámetros (deformación, vibraciones, temperatura, etc..),
- Bajo peso y volumen,

- Sirven tanto como sensores como para guiar la señal
- No se ven afectados por radiaciones eléctricas ni magnéticas en condiciones normales de trabajo,
- Tienen buena resistencia a corrosión y fatiga,
- Larga vida,
- Alta sensibilidad y largo ancho de banda,
- Apropiado para integrar múltiples sensores en la misma fibra óptica (multiplexación).

CAPITULO 3

CONCEPTOS PARA EL DISEÑO DEL SENSOR DE FIBRA ÓPTICA

Este proyecto tomará como referencia al *sensor de intensidad por curvatura* pero utilizando la POF para detectar donde ocurre un posible impacto en sistemas de Structural Health Monitoring (SHM).

3.1 Multiplexación Óptica

En este proyecto se utilizará la técnica de multiplexación óptica SDM, es decir, multiplexación por división espacial, o en inglés, *Space Division Multiplexing*^[13]. Una importante característica de la SDM es que en cada canal se puede aplicar otros tipos de multiplexación. Este tipo de sistema por multiplexación, en el cual los medios físicos están separados entre sí, condicionan el tipo de instrumentación que se requiere para el análisis de los mismos. En los siguientes capítulos se mostrarán los sistemas utilizados actualmente en métodos de ensayo, así como en los sistemas empleados hoy en día, presentándose además una alternativa de medición de bajo costo mediante tarjetas de adquisición de datos.

3.2 Sensor de intensidad basado en la curvatura de la POF

Un sensor de curvatura a partir de una fibra óptica de plástico es capaz de detectar una deformación según el cambio de la intensidad de la luz que viaja a través de ella, en otras palabras, el aumento o disminución de la intensidad de luz será según la curvatura o deformación de la fibra.

En la Figura 3.1, se puede apreciar que, a pesar de que la fibra sufre una deformación, teóricamente la fibra no sufriría cambios de intensidad, es decir que la reflexión interna es total y que la luz se propagaría sin interrupciones a lo largo de la fibra.. Así la luz que incide en un ángulo mayor al ángulo crítico $\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$ será reflejada de nuevo al núcleo de la fibra siguiendo la ley de Snell. Sin embargo, para el caso de un ángulo de incidencia de la luz $\theta \leq \theta_c$ el haz será refractado por el núcleo de la fibra, guiándose por la cubierta y posteriormente radiado al exterior de la fibra, aumentando así las pérdidas de potencia.

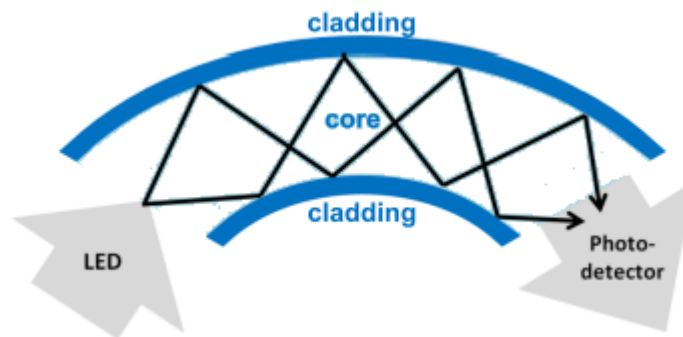


Figura 3.1. Reflexión total interna en la POF se conserva si no se trata de curvar.

Algunos estudios anteriores^[14], comprobaron que si una parte del núcleo y de la cubierta se quitan de un lado de la fibra, la luz no se propagaría en su totalidad, es decir no habría reflexión total interna. La fibra tendría un radio más pequeño, causando un escape de luz o una reentrada de ésta al núcleo dependiendo dirección de curvatura. Como se muestra en la Figura 3.2, cuando una fibra se dobla lejos de su lado modificado, los rayos de luz que viajan en paralelo a la interfaz del núcleo de aire se radian al exterior. Esto disminuye la magnitud de la intensidad de la luz en el extremo de la recepción. Además, entre más se aumenta la curvatura de la fibra más luz sería radiada al exterior, generando un señal muy débil para ser detectado por el fotodetector.

Pero si la curvatura de la fibra es al contrario, la luz que viaja en paralelo a la interface del núcleo de aire tiende a volver a entrar al núcleo, aumentando la intensidad de luz (Figura 3.3). En conclusión, el aumento de la curvatura hacia el lado modificado aumentara la cantidad de luz que vuelve a entrar en el núcleo, en consecuencia aumentara la señal que llega al fotodetector.

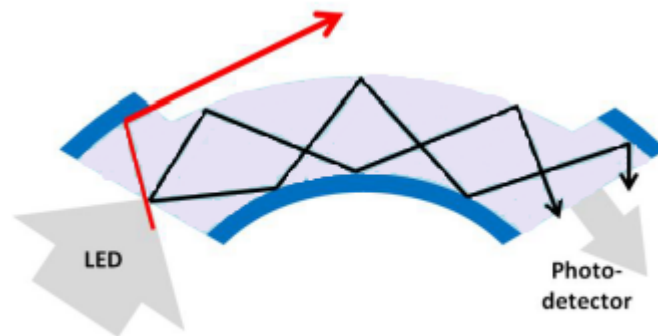


Figura 3.2. La intensidad de luz disminuye cuando la POF es doblada hacia el lado de donde fue modificada.

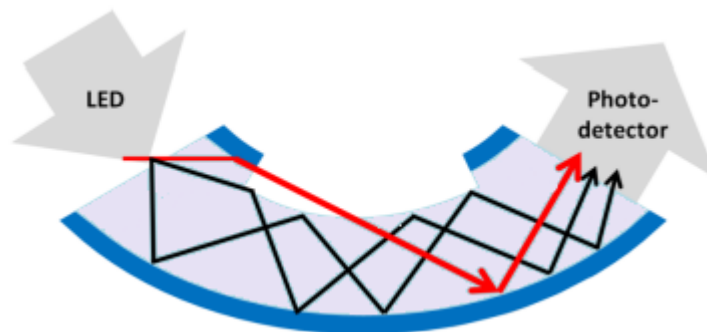


Figura 3.3. La intensidad de luz aumenta cuando la POF es doblada hacia el lado opuesto de donde fue modificada.

Es importante notar, que luego de varias pruebas se comprobó que la fibra es más sensible a las dobleces en la parte más alejada del lado modificado.

En este proyecto, no se pretende modificar la POF, aunque no se pretenderá descartar este método, ya que se podría aplicar para obtener mejores resultados en cuanto a sensibilidad de la medida frente a la deformación.

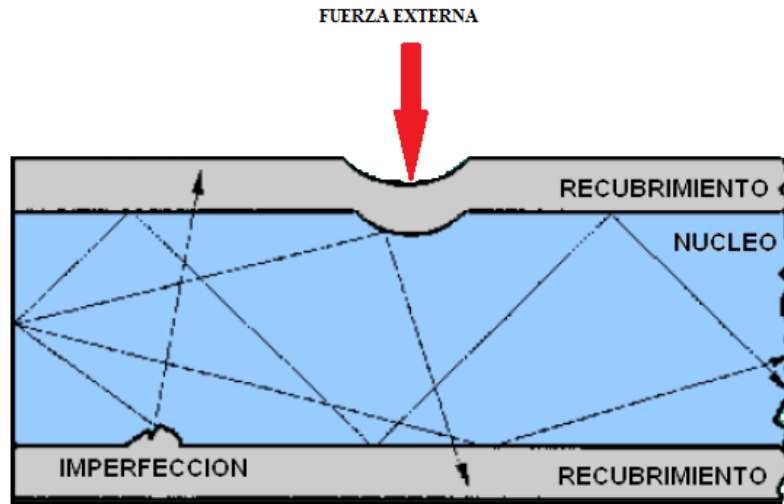


Figura 3.4 Deformación de la POF debido a fuerzas externas o imperfección

En la figura 3.4 se puede apreciar cómo una deformación externa en el recubrimiento de la FOP, influyen en la refracción del haz de luz, produciéndose una variación de intensidad cuantificable.

3.3 Sensor de POF para sistemas Structural Health Monitoring (SHM)

El proceso de implementación de una estrategia de detección de daños y caracterización de estructuras de ingeniería se conoce como Structural Health Monitoring (SHM). El termino daño, en este caso se define como un cambio en las propiedades geométricas de un material que conforma una cierta estructura. La extracción de las características del tipo de daño ocurrido, dependerá de

la sensibilidad de estas mediciones. Con un análisis estadístico de estas características se determina el estado real del sistema.

Luego de tantos sucesos extremos, como terremotos o explosiones, los sistemas integrales basados en SHM se implementan para obtener información relevante sobre la integridad de una estructura en tiempo real.

El proceso de SHM involucra la observación de un sistema en un periodo de tiempo, realizando un muestreo periódico de las mediciones de la respuesta dinámica de dicho sistema. La obtención de la información es mediante un conjunto de sensores.

Una gran parte de los sensores actuales para la medida de cualquier parámetro físico, está basado en la medida de deformaciones (bandas extensiométricas) que luego se convierten en unidades ingenieriles. Como se ha mencionado anteriormente, el propósito de este proyecto es el diseño y desarrollo de un sistema de sensado para sistemas de Structural Health Monitoring (SHM) aplicados en aeronáutica con el uso de la POF.

El sensor de POF ha sido utilizado en otros campos, pero no en SHM para estructuras aeronáuticas. Normalmente, este sensado se realiza con medidores de deformación de SHM o con sensores basados en redes Bragg (FBGs, del inglés Fiber Bragg Grating) y efectos no lineales en fibras ópticas como puede ser el scattering Brillouin^[17].

Anteriores trabajos^[16], demostraron que la utilización de sensores de fibra óptica de plástico, podrían sustituir perfectamente las redes de Bragg, para aplicarlas en sistemas de SHM, ya que se obtienen los mismos resultados y, además, su desarrollo e implementación es a menor precio.

CAPITULO 4

DISEÑO Y MONTAJE DEL SENSOR DE FIBRA ÓPTICA DE PLÁSTICO

Este capítulo muestra el circuito de acondicionamiento para el sensor de fibra óptica, simulaciones en ORCAD, y montaje de la PCB (o circuito impreso). A partir de los datos obtenidos por esta placa electrónica se procederá a la adquisición digital de los datos analógicos proporcionados por la misma y el análisis de los mismos mediante instrumentación virtual con LabView.

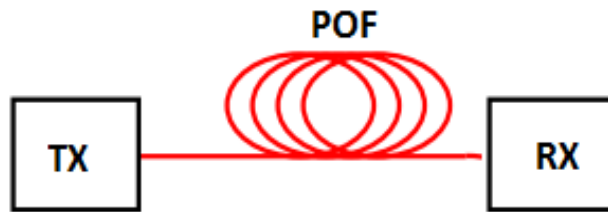


Figura 4.1 Diagrama de Bloques del sensor POF.

La figura 4.1 muestra el diagrama de bloques del sensor, compuesto por transmisor, fibra óptica de plástico y receptor.

4.1 Fibra Óptica de Plástico (POF)

La POF que se utilizará en el desarrollo de este proyecto será la POF de salto de índice HFBR-RUS500, revestida con un polietileno negro. En la TABLA 4.1 se muestran las especificaciones de la POF a utilizar.

Índice de refracción en el núcleo (n_1)	1.492
Índice de refracción en el cladding (n_2)	1.417
Diámetro del núcleo (μm)	980
Diámetro del núcleo + cladding (mm)	1
Diámetro de la fibra, incluye jacket (mm)	2.20
Apertura Numérica (NA)	0.47
Atenuación máxima (dB/m)	0.27 @ 660nm
Ángulo de Aceptación ($2 \sin^{-1}(\text{NA})$)	56.06°
Temperatura Operativa (°C)	-40 a 85
Radio mínimo de curvatura (mm)	25

TABLA 4.1 POF de serie HFBR-R/EXXYYY

4.2 Transmisor

El transmisor óptico utilizado en el presente proyecto se compone de un buffer, un driver y una fuente óptica. El Buffer es el encargado de proporcionar una conexión y/o “aislamiento” entre el driver y el sistema que proporciona los datos a transmitir. El driver proporciona la potencia eléctrica a la fuente óptica, de tal manera, que logra imitar el patrón de datos que se desean transmitir. Por último, la fuente óptica, en este caso un LED (del inglés, Light Emitting Diode) convierte la potencia eléctrica en energía luminosa.

4.2.1 Circuito transmisor

El circuito de transmisión tiene dos señales de ingreso, una digital y otra analógica, y una fuente que producirá una onda cuadrada a 10kHz (oscilador local), la cual servirá para modular la señal digital $Digital_{IN}$. Para seleccionar el tipo de señal que se desea transmitir ($Digital_{IN}$ o $Analog_{IN}$) se agrega al diagrama de bloques un bloque de Jumpers, los cuales servirán para desacoplar las dos señales que son conectadas al circuito Driver del LED, es decir sólo una de las señales se transmitirá, no ambas. La Figura 4.2, muestra el diagrama de bloques del transmisor que se desea construir.

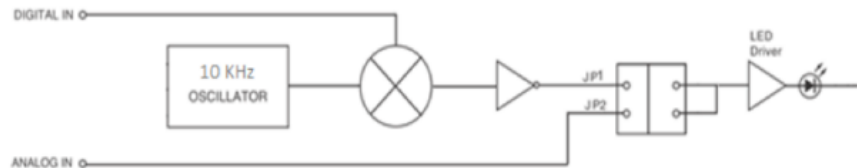


Figura 4.2 Diagrama de bloques del transmisor.

Vale la pena resaltar, que para la simulación de la señal digital $Digital_{IN}$, se utiliza una función $STIM1$, la cual genera una serie de impulsos síncronos con periodo de 2ms.

En la parte analógica, la señal de entrada se corresponde con una señal analógica externa, que es previamente modulada (AM o FM) o simplemente una señal sinusoidal, la cual es conectada entre los terminales GND y $Analog_{IN}$. Justo después del pin de ingreso $Analog_{IN}$, se conecta un condensador, el cual bloquea el nivel de continua DC y una resistencia para establecer la impedancia de entrada. (Figura 4.3)

Finalmente, tanto las señales digitales y analógicas se conectarán a un circuito driver a través de un switch o jumpers.

4.2.2 Circuito Driver para LED

El diseño previo de este circuito permite el ingreso tanto digital como analógico.

Las siguientes figuras 4.3 y 4.4 muestran la simulación realizada en ORCAD 10.0 de las respectivas señales analógicas de entrada y salida del circuito Driver para LED.

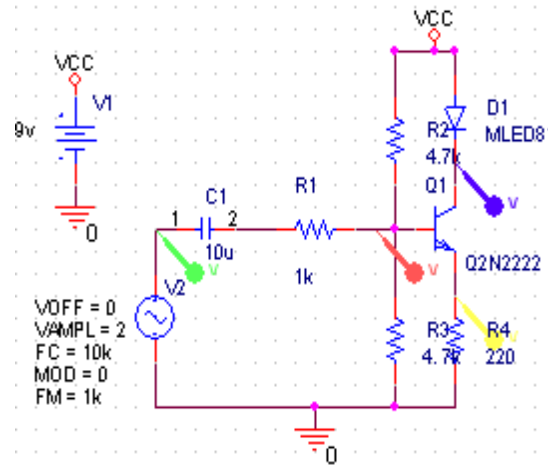


Figura 4.3 Circuito driver para el LED con entrada analógica

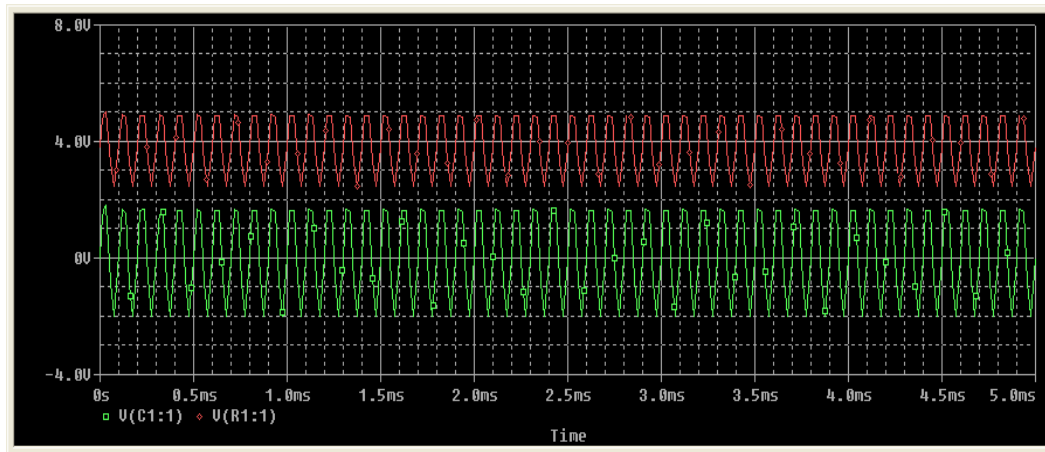


Figura 4.4 (a) Señal de ingreso del circuito driver con señal analógica

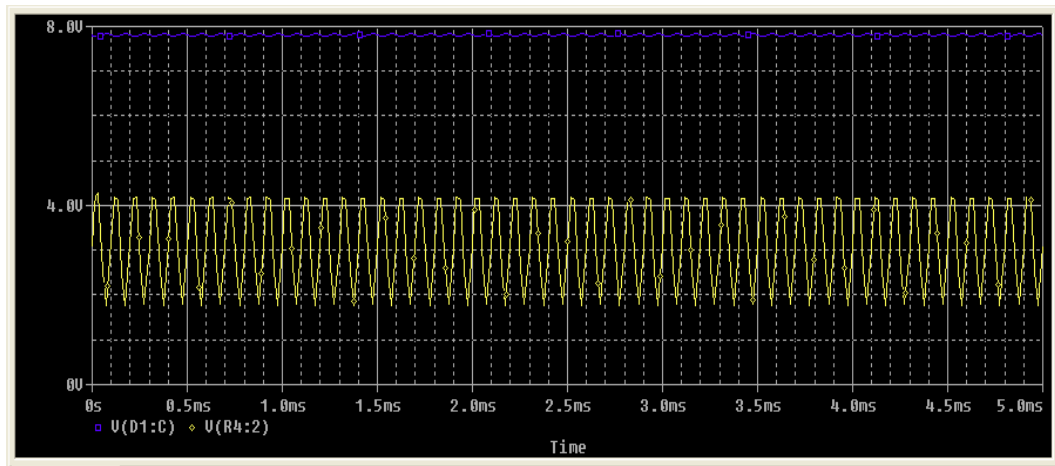


Figura 4.4 (b) Señal de salida del circuito driver con señal analógica

En la Figura 4.5 se puede apreciar la simulación de la señal digital $Digital_{IN}$ en ORCAD 10.0 con las respectivas señales de ingreso y salida del Circuito Driver para el LED (véase figura 4.6)

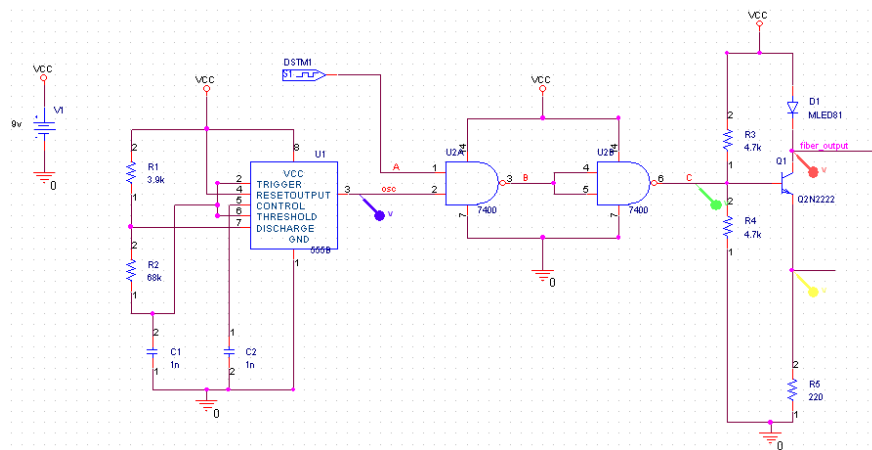


Figura 4.5 Circuito driver con ingreso digital.

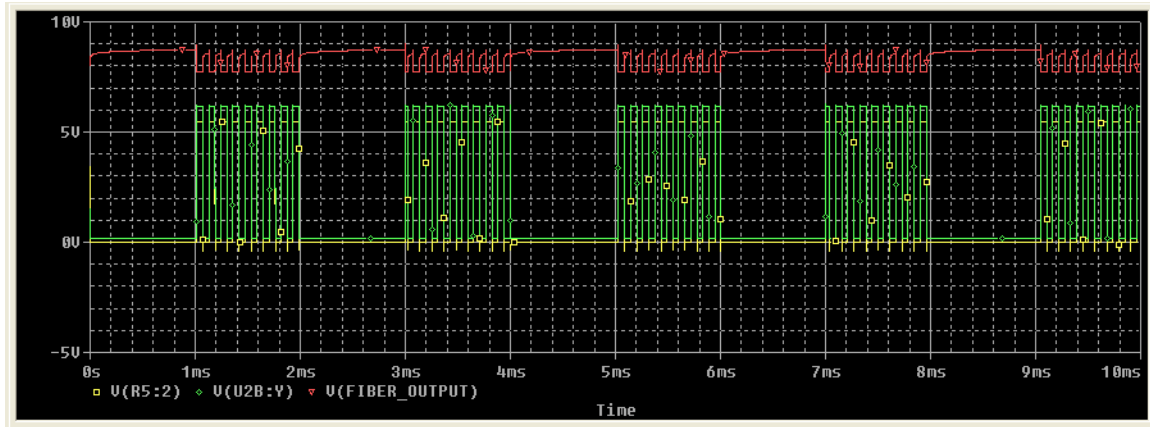


Figura 4.6 Señales de ingreso (verde) y salida (roja) del circuito driver con ingreso digital –Simulado en orcad-.

En la Figura 4.7 se puede apreciar el diseño final del circuito transmisor. También se observa en esta figura la colocación de un “switch” (SW1) que conmutara entre el pin de llegada de la señal digital Digital_{IN} y el pin de llegada de la señal analógica Analog_{IN}.

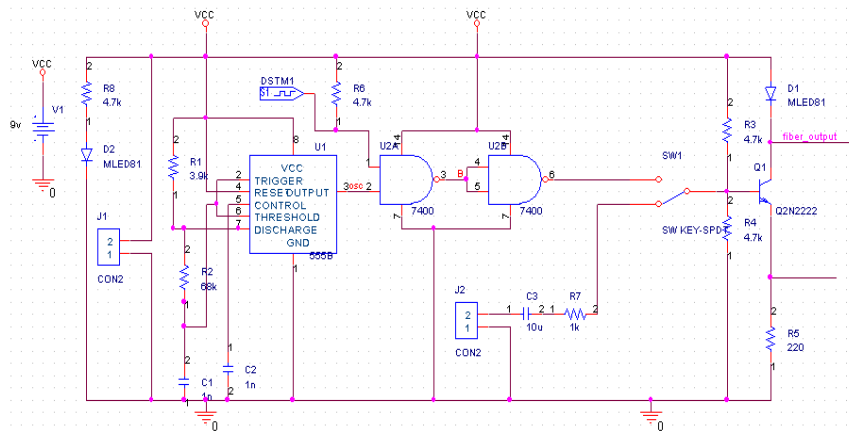


Figura 4.7 Circuito transmisor con ingreso analógico y digital.

4.3 Receptor

El receptor, como su nombre indica, es el encargado de recibir la luz enviada desde el transmisor a través de la POF, y convertirla en una señal en el dominio eléctrico. Ésta constituye la señal o información enviada (Analog_{IN} o Digital_{IN}). Este receptor se compone de tres elementos: Un fotodetector, un amplificador y un circuito digitalizador. El fotodetector empleado es un fotodetector tipo PIN.

4.3.1 Circuito

Como se mencionó anteriormente, el receptor está compuesto por un fotodetector (con conexión a POF), un amplificador y de un circuito digitalizador. Véase el diagrama de bloques de la figura 4.8.

La luz que viaja a través de la fibra, llega al fotodetector generando una corriente proporcional a la cantidad de luz recibida. Esta corriente pasa por un amplificador de transimpedancia, el cual convierte la corriente en su ingreso en una tensión a su salida. Luego esta tensión pasa por el circuito digitalizador, el cual convertirá la tensión en impulsos digitales, los cuales son visibles a través de un LED de color rojo para propósitos de monitorización y testeo del circuito receptor. Es importante mencionar que la tarjeta de adquisición de datos la cual estudiaremos más adelante con mayor detalle, se encargará de analizar los valores registrados por el circuito receptor, ya que en éste se registran las variaciones de tensión correspondientes a la deformación de la POF.

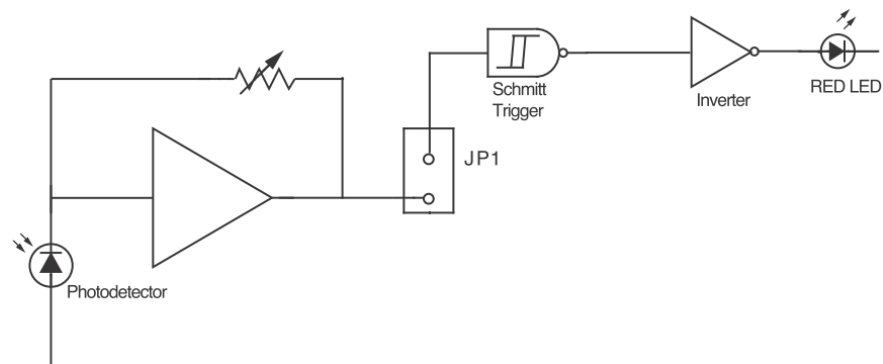


Figura 4.8 Diagrama de bloques del Receptor.

4.3.2 Amplificador de Transimpedancia

El amplificador de transimpedancia diseñado en la parte de recepción convierte la corriente entregada por el fotodiodo en pequeños voltajes a la salida, ver Fig. 4.9.

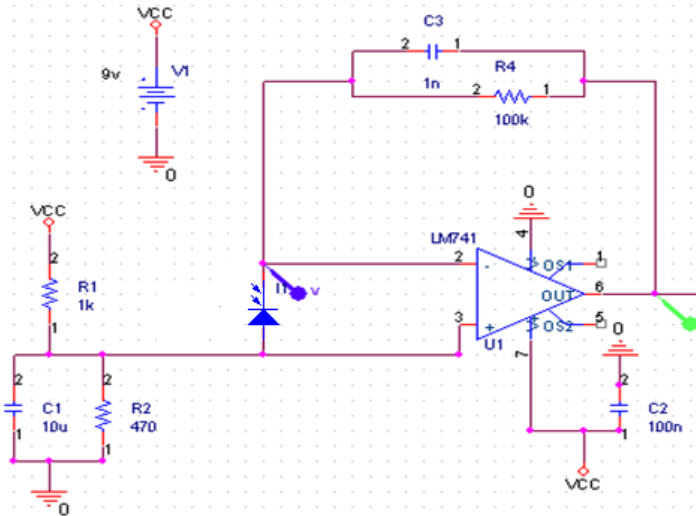


Figura 4.9 Diseño del amplificador de transimpedancia

El principio de funcionamiento considera que si el fotodiodo (modelo IF-D91 de Industrial Fiber Optics) recibe luz, el fotodetector genera una corriente que será conducida de manera inversa al pin negativo del Amp-op LM741 (U1 ver Figura 4.9). Por el principio de los amplificadores operacionales, se sabe que no puede fluir corriente hacia dentro de los pines de ingreso del Amp-op. La tensión a la salida del LM741 (U1) cuando el Fotodetector recibe luz está dada por:

$$V_{pin\ out_on} = \frac{R_2 \cdot V_{CC}}{R_1 + R_2} + I_{Fotodetector} \cdot R_4 = \frac{470\Omega \cdot 9V}{1K\Omega + 470\Omega} + I_{Fotodetector} \cdot 100K\Omega \quad (1)$$

Es importante tener claro que a mayor potencia de la luz incidente en el fotodetector, mas alto será el valor de la corriente $I_{Fotodetector}$, forzando al pin de la salida del Amp-op LM741 (U1) a mantener sus entradas balanceadas. R_f será la encargada de garantizar las entradas del Amp-op LM741 (U1) balanceadas y una ganancia estable.

Los cambios de intensidad de la luz serán proporcionales al voltaje en la salida. Este, a su vez, desmodulará la señal modulada proveniente del transmisor a través de la fuente óptica tipo LED (modelo IF-E96 de Industrial Fiber Optics).

Adicionalmente al circuito de transimpedancia, y con el propósito de desacoplar la etapa de amplificación del circuito de digitalización y eliminar posibles ruidos que puedan afectar a la señal, se añade un filtro pasivo analógico de primer orden con circuito RC. El filtro dejará pasar la señal AC con su respectivo nivel DC, ya que por sus características básicas, el condensador se comportara como un cortocircuito dejando pasar el AC, y el nivel DC será la caída de tensión sobre la resistencia, garantizando que la señal sea exactamente la señal proveniente del amplificador sin efectos de carga

4.3.3 Circuito digitalizador

Este circuito está compuesto por una puerta lógica NAND, un Schmitt Trigger, una compuerta lógica NOT y un LED rojo. La señal amplificada y filtrada, es conectada a una puerta NAND, a su vez conectada a una fuente de 9V manteniendo un nivel alto en uno de sus pines. La señal que se obtiene a la salida de la puerta NAND pasa por una puerta NOT reduciendo el posible ruido que aun posee la señal mediante la curva de histéresis (Schmitt Trigger).

Finalmente, la señal se verá representada con la iluminación de un LED rojo, el cual se enciende y se apaga según el nivel de la señal digital obtenida. Figura 4.10

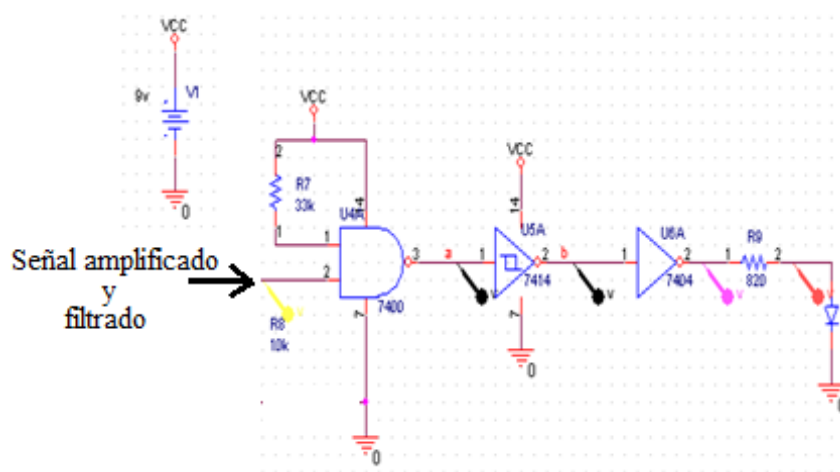


Figura 4.10 Circuito Digitalizador.

En la Figura 4.11 se tiene el diseño completo del circuito de recepción para el sensor de POF así como las señales obtenidas en los distintos puntos indicados.

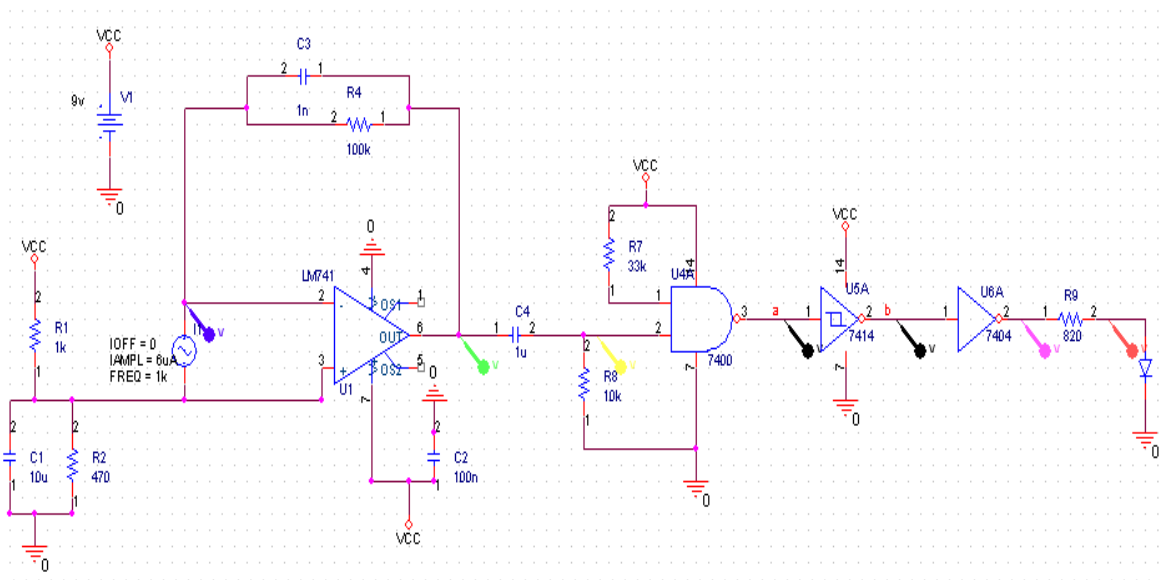


Figura 4.11 (a). Esquemático del Circuito de recepción mediante FO.

La figura 4.11 (b) muestra una simulación aplicada al circuito de la figura anterior. Los colores corresponden con los puntos de simulación marcados en el circuito.

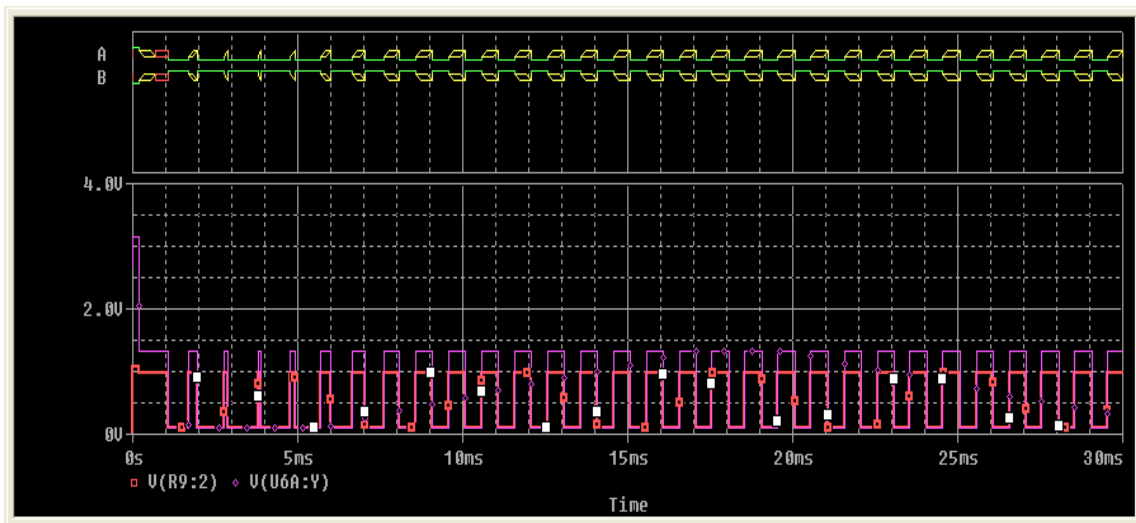


Figura 4.11 (b) Salida del circuito de digitalización –Simulado en Orcad

4.4 Montaje de la PCB

Gracias a la ayuda de Orcad layout, el diseño del circuito prototipo sensor es el que se muestra en las figuras 4.12 y 4.13.

- Transmisión:

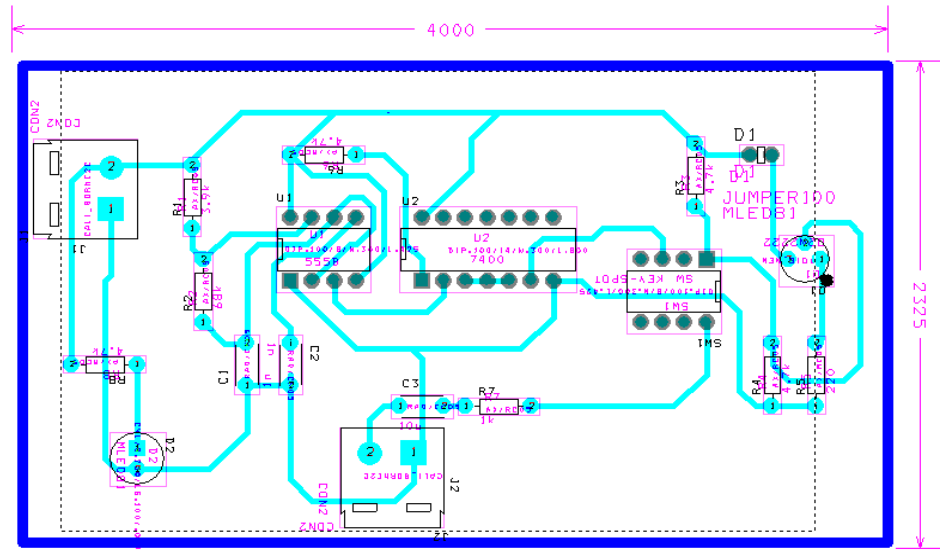


Figura 4.12. PCB del Emisor

- Recepción

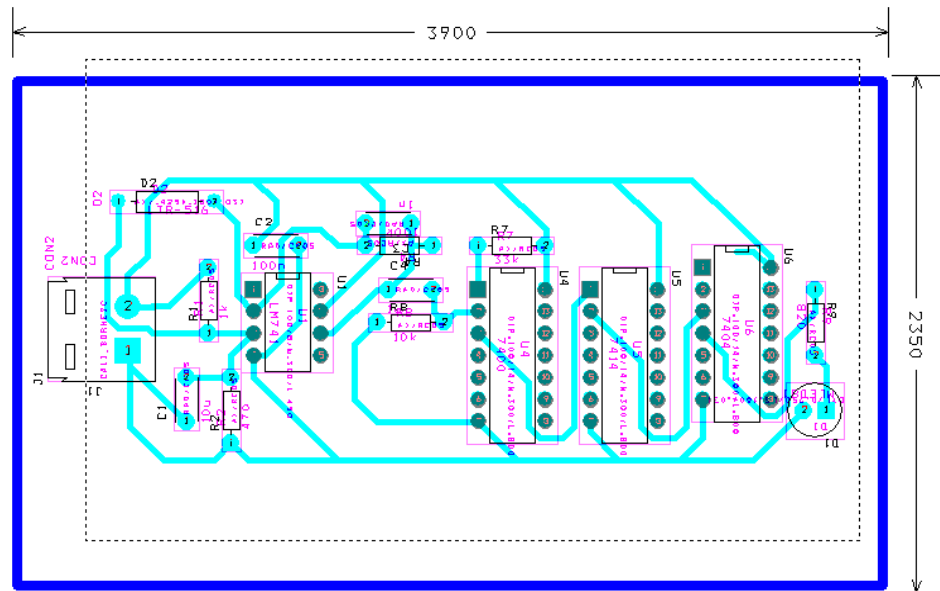


Figura 4.13. PCB del Receptor

El circuito final parte de 5 circuitos driver (figura 4.14), para 5 LEDs, por los cuales se transmitirá la misma señal ($Digital_{IN}$ o $Analog_{IN}$). El último LED se utilizará como señal de referencia para monitorizar en todo instante la potencia óptica que realmente se emite. Es decir, gracias a esta sección de la red se podrá verificar si ha ocurrido una curvatura en las otras secciones del mallado o red, ya que al compararla con esta se dirá en cuánto ha variado la amplitud o fase de la señal transmitida.

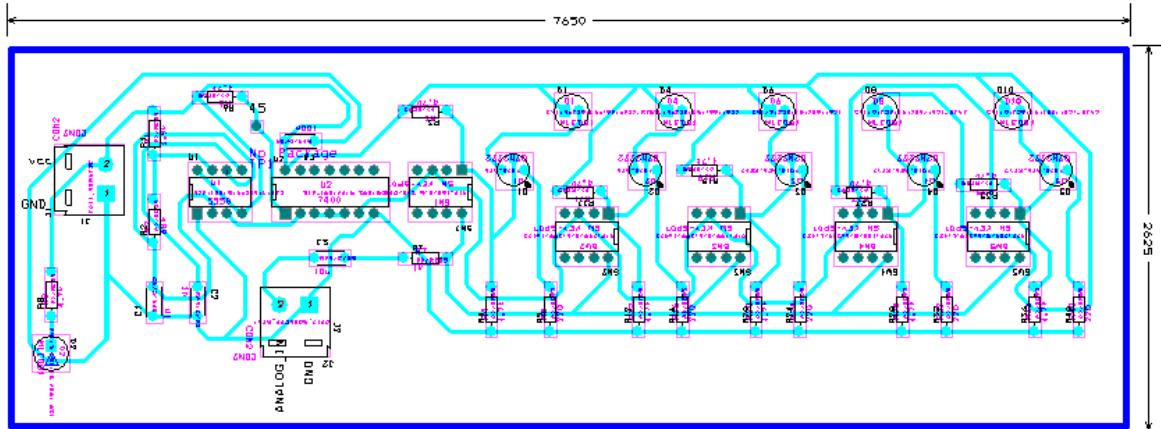


Figura 4.14. PCB del Circuito transmisor para la red de Sensores POF

Análogamente a la recepción se tienen 5 circuitos de detección (figura 4.15) para 5 fotodiodos. Éstos ayudarán a determinar con exactitud en qué punto del mallado o red ocurrió una curvatura de la POF.

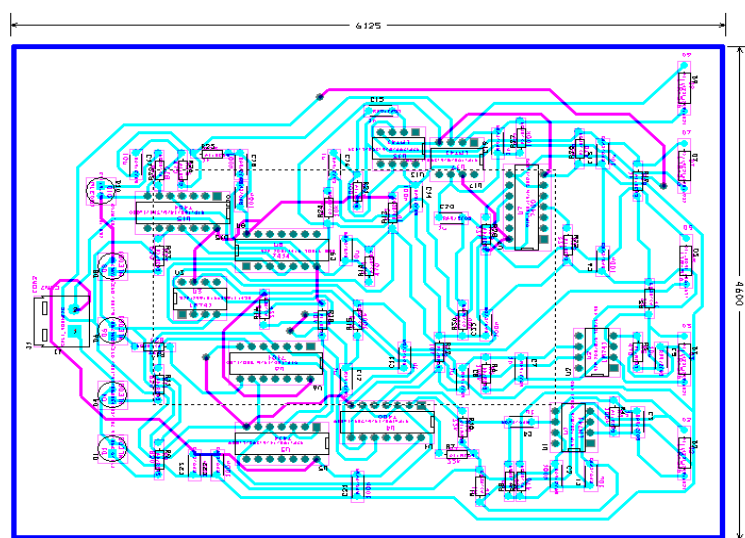


Figura 4.15. PCB del Circuito Receptor para la red de Sensores POF

En la Figura 4.16 se aprecia la sección horizontal de la malla de sensores POF. En ella se observa la fuente de alimentación del circuito.

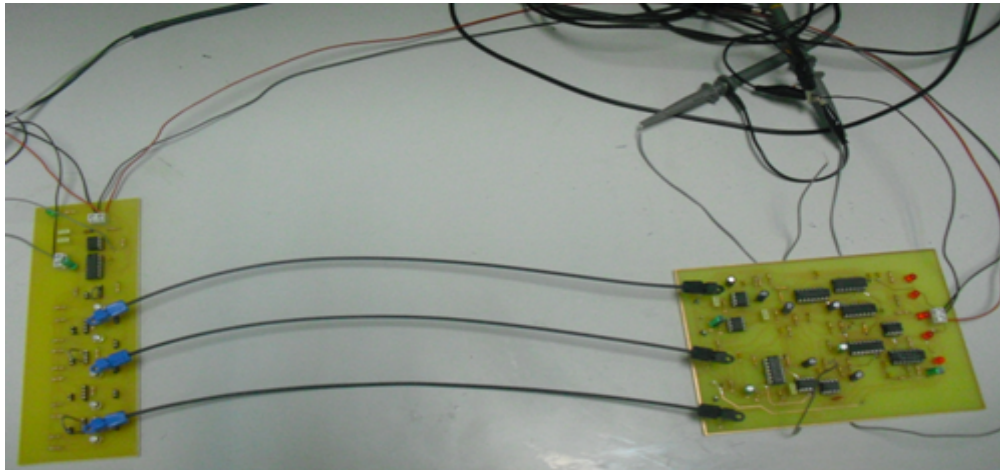


Figura 4.16 Sección horizontal del mallado de sensores POF

Para la realización del mallado final simplemente se reprodujo la sección horizontal dos veces, creando de esta manera un tejido. En Figura 4.17, se muestra el montaje final del mallado de sensores POF el cual será aplicado en aeronáutica para determinar Structural Health Monitoring (SHM) del sistema.

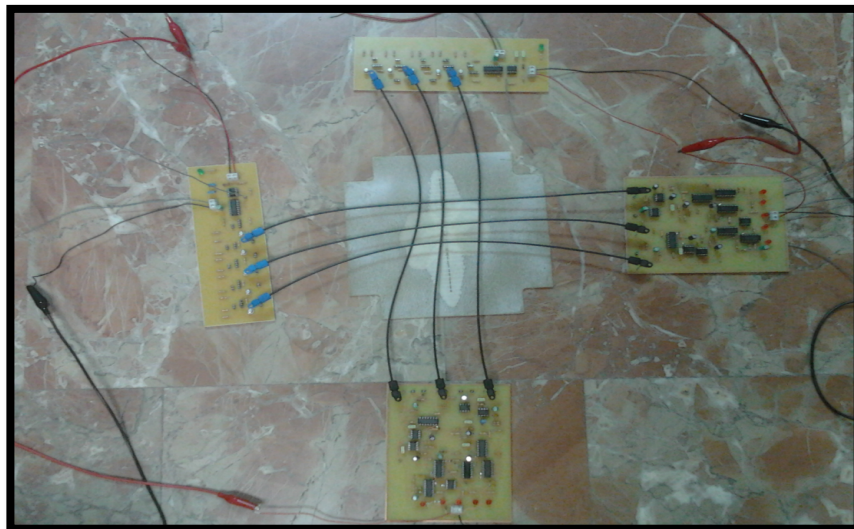


Figura 4.17 Malla de sensores POF

AUTOMATIZACIÓN DE MEDIDAS EN LABVIEW

5.1 Introducción programación Labview.

Los programas en LabVIEW se definen como instrumentos virtuales (VIs).

Éstos se dividen en tres partes principales:

- Panel frontal: Donde el usuario interactúa con el VI.
- Diagrama de bloque: Donde se sitúa el código que controla el programa.
- Icono/Conector : Medios necesarios para poder interactuar unos VIs con otros.

Se utiliza el panel frontal para que el usuario pueda interactuar con el programa a la vez que este se esté ejecutando. De esta manera se tiene la posibilidad de cambiar entradas, y ver los datos actualizados a tiempo real. Los controles son usados como entradas, y los indicadores como salidas.

Estos controles e indicadores tienen un terminal correspondiente al diagrama de bloques. Cuando un VI es ejecutado, los valores de los controles fluyen por el diagrama de bloques, donde serán utilizados como funciones del diagrama, siendo pasados a su vez a otras funciones o indicadores. La figura 5.1 muestra el panel frontal y el diagrama de bloques de un VI.

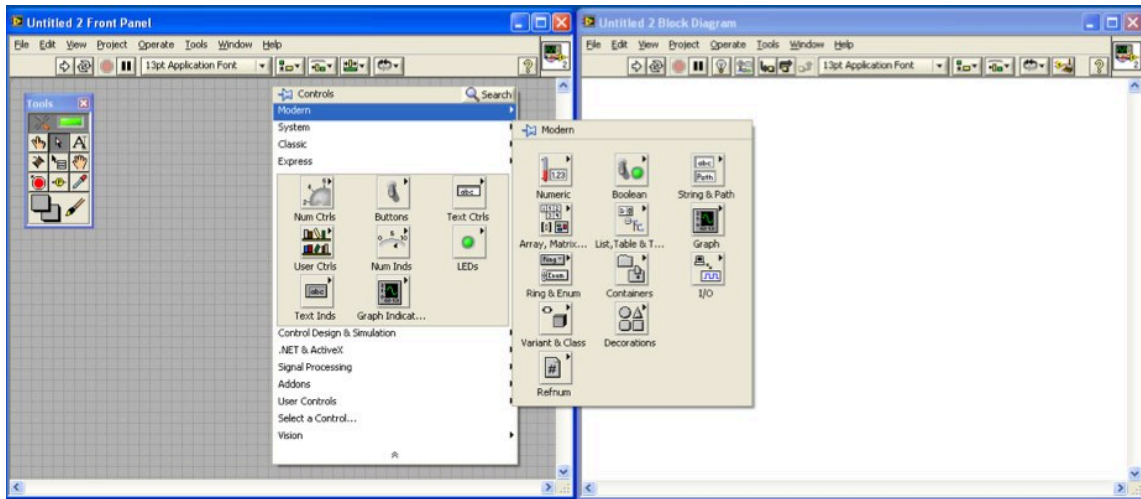


Figura 5.1 Panel frontal y diagrama de bloques

5.2 Instrumentación virtual.

La instrumentación Virtual aprovecha el bajo costo de los PC y su alto grado de rendimiento en procesos de análisis para implementar hardware y software que permiten al usuario mayor flexibilidad al poder incrementar la funcionalidad del instrumento tradicional. La ventaja principal de esta herramienta es que permite al usuario establecer las características del instrumento y, de esta forma, sus potencialidades y limitaciones. La instrumentación virtual permite la emulación de gran cantidad de instrumentos como multímetros, osciloscopios o analizadores de señal, agregando características como análisis numérico, visualización, almacenamiento y procesamiento de datos entre muchas otras. Mediante la representación en pantalla de los elementos gráficos de visualización y control que servirán de interfaz con el usuario, se pueden observar los estados de las entradas seleccionadas en la pantalla e interactuar con las salidas directamente o mediante la ejecución de las rutinas programadas.

Desde la década de los 80 varias compañías comenzaron a desarrollar sistemas para implementar aplicaciones basadas en instrumentación virtual que en la actualidad está siendo utilizada por una gran cantidad de industrias y está aumentando el número y variedad de aplicaciones. Una de las principales compañías en aportar herramientas de instrumentación

virtual es National Instruments. Proporcionan software fácil de integrar (LabVIEW©) y hardware modular de medida y control para PXI, PCI, PCI Express, USB y Ethernet.

5.3 Software LabVIEW© de National Instruments y Measurement and Automation Explorer (MAX).

LabVIEW© (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control creado por National Instruments en 1986. Actualmente está disponible para todas las plataformas ^[15] y su última versión es de 2012. En el presente proyecto se ha trabajado con National Instruments LabVIEW2009 Service Pack 1, versión 9.0.1.

LabVIEW© permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software. Es, además, compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas distintas áreas de aplicación, como por ejemplo Matlab©. Su gran ventaja es que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

5.3.1 Aplicaciones de LabVIEW©

El lenguaje de programación LabVIEW© se puede utilizar para múltiples propósitos y aplicaciones como sistemas de medición, monitorización de procesos, aplicaciones de control, adquisición de datos y análisis matemático, diseño embebido de micros y chips, visión artificial y control de movimientos, robótica y domótica entre otras.

5.3.2 Programación gráfica con LabVIEW©

Al ser una herramienta gráfica de programación, LabVIEW© consta de gran cantidad de bloques prediseñados que facilitan la programación de aplicaciones. Los programas en LabVIEW© son instrumentos virtuales (VIs). Cada VI se compone de dos partes diferenciadas:

Panel Frontal (Front Panel Figura 5.2) que es la interfaz del usuario. Se utiliza para interactuar con el usuario cuando el programa está en ejecución. En esta interfaz se definen los controles (*usados como* entradas, pueden ser botones, marcadores, etc.) e indicadores (usados como salidas, pueden ser gráficas, leds, visualizadores numéricos etc.)

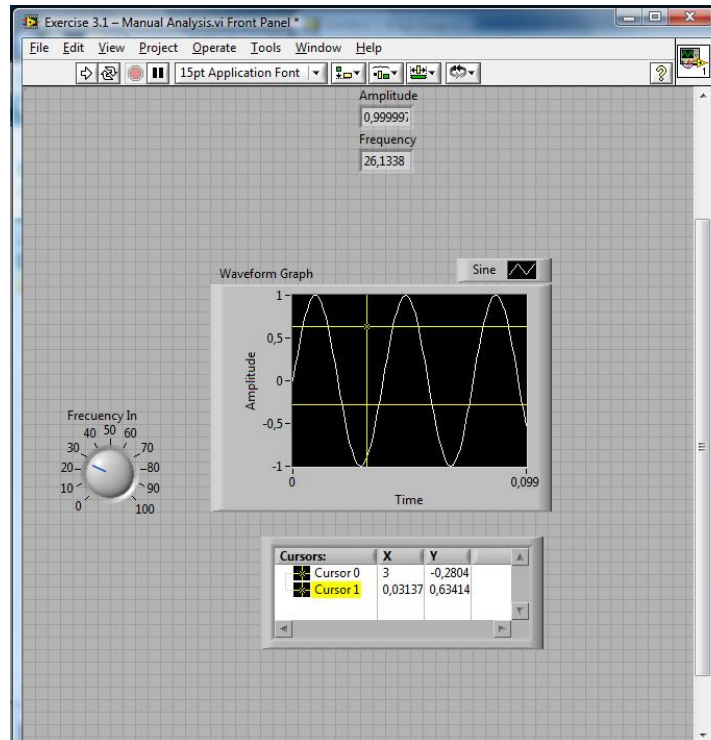


Figura 5.2- Panel Frontal.

Diagrama de bloques (Block Diagram Figura 5.3): donde se define la funcionalidad del programa. Cada control o indicador del panel frontal tiene un terminal correspondiente en el diagrama de bloques. Cuando un VI se ejecuta, los valores de los controles fluyen a través del diagrama de bloques, donde son usados en las funciones del diagrama, y los resultados son pasados a otras funciones o indicadores.

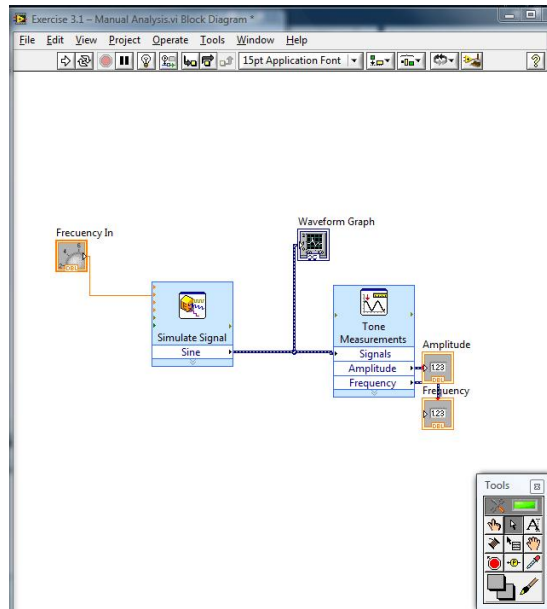


Figura 5.3- Diagrama de bloques.

La programación gráfica se basa en la realización de operaciones mediante la asignación de iconos que representen los datos numéricos e iconos que representan los procedimientos que deben realizar los (VI's). Con estos iconos y mediante una conexión simple como lo es una línea recta se enlazan para determinar una operación y/o una función. LabVIEW© tiene VIs de adquisición de datos e imágenes, de comunicaciones, de procesamiento digital de señales, de funciones matemáticas simples y funciones que utilizan otros programas como Matlab© para resolver problemas. Además, existen otras funciones más complejas como "nodos de formula" que se utilizan para la resolución de ecuaciones pudiéndose editar éstas como en lenguajes de programación tradicionales y definiendo las entradas y las salidas. Al diseñar el programa de forma gráfica, se hace visible una programación orientada al flujo de datos, donde se tiene una interpretación de los datos también de forma gráfica. El flujo de datos va de izquierda a derecha en el panel de programación y está determinado por las operaciones o funciones que procesan los datos. Es fácil observar en el panel de programación cómo se computan los datos en cada parte del programa cuando se realiza una ejecución del programa paso a paso. Por lo tanto, en LabVIEW©, el flujo de datos muestra la ejecución secuencial del programa. Es decir, una tarea no se inicia hasta tener todas sus variables de entrada o hasta que las tareas predecesoras hayan terminado de ejecutarse. Debido al lenguaje gráfico el compilador con que cuenta LabVIEW© es más versátil ya que sobre el mismo código de programación se puede ver fácilmente el flujo de datos, así como su contenido. En LabVIEW© las variables se representan mediante figuras tanto

en el panel frontal como en el panel de programación. De esta forma se puede observar la respuesta en la interfaz del usuario y en el flujo de datos del código del programa.

5.3.3 Evolución de LabVIEW®.

LabVIEW® v.1.0 era un lenguaje basado en el flujo de datos entre diversos componentes, junto con un control de flujo mediante un código gráfico desarrollado sobre una plataforma Macintosh. Debido a las características de esta primera versión los usuarios se veían obligados a ejecutar sus aplicaciones de cierta complejidad en grandes máquinas. Frente a esta dificultad, LabVIEW® v.2.0 optó por hacer uso de un compilador, frente al intérprete de la versión previa.

El compilador y el intérprete difieren en la forma en la que se ejecuta un programa. El intérprete lee el código fuente del programa línea a línea, realizando las instrucciones específicas contenidas en cada línea. Por el contrario, el compilador, lee el programa completo y lo convierte a código objeto, que es una traducción del código fuente del programa a una forma que puede ser ejecutada directamente por el ordenador. EL código objeto también se puede denominar código binario o código máquina.

La mejora propuesta por National Instruments para LabVIEW® v3.0 fue hacer los programas del mismo más portables, con lo que se tuvo que hacer más independiente el código del programa frente al procesador y del sistema operativo de la plataforma.

La versión más reciente del 2011, LabVIEW® 11.0, incrementa drásticamente la eficiencia del desarrollo a través de nuevas bibliotecas específicas de ingeniería y sus habilidades para interactuar con casi cualquier dispositivo de hardware u objetivo de despliegue, incluyendo nuevos controladores NI Compacto multinúcleo y NI PXIe-5665, uno de los analizadores RF de señales vectoriales con el más alto rendimiento de la industria. También soporta el último Microsoft® .NET Framework e incluye numerosas características basadas directamente en la retroalimentación del usuario.

5.3.4 Software Measurement and automation Explorer (MAX)

El software Measurement and automation Explorer (MAX) proporciona acceso a los productos de National Instruments y sirve para configurar el driver IVI (Interchangeable Virtual Instruments). Se utiliza para la gestión de dispositivos e interfaces, gestión de software de NI, gestión de los canales virtuales o las tareas de los diferentes dispositivos, crear escalas para los diferentes instrumentos virtuales, configurar los drivers IVI e importar y exportar archivos de configuración de dispositivos.

Los controladores o drivers IVI permiten aumentar el rendimiento y la productividad y disminuir el tiempo de desarrollo con las siguientes características:

- El almacenamiento de estado en caché aumenta la eficiencia al mantener el valor de cada configuración de atributos del instrumento y comunicando con el instrumento sólo cuando cambia el valor.
- Al especificar la configuración de atributos, se puede habilitar el rango de control para verificar la configuración y forzar las configuraciones para que sean aceptables, valores predeterminados.
- Los controladores IVI proporcionan un modo de simulación en el que se pueden hacer llamadas a un controlador de instrumentos, sin que el instrumento esté presente. El modo de simulación permite probar el software con los datos que se pueden adquirir desde el instrumento.
- Los controladores IVI tienen además, características como la revisión del estatus del programa.

MAX posee la ventaja de la intercambiabilidad de IVI y permite la posibilidad de activar y desactivar las distintas opciones en IVI desde fuera de la aplicación.

5.3.5 Hardware de adquisición de datos

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con un PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un PC. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y un PC con software programable (en este caso, LabVIEW y Measurement & Automation). Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.

El elemento que realiza la transformación digital es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ). La figura 5.4 muestra el diagrama de bloques que conforman una tarjeta de adquisición de datos. Se pueden observar los convertidores DAC (Digital-Analog converter) y ADC (Analog- Digital converter), este último será en nuestro caso el empleado para la conexiones que se muestran en el capítulo 7.

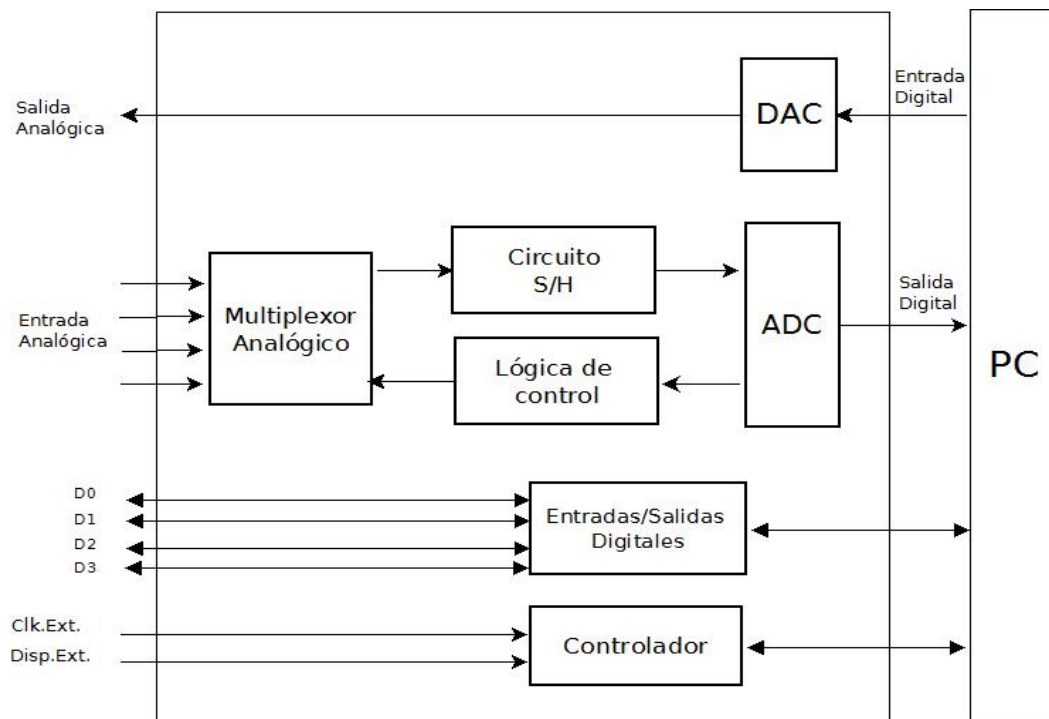


Figura 5.4- Diagrama de bloques de una tarjeta de adquisición ADC/DAC.





Existen tres parámetros importantes que definen el módulo de digitalización:

Resolución: Al adquirir datos a una computadora, un convertidor de analógico-digital (ADC) toma una señal analógica y la convierte en números binario. Por lo tanto, cada número binario del ADC representa un nivel de voltaje. El ADC devuelve el nivel más alto posible sin pasar el nivel de voltaje real de la señal analógica. La resolución se refiere al número de niveles binarios que el ADC puede utilizar para representar una señal. Para encontrar el número de niveles de voltaje disponibles basados en la resolución hay que tomar $2^{\text{Resolución}}$. Por lo tanto, cuanto más alta es la resolución, más son los niveles necesarios para representar la señal. Por ejemplo, un ADC con 3-bits de resolución puede medir 23 o 8 niveles de voltajes, mientras que un ADC con 12-bit de resolución puede medir 212 o 4096 niveles de voltajes.

Rango: A diferencia de la resolución del ADC, el rango del ADC es seleccionable. La mayoría de los dispositivos DAQ ofrecen un rango desde 0 - +10 o -10 a +10. El rango se elige en la configuración del dispositivo en NI-DAQ. La resolución del ADC será extendida por cualquier rango que se elija. Cuanto más grande sea el rango, más dispersa será la resolución, y tendrá una peor representación de la señal. Por lo tanto, es importante escoger un rango apropiado para la señal de entrada.

Ganancia: Hay que escoger apropiadamente el rango del ADC para maximizar su resolución. Otra manera de ayudar a su señal a maximizar la resolución del ADC es aplicando una ganancia. Ganancia se refiere a cualquier amplificación o atenuación de una señal. El ajuste de ganancia (gain setting) es un factor de escala. Cada nivel de voltaje en su señal de entrada es multiplicado por el ajuste de ganancia para obtener la señal amplificada o atenuada. A diferencia de la resolución que es un ajuste fijo (fixed setting) del ADC, y el rango que es escogido cuando el dispositivo DAQ es configurado, la ganancia es especificada indirectamente a través de un ajuste llamado límites de entrada. Los límites de entrada se refieren a los valores máximos y mínimos de la señal de entrada analógica actual. Basado en los límites de entrada que se definan, la ganancia posible más grande que mantendrá la señal entre el rango escogido del ADC es aplicada a la señal. Por ello, es necesario conocer los valores máximos y mínimos de la señal.

Existen diversos tipos de dispositivos de adquisición de datos en el mercado, algunos de ellos se muestran en la TABLA. 5.1.

	Tarjeta de Sonido* 	NI USB DAQ 	NI PCI DAQ 	Instrumentos* 
Ancho de Banda AI (entrada analógica)	8-44 KS/S	10-200 KS/s	250K-1.2Ms/s	20KS/s-2GS/s
Resolución	12-16 bit	12-16 bit	14-18 bit	12-24 bit
Portable	sí	sí	no	algunos
Canales AI (entradas analógicas)	2	8-16	16-80	2
Canales AO (salidas analógicas)	2	1-2	2-4	0
AC o DC	AC	AC/DC	AC/DC	AC/DC
Triggering	no	sí	sí	sí
Calibrado	no	sí	sí	sí

**En la tabla se describen las características generales que no tienen por qué cumplirse en todos los dispositivos*

Tabla 5.1.- Esquema comparativo de las características de diferentes dispositivos de adquisición de datos.

En el presente proyecto se utiliza la tarjeta USB-6009 de Nacional Instruments, que es una tarjeta externa DAQ multifunción de bajo coste optimizada para aplicaciones de propósito general. Proporciona funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. La conexión al PC se realiza mediante USB y las limitaciones de voltaje son de ± 30 Voltios. Consta

de 8 entradas analógicas (14 bits de resolución, frecuencia de muestreo de 48 kS/s y con un rango de tensión de entrada configurable: $\pm 20V$, $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 4V$, $\pm 2.5V$, $\pm 2V$, $\pm 1.25V$ y $\pm 1V$), 2 salidas analógicas (12 bits de resolución a 150 S/s, con un rango de entrada de $\pm 5V$.), 12 E/S digitales y un contador de 32 bits.

La adquisición de la señal puede ser diferencial (Differential), referenciada a un punto (referenced single-ended, RSE) o no referenciada (nonreferenced single-ended, NRSE):

En la medida diferencial se tendrá en cuenta la diferencia de tensión entre una línea y otra. En este caso será preciso dedicar dos canales analógicos. El circuito externo y el dispositivo USB-6009 no tienen una referencia común. Como regla general, para usar una entrada diferencial se debe dar alguna de las siguientes condiciones: que la señal de entrada sea de bajo nivel ($<1V$), que los cables de conexión de la señal al dispositivo USB-6009 sean de más de 3m de longitud, que la señal de entrada requiera una señal de referencia a tierra separada o señal de retorno o que la señal se transmita a través de un ambiente ruidoso. Es preferible una medida diferencial a las otras porque presenta menos ruido y mejor rechazo al modo común.

Las medidas con referencia (RSE) sí tienen un punto común entre el exterior y la tarjeta DAQ (analog input ground AIGND). La ventaja de esta medida respecto a la anterior es que habrá más canales disponibles, pero todas esas entradas deben tener la misma referencia. No se recomienda si las tensiones son pequeñas, si hay una gran distancia entre el acondicionador y la tarjeta, los cables no están apantallados o se está inmerso en un ambiente ruidoso.

En las medidas sin referencia (NRSE) la señal exterior y la circuitería del dispositivo USB-6009 no tienen una referencia común. Solo se usan conexiones de entrada NRSE si la señal de entrada es de alto nivel ($>1V$) y que la conexión de la señal al dispositivo esté a menos de 3m.

5.4 Tarjeta de adquisición NI USB- 6009

Una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) permite la comunicación de un ordenador con el entorno físico. La tarjeta puede ir conectada internamente al ordenador o bien externamente mediante un puerto USB. Estas tarjetas generalmente cuentan con un bloque de conversión

analógico-digital (A/D), otro bloque convertidor digital analógico (D/A), una serie de puertos digitales de entrada y salida, contadores y un conjunto de señales de control.

La tarjeta USB-6009 de National Instruments, es una tarjeta externa DAQ multifunción de bajo coste optimizada para aplicaciones de propósito general. Dispone de 8 entradas analógicas (Figura 5.5) de 14 bits de resolución y una frecuencia de muestreo máxima de 48.000 muestras por segundo, con un rango de tensión de entrada configurable: $\pm 20V$, $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 4V$, $\pm 2.5V$, $\pm 2V$, $\pm 1.25V$ y $\pm 1V$.

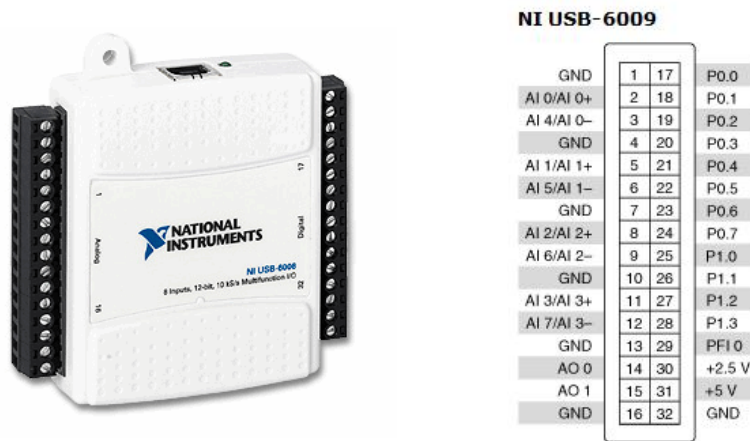


Figura 5.5.- Conexiones de la DAQ USB-6009. Terminales analógicos del pin 1 al 16, terminales digitales del pin 17 a 32.

La tarjeta NI USB 6009^[18] (TABLA 5.2) las siguientes especificaciones:

Resumen de Especificaciones	
General	
Producto	USB-6009
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB
Número de Parte	779026-01
Sistema Operativo/Objetivo	Mac OS , Pocket PC , Windows , Linux

Familia de Productos DAQ	Serie B
Tipos de Medida	Voltaje
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Canales	4 , 8
Canales de una sola terminal	8
Canales Diferenciales	4
Resolución	14 bits
Velocidad de Muestreo	48 kS/s
Rendimiento (Todos los Canales)	48 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	138 mV
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	37.5 mV
Número de Rangos	8
Muestreo Simultáneo	No
Memoria Interna	512 B
Salida Analógica	
Canales	2
Resolución	12 bits
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	5 V
Rango de Voltaje Máximo	0 V , 5 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7 mV
Rango de Voltaje Mínimo	0 V , 5 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	7 mV
Razón de Actualización	150 S/s
Capacidad de Corriente Simple	5 mA
Capacidad de Corriente Total	10 mA
E/S Digital	
Canales Bidireccionales	12
Canales de Entrada Únicamente	0
Canales de Salida Únicamente	0
Número de Canales	0 , 12
Temporización	Software
Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Salida de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Filtros de Entrada Programables	No
¿Soporta Estados de Encendido	No

Programables?	
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Temporizador Watchdog	No
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	No
¿Soporta E/S de Patrones?	No
Máximo Rango de Entrada	0 V , 5 V
Máximo Rango de Salida	0 V , 5 V
Contadores/Temporizadores	
Número de Contadores/Temporizadores	1
Operaciones a Búfer	No
Eliminación de Rebotes	No
Sincronización GPS	No
Rango Máximo	0 V , 5 V
Frecuencia Máxima de la Fuente	5 MHz
Generación de Pulso	No
Resolución	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm
Niveles Lógicos	TTL
Especificaciones Físicas	
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm
Altura	2.31 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
Temporización/Disparo/Sincronización	
Disparo	Digital
Bus de Sincronización (RTSI)	No

Tabla 5.2: Especificaciones tarjeta NI USB 6009

Las medidas son realizadas en modo diferencial ya que se tendrá en cuenta la diferencia de tensión entre una línea y otra. En este caso será preciso dedicar dos canales analógicos por fibra óptica. El circuito externo y el dispositivo USB-6009 no tienen una referencia común. Como regla general, para usar una entrada diferencial se debe de dar alguna de la siguientes condiciones: que la señal de entrada sea de bajo nivel (<1V), que los cables de conexión de la señal al dispositivo USB-6009 sean de más de 3m de longitud, que la señal de entrada requiera una señal de referencia a tierra separada o señal de retorno o que la señal se transmita a través

de un ambiente ruidoso. Es preferible una medida diferencial a las otras porque presenta menos ruido y mejor rechazo al modo común.

Las medidas con referencia (RSE) sí tienen un punto común entre el exterior y la tarjeta DAQ (analog input ground AIGND). La ventaja de esta medida respecto a la anterior es que habrá más canales disponibles, pero todas esas entradas deben tener la misma referencia. No se recomienda si las tensiones son pequeñas, si hay una gran distancia entre el acondicionador y la tarjeta, los cables no están apantallados o se está inmerso en un ambiente ruidoso.

El objetivo principal que persigue la programación realizada en Labview es la medición, control y adquisición de datos de un modo lo más automático posible. El programa monitorizará en tiempo real las deformaciones provocadas y las adquirirá a través de los sensores de fibra óptica. La fibra óptica caracterizada por su flexibilidad se integra en los puntos de la aeronave donde se desea controlar la deformación producida. Las deformaciones en dichos puntos de interés pueden almacenarse para su posterior estudio. La ventaja de este sistema de medición y almacenamiento de datos en tiempo real es poder comprobar la respuesta de los materiales deformados bajo las condiciones reales de funcionamiento.

CAPITULO 6

CONCEPTOS DE DISEÑO DE LABVIEW

6.1 DIAGRAMA DE FLUJO

La monitorización en tiempo real se ha realizado mediante el uso de una máquina de estados. La siguiente figura representa el diagrama de flujo de la máquina de estados (Figura 6.1). Más adelante se explica con más detalle el funcionamiento del sistema en cada uno de los estados.

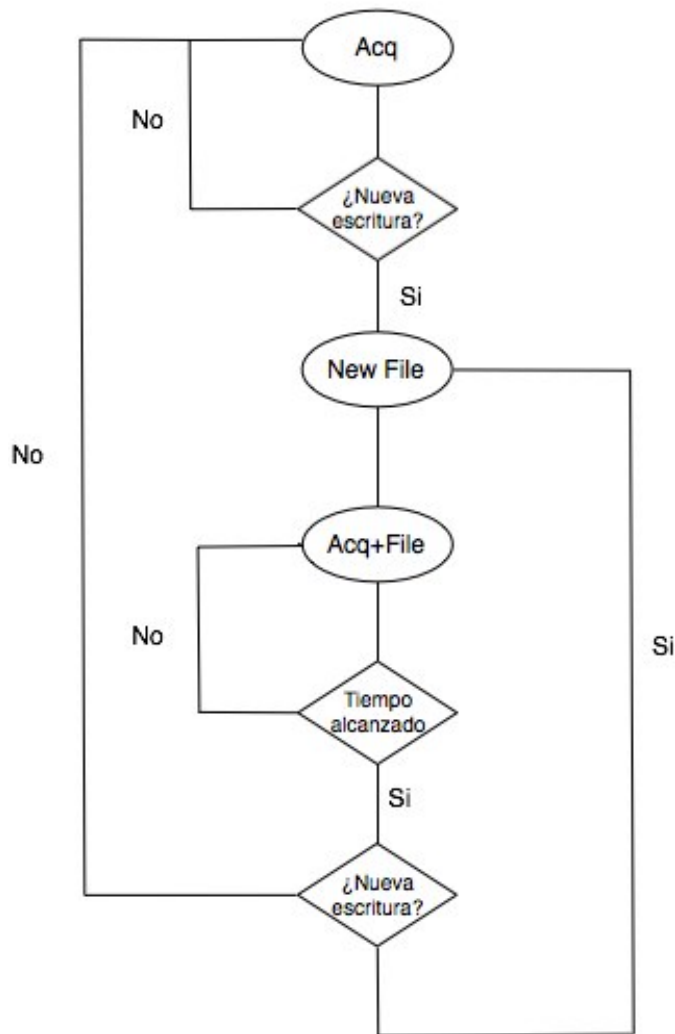


Figura 6.1. Diagrama de la máquina de estados.

6.2 ESTADOS DE FUNCIONAMIENTO

La máquina de estados consta de 3 estados principales. Todos ellos monitorizan en tiempo real el valor de los datos adquiridos.

Acq- Adquisición. (Figura 6.2). El estado se encarga de adquirir los datos y monitorizarlos, los parámetros de configuración son fijos y se encuentran preestablecidos. En cualquier caso el sistema se puede ajustar a distinto tipo de mediciones, variando entre otros el tipo de medida que se quiera realizar, la cantidad de muestras adquiridas por segundo, valores máximos y mínimos de tensión, medida diferencial, etc.

Este estado permanecerá activo siempre que no se solicite realizar una nueva escritura. En el caso de que la entrada "Nueva escritura" se active, el siguiente estado será "New File".

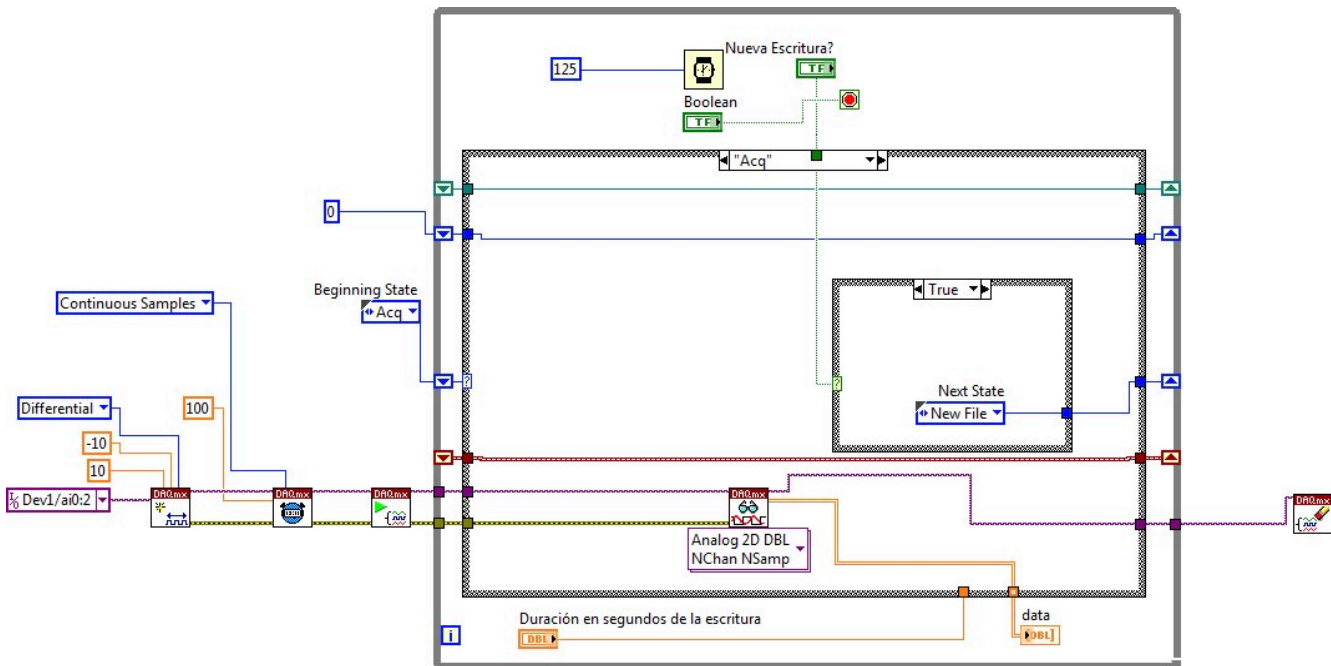


Figura 6.2. Etapa de adquisición de datos

New File. (Figura 6.3). El estado se encarga de generar un nuevo archivo .tdms^[19]. La localización del archivo se fijará inicialmente así como el nombre del archivo principal. Puesto que la adquisición es llevada a cabo en tiempo real es necesario poder guardar los archivos de manera automática. Esto planteaba un problema inicial, por lo que se hizo necesario que el sistema automáticamente modificara el nombre del archivo cada vez que se solicite un almacenamiento de datos.

Para ello se ha utilizado un *shift register* en el bucle 'case'. Éste permite almacenar un valor numérico en este caso de la iteración anterior del bucle, que mediante un incremento permite renombrar un archivo agregándole un valor numérico nuevo e incrementado.

Cada vez que este estado sea llamado, el nombre del archivo cambiará *Ejemplo: medida1, medida2, medida3*. En consecuencia el usuario no necesitará renombrar el archivo cada vez que se solicite almacenar datos. La localización se mantendrá constante.

Además durante este estado se pondrá en marcha la función *current time* para poder determinar en el siguiente estado el tiempo exacto de medición solicitado por el usuario.

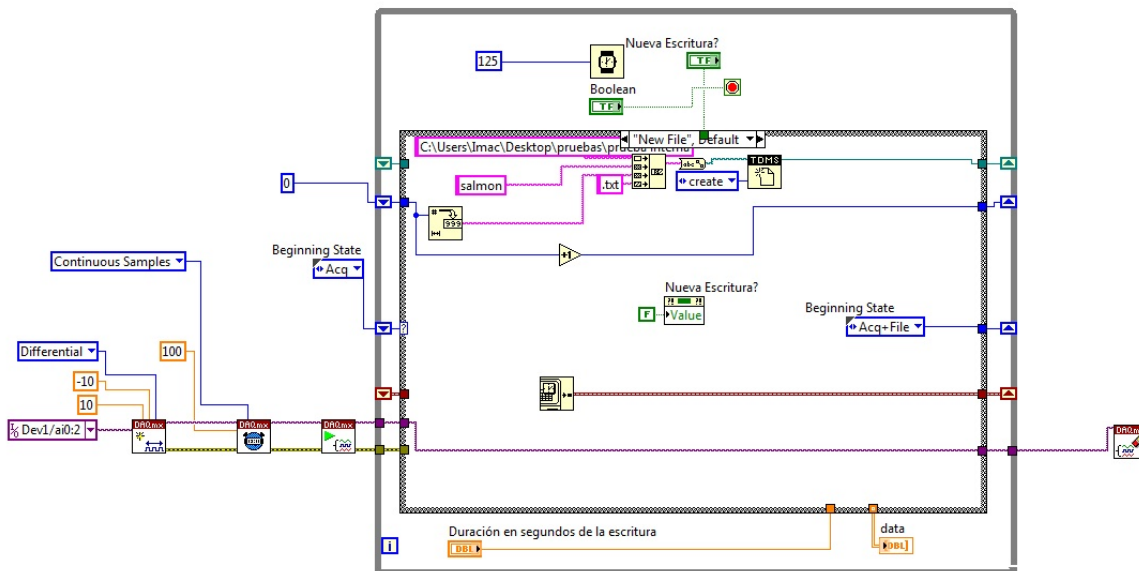


Figura 6.3. Etapa de creación de archivo

Acq+File. Adquisición y almacenamiento (Figura 6.4). El estado se encarga de almacenar los datos.

La función principal del estado es la de escribir los datos en el archivo. Este estado, además, es el encargado de verificar que se ha alcanzado el tiempo de adquisición de datos solicitado, volviendo de nuevo al estado inicial de *Acq*. Para ello se utiliza de nuevo un *Shift register*, se resta el tiempo que se entregó en el estado anterior mediante la función *current time* con el tiempo en el momento que se realiza una lectura del bucle 'while' durante este estado. La resta de estos dos valores de tiempo es comparada con el valor introducido por el usuario. Cuando se cumple la condición de comparación, y mientras no se pulse de nuevo la entrada *Nueva escritura*, el siguiente estado pasará a ser *Adquisición*.

En el caso de que se solicite una nueva escritura, el estado siguiente será *New File*.

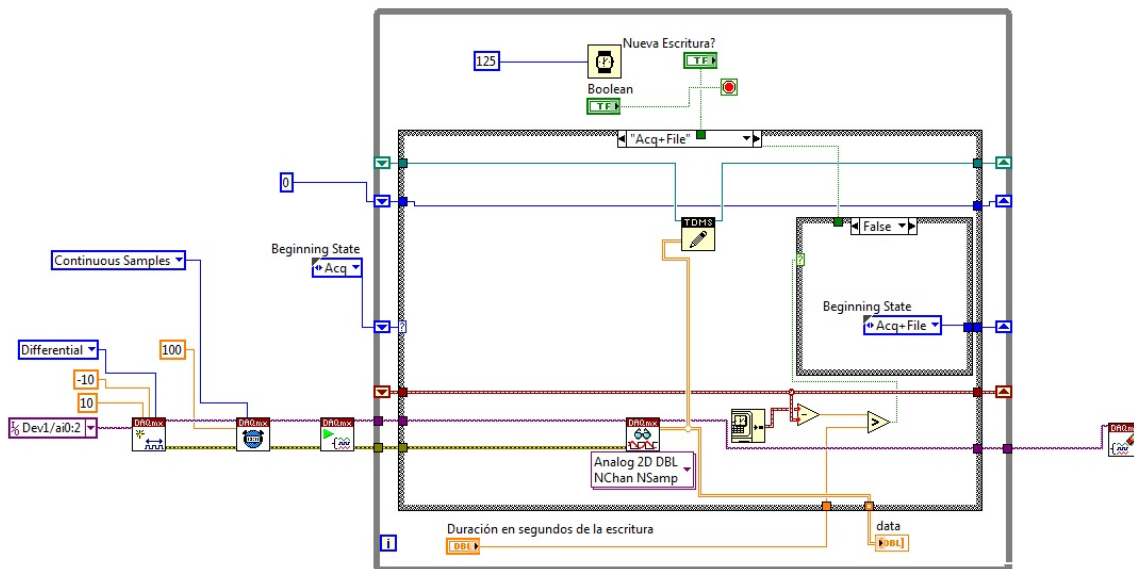


Figura 6.4 Etapa de adquisición y almacenamiento.

Los resultados de adquisición obtenidos se almacenan en un archivo .tmds, perfectamente ejecutable con Microsoft Excel. Este programa queda al margen del desarrollo del proyecto llevado a cabo, pero sus múltiples aplicaciones permiten estudiar y graficar los datos almacenados de manera que se pueda entender mejor el comportamiento de los materiales. En la siguiente figura se muestra el resultado de una grabación de datos durante diez segundos. Se puede comprobar que la alteración de tensión provocada en el canal 1 queda claramente almacenada.

	A	B	C	D
1	Canal 1	Canal 2	Canal 3	
2	0,073960282	-0,002768098	-0,001245385	
3	-0,009981448	-0,000221353	-0,003791335	
4	0,03580495	-0,000221353	0,001300565	
5	-0,050680469	0,003598765	2,759E-05	
6	0,054882616	-0,002768098	-0,00251836	
7	1,011309605	0,002325393	0,00257354	
8	1,007494071	0,002325393	-0,001245385	
9	1,008765916	0,00105202	2,759E-05	
10	1,007494071	-0,002768098	2,759E-05	
11	1,01003776	-0,001494726	-0,001245385	
12	0,072688438	0,002325393	2,759E-05	
13	-0,039233869	-0,002768098	-0,001245385	
14	0,070144749	0,00105202	0,001300565	
15	0,005280685	-0,001494726	0,00257354	
16	0,03580495	-0,001494726	-0,00251836	
17	-0,05958338	0,00105202	0,001300565	
18	0,094309793	-0,000221353	0,001300565	
19	-0,035418336	-0,001494726	-0,001245385	
20	0,054882616	0,002325393	0,00257354	
21	-0,041777558	0,002325393	-0,001245385	
22	0,072688438	0,00105202	-0,00251836	
23	-0,050680469	0,00105202	-0,001245385	
24	0,080319504	0,002325393	2,759E-05	
25	-0,046864936	0,00105202	-0,00251836	
26	1,008765916	0,00105202	-0,00506431	
27	1,007494071	-0,001494726	-0,00251836	
28	1,01003776	0,002325393	0,00257354	
29	1,01003776	-0,002768098	2,759E-05	
30	1,008765916	-0,000221353	0,001300565	
31	1,008765916	-0,002768098	2,759E-05	
32	0,063785527	0,00105202	0,003846515	
33	-0,021428048	0,00105202	-0,001245385	
34	0,057426305	-0,002768098	-0,00251836	
35	-0,021428048	-0,002768098	2,759E-05	
36	0,052338927	0,003598765	0,00257354	
37	-0,02778727	0,00105202	-0,001245385	
38	0,061241838	-0,002768098	2,759E-05	

Figura 6.5 Medición sobre canal 1.

La figura 6.5 muestra un estudio previo de funcionamiento a las pruebas finales realizadas en el prototipo. En este caso se conectó una pila AA+ parcialmente descargada al canal 1 de adquisición analógica. Se pueden observar los valores de tensión señalados en el recuadro rojo, en el que se refleja la conexión realizada.

CAPITULO 7

DISEÑO Y MONTAJE DE LA TARJETA NI-USB 6009

Este capítulo mostrará el acondicionamiento de la tarjeta al circuito de recepción de fibra óptica. A continuación se muestra el conexionado necesario entre el mallado y la tarjeta de adquisición (Figura 7.1). Todos los resultados obtenidos son comprobados además con el osciloscopio para verificar que las mediciones son correctas. La siguiente figura muestra el conexionado de tres canales.

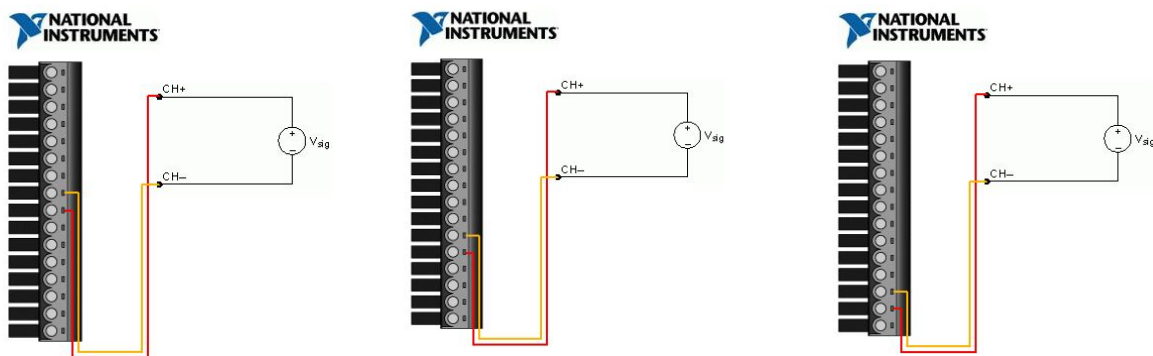


Figura 7.1 Diagrama de conexión para 3 canales .

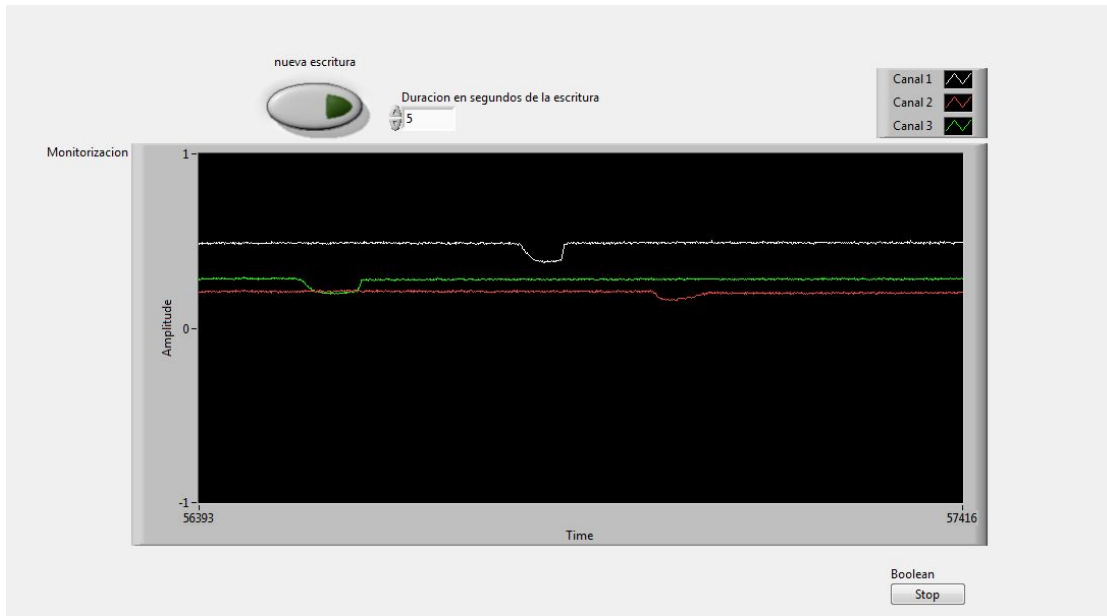


Figura 7.2 Panel frontal monitorizando impactos

La figura 7.2 muestra el funcionamiento del panel frontal, al que el usuario puede acceder y modificar tiempo de escritura durante el proceso de monitorización. En la imagen se muestran claramente tres impactos provocados en los canales. Estos tres impactos quedan registrados en el archivo .tdms. como se muestra en la figura. La duración de escritura sobre el nuevo archivo es de cinco segundos. Como parámetro ya establecido, el número de muestras adquiridas por segundo se fijó en cien muestras por segundo. Este es un parámetro importante a tener en cuenta ya que el número de muestras adquiridas/mostradas por segundo puede llegar a saturar la capacidad de adquisición de la tarjeta DAQ (máximo 48KS/s de tasa agregada). A mayor velocidad de procesamiento mayor número de muestras podremos mostrar y capturar.

	A	B	C
1	Canal 1	Canal 2	Canal 3
2	0,483494179	0,199698165	0,282628036
3	0,477134957	0,20224491	0,278809112
4	0,488581556	0,195878046	0,277536137
5	0,48095049	0,195878046	0,281355061
6	0,483494179	0,203518283	0,277536137
7	0,477134957	0,197151419	0,274990187
8	0,472047579	0,192057928	0,273717212
9	0,461872824	0,197151419	0,268625312
10	0,454241758	0,194604674	0,263533412
11	0,451698069	0,192057928	0,263533412
12	0,441523314	0,194604674	0,258441512
13	0,441523314	0,18823781	0,254622587
14	0,430076714	0,186964437	0,248257712
15	0,432620403	0,189511183	0,243165812
16	0,421173803	0,185691065	0,238073912
17	0,419901959	0,183144319	0,239346887
18	0,414814581	0,180597574	0,227890112
19	0,408455359	0,178050828	0,227890112
20	0,40591167	0,183144319	0,227890112
21	0,40591167	0,176777456	0,221525237
22	0,398280604	0,178050828	0,221525237
23	0,391921382	0,178050828	0,221525237
24	0,391921382	0,175504083	0,217706312
25	0,391921382	0,170410592	0,216433337

Figura 7.3 Tabla de adquisición

La figura 7.3 se indica en amarillo el valor de tensión de los canales sin someter a la fibra a deformaciones. Desde los valores indicados se puede apreciar que los valores de tensión sufren una variación, en este caso un pérdida de potencia de la fibra óptica. En la tabla anterior no queda reflejada la posterior recuperación de los valores puesto que el tiempo de medición de cinco segundos supone una cantidad de muestras considerable. En este caso y tal y como estaba configurado el número de líneas mostradas son alrededor de quinientas.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En vista de que los resultados obtenidos en este proyecto fueron los planteados en el diseño y posterior desarrollo de la automatización en Labview, se extraen una serie de conclusiones:

- El diseño y adaptación del sistema de automatización NI-USB 6009, cumple con los requisitos de recepción del circuito.
- Las pruebas preliminares sobre la tarjeta de adquisición, y comprobaciones de calibración sobre la misma fueron óptimos..
- El diseño de la máquina de estados en LabVIEW 8.6 se ajusta a los requerimientos del proyecto, siendo éstos monitorización en tiempo real, adquisición y almacenamiento de medidas.
- La realización de medidas preliminares sobre fibras ópticas de plástico, confirman la sensibilidad de este tipo de sensores a dobleces producidas por la fibra.
- Se ha verificado que la integración del sistema de automatización en la red de sensores no incurre en pérdidas de potencia óptica.

También se comprobó, a partir de los resultados obtenidos en la realización de este proyecto, que la POF es un perfecto canal de transmisión. Su baja necesidad de tener una conexión precisa gracias a las dimensiones de su núcleo y su baja posibilidad de tener fracturas, gracias a su gran flexibilidad, hace a la POF realmente fácil de manipular. También se constató que la implementación de la automatización y montaje sobre la red de sensores POF es muy económica, puesto que no requiere de dispositivos de gran costo, si bien es cierto que requiere una red de cableado.

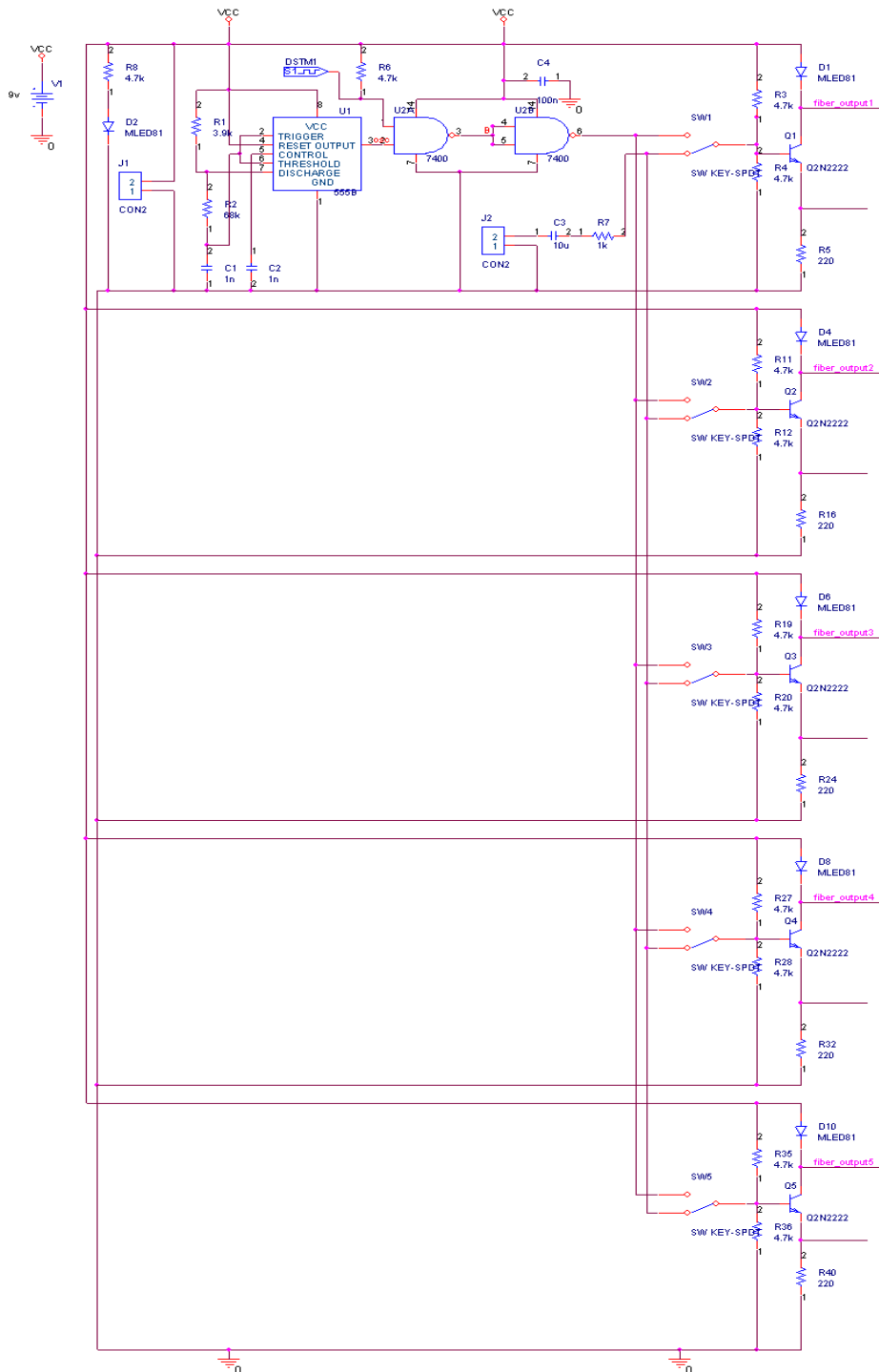
TRABAJOS FUTUROS:

Se pueden llevar a cabo mejoras en el sistema a nivel hardware y software. Como se puede comprobar, el circuito carece de ningún tipo de protección, y sería recomendable poder proteger en la medida de lo posible los circuitos de transmisión, recepción y la tarjeta de adquisición. También sería recomendable diseñar una fuente de alimentación, con el objetivo de que el sistema pudiera ser más versátil. Esto no supondría una gran dificultad puesto que el sistema requeriría una batería externa, cuya alimentación estuviera fijada a 9V. Con el objetivo de mejorar el software implementado a la red de sensores POF en sistemas de Structural Health Monitoring aplicado en sistemas aeronáuticos. Se debería realizar:

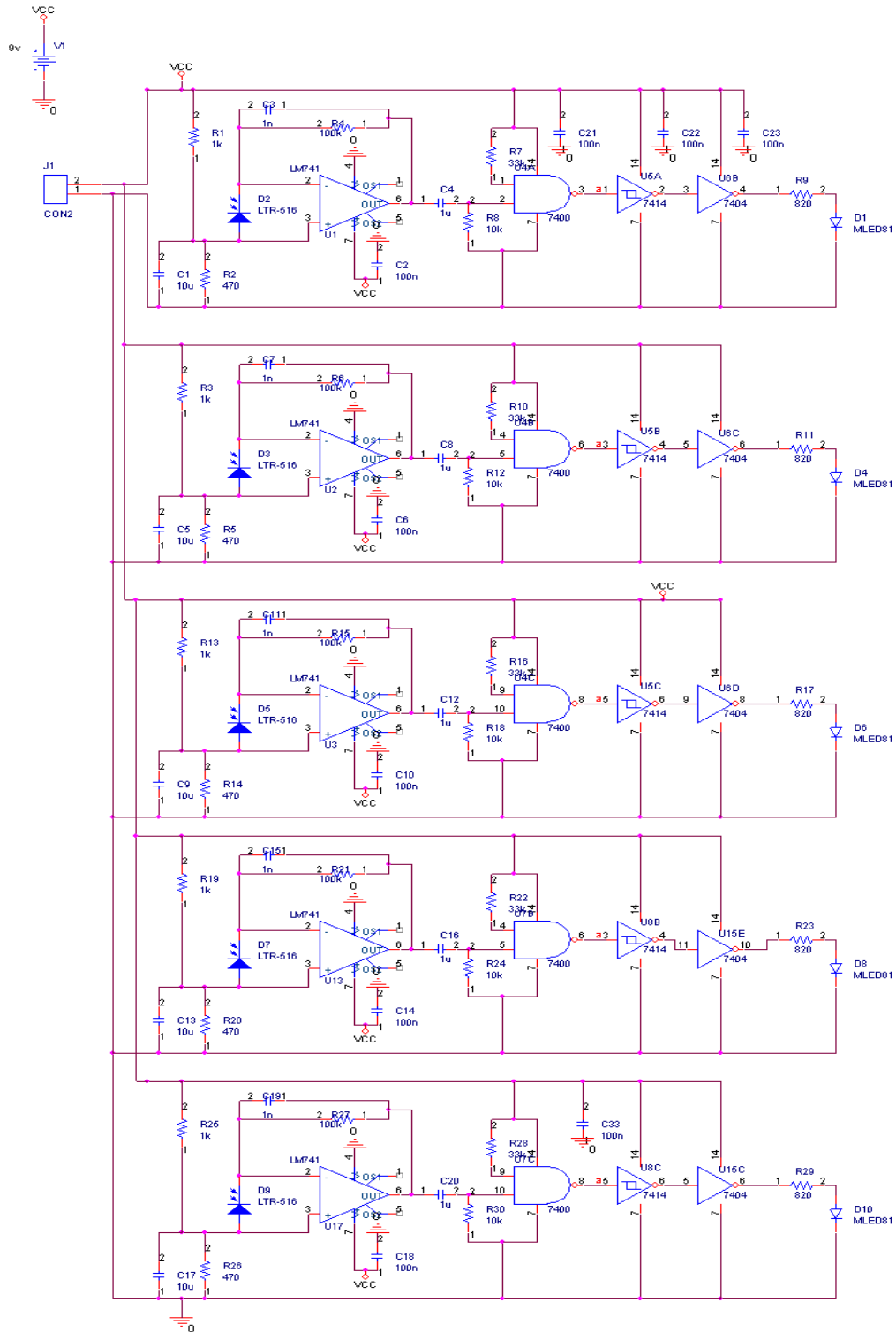
- Medidas reales de impacto: Para ello se deberían hacer pruebas de la capacidad máxima de medida de elongación las fibras ópticas de plástico y así medir su módulo de Young (módulo de elasticidad). Además, se debería realizar un estudio de la mejor configuración de la disposición y manufacturado de las fibras para obtener mayores sensibilidades, resolución, precisión y repetitividad.
- Futuras medidas con modulación analógica o digital para poder obtener una mayor resolución y añadir propiedad de auto-referencia.
- Ensayos de tracción e impacto sobre la fibra embebida en el material.
- Mejora del entorno de la máquina virtual, aumento de las prestaciones del panel de control, añadiendo posibles estados de aviso para prevenir fracturas o deformaciones en el material, cuando éste llegue a puntos de deformación críticos.

Anexo I

1. Circuito Transmisor Red de sensores POF.



2. Circuito Receptor Red de sensores POF.



Anexo II . Presupuesto

Coste de material

El coste asociado al material utilizado para el desarrollo del proyecto se resume en la siguiente tabla:

Concepto	Unidades	Cantidad	Costo Unitario(€)	Costo(€)
NI USB-6009 y Accesorios	1	1	269	269
LabVIEW Professional Development System (Licencia Anual)	1	1	4649	4649
TOTAL				4918

Coste de personal

Para el cálculo de personal, se establecen los siguiente salarios brutos anuales:

Ingeniero Técnico Industrial	10.560,80 €
Secretario	2.745,6 €

La carga sobre los salarios son:

Seguridad Social	27%
Desempleo	1.55 %
Formación profesional	0.1%
TOTAL	28.65 %

Esto supone para un total de 1800 horas trabajadas al año, un coste por hora de trabajador de :

Ingeniero Técnico Industrial	20.00 €/hora
Secretario	8.58 €/hora

El coste total, por personal asciende a:

Concepto	Horas	Coste/ Hora(€)	Costo(€)
Desarrollo de las especificaciones	50	20.00	1000
Pruebas Hardware	90	20.00	1800
Desarrollo de Software	149	20.00	2980
Documentación	100	8.58	858
TOTAL			6638

Presupuesto total de ejecución

Coste total de material	4918 €
Coste total de personal	6638 €
TOTAL	11556 €

Referencias

1. http://es.wikipedia.org/wiki/Tren_de_alta_velocidadMercedes-Benz Serie S utiliza la POF para su sistema de distribución de audio. [11/13]
2. k Luo, R.C.; Yih, C.C.; Su, K.L. Multisensor fusion and integration: approaches, applications and future research directions. *IEEE Sens. J.* 2002, 2, 107-119.
3. <http://www.lightwaveonline.com/articles/2011/04/igi-plastic-optical-fiber-market-continues-to-grow-120122589.html> [18/04/2013]
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Media_Oriented_Systems_Transport [11/13]
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_1394] [11/13]
6. G. Giaretta, W. White, M. Wegmuller and T. Onishi, "High-speed (11Gbps) data transmission using perfluorinated graded-index polymer optical fibers for short interconnects (<100m)", *IEEE Photonics Technology Letters*, 12, pp. 347-349, 2000.
7. http://es.wikipedia.org/wiki/Eurofighter_Typhoon [11/13]
8. http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a340family/a340-600/?contentId=%5B_TABLE%3Att_content%3B_FIELD%3Auid%5D%2C&cHash=22935adfac92fcbbd4ba4e1441d13383 [11/13]
9. <http://www.defencetalk.com/eurofighter-2000-typhoon-2-16807/> [11/13]
10. http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CEQQFjAA&url=http%3A%2F%2Fpofto.com%2Fdownloads%2Fieee%2Fpof.branches.v6.doc&ei=ffmAUtKzHK7JOAXPt4E1&usg=AFQjCNE9IqJZpUJVVF40vCDF-HtHj9o1Jg&sig2=8iM_kyAjg1_3dMlj1EgTQ&bvm=bv.56146854,d.d2k [11/13]
11. http://wikipedia.org/wiki/Ley_de_Snell [09/12]
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_Bragg_grating [11/13]
13. <http://www.hill2dot0.com/wiki/index.php?title=SDM> [11/13]
14. Kwon DS, Lee KB: Optical Fiber Curvature Sensor for Measuring Body Motion and its Adhesive Method. 09/912,357(6940062) 2005.
15. http://www.rp-photonics.com/brillouin_scattering.html [10/12]
16. Arrue, J.; Zubia, J.; Fuster, G., Kalymnios, D. Light power behaviour when bending plastic optical fibres. *IEE Proc. Optoelect.*, 1998, 145, 313-318.
17. <http://www.ni.com/labview/whatsnew/esa/> [11/13]
18. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>. [11/13]
19. <http://www.ni.com/white-paper/5696/en/> [11/13]