



CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN ÓPTICA, A.C.

Sensor óptico de nivel de líquidos



TESIS

Que como requisito para obtener el grado de

Maestro en Optomecatrónica

Asesor

Dr. David Moreno Hernández

Presenta

Ing. José Eloy Ortiz Zacarías

9 de abril del 2015

León, Guanajuato, México

Versión definitiva

Contenido general

AGRADECIMIENTOS	VII
DEDICATORIA	VIII
RESUMEN	IX
GLOSARIO DE TERMINOS	X
JUSTIFICACION.....	XI
OBJETIVO	XI
INTRODUCCION	XII
ANTECEDENTES	XII
CAPITULO 1	
SISTEMAS EXISTENTES PARA LA MEDICION DE NIVEL.....	1
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 FIBRA OPTICA EN SENSORES.....	2
1.2.1 FIBRA OPTICA DE VIDRIO	3
1.2.2 PRINCIPIO DE REFLEXION TOTAL INTERNA	4
1.2.3 SENSORES DE PRESENCIA O MOVIMIENTO UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA	5
1.2.4 SENSORES DE NIVEL EMPLEANDO FIBRA OPTICA.....	5
1.2.5 SENSOR EN TRANSMISION.....	6
1.2.6 SENSOR EN REFLEXION.....	6
1.2.7 CLASIFICACION DE LOS SENSORES DE NIVEL EXISTENTES.....	7
1.3 SENSORES DE NIVEL EN TRANSMISION	7
1.3.1 NIVEL DE LIQUIDOS BICOLOR.....	7
1.3.2 SENSORES DE NIVEL POR OBSTRUCCION.....	8
1.4 SENSORES DE NIVEL POR FUERZA DE FLOTACION	9
1.4.1 SENSOR DE PISTON DESPLAZABLE	9
1.4.2 SENSOR DE NIVEL LECTOR DE TARJETA.....	10
1.5 SENSORES DE NIVEL POR PRESION.....	11
1.6 SENSORES DE SUPERFICIE REFLEJANTE	12
1.7 SENSORES DE NIVEL POR CAMBIOS DE INDICE DE REFRACCION	13

CAPITULO 2

DETECCION DE NIVEL POR MEDIO DE LECTURA DE CODIGO BINARIO ... 15

2.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SENSOR	16
2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	17
2.3 CARACTERISTICAS NECESARIAS PARA LA DETECCION DEL NIVEL POR MEDIO DE UNA PLACA PERFORADA CON CODIGO BINARIO	19

CAPITULO 3

DISEÑO Y MANUFACTURA DEL SENSOR DE NIVEL 21

3.1 INTRODUCCION	22
3.2 DISPOSITIVO DE DETECCION	22
3.3 SISTEMA OPTICO DEL SENSOR.....	23
3.3.1 FIBRA OPTICA.....	24
3.3.2 DIVISOR DE FIBRA OPTICA.....	25
3.3.3 FUENTE OPTICA.....	26
3.3.4 RECEPTOR OPTICO	31

CAPITULO 4

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL E INTERFAZ GRAFICA 34

4.1 INTRODUCCION	35
4.2 PROCESADOR DE SEÑAL	35
4.2.1 SISTEMA OPERATIVO Y MODO DE CONEXIÓN DE LA BEAGLEBONE.....	37
4.2.2 CONEXIÓN DE LOS RECEPTORES OPTICOS A LA BEAGLEBONE.....	39
4.3 PERIFERICO DE SALIDA	41

CAPITULO 5

CARACTERIZACION DEL SISTEMA Y ANALISIS DE PERDIDAS..... 44

5.1 INTRODUCCION	45
5.2 SISTEMA DE MEDICION.....	45
5.3 ELEMENTOS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE MEDICION	45
5.3.1 SISTEMA OPTICO.....	45
5.3.2 SISTEMA MECANICO.....	46
5.3.3 PROCESADOR E INTERFACE PERIFERICA	47
5.4 EVALUACION DEL SISTEMA	49
5.4.1 SEPARACION ENTRE TERMINALES	50

5.4.2 <i>DESALINEACION ANGULAR</i>	52
5.4.3 <i>TERMINALES MAL PULIDAS</i>	54
5.4.4 <i>ANALISIS GENERAL DE PÉRDIDAS</i>	54
RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	56
CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS	59
ANEXO A	
DIBUJOS DEL SISTEMA MECANICO	60
ANEXO B	
ESPECIFICACIONES ELECTRICAS DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS	68
ANEXO C	
PROGRAMAS EN PYTHON	100

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1 En un sistema de detección basado en fibra óptica el cable está conectado al emisor y al detector permitiendo al sensor ser usado en áreas poco accesibles en comparación con los sensores comunes de efecto fotoeléctrico.....	2
Figura 1.2 Diagrama en donde se representan la estructura de una fibra óptica. La luz confinada por el fenómeno de reflexión total interna, viaja a lo largo del núcleo de la fibra óptica.	3
Figura 1.3 Angulo crítico a partir del cual se comienza a dar la reflexión dentro de la fibra óptica.	4
Figura 1. 4 Configuración de un sensor en reflexión	7
Figura 1.5 Nivel de líquido bicolor.	8
Figura 1.6 Bosquejo de un sensor de nivel por obstrucción [13].	9
Figura 1.7 Interruptor de nivel de líquidos [1].	10
Figura 1.8 Sensor de nivel de líquidos con fibra óptica digital.	11
Figura 1.9 Sensor de nivel de líquidos por transductor de presión.	12
Figura 1.10 Medición de nivel de líquido por superficie reflejante.	13
Figura 1.11 Sensor de nivel de líquidos con cambio de índice de refracción (refractométricos).	14

CAPITULO 2

Figura 2. 1 Placa metálica utilizada que muestra la distribución del código binario.	18
---	----

CAPITULO 3

Figura 3. 1 Correcta alineación transversal y longitudinal de las fibras ópticas para la detección del nivel donde $L=6.67$ mm representa la distancia entre fibras.....	23
Figura 3. 2 Elementos principales de un sistema de medición óptico.....	24
Figura 3. 3 Partes de una fibra óptica.	24
Figura 3.4 Bosquejo de un divisor de fibra óptica.....	26
Figura 3.5 Fotografía del divisor de fibra óptica utilizado.	26
Figura 3. 6 Fuente óptica con LED emisor de 850 nm.	28
Figura 3. 7 Circuito para caracterizar a los diodos del emisor.	29

Figura 3. 8 Vista lateral que muestra en la parte superior la tarjeta electrónica correspondiente a los receptores usados y en la parte inferior la tarjeta con los tres diodos emisores de luz.	30
Figura 3. 9 Diagrama circuito eléctrico del receptor óptico.	33
Figura 3. 10 tarjetas electrónicas de los fotodetectores y los transmisores LED.	33

CAPITULO 4

Figura 4. 1 Puertos de entrada y salida de la Tarjeta Beaglebone® [6].	35
Figura 4. 2 componentes de la Tarjeta Beaglebone® [5].	36
Figura 4. 3 entradas analógicas de la tarjeta Beaglebone®.	39
Figura 4. 4 bosquejo de conexión de los 3 detectores con las entradas analógicas de la Beaglebone®.	40
Figura 4. 5 Tarjeta Beaglebone® utilizada para el procesamiento de la señal obtenida de los receptores opticos.	40
Figura 4. 6 Diseño de la interface gráfica realizada en Labview.	41
Figura 4. 7 visualización gráfica del funcionamiento del sensor, detectando cada uno de los niveles. (Las imágenes fueron obtenidas directamente del panel frontal de labview).	42
Figura 4. 8 Diagrama a bloques de la programación realizada en Labview, para la comunicación con la beaglebone y el despliegue del nivel gráficamente.	43

CAPITULO 5

Figura 5. 1 Diagrama a bloques de las 5 etapas correspondientes al sistema en general.	45
Figura 5. 2 Vista del sistema mecánico utilizado para la detección del nivel del líquido junto a la tarjeta Beaglebone®.	46
Figura 5. 3 Diagrama de conexión entre los elementos que conforman el sistema.	47
Figura 5. 4 Sistema completo del sensor de nivel con fibras ópticas.	48
Figura 5. 5 Partes del sistema completo.	48
Figura 5. 6 Causas de pérdida de potencia óptica en el sistema.	49
Figura 5. 7 Separación existente entre la fibra óptica y la placa perforada con el código binario.	50
Figura 5. 8 Esquema que muestra el cono de luz en términos de las variables a considerar para el cálculo de la eficiencia de acoplamiento.	51
Figura 5. 9 Desalineación angular entre la fibra óptica y la placa metálica.	53
Figura 5. 10 bosquejo del sistema óptico empleado.	54

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 3

Tabla 3. 1 Tabla comparativa “corriente del LED vs. Voltaje de referencia”	29
Tabla 3. 2 Tabla comparativa “corriente del LED vs. Potencia óptica”	30

CAPITULO 5

Tabla 5. 1 pérdidas ocasionadas por desviación angular	53
Tabla 5. 2 Datos obtenidos de la medición de la potencia de entrada y salida en el sistema	55

AGRADECIMIENTOS

Agradezco todas las atenciones recibidas, la paciencia y tolerancia del director de esta tesis, el Dr. David Moreno Hernández. Gracias por su apoyo y confianza, le reitero mi admiración y respeto.

Al Dr. David Monzón quien sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de este trabajo. Gracias por su amabilidad y tolerancia al facilitar todo el material y equipo necesario para este trabajo, pero sobre todo por compartir sus conocimientos.

A mis profesores de maestría y comisión revisora.

DEDICATORIA

A mis padres José Ortiz González y María del Rosario Zacarías Sánchez por su apoyo incondicional durante todos mis estudios. Gracias por creer en mí y compartir su gran experiencia y valores familiares fundamentales para ser una mejor persona.

A mi compañera y futura esposa Liliana Berenice Velázquez Valadez por su admiración, motivación y confianza durante mis estudios.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un sensor de nivel de líquidos utilizando fibras ópticas. Este sensor de nivel es de tipo reflectivo, extrínseco y de amplitud modulada digitalmente; utiliza el principio mecánico de flotación y una tarjeta metálica perforada con un código binario para determinar el nivel de líquido en un recipiente.

El procesamiento de la señal obtenida de las fibras ópticas se realiza por medio de una tarjeta de adquisición llamada Beaglebone®, mediante la cual se interpreta la señal recibida para posteriormente ser desplegada de manera visual a través de una interface gráfica desarrollada en Labview®.

El dispositivo es capaz de medir en el recipiente independientemente de las características físicas o químicas del fluido, tales como densidad, viscosidad, temperatura, transparencia, etc.

Debido a la utilización de fibras ópticas y a su naturaleza digital este sistema puede operar en ambientes donde existe una alta contaminación electromagnética, convirtiéndolo en un sensor atractivo para muchas aplicaciones industriales.

GLOSARIO DE TERMINOS

Código binario:	Representación discreta de dígitos binarios (unos y ceros)
Densidad:	Masa por unidad de volumen de una sustancia (Kg/m^3)
Extrínseco:	Que viene de afuera, que se realiza de forma externa.
Interferencia:	Cualquier energía indeseada que dificulta la recepción de una señal deseada, esta puede ser originada por fenómenos naturales o artificiales.
Intervalo de operación:	Está definido por los límites máximo y mínimo que puede tomar el instrumento, bajo condiciones controladas.
Linealidad:	La linealidad del instrumento se define como el intervalo sobre el cual la variable tiene un comportamiento repetitivo y donde el efecto es proporcional a la causa.
Viscosidad:	La resistencia inherente de una sustancia al fluir.
Régimen turbulento:	Cuando en un fluido las fuerzas de inercia son mucho más significativas que las fuerzas viscosas.
Sistema digital:	Circuitos electrónicos en los cuales la información es transmitida en forma de tren de pulsos (información discreta).

JUSTIFICACION

Actualmente la mediana y pequeña industria de la región dedicada al envasado de productos de limpieza tanto industrial como domestica realizan el envasado de sus productos de manera manual, debido a esto y a que existe una carencia de dispositivos para monitorear en tiempo real el nivel de líquido en cada uno de sus productos químicos, la cantidad de líquido envasado presenta variaciones considerables de un recipiente a otro, es por ello que surge la necesidad de crear un sensor de fibra óptica electrónico que gracias a su robustez y practicidad puede ser utilizado en distintas aplicaciones industriales en donde sea necesario controlar la posición longitudinal.

El sensor muestra además de lo anteriormente expuesto gran ventaja con respecto a otros sistemas y es que su alta resistencia a la interferencia electromagnética y radiofrecuencia le permiten trabajar en ambientes agresivos y contaminados, factor que inevitablemente está presente en la mayoría de las industrias.

OBJETIVO

Diseño de un sensor de fibra óptica por reflexión, para la detección de niveles en líquidos bajo el principio de flotador y utilizando un código binario grabado en una tarjeta.

El proyecto comprende tres áreas del diseño dentro de las cuales se pretende cumplir lo siguiente:

- Diseño Óptico: utilización del menor número de fibras ópticas posible.
- Diseño Mecánico: preciso, robusto, confiable y con gran durabilidad.
- Diseño Electrónico: estable, compacto y capaz de desplegar la información a través de una interface gráfica.

INTRODUCCION

Debido a la creciente necesidad de controlar los numerosos procesos industriales surge la necesidad de crear sensores capaces de medir, cualificar y cuantificar cada una de las variables físicas o químicas.

Los sensores tienen como función principal detectar una variación de energía para posteriormente procesarla y convertirla en otra forma de energía por medio de un transductor (dispositivo encargado de transformar los datos de entrada medidos, en una señal capaz de mostrar de manera cuantificable la variable a medir).

En el presente trabajo se expone el desarrollo de un sensor basado en fibra óptica que muestra a través de una interface gráfica en tiempo real, el nivel de un líquido utilizado para limpieza industrial y doméstica (cloro, alcohol en gel, jabón líquido, desengrasantes etc.).

El control de nivel de líquidos es un proceso que si bien en la actualidad existen numerosos dispositivos capaces de cumplir esta función, no muchos poseen el grado de estabilidad necesario contra factores de interferencia electromagnética y radiofrecuencia, es por ello que los sensores basados en fibra óptica resultan idóneos para este trabajo, siendo actualmente los más utilizados en la industria petroquímica y química.

ANTECEDENTES

Dada la importancia que tiene la medición del nivel de líquidos en innumerables procesos industriales, actualmente existen diversos dispositivos que ayudan a controlar el nivel de líquido, utilizando como principio fundamental la óptica, la mecánica y la electrónica.

Debido a que el desarrollo de un sensor conlleva la conjunción de múltiples disciplinas se han creado sensores electromecánicos y actualmente optomecatrónicos para cumplir con las necesidades que demanda actualmente la industria.

CAPITULO 1

SISTEMAS EXISTENTES PARA LA MEDICION DE NIVEL

1.1 INTRODUCCION

Los sensores de fibra óptica son ideales para trabajar en condiciones arduas tales como: vibraciones altas, calor extremo y ambientes húmedos, explosivos o corrosivos. En áreas cerradas las fibras flexibles ayudan bastante gracias a su posibilidad de adaptarse a cualquier forma, permitiendo así colocarse donde sea necesario.

El empleo de fibras ópticas ha tenido un auge significativo en el ámbito de los sensores, representando un importante avance en la medición de distintas variables presentes en procesos industriales.

1.2 FIBRA OPTICA EN SENSORES

Un sensor basado en fibra óptica consiste de una fuente de luz, un cable de fibra óptica conectado a un transductor remoto (en donde se lleva a cabo la medición) y un detector de señales ópticas. (Ver figura 1.1).

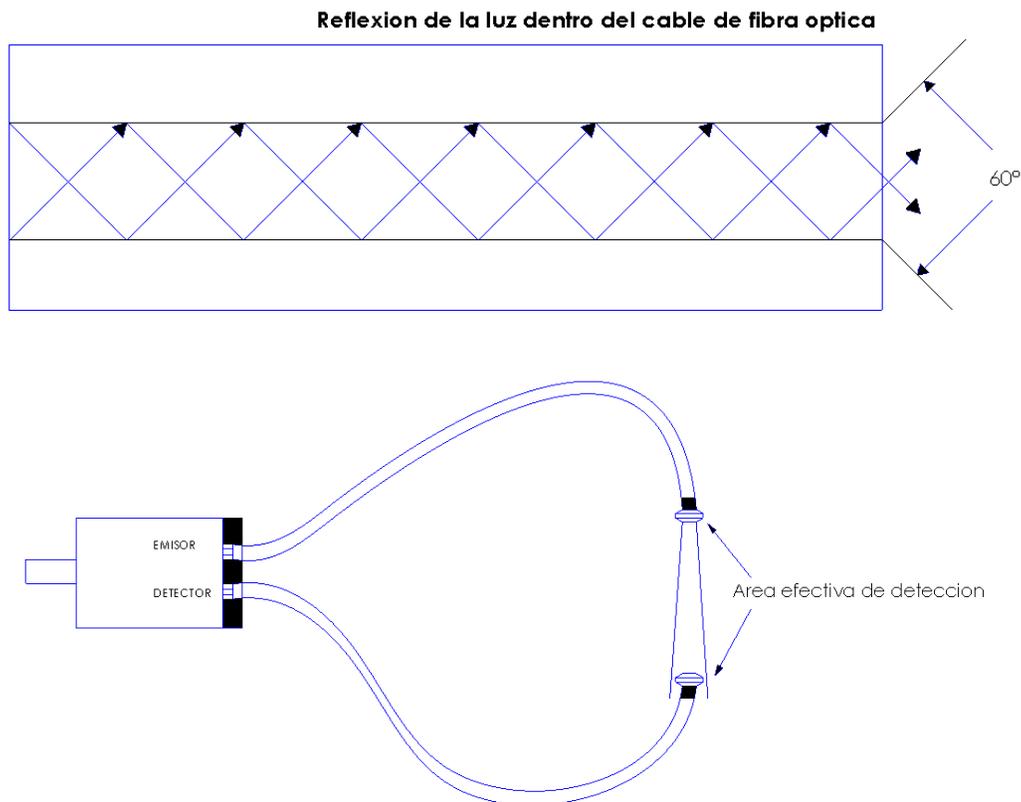


Figura 1.1 En un sistema de detección basado en fibra óptica el cable está conectado al emisor y al detector permitiendo al sensor ser usado en áreas poco accesibles en comparación con los sensores comunes de efecto fotoeléctrico.

Un sensor óptico convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, el cable de fibra óptica es el componente mecánico que transporta la luz hacia y desde el transductor dentro y fuera de áreas limitadas o demasiado hostiles.

La fibra óptica tiene una estructura cilíndrica formada por tres cilindros de material dieléctrico (vidrio o polímero) concéntricos, el más interior se conoce como núcleo, lo rodea una segunda capa conocida como revestimiento y finalmente una cubierta protectora de polímero (ver figura 1.2). La diferencia de índice de refracción entre el núcleo (mayor) y el revestimiento (menor) permite que la luz sea guiada dentro de la fibra de acuerdo al fenómeno de reflexión total interna, de la cual se hablara más tarde.

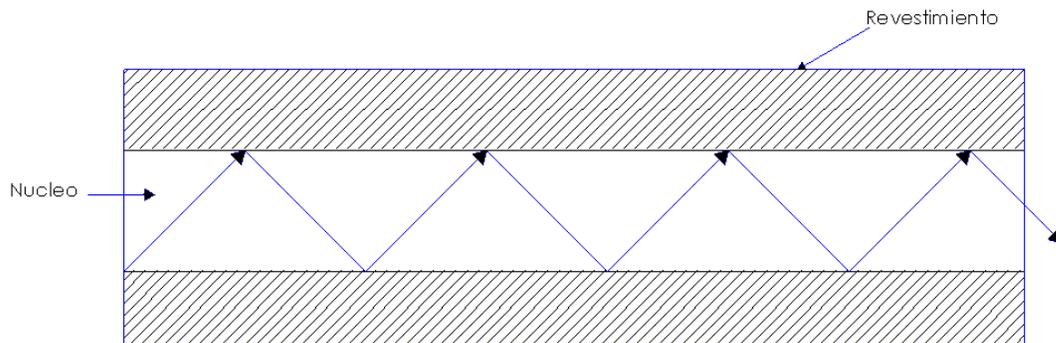


Figura 1.2 Diagrama en donde se representan la estructura de una fibra óptica. La luz confinada por el fenómeno de reflexión total interna, viaja a lo largo del núcleo de la fibra óptica.

1.2.1 FIBRA OPTICA DE VIDRIO

La fibra óptica de vidrio es un cilindro delgado, que típicamente mide 0.250 mm de diámetro, incluida la cubierta de polímero. Generalmente la fibra óptica tiene un recubrimiento extra (.900 mm) que le proporciona protección extra, para usos más rudos se pueden encontrar recubrimientos más elaborados que en algunos casos incluyen una armadura de acero flexible o un recubrimiento de cloruro de polivinilo (PVC).

El vidrio por naturaleza es muy resistente, esta propiedad permite usarlo en diferentes tipos de aplicaciones bajo condiciones extremas, tales como altas temperaturas o un ambiente corrosivo. La fibra óptica de vidrio comercial puede operar a temperaturas altas de hasta 200 °C sin embargo, para aplicaciones especiales existen fibras que pueden operar por encima de esta, llegando incluso a los 600°C.

A un razonable radio de curvatura las fibras ópticas de vidrio pueden resistir la flexión cíclica indefinida. Teniendo en cuenta esta premisa se podría pensar que las fibras de vidrio podrían hacer frente a la flexión brusca, estiramientos, vibraciones extremas o algún otro duro tratamiento, pero no es así de hecho estas se suelen romper.

Para lograr un alto grado de eficiencia de acoplamiento de luz, es necesario que las caras de la fibra estén perfectamente limpias y planas, esto se logra mediante el pulido de la superficie hasta lograr una calidad óptica o mediante un corte usando la herramienta adecuada.

1.2.2 PRINCIPIO DE REFLEXION TOTAL INTERNA

La transmisión completa de la luz a través de la fibra óptica está basado en el principio de reflexión total interna, el cual establece que toda la luz que incide en un límite entre dos medios se reflejara totalmente bajo ciertas condiciones. Es decir que las pérdidas de energía de la luz son mínimas. Este principio aplica solo cuando se cumplen dos condiciones:

- El ángulo de incidencia de la luz en la frontera entre el núcleo y el revestimiento debe ser mayor que el *ángulo crítico* o *ángulo límite*.
El ángulo crítico ($\theta_c = \text{sen}^{-1}(n_{\text{revestimiento}}/n_{\text{núcleo}})$) está definido como el ángulo mínimo de incidencia en el cual se produce la reflexión total interna y se produce gracias a la diferencia de índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento de la fibra óptica (véase la figura 1.3).
- La luz está en un medio más denso y se aproxima a un medio menos denso. El material del revestimiento es menos denso que el material del núcleo y como resultado tiene un índice de refracción menor.

El principio de reflexión total interna aplica solo si la fibra óptica está recta o doblada dentro de un radio de curvatura definido, es decir si el radio de curvatura es muy pequeño existirán pérdidas de potencia lumínica.

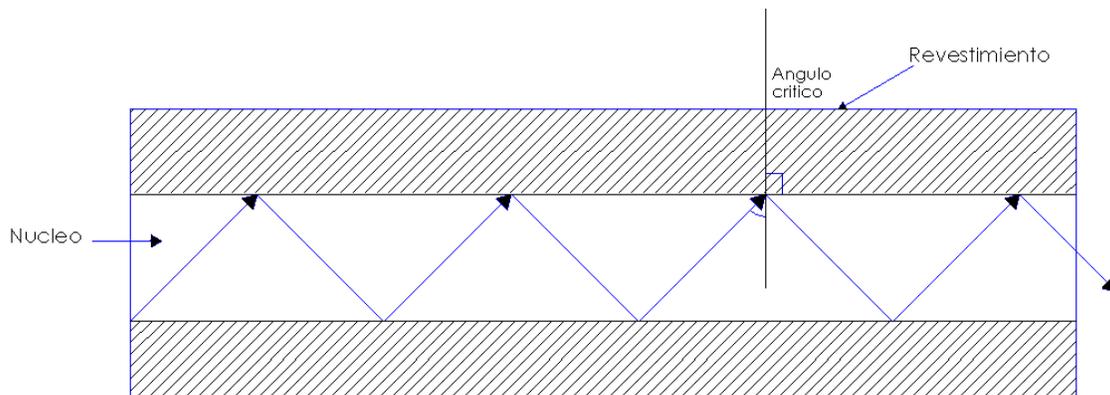


Figura 1.3 Ángulo crítico a partir del cual se comienza a dar la reflexión dentro de la fibra óptica.

1.2.3 SENSORES DE PRESENCIA O MOVIMIENTO UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA

Debido a que los sensores de fibra óptica son un derivado de la tecnología de detección fotoeléctrica, las técnicas de detección fotoeléctrica (reflexión difusa, interrupción de haz, retro reflectante) también se han adaptado para esquemas de fibra óptica. Los dos tipos de ensambles de fibra óptica que se ocupan en estas técnicas de detección pueden ser individuales y bifurcados.

En la técnica de haz interrumpido con fibra óptica como se muestra en la figura 1.1, requiere dos cables. Uno está conectado al emisor de luz y se usa para guiar la energía de la luz al lugar donde se realiza la detección. El otro se une al receptor y se usa para guiar la luz a partir de la ubicación de detección.

Como en el caso de la detección fotoeléctrica estándar a través de la interrupción de haz, los cables emisor y el detector están posicionados uno frente al otro. La detección se logra cuando el haz de luz que sale del emisor al cable de fibra óptica del receptor se interrumpe.

Un ensamble de fibra óptica bifurcada es usado tanto para reflexión difusa como para detección retro reflectante, en contraste con un cable individual. Un cable bifurcado combina el emisor y el receptor dentro de un solo ensamble, las fibras que vienen del emisor y del receptor se colocan de lado a lado a lo largo de la longitud del cable. Esta configuración es ideal para aplicaciones que requieren una punta compacta para la detección. Cuando un objeto esta frente a la punta de detección del cable bifurcado, la luz que sale de la fibra óptica del emisor se refleja en el objeto y parte de la energía se acopla a la fibra que va al detector logrando así la detección.

1.2.4 SENSORES DE NIVEL EMPLEANDO FIBRA OPTICA

Todos los sensores de fibras ópticas pueden detectar la variable física por medio de la modulación de la fase del haz de luz. Los sensores de nivel regularmente operan con la intensidad modulada.

Los sensores de intensidad modulada están asociados generalmente con el desplazamiento o alguna perturbación física que interactúa en la fibra o un transductor mecánico aunado a la fibra. La perturbación causa un cambio en la intensidad de la luz recibida, la cual es función del fenómeno que se está midiendo.

Los conceptos generales asociados con la modulación de la intensidad incluyen al concepto de transmisión y reflexión, sin embargo, se usan otros mecanismos independientes o en conjunto con los conceptos anteriores tales como: la absorción, los cambios de densidad, fluorescencia, polarización y rejillas ópticas.

Los sensores de intensidad modulada son analógicos por naturaleza pero tienen un uso importante en aplicaciones digitales para interruptores y contadores.

1.2.5 SENSOR EN TRANSMISION

El concepto de sensor en transmisión normalmente se asocia con la interrupción de un rayo de luz. Por ejemplo, si quiere monitorear el desplazamiento axial entre dos fibras ópticas colocadas una frente a la otra, se observará que el acoplamiento de la luz sigue la ley de $\frac{1}{r^2}$, donde r es la distancia entre las dos caras de las fibras ópticas.

Otro sensor en transmisión más sensible es el de desplazamiento radial donde el sensor no transmite si las sondas se desplazan una distancia igual a un diámetro de la sonda, aproximadamente el primer 20% del desplazamiento da una respuesta lineal en la luz acoplada.

1.2.6 SENSOR EN REFLEXION

El sensor en reflexión es atractivo por su simplicidad y su bajo costo. El sensor está compuesto de dos fibras (ya sea de núcleos múltiples o de un solo núcleo), por una de ellas se transmite luz a una tarjeta reflejante y la señal reflejada se acopla al otro u otros núcleos que la transmitirá al detector, la intensidad de la luz detectada depende de la distancia a la que se encuentre la tarjeta reflectante. Al graficar la intensidad de la luz reflejada contra la distancia a la que se encuentra la superficie reflejante muestra que las pendientes iniciales de la curva permiten tener una precisión potencial de millonésimas de pulgada. La precisión también depende del tipo de sonda que se utilice, ya sea hemisférica, coaxial, de par de núcleos o sencilla. Para aplicaciones que requieren de intervalo dinámico más grande, generalmente se utiliza un sistema de lentes, que expanden el intervalo de medición dese 5.08mm (0.2 pulgadas) hasta 13cm (aprox. 5 pulgadas) o más.

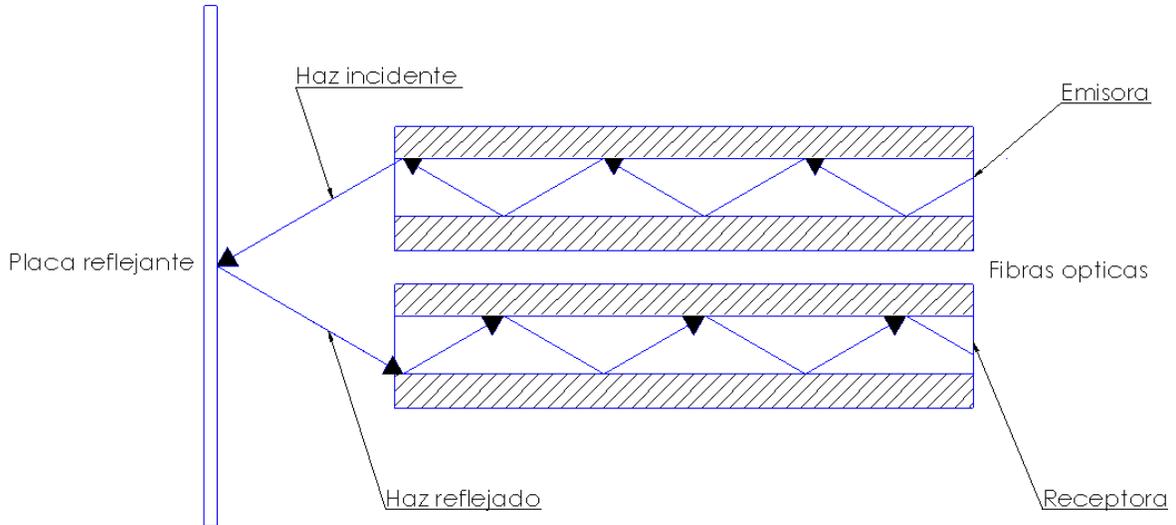


Figura 1. 4 Configuración de un sensor en reflexión

1.2.7 CLASIFICACION DE LOS SENSORES DE NIVEL EXISTENTES

Los sensores de nivel pueden dividirse en dos categorías [9]:

- Sensores de nivel puntual: Este tipo de sensores se utilizan para marcar un nivel discreto previamente establecido, regularmente funcionan como interruptores de nivel alto y o nivel bajo; se emplean como alarmas para la condición de sobre flujo o para marcar el estado de nivel bajo o vacío.
- Sensores de nivel continuo: Este tipo de sensores proveen un monitoreo completo del nivel del sistema ya que como su nombre lo indica mide el nivel del fluido en un intervalo determinado. Con ellos se pueden detectar fugas o medir la magnitud actual del nivel del líquido en cuestión. Los sensores de nivel continuo tienen una salida analógica que correlaciona directamente el nivel de esta señal con el fluido del contenedor. En este trabajo se expone un medidor de nivel discreto, ya que solamente mide niveles discretizados de flujo en el contenedor.

1.3 SENSORES DE NIVEL EN TRANSMISION

1.3.1 NIVEL DE LIQUIDOS BICOLOR

Las calderas generalmente usan cristales de dos colores para detectar el nivel de agua. Se coloca un prisma de tal forma que si la luz al entrar en la caldera solamente se encuentra vapor, se observa una luz roja; pero si el por el contrario se encuentra el

contenedor lleno de agua, la luz se refracta y solo la luz verde se transmite. La interface entre las fibras y el comportamiento de color debe de estar aislada de la luz ambiental para evitar interferencias del medio externo. Este tipo de sensor es pasivo sin sistemas mecánicos en movimiento u otros componentes eléctricos (más que el iluminador) [2]. Regularmente estos sensores se encuentran a un lado de la caldera, pero si se deseara monitorear el proceso se tendría que equipar con fibras ópticas de apertura numérica grande y de núcleos de fibra óptica grandes [12].

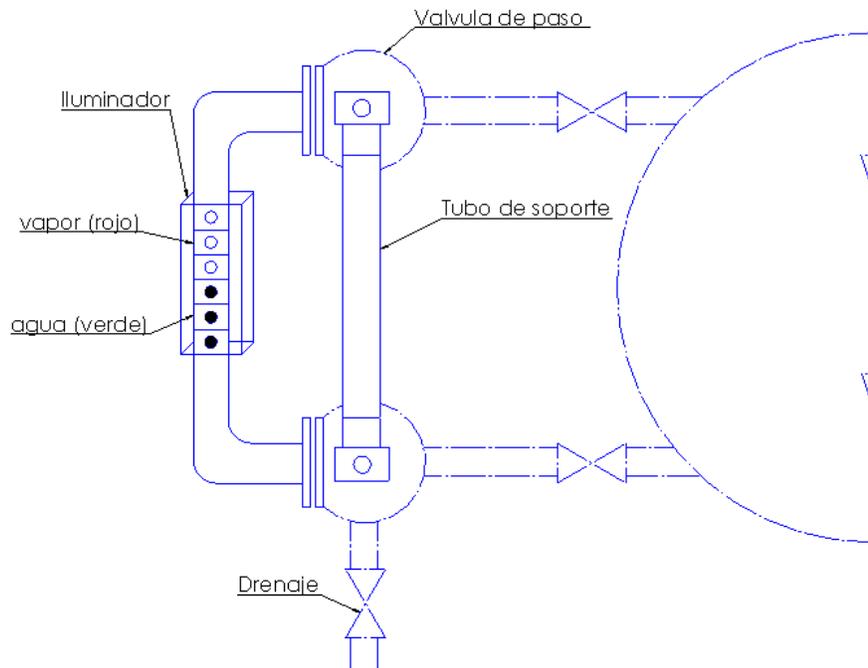


Figura 1.5 Nivel de líquido bicolor.

1.3.2 SENSORES DE NIVEL POR OBSTRUCCION

Otro sistema de transmisión con fibras ópticas se representa en la figura 1.6, en ella se puede apreciar que conforme el nivel del líquido en el contenedor aumenta, la trayectoria de la luz de la fibra emisora hacia la receptora es interrumpida, de tal forma que al obstruirse el haz se tiene la información del nivel en el tanque. El número de fibras ópticas utilizadas es igual al número de niveles discretos que se requieran en el contenedor; es importante mencionar que en este tipo de sensor las fibras ópticas están protegidas para que estas no estén en contacto directo con el líquido en ningún momento. Una desventaja de este tipo de sensores es que no puede detectar líquidos que sean transparentes a la longitud de onda de la luz empleada [3].

Corte Longitudinal

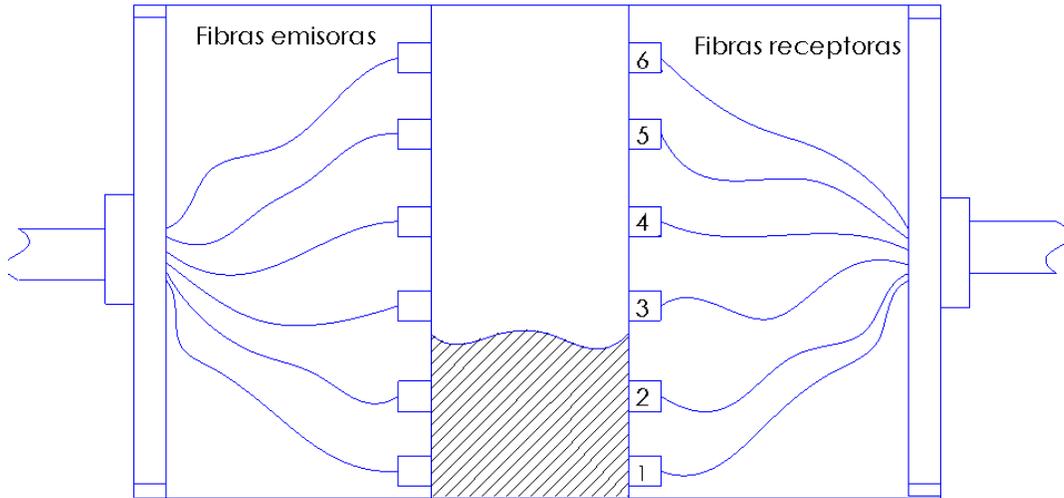


Figura 1.6 Bosquejo de un sensor de nivel por obstrucción [13].

1.4 SENSORES DE NIVEL POR FUERZA DE FLOTACION

Este tipo de sensores detectan el nivel de un líquido en un contenedor empleando flotadores que desplazan, a su vez, un objeto que obstruye la trayectoria de la luz. En estos esquemas la luz no interactúa con el líquido por lo que se puede utilizar para medir en cualquier tipo de líquido.

1.4.1 SENSOR DE PISTON DESPLAZABLE

Este tipo de sensor utiliza un embolo, sujeto a un flotador, que interrumpe o permite la transmisión de la luz entre dos fibras ópticas. Al cambiar el nivel del líquido, el flotador se desplaza al igual que el embolo y la señal óptica cambia, tal como lo muestra la figura 1.7. Se puede apreciar que el sensor puede operar en transmisión o reflexión dependiendo si el embolo, interrumpe el haz de luz o lo refleja [1,14].

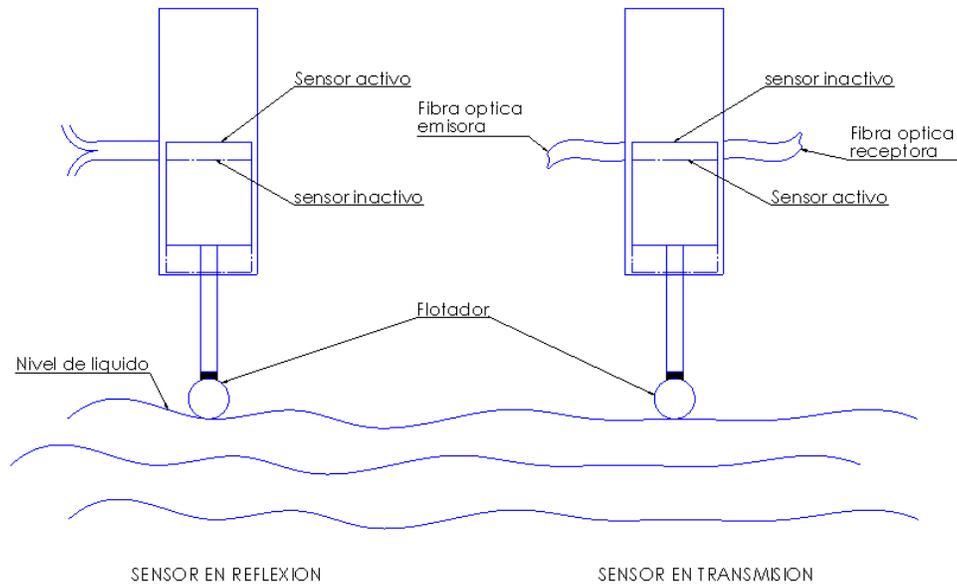


Figura 1.7 Interruptor de nivel de líquidos [1].

1.4.2 SENSOR DE NIVEL LECTOR DE TARJETA

Este sensor de nivel utiliza una tarjeta que contiene un código binario (el código puede estar impreso con superficies reflejantes o perforado en la misma placa), por lo que con el uso de varias fibras se pueden determinar valores discretos de nivel de líquido. La tarjeta está sujeta a un pistón que se desplaza de acuerdo al nivel del líquido en el contenedor. Este sensor es una versión ampliada y mejorada del anterior pues permite medir más de una posición del flotador y en consecuencia más de un nivel del líquido, dependiendo del número de fibras ópticas que se utilicen.

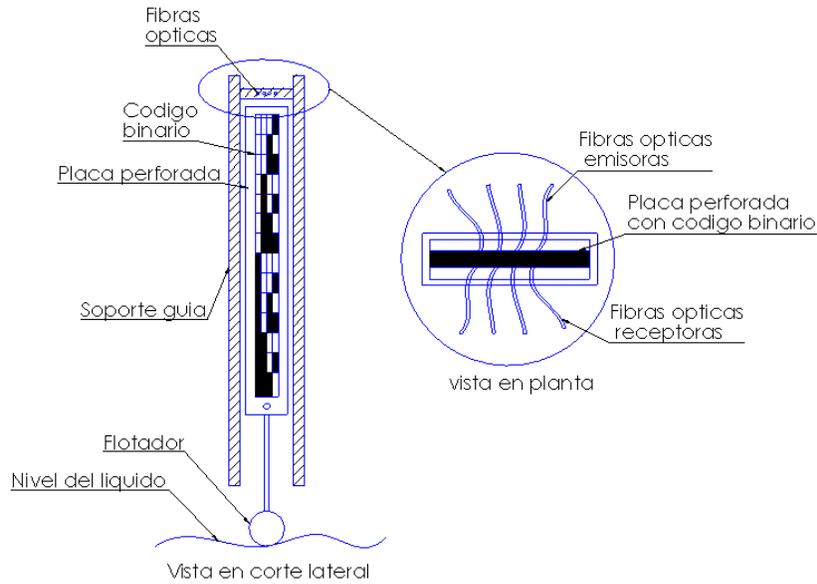


Figura 1.8 Sensor de nivel de líquidos con fibra óptica digital.

1.5 SENSORES DE NIVEL POR PRESION

El nivel de líquidos puede determinarse midiendo la presión ejercida sobre una membrana debido al peso de la columna de líquido que esta ejerce sobre ella. La medición se hace un poco más complicada cuando, por ejemplo, se tiene un tanque presurizado, ya que el sistema requiere de dos sensores de presión, uno que mida la presión de la presurización y otro más que mida la presión ejercida por una columna de agua; la diferencia de estas presiones corresponde al nivel de líquidos. El inconveniente es que este método al tener pequeños errores en la medida de presión se tendrán errores grandes en el nivel de líquidos [4,15].

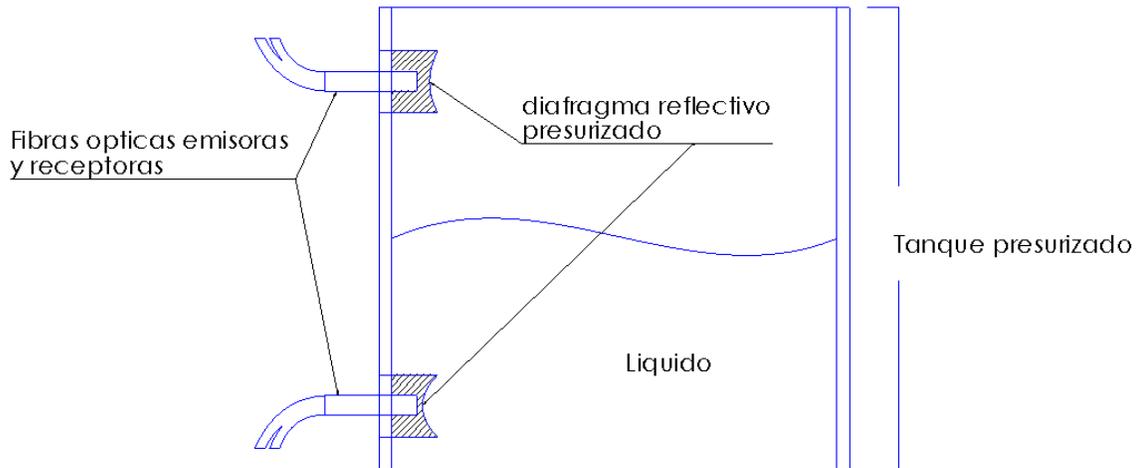


Figura 1.9 Sensor de nivel de líquidos por transductor de presión.

1.6 SENSORES DE SUPERFICIE REFLEJANTE

Las técnicas de superficie reflejante usan la reflexión de la luz que se produce cuando un haz pasa a través de dos dieléctricos con índice de refracción diferente. El sistema consiste de una fibra óptica emisora, que provee el haz de prueba, y un conjunto de fibras ópticas de prueba colocadas en una posición espejo de la primera en el plano de incidencia de la luz [2]. Para un intervalo dinámico muy grande (resolución del nivel del líquido) puede parecer muy costoso pero es atractivo para sustancias corrosivas o líquidos a alta temperatura donde el contacto no es posible [2,7].

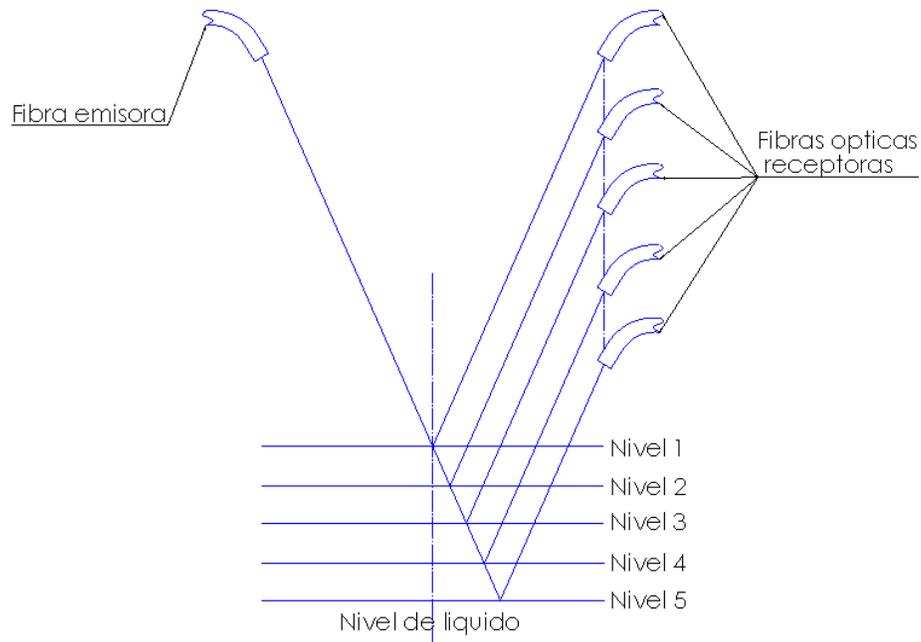


Figura 1.10 Medición de nivel de líquido por superficie reflejante.

1.7 SENSORES DE NIVEL POR CAMBIOS DE INDICE DE REFRACCION

Los sensores de nivel basados en cambios en el índice de refracción funcionan al transmitir un haz de luz en un prisma, típicamente un cuarzo (índice de refracción 1.46), cuando el prisma se encuentra en el aire se tiene una reflexión interna total, pero en presencia de un líquido circundante cuyo índice de refracción sea mayor que el del prisma, la luz no se refleja totalmente hacia el interior del prisma ya que el cambio de índice de refracción a su alrededor, hará que parte de la luz se refracte en el líquido.

Estos sensores son ideales para monitorear nivel alto o bajo o para detectar fugas en un sistema [4,16].

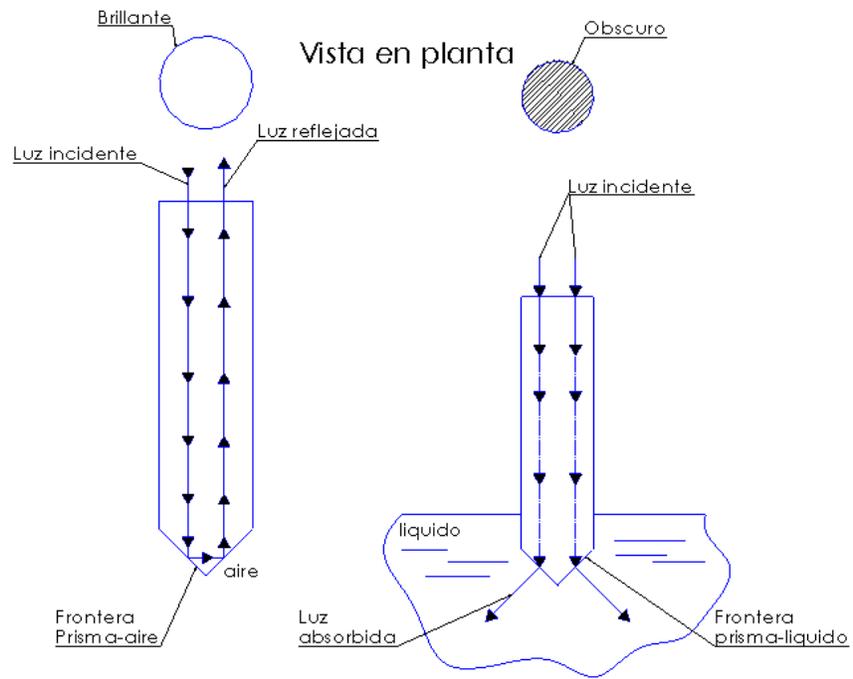


Figura 1.11 Sensor de nivel de líquidos con cambio de índice de refracción (refractométricos).

CAPITULO 2

DETECCION DE NIVEL POR MEDIO DE LECTURA DE
CODIGO BINARIO

2.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SENSOR

El principio seleccionado para la medición del nivel de líquidos habiendo considerado las opciones anteriormente expuestas, es el basado en la lectura de un código binario. El elemento que diferencia a este sensor de muchos otros sensores basados en fibra óptica es la placa metálica que contiene el código binario, la cual es de suma importancia para la medición, ya que esta contiene la información del nivel.

El sistema fue diseñado de manera que fuera posible modular la intensidad emitida y por consecuencia la reflejada por la placa de acuerdo al nivel del líquido, todo esto bajo el principio de reflexión de la luz.

El sensor cuenta con varias ventajas como son:

- capacidad de operación en ambientes contaminados electromagnéticamente.
- puede trabajar con una gran cantidad de líquidos simplemente rediseñando el material del flotador para que resista los agentes químicos del líquido.
- Dado que la medición se realiza bajo el principio de flotación se puede determinar el nivel de diversos líquidos sin importar su densidad, transparencia, agresividad, etc.
- Elemento de detección de tamaño compacto.
- Fácil instalación.
- Amplio intervalo de medición.
- Amplio número de niveles discretos con un mínimo de fibras ópticas.
- Versatilidad de materiales para su construcción dependiendo de la aplicación o el fluido.
- Facilidad de construcción, duradera y con poco mantenimiento.
- Versatilidad para adaptarse a diversos procesos industriales que requieran la medición de niveles.
- Flexibilidad en la utilización de sistemas digitales para la interpretación de la información en código binario, procesamiento de la señal y control de la variable.
- Amplio intervalo de correcta operación en condiciones de extrema temperatura y presión dependiendo únicamente de los materiales de construcción y la fibra óptica.
- El principio de operación de lectura de código binario es de fácil procesamiento debido a que todo es enteramente digital.
- El sensor opera con gran seguridad en ambientes inflamables o agresivos.
- Fácil acondicionamiento con periféricos de salida como pantallas de cristal líquido, monitores, exhibidores con diodos emisores de luz (LED) etc.
- El diseño del sensor es completamente seguro, pequeño, compacto y con posibilidad de miniaturizarse a un más por medio de algún dispositivo mecánico.

- Utilización de fuente óptica cuyo nivel de potencia es ajustado a un nivel fijo
- La fuente óptica no requiere compensación alguna.
- Fácil instalación en lugares poco accesibles.
- La calibración se ajusta fácilmente mediante la plataforma de control grafica que se desarrolló para el sensor.
- Fácil adaptación de fibras de diferente tamaño y material.
- Sistema de procesamiento por medio de un sistema embebido llamado BeagleBone® y la plataforma grafica de control labview® fácil de manipular y visualmente muy representativa.

2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

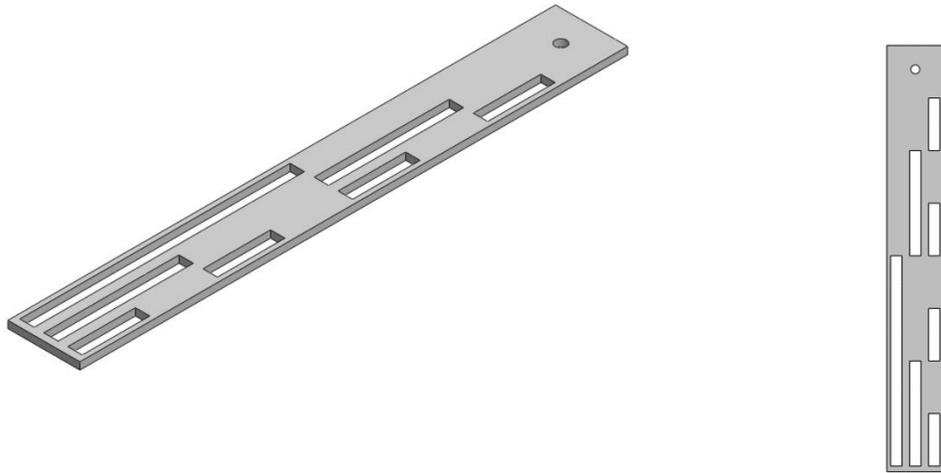
El principio de funcionamiento del sensor utiliza como elemento transductor una placa metálica con acabado casi especular, en la cual se han maquinado varias ranuras en posiciones y con longitudes definidas, que funcionarán como un código binario para un haz incidente en la placa. Esta placa puede integrarse al sensor de tal manera que el sistema opere en transmisión o reflexión, según se desee. En nuestro caso hemos optado por el diseño en reflexión, en el que las fibras ópticas colocadas frente a la placa metálica, en posiciones bien definidas, sirven al mismo tiempo como emisoras y receptoras de la señal de prueba. Cuando la luz, que sale de la fibra óptica, pasa a través de uno de los orificios maquinados en la placa, nada de luz se refleja y por lo tanto nada de luz es recolectada por la misma fibra. En cambio cuando la luz apunta sobre el metal de la placa, la luz es reflejada y entra otra vez a la fibra óptica. De esta manera se puede monitorear la posición de la placa.

El código binario utilizado en la placa es un código binario de 3 bits pero puede ser expandible al número que sea necesario, en este caso a fin de ejemplificar la funcionalidad del sensor solo se utilizaron 3 bits. Puesto que se ocupa una fibra por bit, si se deseara tener un sensor con mayor número de bits se tendrían que emplear más fibras esto solo cuando sea necesaria la medición de múltiples niveles (ver figura 2.1).

El número de niveles discretos (ND) detectables en el recipiente, utilizando este sistema, está en función del número de bits utilizados en la placa perforada, debido a que la placa tiene un código binario de 3 bits entonces los niveles discretos se calculan de la siguiente manera:

$$ND = 2^n = 2^3 = 8 \text{ niveles} \quad [1]$$

Por lo que número de fibras emisoras (n) o lectoras del sistema son 3 ya que la placa perforada contiene un código binario de 3 bits.



a) vista isométrica

b) vista en planta

Figura 2. 1 Placa metálica utilizada que muestra la distribución del código binario.

El modo de detección de cada una de las combinaciones de la placa perforada se realiza mediante las fibras ópticas. El sistema dispone de 3 divisores de haz de fibra óptica por donde se emite y recibe la luz reflejada por la placa metálica.

La placa perforada con el código es impulsada por el nivel del líquido contenido en el tanque y se desplaza frente a las 3 fibras ópticas provenientes de los divisores de haz.

La placa perforada puede desplazarse en el tanque debido a que en la base de la misma se encuentran unos flotadores de plástico que la impulsan hacia arriba o abajo conforme el contenedor se llena o vacía de líquido.

La forma en que se lleva a cabo la lectura del código binario en las fibras es de carácter reflectivo, es decir por medio de una fuente óptica se emite un haz de luz que se introduce en una fibra óptica. El otro extremo de la fibra óptica se coloca muy próximo a la superficie de la placa, de tal manera que la luz al salir de la fibra óptica es reflejada y vuelve a entrar en la misma fibra. La luz dentro de la fibra pasa a través del divisor de haz y se divide, una de estos haces es llevado directamente al detector óptico.

Si una de las fibras ópticas emisoras coincide con una perforación de la placa, entonces dado que no hay luz reflejada por la placa, en el detector solamente incide el 4% de la luz que se refleja en la punta de la fibra óptica (prácticamente nula para el sistema), de manera contraria cuando una de las fibras ópticas coincida con la parte metálica especular, la cantidad de luz reflejada es mayor y en el detector observamos un aumento de intensidad. De esta manera se obtiene un valor bajo o alto de potencia lumínica fluyendo por las fibras ópticas, es decir, si se tiene una baja potencia electrónicamente se tendrá un cero lógico y si la potencia es alta un 1 lógico, teniendo así los datos en código binario que serán

interpretados por la interface gráfica. Esta información se procesa posteriormente y se interpreta como un determinado nivel del líquido dentro del contenedor.

2.3 CARACTERISTICAS NECESARIAS PARA LA DETECCION DEL NIVEL POR MEDIO DE UNA PLACA PERFORADA CON CODIGO BINARIO

Dado que las características del líquido a medir suelen ser muy variadas, los fluidos pueden ser de baja o alta viscosidad. Sin embargo, los cambios en la viscosidad y densidad de un fluido (alterables frente a variaciones de temperatura y presión) no modifican el buen funcionamiento del dispositivo, por lo que es inmune a cambios de temperatura y presión dentro del recipiente.

El dispositivo es capaz de medir la dilatación de algún líquido si la discretización de los niveles lo permite.

Es posible realizar la medición de niveles con líquidos opacos así como no homogéneos, ya que lo primordial es el buen desplazamiento del líquido en el recipiente.

Una consideración importante a tener en cuenta es el material para el flotador, debido a que este se encontrara en contacto directo con el líquido, entonces deberá ser resistente a cualquier agente corrosivo o contaminante del fluido a medir.

Otras cualidades no menos relevantes para la selección del material del flotador son la capacidad para soportar las variaciones de temperatura y presión dentro del contenedor, además de asegurar su flotabilidad sobre el líquido.

Para realizar la medición utilizando este principio es recomendable que el vaciado y llenado del tanque sea lo más estable posible, es decir, lo más plano posible y con una velocidad más o menos constante para reducir el error en la lectura obtenida. Si se trabaja con líquidos turbulentos se tendría que aplicar factores de corrección a la hora de procesar la señal para obtener una lectura promedio del sistema. Para trabajar en condiciones de gran turbulencia resulta conveniente implementar sistemas de rectificación mecánica para reducir las variaciones del perfil del nivel y conseguir las condiciones de velocidad necesarias para el sistema .

El sistema para la detección del nivel está conformado básicamente por las siguientes partes:

1.-Placa perforada con el código binario: Placa de acero inoxidable perfectamente pulido y especular con el código binario perforado para la correcta detección del nivel, cuyas dimensiones dependen de la altura del contenedor a llenar.

2.-Elementos del sistema óptico: Dentro de los elementos que conforman el sistema óptico se encuentran el diseño electrónico de una fuente óptica de potencia fija ajustable, diseño electrónico de un receptor óptico adecuado para tratamiento digital, y la correcta selección de los optoacopladores de fibra óptica para el sistema.

3.-Sistema embebido Beagle bone: Sistema encargado del procesamiento de la señal entregada por el sensor.

4.-Sistema de salida: Interface gráfica en Labview® que muestra de manera gráfica el nivel del líquido contenido en el tanque.

CAPITULO 3

DISEÑO Y MANUFACTURA DEL SENSOR DE NIVEL

3.1 INTRODUCCION

La construcción de un sensor con las características anteriormente descritas conlleva la correcta selección de los materiales a emplear tanto para el diseño mecánico como óptico. El diseño debe tomar en consideración las sustancias bajo las cuales opera para minimizar el mantenimiento de este.

3.2 DISPOSITIVO DE DETECCION

Los elementos del dispositivo de detección son básicamente la placa perforada y el flotador que se encuentra en su base.

El código binario perforado en la placa metálica establece una conexión semidirecta con la electrónica digital para obtener en bits la información correspondiente al nivel del líquido en el recipiente.

Para la correcta selección del material de la placa se tomó en cuenta lo siguiente:

- 1.- Debe ser un material liviano que permita la flotabilidad del dispositivo colocado en su base.
- 2.- Debe ser un material con la suficiente rigidez para obtener una lectura estable del código.
- 3.- Debe soportar las condiciones ambientales dentro del contenedor.

A fin de realizar las pruebas pertinentes en el laboratorio, se utilizó una placa de acero inoxidable de grosor igual a 0.762mm, ancho 20 mm y 150 mm de largo (ver anexo A). La razón por la cual se utilizó acero inoxidable en la placa de medición fue la de tener una placa ligera y a la vez rígida a pesar de un grosor pequeño. La placa de acero inoxidable no debe interactuar directamente con el líquido, para evitar que se contamine con algún químico presente que provoque que la superficie de la placa no refleje lo suficiente, por esta razón se fabricó una cubierta con nylamid perfectamente sellado.

El dispositivo sugerido para el flotador es una boya hidráulica de $\frac{3}{4}$ de pulgada, la cual es conectada a la placa con el código binario. La placa impulsada por el flotador se desplaza a través de las fibras ópticas emisoras por medio de una guía hecha de nylamid, la cual además de protegerla sirve de soporte para las fibras. La guía hecha de nylamid está sujeta a una placa de aluminio de $\frac{5}{16}$ " para darle robustez al sistema y además servir como medio de fijación.

La alineación longitudinal y transversal de las fibras ópticas a través de las cuales se emitirá la luz y recibirá es de suma importancia, por lo que el maquinado de las guías de nylamid donde están posicionadas, deberá tener un alto grado de precisión. Por otro lado la alineación longitudinal es altamente necesaria para la lectura de la placa perforada con el código binario, debido a que en esta placa cada código está dispuesto de manera horizontal (ver figura 3.1). Estas posiciones se consiguen con la correcta alineación de las perforaciones provistas en las guías de nylamid.

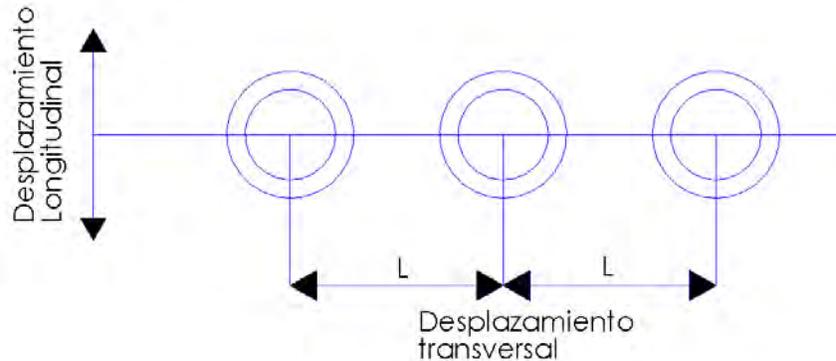


Figura 3. 1 Correcta alineación transversal y longitudinal de las fibras ópticas para la detección del nivel donde $L=6.67$ mm representa la distancia entre fibras.

3.3 SISTEMA OPTICO DEL SENSOR

El sistema óptico está formado por tres componentes principales: un transmisor, un medio de transmisión óptica (fibras ópticas), y un receptor [3]. La fibra óptica siendo un medio dieléctrico, permite guiar la luz con la información codificada de la variable física medida (en este caso el nivel de líquido).

En la mayor parte de los sistemas ópticos de medición es necesario un transductor, que puede hacer la conversión de señales eléctricas (voltaje o corriente) a energía luminosa (transductor emisor) o transductor que convierten la energía luminosa en señales eléctricas (transductor receptor).

La idea general de los elementos que conforman el sistema óptico del sensor propuesto se muestra en la figura 3.2. Cada elemento del sistema se analiza por separado más adelante.

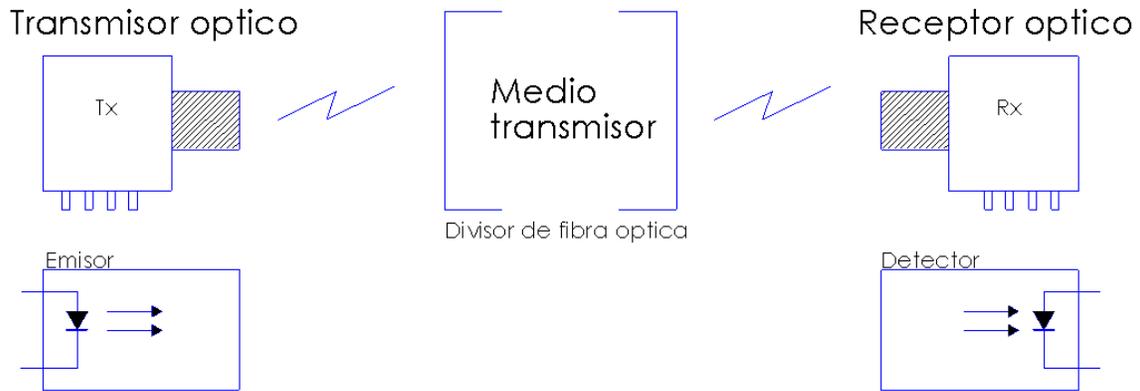


Figura 3. 2 Elementos principales de un sistema de medición óptico.

3.3.1 FIBRA OPTICA

Las fibras ópticas son delgados filamentos de vidrio o polímero, largo y flexible, constan de un núcleo transparente rodeado por un material dieléctrico llamado revestimiento (aunque también existen algunas fibras que contienen varios núcleos dentro de un mismo revestimiento) [1]. El núcleo es la parte central de la fibra óptica por donde viaja la información en forma de luz. El revestimiento es la capa que rodea el núcleo, su objetivo es actuar como pantalla reflejante para atrapar los rayos de luz en el núcleo, su índice de refracción es ligeramente menor al del núcleo. La transmisión de la información en las fibras ópticas es posible gracias a la reflexión total interna que se da en su núcleo.

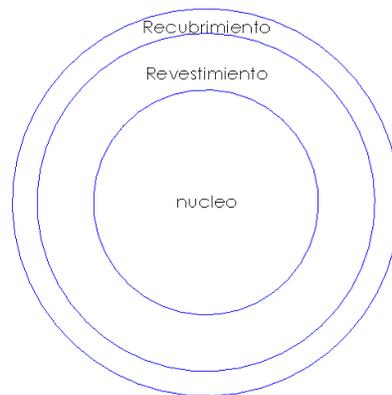


Figura 3. 3 Partes de una fibra óptica.

Para cada aplicación, la correcta selección de la fibra óptica, de acuerdo al material del que está constituida (vidrio o plástico), es fundamental.

En nuestro caso, en primera instancia se descartó la fibra óptica de plástico debido a que esta tiene una atenuación relativamente elevada en las longitudes de onda localizadas en el infrarrojo. La fibra óptica de plástico tiene atenuaciones de hasta más de 1000 dB/Km para longitudes de onda en el infrarrojo, por lo que no son capaces de transmitir luz infrarroja a grandes distancias. Para tener una buena potencia de luz y cubrir grandes distancias sin emplear regeneradores intermedios, es necesario mantener estas pérdidas en el mínimo posible. La luz que se propaga en un conductor de fibra óptica de vidrio experimenta atenuaciones mayores en las longitudes de onda del espectro visible, mientras que en la región del infrarrojo presenta atenuaciones menores. La atenuación típica de una fibra óptica multimodal en el infrarrojo cercano es de aproximadamente 2 dB/Km, es por esto que en enlaces de fibras ópticas de vidrio conviene emplear luz que se encuentre en longitudes de onda pertenecientes al infrarrojo.

3.3.2 DIVISOR DE FIBRA OPTICA

El dispositivo de ramificación óptico bidireccional utilizado en este sensor tiene una entrada y 2 puertos de salida, se denomina *divisor óptico* o simplemente divisor (*splitter*, en inglés).

Los divisores, denominados FUSED, se caracterizan por el número de entradas/salidas (1x2) o (2x2) y el tipo de división o configuración, que fija la razón de división de la señal, entre los más comunes están los que dividen la cantidad de potencia lumínica por la mitad es decir los de razón 50/50 que dejan pasar el 50% de la luz por una fibra y el otro 50% por otra fibra, pero también los hay de otras razones de división como pueden ser 1/99,5/95,20/80,40/60,50/50,90/10,etc.

Los divisores se consideran pasivos al no precisar de una fuente de energía externa, salvo el haz de luz incidente. Son de banda ancha y solo agregan pérdida, principalmente debido al hecho de que dividen la potencia de entrada (de forma descendente). Esta pérdida en la fibra en la que originalmente viajaba la luz, considerando que la luz se divide en parte iguales entre todas las fibras, es conocida como *perdida de divisor o relación de división*, se expresa normalmente en dB y depende principalmente de su número de puertos de salida en este caso dado que se usara un divisor de 1x2 la perdida corresponde a $10 * \log\left(\frac{1}{N}\right)$ donde N representa el número de divisiones (N=2), por lo tanto la relación de división es igual a 3dB. En la Fig. 3.4 se muestran dos imágenes que representan un divisor de fibra óptica, en la Fig. 3.5 se muestran las fotografías de dos divisores de fibra óptica con diferente tipo de empaquetamiento disponible en el mercado.

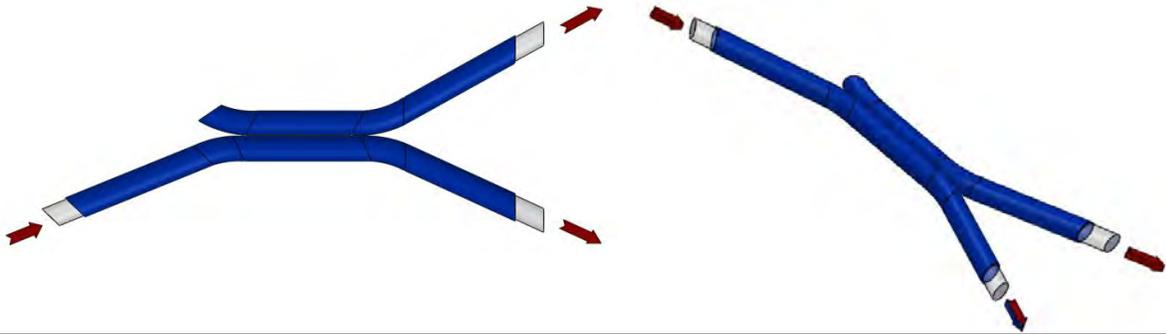


Figura 3.4 Bosquejo de un divisor de fibra óptica.



Figura 3.5 Fotografía del divisor de fibra óptica utilizado.

3.3.3 FUENTE OPTICA

Las fuentes ópticas pueden construirse basándose en tres tipos de emisores de luz: Diodos Laser (LD por sus siglas en inglés), diodos emisores de luz (LED por sus siglas en inglés) o diodos súper luminiscentes (SLD por sus siglas en inglés) [2]. Los diodos laser son fuentes de luz coherente, producto de la emisión estimulada que tiene lugar en una cavidad resonante, compuesta por una superficie reflejante y otra parcialmente reflejante, en donde se da la retroalimentación óptica. Su ancho espectral es menor a 5 nm y tiene un patrón de radiación muy direccional, con lo que se obtiene un acoplamiento de potencia óptica grande.

Los diodos emisores de luz son fuentes de luz incoherentes debido a que trabajan bajo el principio de emisión espontánea, su fabricación es mucho más sencilla y robusta en

comparación con los LD's, regularmente se modulan en amplitud ya que la potencia luminosa del LED es proporcional a la corriente inyectada en este; el patrón de radiación de este dispositivo es omnidireccional por lo que el acoplamiento con fibras ópticas es pobre.

Los diodos súper luminiscentes (SLD) son fuentes de emisión espontánea amplificada, aunque la emisión no es coherente, su ancho espectral es más reducido que el de un LED, pero más ancha que la de un LD y su patrón de intensidad radiante es más reducido y potente que el de los LED's

Para seleccionar el tipo de fuente luminosa se tomaron en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada uno de los dispositivos, así como los requerimientos para el sistema:

El diodo laser, aunque tiene un mayor acoplamiento óptico a la fibra óptica, es críticamente dependiente de la corriente de operación (corriente de umbral de emisión laser) y de la temperatura. Además, este dispositivo es muy delicado en presencia de transitorios eléctricos y es muy costoso cuando radian en el infrarrojo.

Los diodos súper luminiscentes son de un costo elevado y requieren de una corriente de inyección alta para producir una ganancia relevante.

Por tanto el dispositivo elegido fue el LED que tiene mayor estabilidad térmica, mayor tiempo de vida, es menos susceptible a transitorios eléctricos y es económico. Para los propósitos del sistema es necesaria la utilización de 3 LED's con la finalidad de tener toda la potencia registrando cada uno de los 3 bits utilizados para la detección del nivel. Es importante tener una alta potencia debido a que como el dispositivo funciona bajo el principio de reflexión se pierde bastante luz en el regreso, por lo que es preferible que entre mucha potencia para que aun con las pérdidas se tenga una buena señal medible de regreso.

Las menores pérdidas de transmisión de la fibra óptica de vidrio se encuentran en el espectro infrarrojo, siendo; 850, 1300 y 1550 nm y son las longitudes de onda más empleadas para esta aplicación. Debido a las características de potencia y a que se utilizó la fibra óptica de vidrio cuyas dimensiones de núcleo y revestimiento son 62.5 y 125 μm de diámetro, respectivamente, se optó por utilizar el LED OPF371 de OPTEK [7]. El LED OPF371 tiene la ventaja de tener integrado al semiconductor un receptáculo SMA. Este tipo de receptáculo son los empleados por las fibras ópticas del sistema. Las hojas de especificaciones técnicas del OPF371 se encuentran en el anexo B.

El diseño de la fuente óptica es un circuito electrónico de control de corriente por medio de un transistor y una referencia de voltaje, tal como se aprecia en la figura 3.5.

La referencia de voltaje de la fuente óptica la proporciona el integrado LM399 [8] esta referencia de voltaje tiene una estabilidad térmica de una millonésima de volt por cada grado centígrado.

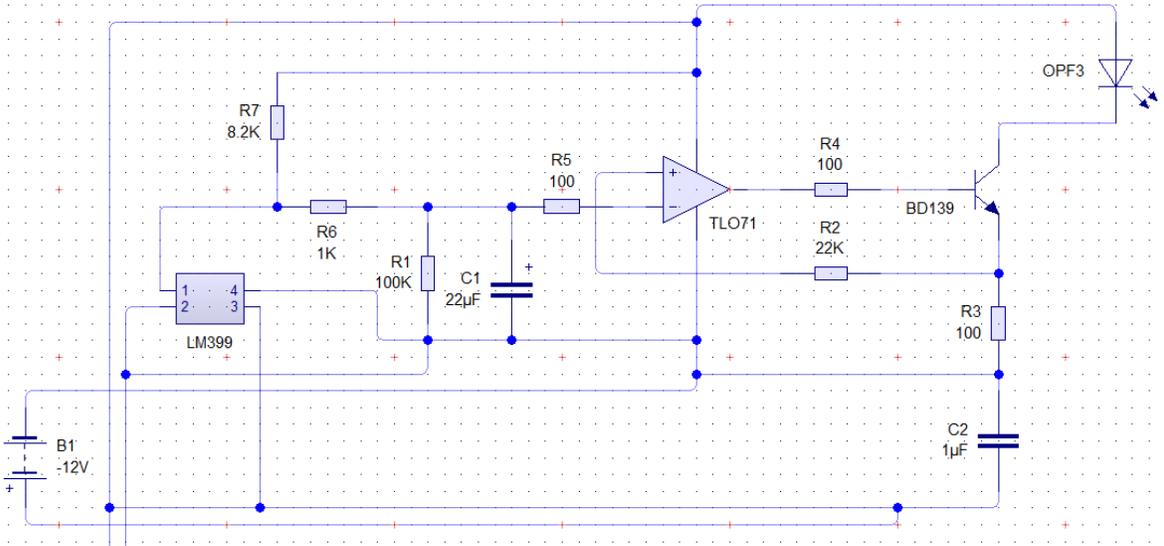


Figura 3. 6 Fuente óptica con LED emisor de 850 nm.

El integrado LM399 mantiene un voltaje de 6.9 volts entre sus terminales de cátodo y ánodo, de tal forma que el voltaje de referencia se obtiene por medio del divisor de voltaje entre las resistencias de 1kΩ y 100kΩ tal como se muestra:

$$V_{ref} = 6.9v * \left[\frac{100k\Omega}{100k\Omega + 1k\Omega} \right] = 6.832v$$

Se puede observar en el diagrama eléctrico que el voltaje de referencia se ve reflejado en el emisor del transistor BD139, lo que provoca una corriente de magnitud semejante en el colector del mismo.

La corriente del LED es calculada de la siguiente manera:

$$I_E \cong I_C = \frac{V_E}{R_E} = 83.3mA$$

La corriente del LED se estableció de este valor para obtener la máxima potencia lumínica del diodo pero sin llegar a su corriente límite de operación, en las hojas de especificación del anexo B se puede observar que la corriente límite de este LED es de 100 mA. El capacitor de 22 µF proporciona estabilidad a posibles transitorios por el valor de la constante de tiempo, esta constante está determinada por la resistencia en paralelo y tiene un valor de 2.2 segundos.

Con el circuito mostrado en la Figura 3.6 se caracterizaron los LED's de cada emisor óptico. Por medio de la resistencia variable de 100kΩ, se varió el voltaje de referencia de tal forma que se obtuvieron diferentes corrientes en el OPF371, obteniéndose los datos de la tabla 3.1. Importante aclarar que para corrientes mayores a 80 mA, las mediciones se

realizaron sin el integrado LM399, esto con la finalidad de caracterizar el diodo emisor en su máxima conducción de corriente.

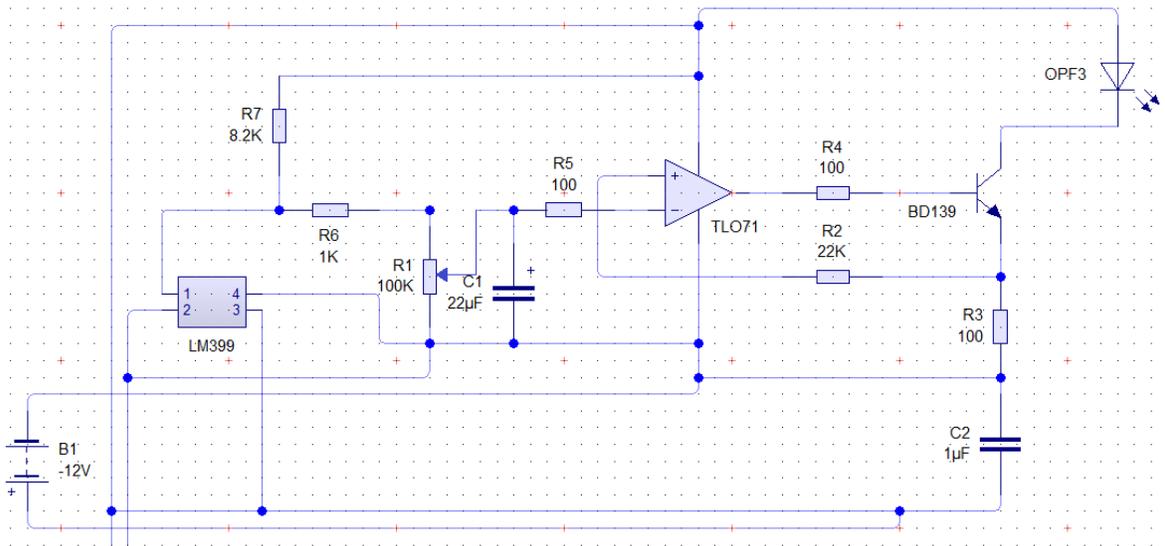


Figura 3. 7 Circuito para caracterizar a los diodos del emisor.

Voltaje de referencia $V_{ref}(volts)$	Corriente en el LED $I_{LED}(mA)$
1.2	15
1.54	20
2	25
2.41	30
2.78	35
3.14	40
3.56	45
4.03	50
4.47	55
4.89	60
5.23	65
5.7	70
6.05	75
6.48	80
6.87	85
7.25	90
7.69	95
8.2	100

Tabla 3. 1 Tabla comparativa “corriente del LED vs. Voltaje de referencia”

Se caracterizó la salida óptica del LED OPF371 a partir de las diferentes corrientes en el dispositivo. La medición de la potencia óptica se realizó por medio de un fotodetector conectado a una computadora, la cual permitía visualizar el valor en μW . De acuerdo con la

tabla 3.2, la potencia promedio para una corriente de 80 mA para un lote de 8 LED's OPF371 fue de $150\mu W$.

Corriente en el LED $I_{LED}(mA)$	Potencia óptica $P_o(\mu W)$
15	26.6
20	38.9
25	48.1
30	59.3
35	61.4
40	80.1
45	87.9
50	99.2
55	106.8
60	113.5
65	123.6
70	132.7
75	139.3
80	146.7
85	153.9
90	160.2
95	165.4
100	171.3

Tabla 3. 2 Tabla comparativa “corriente del LED vs. Potencia óptica”

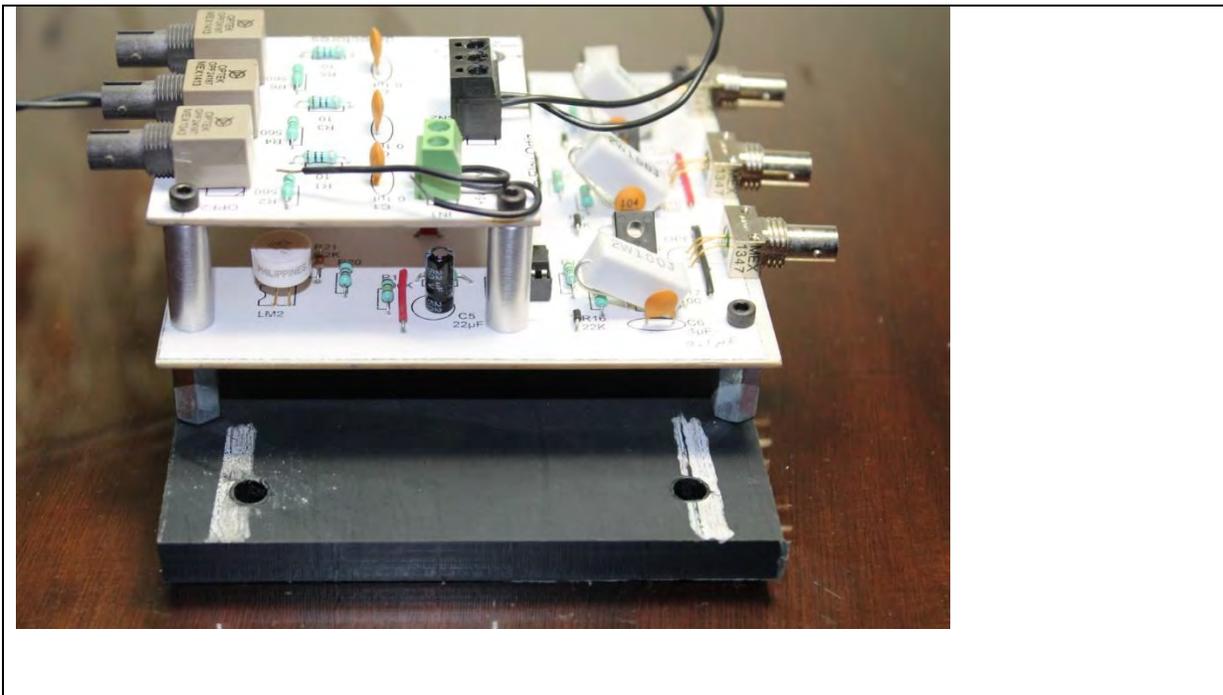


Figura 3. 8 Vista lateral que muestra en la parte superior la tarjeta electrónica correspondiente a los receptores usados y en la parte inferior la tarjeta con los tres diodos emisores de luz.

3.3.4 RECEPTOR OPTICO

El proceso de conversión de fotones a electrones libres (portadores) es de especial importancia para el sistema óptico. Esta conversión se realiza por medio de fotodetectores que pueden clasificarse como [2]:

- 1.-Elementos fotoconductivos.
- 2.-Elementos fotovoltaicos.
- 3.-Elementos fotoemisivos.

Los *detectores fotoconductivos* son dispositivos que contienen un solo tipo de material semiconductor; en este tipo de detectores, la conductividad del semiconductor varía linealmente con la incidencia de la luz, la cual se traduce en variaciones de corriente o de voltaje para un circuito eléctrico externo. Estos detectores tienen la desventaja de trabajar en un intervalo de longitudes de onda que van de $3\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$ por lo que su implementación al proyecto fue descartada.

La característica principal de los *detectores fotovoltaicos* es la presencia de una unión de material semiconductor. La unión puede ser una homounión, una heterounión, una unión semiconductor y metal (barrera schottky), una estructura PIN o una unión de contacto puntual. En la actualidad existen básicamente dos tipos de fotodetectores semiconductores empleados en los receptores ópticos de este tipo; el primero es comúnmente llamado fotodetector PIN, (genera menos de un electrón-hueco por fotón absorbido). El segundo es llamado fotodetector de avalancha debido al proceso de ionización de impacto, este proceso produce una ganancia interna, ya que genera más un par electron-hueco por fotón absorbido; a esta ganancia se le conoce como ganancia de avalancha.

En algunas aplicaciones, donde se requiere alta sensibilidad, es ventajoso diseñar los receptores con fotodetectores de avalancha; sin embargo, el proceso de ganancia es estadístico, en donde cada par electrón-hueco primario genera un número aleatorio de pares electrón hueco secundarios, con un determinado valor medio. Por lo aleatorio del proceso de multiplicación de ionización de impacto se introduce ruido, que puede en algunas circunstancias ser un factor dominante en la sensibilidad del receptor.

Los elementos fotoemisivos se les conoce también como elementos de efecto fotoeléctrico externo mientras que a los anteriores se les llama elementos de efecto fotoeléctrico interno.

Los detectores fotoemisivos pueden ser los fotodiodos de vacío y los tubos fotomultiplicadores. El componente principal para este tipo de detectores es el material foto sensitivo en el cátodo. En este tipo de detectores cuando el cátodo es iluminado por radiación externa, se desprenden electrones del material sensitivo que viajan por el tubo de vacío donde los electrones se aceleran y colectan por el ánodo, formándose una trayectoria eléctrica completa que fluye hacia un circuito externo. Dado que este tipo de elementos tienen un costo elevado, son poco robustos y además requieren de fuentes de alimentación de alto voltaje (150-2000V), la implementación en el proyecto de estos dispositivos se descartó por completo.

Dado los argumentos anteriores y tomando en consideración los siguientes puntos, se optó por el diodo PIN OPF471.

- 1.-Alta sensibilidad a la longitud de onda de operación (850nm).
- 2.-Contribucion mínima al ruido total del receptor.
- 3.-Tiempo de respuesta mínimo a los cambios de potencia lumínica.
- 4.-Dimensiones físicas compatibles con la fibra óptica.
- 5.-Receptaculo SMA integrado al LED.
- 6.-Baja corriente de oscuridad.
- 7.-Amplio intervalo de operación térmica.

En la figura 3.7 se muestra el diagrama eléctrico del receptor óptico con el OPF2416. El fotodetector OPF2416 empleado es una solución de bajo costo para el diseño de comunicaciones de fibra óptica de alta velocidad. El efecto del diseño de la lente interna de este receptor permite una respuesta óptima para tamaños de fibra de 62.5 μm y por debajo. El receptor posee una alta velocidad, bajo ruido, un fotodiodo acoplado a un amplificador de transimpedancia (TIA). La combinación fotodiodo / TIA produce una tensión de salida que es proporcional a la amplitud de la luz de entrada. Este enfoque híbrido resuelve muchos de los problemas de diseño para la alta velocidad de datos colocando el fotodiodo cerca del amplificado de transimpedancia. La amplificación del TIA hace que la salida sea mucho menos susceptible a EMI.

La salida de la OPF2416 es analogica, de baja impedancia. A este receptor se le puede complementar con circuiteria para convertir la señal analógica correspondiente a ECL / TTL para velocidades de datos digitales de hasta 155 Mbps siendo esta una de sus grandes ventajas. Cabe mencionar que para fines del diseño y para reducir el costo, la conversion analogica a digital se realizo mediante software. El OPF2416 empleado es de panel de montaje roscado o tambien llamado de receptaculo STR.

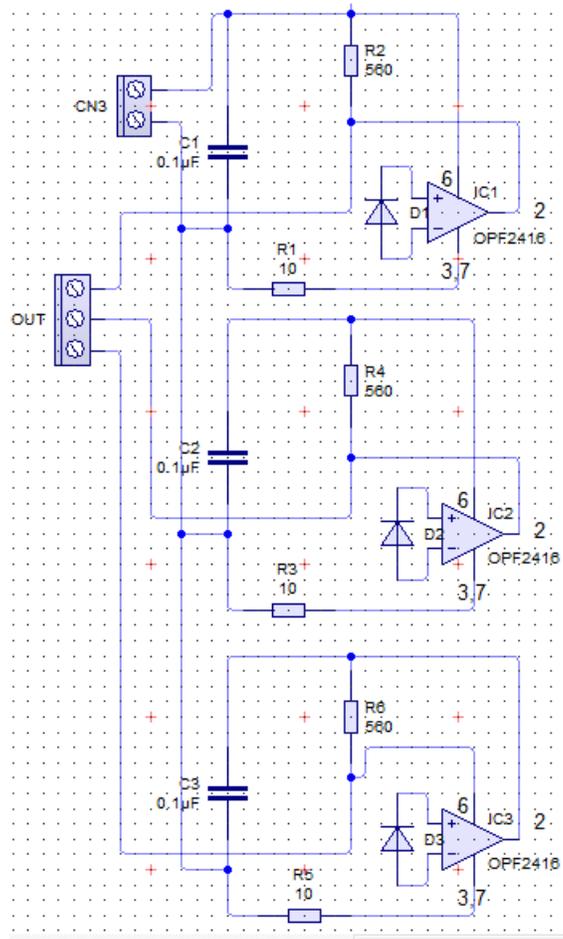


Figura 3. 9 Diagrama circuito eléctrico del receptor óptico.

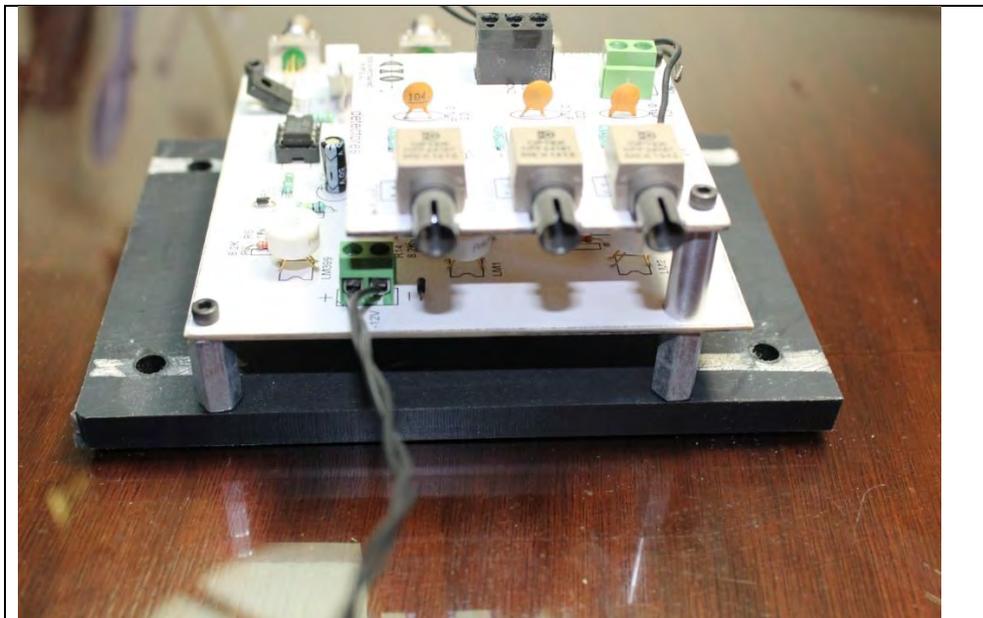


Figura 3. 10 tarjetas electrónicas de los fotodetectores y los transmisores LED.

CAPITULO 4

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL E INTERFAZ GRAFICA

4.1 INTRODUCCION

Una vez adquirida la señal del sensor es necesario procesarla para poder interpretar correctamente la información y desplegarla gráficamente para su fácil visualización, para esto es necesario un adaptador o acondicionador de señal que consiste básicamente en una serie de amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales analógicas a digitales para posteriormente ser procesados los datos con un procesador digital de señal (DSP, por sus siglas en inglés) o microcontrolador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor analógico-digital.

4.2 PROCESADOR DE SEÑAL

Para el procesamiento de la señal entregada por el sensor óptico se empleó la tarjeta Beaglebone®, la cual tiene un procesador de 1 GHz, con 512 MB de memoria en la tarjeta (DDR3 RAM), con un almacenamiento de 2 GB y con un sistema Linux preinstalado [6].

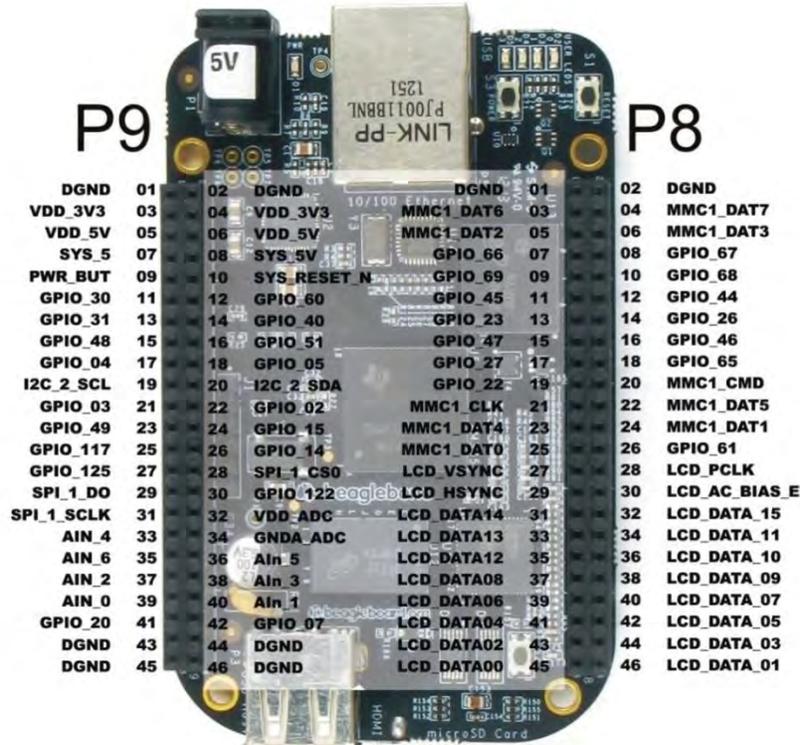


Figura 4. 1 Puertos de entrada y salida de la Tarjeta Beaglebone® [6].

En la figura 4.1 se observan los pines de la tarjeta y algunas de sus funciones alternas. Se puede apreciar también que la tarjeta es de un tamaño compacto y cuenta con varios puertos de comunicación ya sea vía USB o Ethernet, en la figura 4.2 se pueden apreciar con mayor detalle los componentes de la tarjeta Beaglebone® [5].

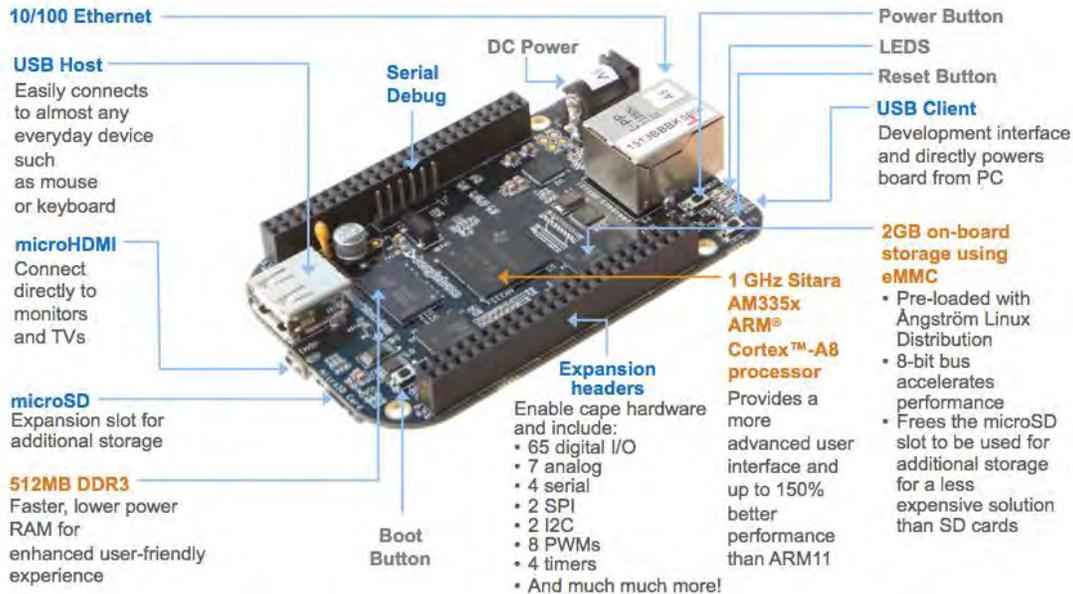


Figura 4. 2 componentes de la Tarjeta Beaglebone® [5].

La tarjeta Beaglebone® se utilizó en el sistema debido a las siguientes características y ventajas:

En los últimos días una tarjeta con un microcontrolador típico tiene un costo de alrededor de los 20 dólares, mientras que la Beaglebone® está en 45 dólares aproximadamente, y posee no solo un microcontrolador si no un poderoso procesador que para aplicaciones industriales resulta muy efectivo. La economía y funcionalidad de la tarjeta la hacen idónea para el procesamiento de la señal obtenida por el sensor.

Conexión de red integrada

La tarjeta BEAGLEBONE no solo tiene una conexión Ethernet a bordo, también todas las herramientas básicas de redes que vienen asociadas al sistema de Linux. Puede utilizar servicios como FTP, Telnet, SSH, o incluso la sede de su propio servidor web en la tarjeta.

El acceso remoto

Debido a los servicios de red integrados se hace mucho más fácil acceder de manera remota a la tarjeta a través de internet. Por ejemplo, si se deseara expandir el proyecto con otros recursos como tener un registro de datos arrojados por el sensor, se podrían descargar los datos guardados utilizando un cliente FTP o mandar un mensaje de alarma (indicando quizás el llenado del recipiente o que determinado recipiente no llego al nivel deseado) de

forma automática mediante la utilización del correo electrónico. El acceso remoto permite iniciar sesión en el dispositivo para actualizar el código en dado caso que sea necesario.

Ajuste de hora normal

Sin la necesidad de hardware adicional, la tarjeta puede realizar un seguimiento de la fecha y hora del día y se puede actualizar usando los servidores de tiempo de Internet utilizando el protocolo de tiempo de red (NTP), asegurando que siempre es exacta.

Sistema de Archivos

Al igual que un ordenador con plataforma Linux la tarjeta tiene incorporado un archivo de sistema, por lo que almacenar, organizar y recuperar datos es un asunto bastante trivial.

Versatilidad de lenguajes de programación

Se puede escribir el código personalizado en casi cualquier lenguaje como puede ser C, C++, Python, Perl, Ruby, o incluso un script de Shell. Por comodidad el lenguaje utilizado para la captura de datos desde el sensor fue Python.

Multitarea

A diferencia de un típico microcontrolador de 8 bits, las plataformas con Linux embebido son capaces de compartir de manera simultánea el procesador entre los programas que se ejecutan. Esto significa que si la aplicación en este caso requiere subir una gran cantidad de datos a un servidor, no es necesario detener sus otras funciones hasta que la carga haya terminado.

El software de Linux

Gran parte del software de Linux que ya está por ahí se puede ejecutar en el Beaglebone®. Por ejemplo, si se deseara acceder a una cámara web vía USB que estuviese monitoreando visualmente el llenado de un recipiente simplemente se descarga y compila un código abierto que guarda imágenes de la webcam como archivos JPG.

Soporte para Linux

No hay escasez de información de soporte de Linux en la web.

4.2.1 SISTEMA OPERATIVO Y MODO DE CONEXIÓN DE LA BEAGLEBONE

Al igual que un ordenador, el Beaglebone® tiene un sistema operativo. De forma predeterminada, utiliza Linux, que es gratuito y de código abierto. Si bien hay muchos tipos

de distribuciones de Linux, BeagleBone® tiene una distribución llamada Angstrom que se adapta muy bien a la tarjeta.

Como se mencionó anteriormente existen muchas maneras de comunicarse con la Beaglebone®, especialmente cuando se trata de conectarse a su red de comandos. Es a partir de la línea de comandos donde se construyen, ejecutan programas y se obtiene información sobre la tarjeta, entre otras cosas.

Antes de tener acceso remoto con la tarjeta fue necesaria la instalación correcta de los drivers que servirían para tener comunicación con la Beaglebone®, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

1. Se aseguró que la tarjeta MicroSD con la última versión de la imagen Beaglebone® Angstrom estuviera insertada en la ranura.
2. Se conectó la Beaglebone® a una computadora mediante un cable USB A o mini-B.
3. Después de unos 20 segundos, una unidad llamada Beaglebone aparece enlista de volúmenes de disco del sistema de archivos y se ejecutó el documento START HTML (Start.htm).
4. Se siguieron las instrucciones de la sección "Instalar controladores" contenida en la página abierta en el paso 3.
5. Para comprobar la correcta instalación de los controladores, finalmente se accedió a la dirección <http://192.168.7.2/> y se abrió bone101.

La forma utilizada para tener comunicación con la tarjeta Beaglebone® fue vía SSH por medio de un cable USB. Los pasos a seguir para establecer la comunicación entre la beaglebone y la computadora son los siguientes:

- 1.- Como la conexión se hizo en una computadora con Windows y no con Linux, fue necesario instalar PuTTY e introducir 192.168.7.2 como la dirección del host, asegurando que SSH estuviera seleccionado para poder iniciar la conexión. Una vez dentro en la parte "Login as:" se introduce el comando root y se da enter.
- 2.-Realizada la conexión aparecerá un mensaje de alerta propio de Windows el cual detecta un host desconocido que para fines de realizar la comunicación se recomienda ignorar.
- 3.-Una vez dentro de PuTTY se pide un password, dado que no existe una contraseña por defecto se continúa dando simplemente enter.
- 4.- La conexión se establece en el momento en que parece `root@beaglebone:~#` en la línea de comandos.

4.2.2 CONEXIÓN DE LOS RECEPTORES OPTICOS A LA BEAGLEBONE

La conexión de los receptores ópticos se enlaza a la tarjeta procesadora (Beaglebone®) mediante 3 de las entradas analógicas, cabe mencionar que gracias a la existencia de 7 entradas analógicas en la tarjeta Beaglebone® es posible expandir el sistema a 7 bits, es decir, ampliar la resolución implicando con ello el uso de 7 fibras ópticas y 7 receptores si la aplicación lo requiere.

Al igual que todos los equipos dedicados a procesar señales analógicas la Beaglebone® hace su trabajo en el ámbito digital, por lo que los valores de sensores analógicos deben ser convertidos a valores digitales. La parte de la Beaglebone® responsable de esto se llama convertidor analógico digital o ADC. El ADC en la tarjeta Beaglebone® permite comprobar valores entre 0 y 1.8 volts.

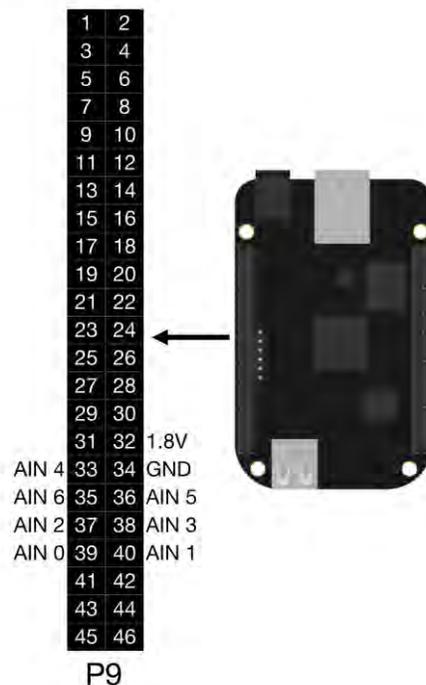


Figura 4. 3 entradas analógicas de la tarjeta Beaglebone®.

En la figura 4.3 se muestran las 7 entradas analógicas que posee la Beaglebone® junto a la tierra y una salida de 1.8v. La manera en que se conectaron los tres receptores ópticos a las entradas analógicas AIN0, AIN1 y AIN2 únicamente, se muestra en la figura 4.4.

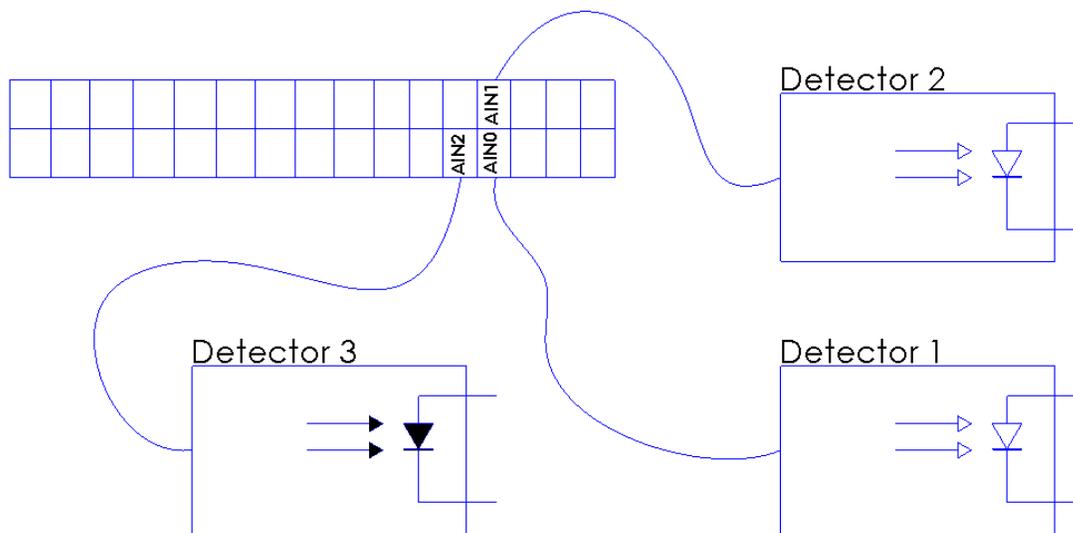


Figura 4. 4 bosquejo de conexión de los 3 detectores con las entradas analógicas de la Beaglebone®.

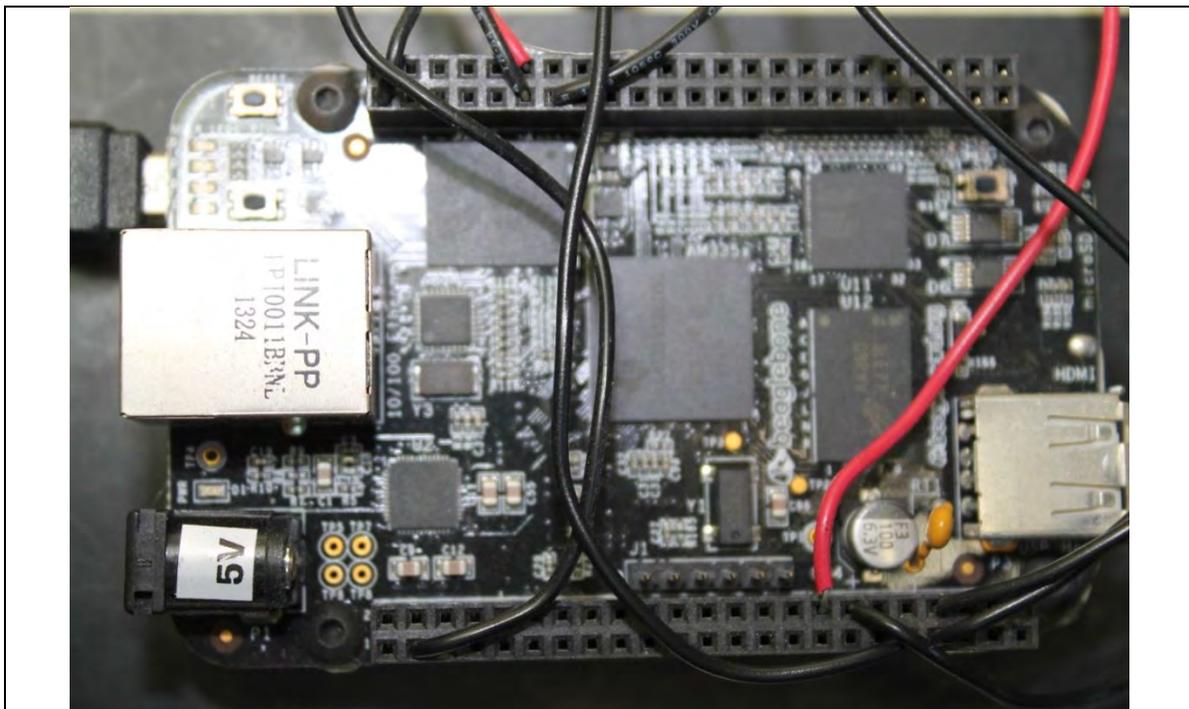


Figura 4. 5 Tarjeta Beaglebone® utilizada para el procesamiento de la señal obtenida de los receptores ópticos.

4.3 PERIFERICO DE SALIDA

Para desplegar los resultados procesados por la tarjeta Beaglebone® provenientes de la señal de las fibras ópticas del sensor, se empleó como interface periférica una computadora en cuya pantalla se despliega la interface gráfica realizada en Labview® de national instruments.

Se eligió Labview® como la interface gráfica adecuada para el sistema debido a la compatibilidad con la tarjeta Beaglebone® y la facilidad con la que se representan visualmente los datos del sensor, además de la claridad interpretativa con la que se muestra el nivel del líquido.

La interface gráfica desarrollada muestra un tanque que simula el nivel del líquido dentro del recipiente, 3 indicadores de nivel de luz reflejada en cantidad porcentual (basándose en el nivel máximo de potencia reflejada), 3 calibradores desde los cuales es posible ajustar el valor a partir del cual se considera un cero lógico (esto sabiendo que con el tiempo es posible que la cantidad de luz reflejada disminuya y sea necesario reajustar los valores) y por ultimo unos indicadores led que simulan un uno o cero lógico indicando en conjunto un código binario que en decimal representaría el nivel en el que se encuentra el líquido. La figura 4.6 muestra el diseño de la interface gráfica.

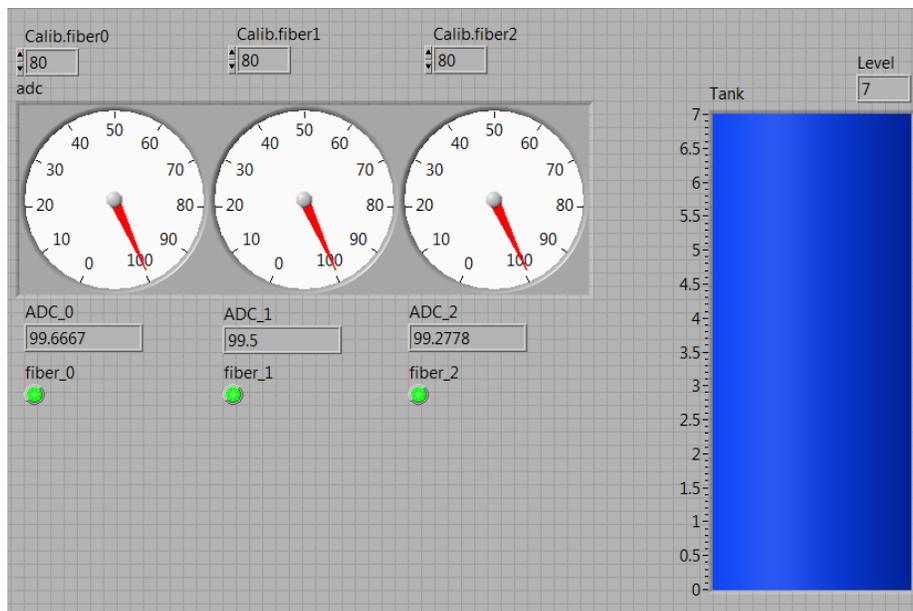


Figura 4. 6 Diseño de la interface gráfica realizada en Labview.

En la figura anterior se aprecian los tres leds en verde, lo cual indica que están encendidos o que la posición del sensor es 111 en binario o 7 decimal por ello el tanque esta en azul indicando el nivel más alto.

Las imágenes siguientes contenidas en la figura 4.7 muestran la interface gráfica en labview utilizada para la visualización de los 7 niveles.

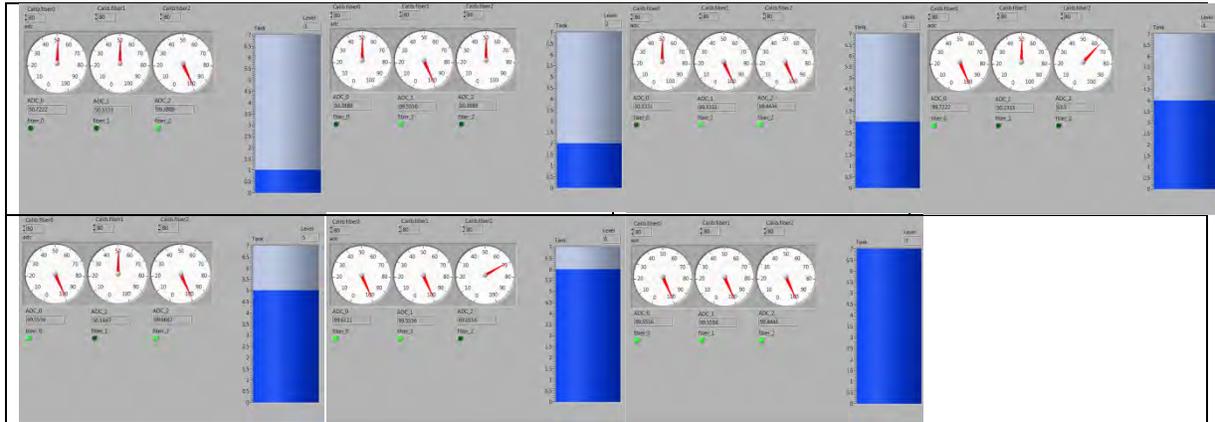


Figura 4. 7 visualización gráfica del funcionamiento del sensor, detectando cada uno de los niveles. (Las imágenes fueron obtenidas directamente del panel frontal de labview).

En la figura 4.8 se observa el diagrama a bloques que establece la comunicación vía TCP entre la beaglebone y labview, además de la conversión analógica-digital para la visualización de los niveles por medio de un tanque simulado.

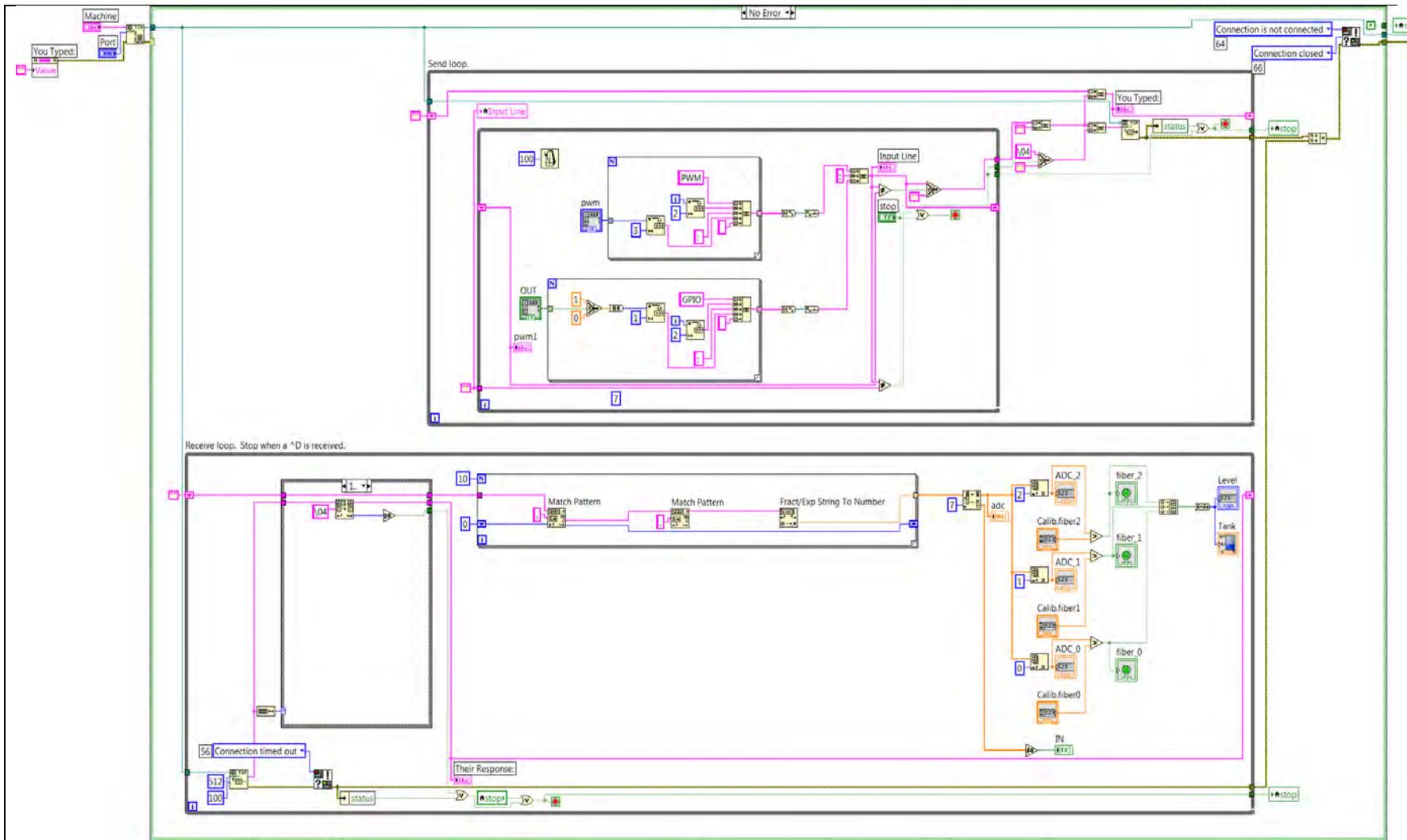


Figura 4. 8 Diagrama a bloques de la programación realizada en Labview, para la comunicación con la beaglebone y el despliegue del nivel gráficamente.

CAPITULO 5

CARACTERIZACION DEL SISTEMA Y ANALISIS DE
PERDIDAS

5.1 INTRODUCCION

Para la correcta evaluación del sistema es necesario caracterizar cada proceso para tener conocimiento de las pérdidas, eficiencia y potencia consumida. El tener estos datos bien caracterizados nos permite poner a este sistema al lado de otros existentes, a fin de poder compararlo y resaltar sus ventajas o ineficiencias existentes.

5.2 SISTEMA DE MEDICION

El sensor de nivel desarrollado consta de 5 partes esenciales, tal como se muestra en la figura 5.1 y se describe a continuación:

- Fuente óptica.
- Sensor óptico.
- Receptor óptico.
- Procesador de señal.
- Periférico de salida.



Figura 5. 1 Diagrama a bloques de las 5 etapas correspondientes al sistema en general.

5.3 ELEMENTOS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE MEDICION

5.3.1 SISTEMA OPTICO

- Divisor de fibra óptica

Fibra óptica multimodo de vidrio, índice escalonado, fibra estándar OM1 de 62.5/125 μm ,

- Elemento emisor

Diodo emisor de luz (LED) OPF693-2 infrarrojo GaAlAs, longitud de onda de emisión máxima de 850 nm, ancho de banda espectral de 35 nm, encapsulado con conector SMA, fabricante OPTEK®

- Elemento detector:

Fotodiodo PIN OPF2416T, encapsulado con conector SMA, respuesta a longitud de onda de 850 nm (respuesta pico), Responsividad de 0.55 A/W. Fabricante OPTEK®.

5.3.2 SISTEMA MECANICO

- Placa perforada con código binario de 3 bits de acero inoxidable, de 1 milímetro de espesor, 4 milímetros de centro a centro y 0.127 mm de peralte entre líneas de código.
- Funda soporte de nylamid para la protección de la placa perforada y sujeción de los acopladores de fibra óptica.
- Acopladores de fibra óptica fabricados en aluminio con sistema de fijación especial para sujetar las fibras, cuya dimensión es de 2x3 cm de cara por 2 cm de espesor y 3 perforaciones de 1.2mm.
- Placa base de aluminio de 28 x 7.5 cm de cara por 9 cm de espesor, que sirve como soporte para el sistema y como medio de fijación a una maquina envasadora o un tanque.
- Varilla de 1/8 de pulgada para el desplazamiento de la placa dentro de la funda de nylamid y para la sujeción de un flotador.

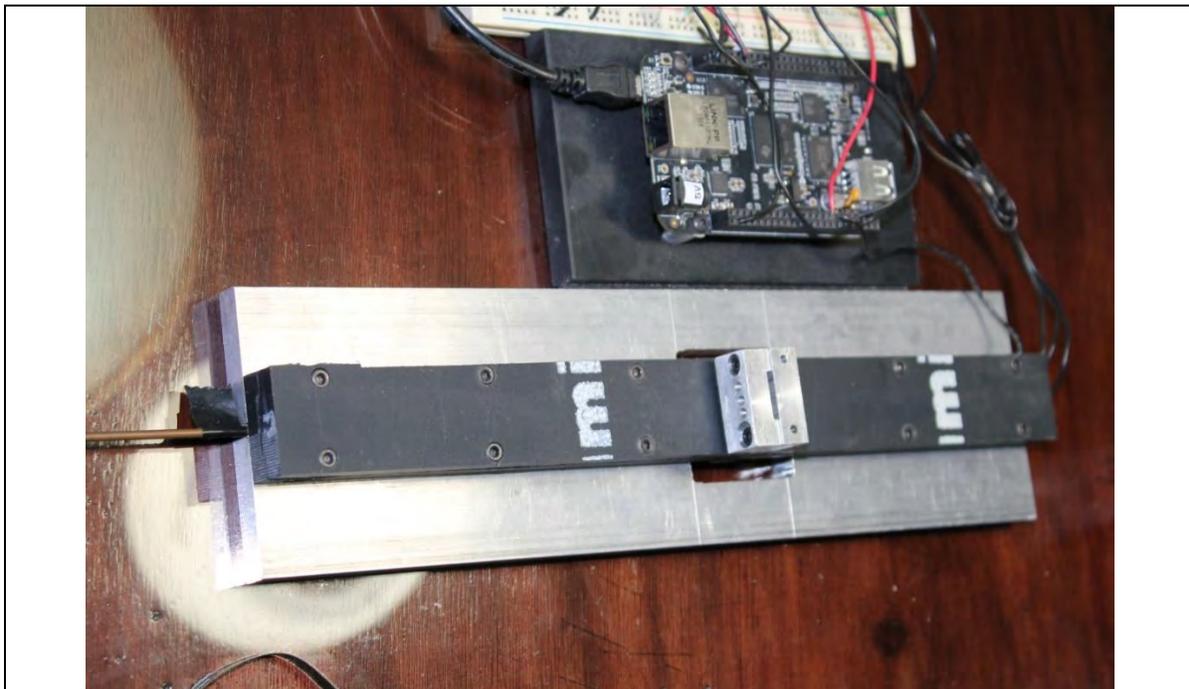


Figura 5. 2 Vista del sistema mecánico utilizado para la detección del nivel del líquido junto a la tarjeta Beaglebone®.

5.3.3 PROCESADOR E INTERFACE PERIFERICA

- Procesador de señal :
Tarjeta Beaglebone® con procesador de 1 Ghz y una memoria de almacenamiento de 2Gb
- Periférico de salida:
Interface gráfica de labview® desplegada a través de un monitor donde se muestra el nivel del líquido en tiempo real.

En la siguiente figura se muestra un diagrama con las partes que conforman el sistema y como se da la conexión entre ellas.

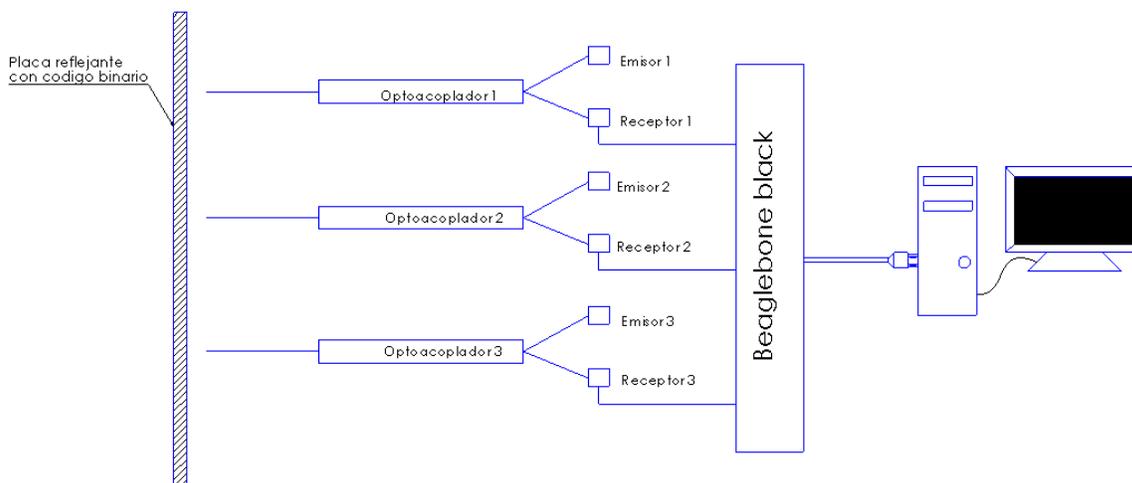


Figura 5. 3 Diagrama de conexión entre los elementos que conforman el sistema.

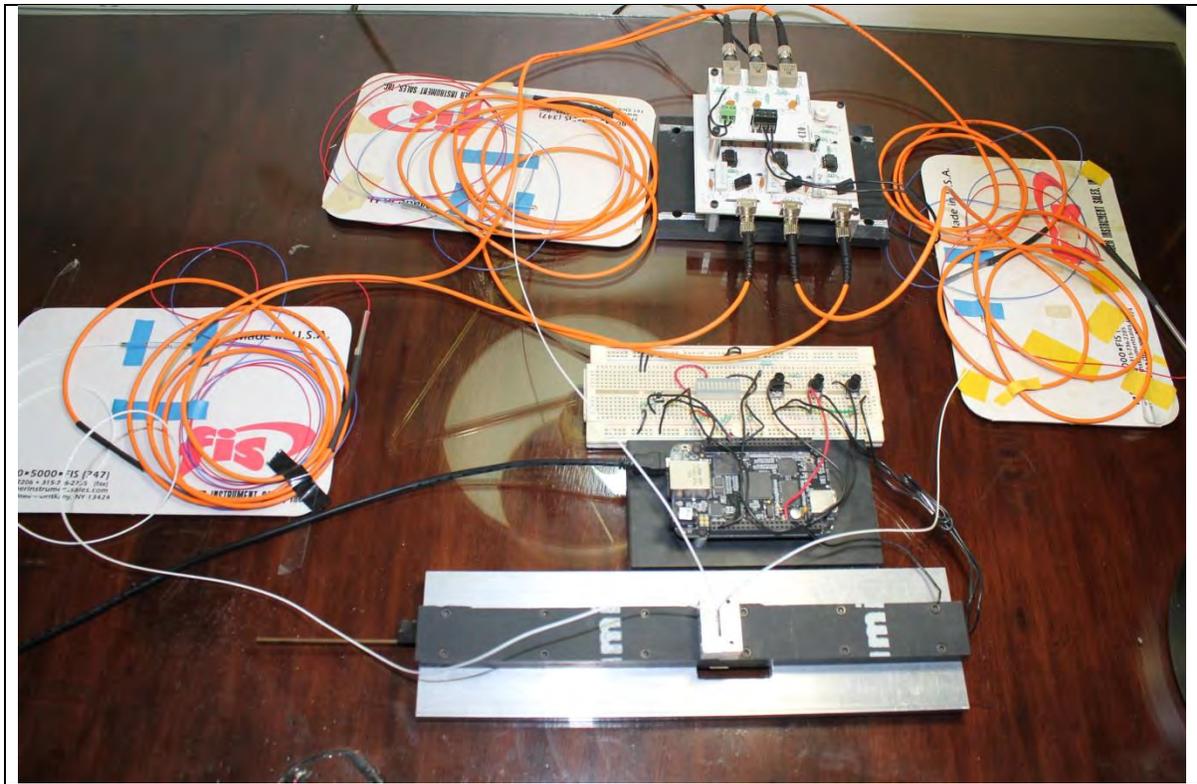


Figura 5. 4 Sistema completo del sensor de nivel con fibras ópticas.

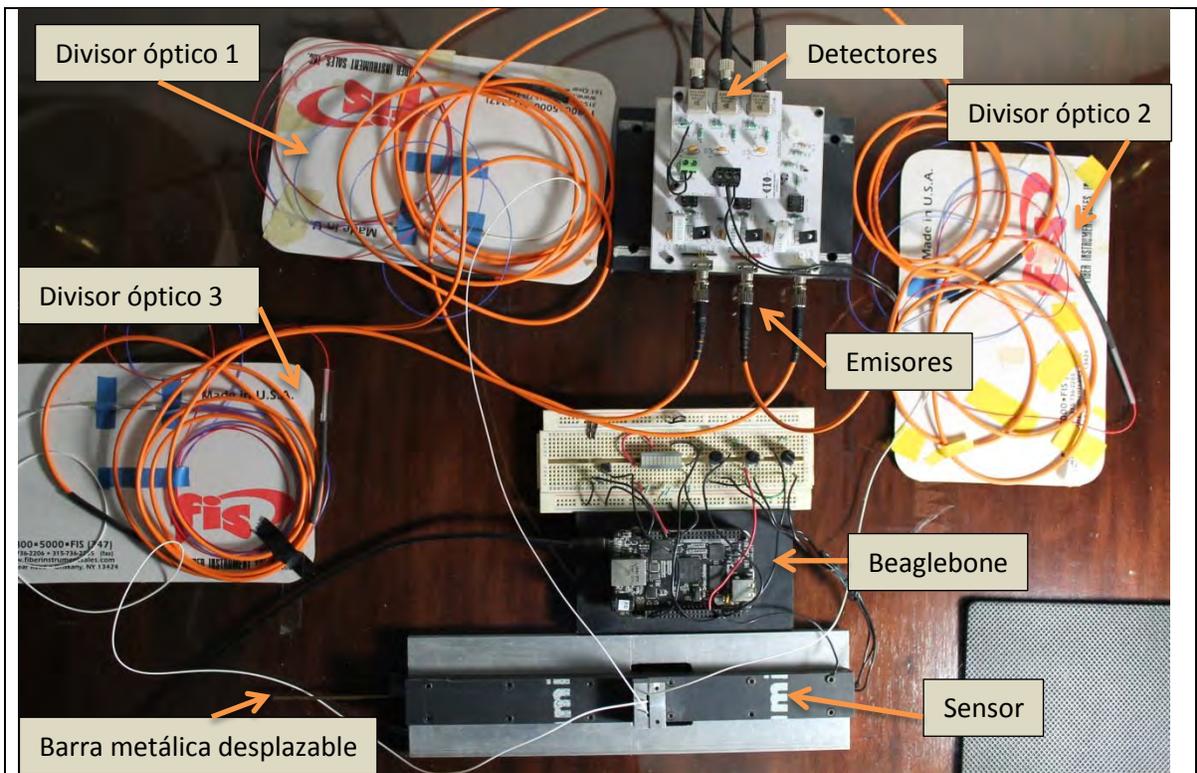


Figura 5. 5 Partes del sistema completo.

5.4 EVALUACION DEL SISTEMA

Las distancias existentes entre los optoacopladores, la fuente óptica y los receptores ópticos están determinadas por las pérdidas de potencia en todo el sistema. Contar con una distancia adecuada del proceso que se desea monitorear en tiempo real permite realizar la medición sin causar riesgos a los usuarios y un ambiente intrínsecamente más seguro, ya que cualquier anomalía en el sistema es fácilmente detectada y se puede corregir inmediatamente.

Es importante en ambientes agresivos (industrias petroquímicas o químicas, etc.) localizar los puntos del procesamiento de la señal y monitoreo de la misma, para que una vez localizados los puntos y sus correspondientes distancias tener conocimiento de las pérdidas totales que se originan en la transmisión y recepción de luz en el sensor de nivel.

El análisis de pérdidas de potencia óptica está centrado en 3 casos principales [8]:

- Separación entre terminales
- Desalineación angular
- Terminales mal pulidas

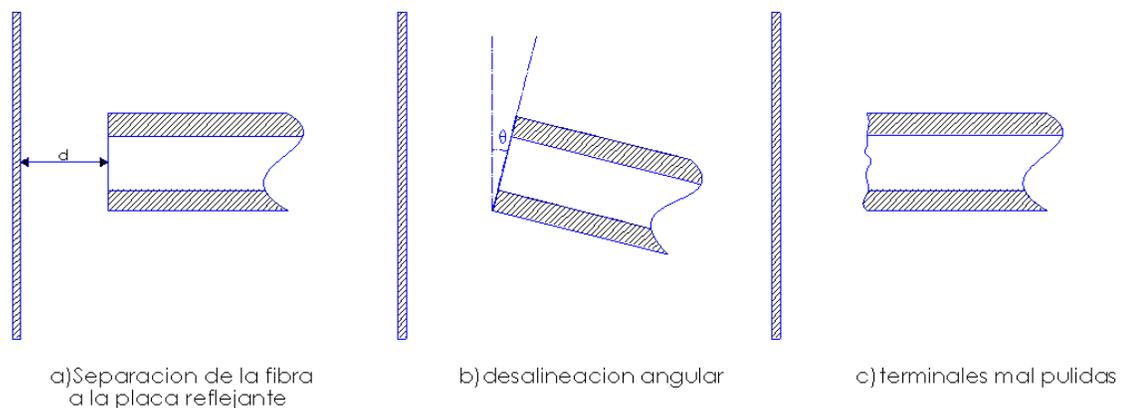


Figura 5. 6 Causas de pérdida de potencia óptica en el sistema.

Para estimar las pérdidas de potencia óptica en cada caso se consideró lo siguiente:

- La potencia óptica está uniformemente distribuida sobre el núcleo de la fibra óptica.
- Se estimaron las pérdidas de potencia óptica por separado debidas a cada una de las anteriormente mencionadas.

La potencia óptica acoplada al receptor se determinó de acuerdo a la siguiente expresión [2]:

$$P_{fotodetector} = P_{fuente} - \sum \text{perdidas}$$

De donde $P_{fotodetector}$ = potencia acoplada en el receptor.

P_{fuente} = potencia optica de la fuente que se acopla a la fibra optica transmisora.

$$\sum \text{perdidas} = \text{suma deperdidas de potencias opticas.}$$

La contribución más grande a las pérdidas del sistema es debida a la discontinuidad existente entre la fibra óptica y la placa reflejante con el código binario.

5.4.1 SEPARACION ENTRE TERMINALES

Entre la fibra óptica y la placa reflectora existe una discontinuidad que genera dos fenómenos de pérdidas de potencia:

- 1.- La discontinuidad presente entre la placa reflectora y la fibra óptica produce una potencia reflejada en la frontera de aproximadamente 4% debida al cambio de medio entre fibra óptica y aire, de tal manera que entre la superficie de la fibra y la placa, se contribuye a la radiación reflejada un total de 0.35 dB.

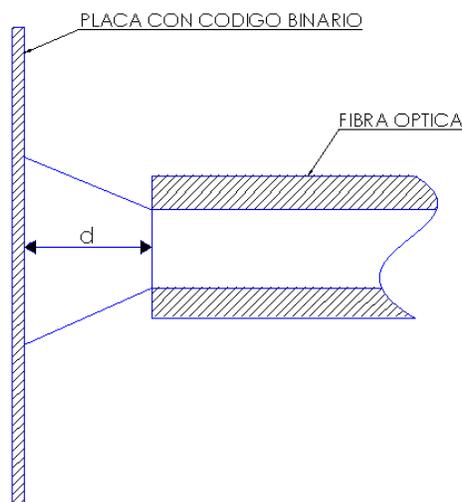


Figura 5. 7 Separación existente entre la fibra óptica y la placa perforada con el código binario.

2.- Cuando se encuentra una separación entre la fibra óptica y la placa, tal como se muestra en la figura 5.7, algunos haces de luz reflejados no son interceptados por la misma fibra emisora. Conforme la distancia (d) de separación existente entre ellas aumenta, las pérdidas se incrementan debido a la divergencia del haz radiado por la fibra óptica emisora. Las fibras ópticas con apertura numérica grande tendrán más pérdidas por separación debido a que la radiación emitida diverge más rápido. Para determinar las pérdidas debidas a esta separación, se calcula el área del cono de apertura de los haces de luz en la fibra óptica emisora (dependiente de la apertura numérica de la fibra óptica) y se establece una razón entre el área del núcleo de la fibra óptica receptora (aclarando que la fibra óptica emisora y receptora es la misma, ya que el sensor es reflectivo y la luz es emitida y capturada por la misma fibra) superpuesta al área del cono de apertura.

Por lo anteriormente dicho se establece la siguiente relación:

$$\frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{A_{cono}}{A_{nucleo}}$$

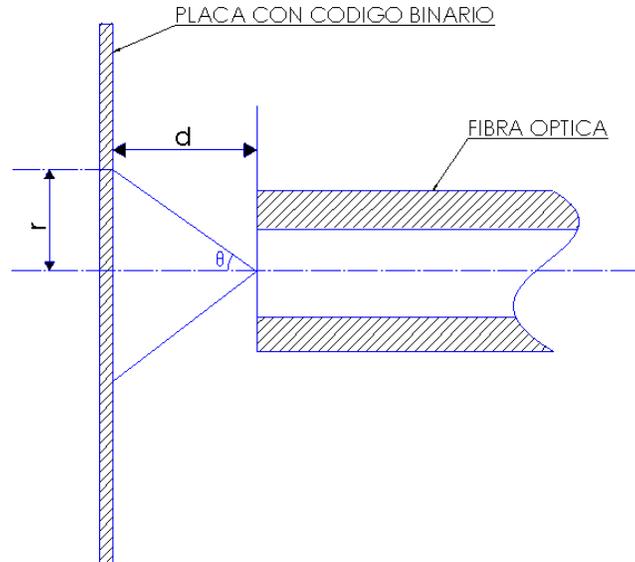


Figura 5. 8 Esquema que muestra el cono de luz en términos de las variables a considerar para el cálculo de la eficiencia de acoplamiento.

Tomando la figura 5.8 como referencia, se puede determinar la eficiencia de acoplamiento del sistema. Sabiendo que el área del cono de luz depende de la apertura numérica de la fibra óptica emisora es posible deducir lo siguiente:

$$\tan \theta = \frac{r}{d}$$

$$\theta = \sin^{-1} NA$$

$\phi = \text{Diámetro del núcleo de la fibra} = 62.5 \mu\text{m}.$

$d = \text{Separación entre la placa y la fibra}.$

$r = \text{Radio del cono de luz a una distancia } d.$

de donde: $r = 2d \tan[\sin^{-1} NA]$

De lo anterior mencionado se tiene que la eficiencia $\eta_1 = \frac{\pi(\frac{\phi}{2})^2}{\pi r^2} = \left(\frac{\phi}{2r}\right)^2$

Las pérdidas h_1 en decibeles se definen como:

$$h_1 = -10 \log \eta_1 = -10 \log \left(\frac{\phi}{2r}\right)^2$$

Por lo que el cálculo teórico de las pérdidas de potencia debido a la discontinuidad del sistema es el siguiente:

$$NA = \text{apertura numerica} = 0.275 \pm 0.015 \cong 0.3$$

$$d = 1 \text{mm}$$

$$r = 2(1) \tan[\sin^{-1} 0.3] = 0.628971 \text{mm} \cong 629 \mu\text{m}$$

$$\eta_1 = 2.468 * 10^{-3}$$

$$h_1 = -10 \log \left(\frac{62.5}{2(629)}\right)^2 = 26.07 \text{ db}$$

5.4.2 DESALINEACION ANGULAR

Para el cálculo de la eficiencia de acoplamiento η_2 debido a un desalineamiento angular para una fibra multimodo de índice escalonado se utilizó la siguiente expresión [8]:

$$\eta_2 = 1 - \frac{n_0 * \theta}{\pi * NA}$$

Donde n_0 es el índice de refracción del medio existente entre la fibra óptica y la placa metálica, el ángulo θ es el ángulo de desalineación en radianes y NA es la apertura numérica de la fibra óptica.

La pérdida de potencia h_2 en decibeles se determina de la siguiente manera:

$$h_2 = -10 * \log(\eta_2)$$

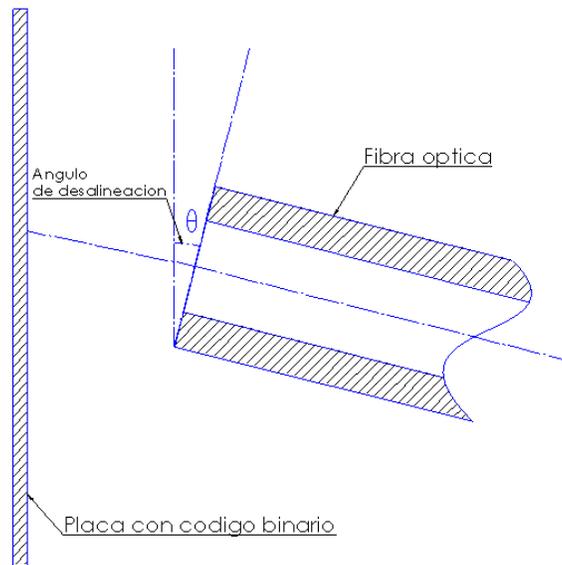


Figura 5. 9 Desalineación angular entre la fibra óptica y la placa metálica.

Dado que entre la fibra óptica y la placa reflectora hay aire, entonces $n_0 = 1$, y la apertura numérica $NA=0.3$ para la fibra óptica de vidrio de $62.5/125\mu\text{m}$ según datos del fabricante.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de pérdidas de potencia debida a una desalineación de ± 5 grados.

Ángulo de inclinación (grados)	Ángulo de inclinación (radianes)	Eficiencia η	Pérdidas dB
2	0.0349	0.9629	0.1642
3	0.0524	0.9444	0.2484
4	0.0698	0.9259	0.3344
5	0.0873	0.9074	0.4220

Tabla 5. 1 pérdidas ocasionadas por desviación angular

5.4.3 TERMINALES MAL PULIDAS

Si las terminales en la fibra óptica se encuentran mal pulidas, es decir si las terminales de las mismas no son lisas y paralelas, se pueden tener pérdidas bastante significativas de hasta el 80% con respecto a la señal de entrada, es por ello que es importante poner especial cuidado en ello.

Estas pérdidas pueden reducirse considerablemente, si en el espacio existente entre la fibra óptica y la placa se coloca un gel igualador de índice de refracción (matching gel). Esta técnica es muy utilizada para acoplar mayor cantidad de luz entre dos fibras que se encuentran separadas por aire, sin embargo dadas las condiciones del sistema no resulta trivial hacerlo por lo que las caras de las fibras ópticas empleadas deben estar perfectamente pulidas y alineadas de manera perpendicular a la placa reflectora.

5.4.4 ANALISIS GENERAL DE PÉRDIDAS

En la siguiente imagen se muestra el arreglo óptico del sistema. La medición de la potencia óptica emitida y recibida por el emisor y receptor de cada uno de los tres divisor de fibra óptica empleados se muestra en la tabla 5.2.

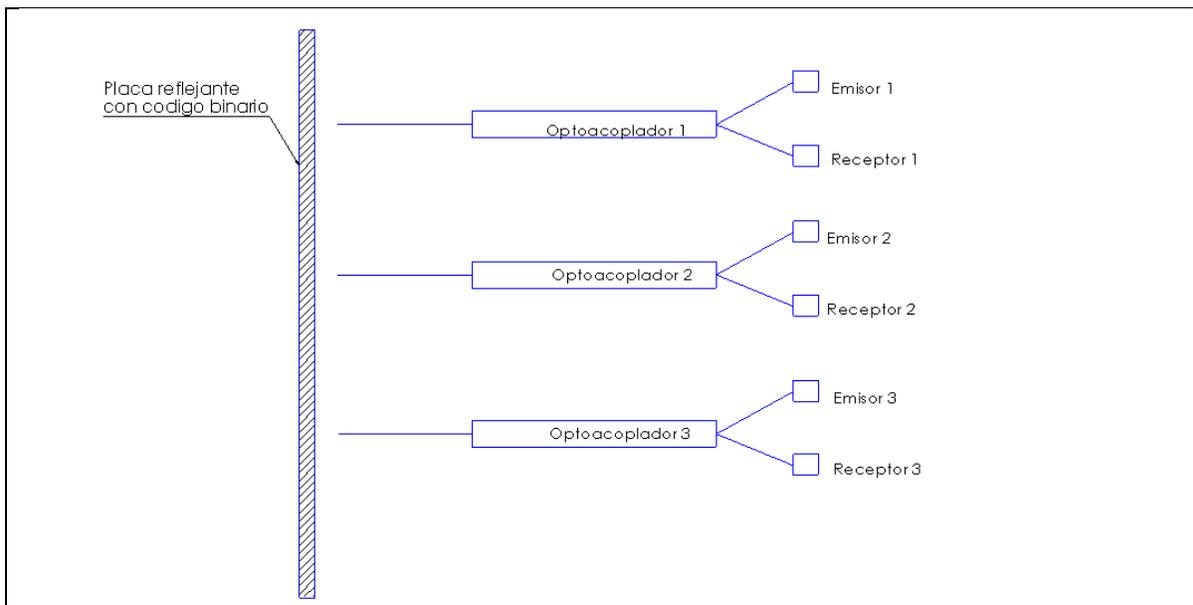


Figura 5. 10 bosquejo del sistema óptico empleado.

Fibra óptica	Emisor μW	Receptor μW	Perdidas dB
1	120.2	2.016	17.75
2	110.7	1.065	20.17
3	103.9	1.125	19.65

Tabla 5. 2 Datos obtenidos de la medición de la potencia de entrada y salida en el sistema

En la tabla anterior se tuvieron en cuenta las pérdidas ocasionadas por la longitud de la fibra que va desde el divisor de fibra óptica al receptor (50cm) y la longitud del divisor al emisor (150cm).

De la tabla de datos del fabricante de fibra óptica se sabe que las pérdidas por longitud para una fibra óptica de vidrio multimodo de 62.5/125 μm de núcleo es de 2.7dB/Km por lo que en las fibras ópticas se tienen pérdidas de 0.00135 dB para la de 0.5m y 0.00405 dB para la de 1.5m haciendo un total de 0.0054 dB.

Calculando las pérdidas ocasionadas por las tres razones anteriormente descritas, se tiene que las pérdidas totales para los casos críticos son:

$$h_{total} = h_1(\text{discontinuidad}) + h_2(\text{desalineacion angular}) + h_3(\text{longitud de la fibra})$$

$$h_{total} = 26.07dB + 0.4220dB + 0.0054dB = 26.4974$$

Del cálculo anterior es posible concluir que la perdida mayor se encuentra en la discontinuidad entre la placa y la fibra óptica.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

Debido al potencial que tiene la tarjeta Beaglebone® es posible monitorear no solo el correcto funcionamiento del sensor de nivel, si no algunos otros parámetros como la temperatura del líquido (colocando un sensor de temperatura en el flotador del sensor de nivel), presión del líquido e incluso accionar o parar el proceso de llenado; logrando de esta manera monitorear otros parámetros a muy bajo costo.

Es posible reducir la tarjeta perforada con código binario, con la finalidad de realizar mediciones más finas, aumentando la resolución de acuerdo a la necesidad y tamaño del recipiente.

Por otro lado se pueden implementar sistemas mecánicos para reducir el desplazamiento de la tarjeta perforada con respecto al desplazamiento del nivel del líquido en el recipiente.

Para mejorar la exactitud del sistema es posible mediante la interface gráfica, corregir pequeñas variaciones en la potencia reflejada debidas al desgaste o suciedad de la placa perforada, así como las pérdidas de potencia naturales que tiene la fuente emisora por el tiempo de uso.

El sistema es versátil y puede funcionar correctamente con otro tipo de fibras, siempre y cuando se ajusten los niveles de potencia óptica en la fuente emisora y la ganancia en el receptor para obtener una señal bien definida y medible.

El sensor se puede calibrar automáticamente implementando un sistema de medición de potencia capaz de determinar la potencia emitida y recibida a fin de detectar un posible desgaste o pérdida de potencia en el sistema y ajustar los nuevos valores de potencia mediante programación.

Para solucionar problemas con líquidos turbulentos se sugiere implementar un sistema mecánico para controlar este inconveniente o en su defecto mediante programación aplicar un factor de corrección dependiendo de la turbulencia del líquido.

CONCLUSIONES

Algunos sensores con fibras ópticas presentados en este trabajo a manera de comparación dependen de las cualidades físicas y/o químicas del líquido que se desee medir (como el índice de refracción del líquido, viscosidad, transparencia, corrosividad, etc.), otros más dependen de las condiciones en que se encuentre el líquido o el contenedor (como la presión interna del tanque, que el líquido se encuentre en un régimen no turbulento, temperatura, etc.).

Los sensores de nivel en transmisión utilizados en calderas para la detección de nivel, poseen grandes ventajas en cuanto a costo con respecto a los sensores de nivel por obstrucción, gracias a que no utilizan ningún sistema mecánico o eléctrico en conjunto para su funcionamiento, sin embargo poseen una desventaja y es que necesitan estar aislados de la luz ambiental, lo cual en ciertas aplicaciones es difícil de lograr.

Respecto a los sensores de nivel por fuerza de flotación, es preciso mencionar que no resulta suficiente el solo hecho de colocar la fibra óptica a diferentes niveles discretos, como en el caso de los sensores de nivel por obstrucción, sino que además es necesario colocar un dispositivo mecánico, llámese un flotador o algún otro sistema que sea capaz de detectar el nivel del líquido y a su vez activar o desactivar el sensor de fibra óptica.

Por otro lado, el sensor de tarjeta reflejante desarrollado resulta ser una buena alternativa para aplicaciones donde se requiere hacer una medición en botellas o recipientes de boca angosta, donde no es posible introducir algún dispositivo mecánico muy grande para realizar la medición, es por ello y debido a su costo reducido que es posible implementarse en industrias donde no se puede tener contacto con el líquido, como lo es la industria alimenticia o química.

La aplicación funciona adecuadamente con cualquier tipo de líquido sin importar si es transparente, viscoso, con alto grado de explosividad, corrosivo etc. Es decir funciona con cualquier líquido que se encuentre dentro de un contenedor, gracias a su sistema de medición directa y al uso de fibras ópticas para la transmisión de la información.

La enorme ventaja que tienen las fibras ópticas con respecto a otros sistemas estriba en su capacidad de operar bajo contaminación electromagnética haciendo este sistema robusto e intrínsecamente seguro.

El potencial de este dispositivo en aplicaciones industriales donde se manejan sustancias peligrosas lo hacen especialmente atractivo para una amplia gama de procesos.

Es posible tener información en tiempo real del nivel del líquido con un alto grado de confiabilidad, no importando si el sistema de medición está lejos de la computadora a

través de la cual se observa el nivel, ya que las pérdidas por longitud que presentan las fibras son muy pequeñas.

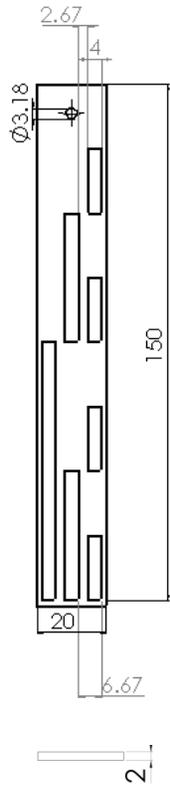
Con respecto a las fuentes ópticas construidas para el sensor se puede decir que son económicas y de fácil construcción, ya que no requieren mucha estabilidad ni sistemas de compensación sofisticados debido al principio de operación digital del mismo, ya que basta con un pequeño cambio de potencia óptica para que el sistema lo detecte como un 1 lógico.

REFERENCIAS

[1]	Chomycz, Bob, Instalaciones de Fibra Optica, Fundamentos técnicas y aplicaciones Mc.Graw Hill (1998) pages 1-11
[2]	Chen, Chin-Lin, Elements of Optoelectronics and Fiber Optics Times Mirror, First edition (1996) pages 101-106
[3]	Jardon Aguilar, Hildeberto Linares y Miranda, Roberto, Sistemas de comunicaciones por Fibras ópticas. Alfaomega (1995) pages 20-31
[4]	D.A.,Krohn, Fiber Optics Sensor, Fundamentals and aplicaciones Instruments society of America (1988)
[5]	http://cdn.arstechnica.net/wp-content/uploads/2013/04/beaglebone-specs.png
[6]	http://insigntech.files.wordpress.com/2013/09/bbb_pinouts.jpg
[7]	OPTEK technology, Inc. Optic product, catalog 1989 pages 1-2
[8]	Data Conversion / Acquisition National Semiconductor
[9]	Dakin, Jhon Culshaw, Brian, Optical Fiber Sensor Vol.I y II, Principles and components Artech House (1988)
[10]	Instructor's guide, Course Opcom-1, Principles of fiber optics communication systems Degem Systems, First edition (1985)
[11]	C. Palais, Joseph, Fiber optics communications Prentice hall, Inc. (1984)
[12]	Catalogo Indicadores de nivel KLINGER® pages 2-4 Website: http://www.saidi.es/PDF/Corporate/SAIDI_PRODUCTS_CATALOGUE/SAIDI_Indicadores_nivel.pdf
[13]	Jacob Fraden Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications pages 305-310
[14]	Plastic Fiber Optic Liquid Level Sensor S.vargas, C. Vazquez, A.B. Gonzalo, and J.M .S. Pena Dpto. Tecnología Electrónica, Escuela Politecnica Superior, Universidad Carlos III pages 1-2
[15]	Miniature fiber optics pressure sensor with composite polymer-metal diaphragm for intradiscal pressure measurements
[16]	Catalog © WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG 2010 Mini limit switch, model LSO.02 pages 1-2

ANEXO A

DIBUJOS DEL SISTEMA MECANICO



Placa metálica con código binario

Acot: mm.

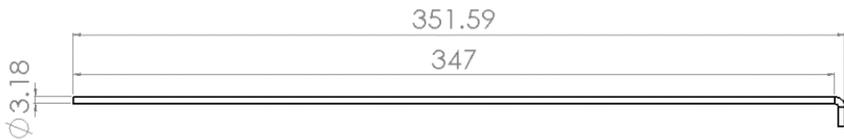
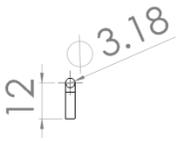
Material: Acero inoxidable.

Acabado: Rectificado.

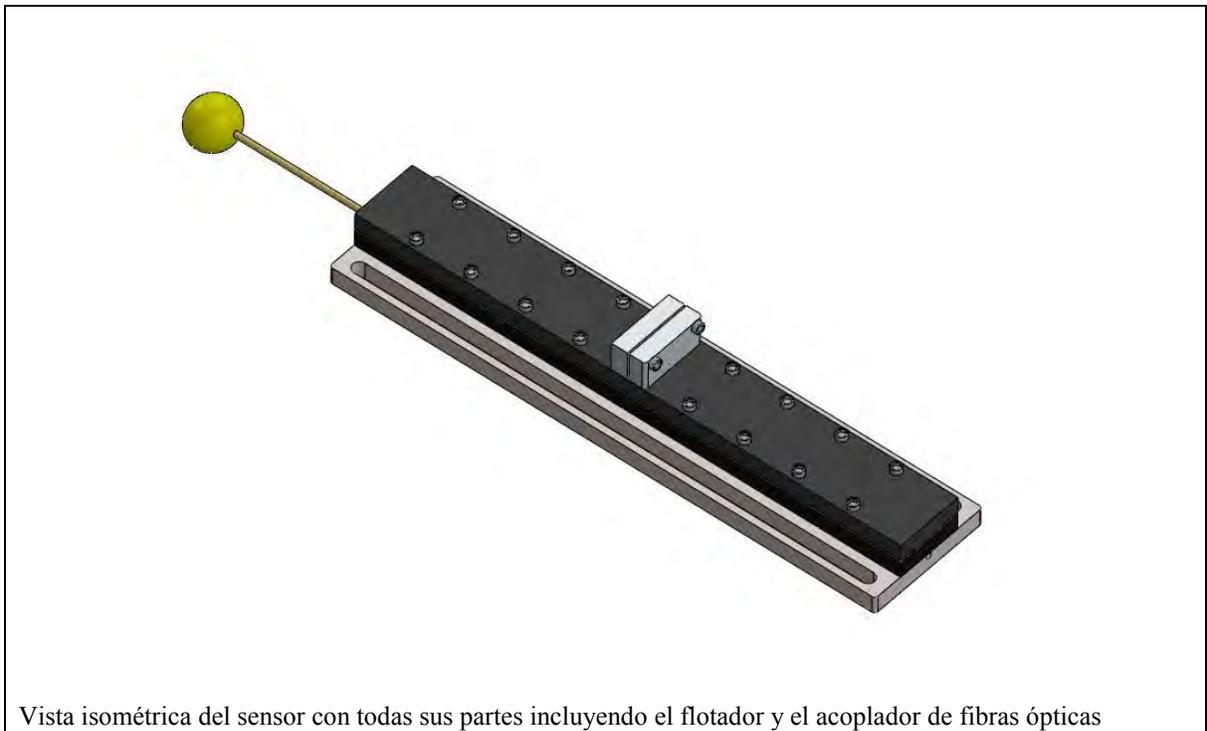
	<p>Parte delantera de la guía Acot: mm. Material: Nylamid. Acabado: pulido.</p>

	<p>Parte trasera de la guía Acot: mm. Material: Nylamid. Acabado: pulido.</p>

	<p>Acoplador de fibras ópticas Acot: mm. Material: Aluminio. Acabado: pulido.</p>

	
	<p>Vástago del flotador Acot: mm. Material: Aluminio. Acabado: pulido.</p>



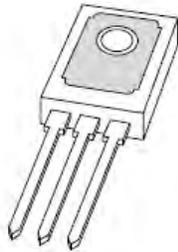


Vista isométrica del sensor con todas sus partes incluyendo el flotador y el acoplador de fibras ópticas

ANEXO B

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS

DATA SHEET



BD135; BD137; BD139 NPN power transistors

Product specification
Supersedes data of 1997 Mar 04

1999 Apr 12

NPN power transistors

BD135; BD137; BD139

FEATURES

- High current (max. 1.5 A)
- Low voltage (max. 80 V).

APPLICATIONS

- Driver stages in hi-fi amplifiers and television circuits.

DESCRIPTION

NPN power transistor in a TO-126; SOT32 plastic package. PNP complements: BD136, BD138 and BD140.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base

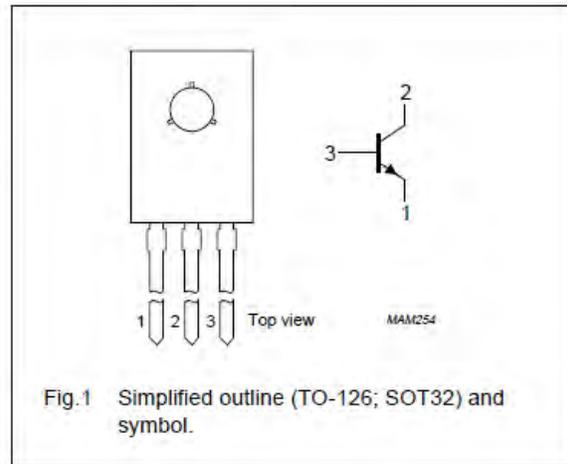


Fig. 1 Simplified outline (TO-126; SOT32) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
	BD139		–	100	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
	BD139		–	80	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
I_C	collector current (DC)		–	1.5	A
I_{CM}	peak collector current		–	2	A
I_{BM}	peak base current		–	1	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{mb} \leq 70\text{ }^\circ\text{C}$	–	8	W
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		–	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$

NPN power transistors

BD135; BD137; BD139

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	100	K/W
$R_{th\ j-mb}$	thermal resistance from junction to mounting base		10	K/W

Note

1. Refer to TO-126; SOT32 standard mounting conditions.

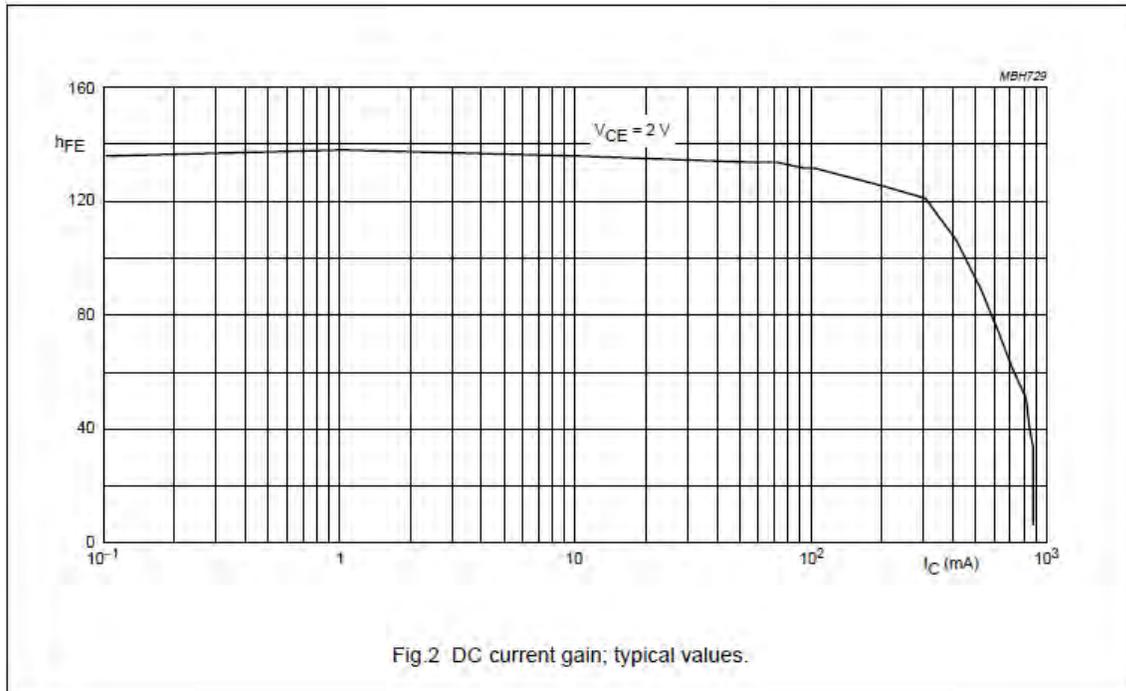
CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}$	–	–	100	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}; T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	10	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$V_{CE} = 2\text{ V};$ (see Fig.2) $I_C = 5\text{ mA}$	40	–	–	
		$I_C = 150\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA}$	63 25	–	250 –	
	DC current gain BD135-10; BD137-10; BD139-10 BD135-16; BD137-16; BD139-16	$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V};$ (see Fig.2)	63 100	–	160 250	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	–	–	0.5	V
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V}$	–	–	1	V
f_T	transition frequency	$I_C = 50\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ $f = 100\text{ MHz}$	–	190	–	MHz
$\frac{h_{FE1}}{h_{FE2}}$	DC current gain ratio of the complementary pairs	$ I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V}$	–	1.3	1.6	

NPN power transistors

BD135; BD137; BD139

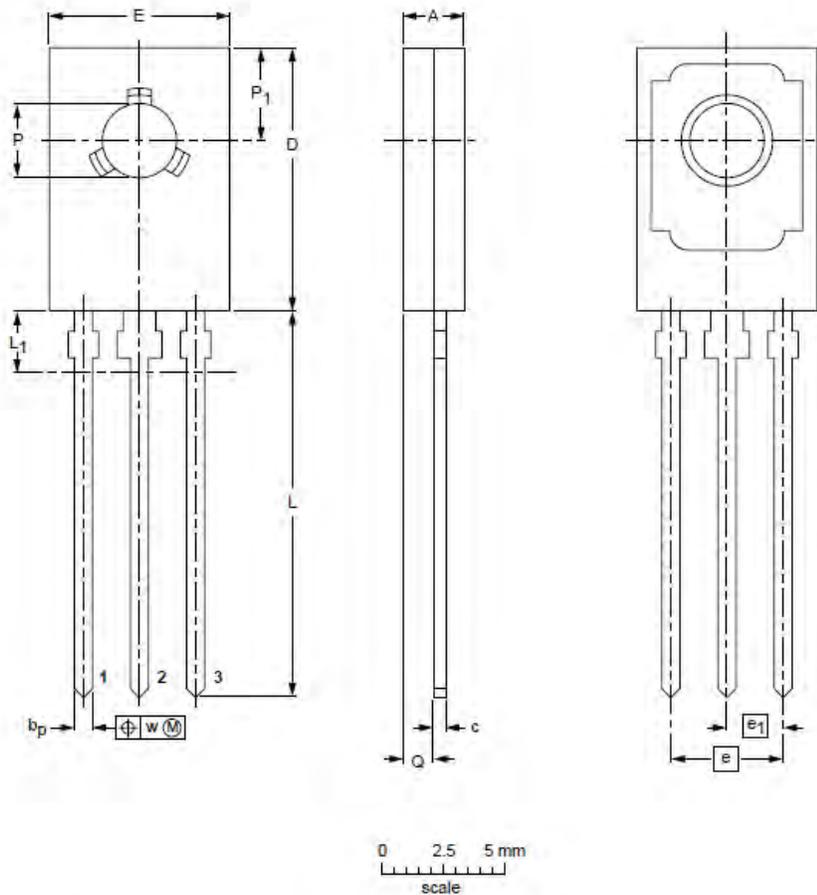


NPN power transistors

BD135; BD137; BD139

PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended leaded (through hole) package; mountable to heatsink, 1 mounting hole; 3 leads SOT32



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b _p	c	D	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾ max	Q	P	P ₁	w
mm	2.7 2.3	0.88 0.65	0.60 0.45	11.1 10.5	7.8 7.2	4.58	2.29	16.5 15.3	2.54	1.5 0.9	3.2 3.0	3.9 3.6	0.254

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT32		TO-126				97-03-04

NPN power transistors

BD135; BD137; BD139

DEFINITIONS

Data Sheet Status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

LM199/LM299/LM399/LM3999 Precision Reference

General Description

The LM199 series are precision, temperature-stabilized monolithic zeners offering temperature coefficients a factor of ten better than high quality reference zeners. Constructed on a single monolithic chip is a temperature stabilizer circuit and an active reference zener. The active circuitry reduces the dynamic impedance of the zener to about 0.5Ω and allows the zener to operate over 0.5 mA to 10 mA current range with essentially no change in voltage or temperature coefficient. Further, a new subsurface zener structure gives low noise and excellent long term stability compared to ordinary monolithic zeners. The package is supplied with a thermal shield to minimize heater power and improve temperature regulation.

The LM199 series references are exceptionally easy to use and free of the problems that are often experienced with ordinary zeners. There is virtually no hysteresis in reference voltage with temperature cycling. Also, the LM199 is free of voltage shifts due to stress on the leads. Finally, since the unit is temperature stabilized, warm up time is fast.

The LM199 can be used in almost any application in place of ordinary zeners with improved performance. Some ideal applications are analog to digital converters, calibration standards, precision voltage or current sources or precision power supplies. Further in many cases the LM199 can replace references in existing equipment with a minimum of wiring changes.

The LM199 series devices are packaged in a standard hermetic TO-46 package inside a thermal shield. The LM199 is rated for operation from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ while the LM299 is rated for operation from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$ and the LM399 is rated from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

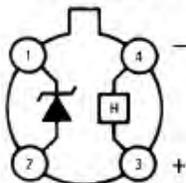
The LM3999 is packaged in a standard TO-92 package and is rated from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

Features

- Guaranteed 0.0001%/°C temperature coefficient
- Low dynamic impedance — 0.5Ω
- Initial tolerance on breakdown voltage — 2%
- Sharp breakdown at 400 μA
- Wide operating current — 500 μA to 10 mA
- Wide supply range for temperature stabilizer
- Guaranteed low noise
- Low power for stabilization — 300 mW at 25°C
- Long term stability — 20 ppm
- Proven reliability, low-stress packaging in TO-46 integrated-circuit hermetic package, for low hysteresis after thermal cycling. 33 million hours MTBF at $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ ($T_J = +86^{\circ}\text{C}$)
- Certified long term stability available
- MIL-STD-883 compliant

Connection Diagrams

Metal Can Package (TO-46)

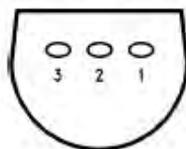


Top View

TL/H/5717-14

LM199/LM299/LM399 (See Table on fourth page)
NS Package Number H04D

Plastic Package TO-92



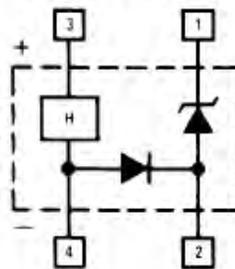
Bottom View

TL/H/5717-10

LM3999 (See Table on fourth page)
NS Package Number Z03A

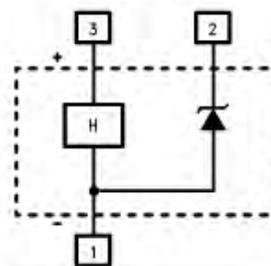
Functional Block Diagrams

LM199/LM299/LM399



TL/H/5717-15

LM3999



TL/H/5717-11

Absolute Maximum Ratings

Specifications for Military/Aerospace products are not contained in this datasheet. Refer to the following Reliability Electrical Test Specifications documents: RETS199X for LM199, RETS199AX for LM199A.

Temperature Stabilizer Voltage	
LM199/LM299/LM399	40V
LM3999	36V
Reverse Breakdown Current	20 mA
Forward Current	
LM199/LM299/LM399	1 mA
LM3999	-0.1 mA

Reference to Substrate Voltage $V_{(PS)}$ (Note 1) 40V
-0.1V

Operating Temperature Range	
LM199	-55°C to +125°C
LM299	-25°C to +85°C
LM399/LM3999	-0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-55°C to +150°C
Soldering Information	
TO-92 package (10 sec.)	+260°C
TO-46 package (10 sec.)	+300°C

Electrical Characteristics (Notes 2, 5)

Parameter	Conditions	LM199H/LM299H			LM399H			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reverse Breakdown Voltage	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$	6.8	6.95	7.1	6.6	6.95	7.3	V	
Reverse Breakdown Voltage Change with Current	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$		6	9		6	12	mV	
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 1 \text{ mA}$		0.5	1		0.5	1.5	Ω	
Reverse Breakdown Temperature Coefficient	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$	LM199	0.00003	0.0001				%/°C	
	$+85^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		0.0005	0.0015				%/°C	
	$-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$		LM299	0.00003				0.0001	%/°C
	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$			LM399					
RMS Noise	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$		7	20		7	50	μV	
Long Term Stability	Stabilized, $22^\circ\text{C} \leq T_A \leq 28^\circ\text{C}$, 1000 Hours, $I_R = 1 \text{ mA} \pm 0.1\%$.20			20		ppm	
Temperature Stabilizer Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Still Air, $V_S = 30\text{V}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$		8.5	14		8.5	15	mA	
			22	28					
Temperature Stabilizer Supply Voltage		9		40	9		40	V	
Warm-Up Time to 0.05%	$V_S = 30\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		3			3		sec.	
Initial Turn-on Current	$9 \leq V_S \leq 40$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, (Note 3)		140	200		140	200	mA	

Electrical Characteristics (Note 2)

Parameter	Conditions	LM3999Z			Units
		Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage	$0.6 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$	6.6	6.95	7.3	V
Reverse Breakdown Voltage Change with Current	$0.6 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$		6	20	mV
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 1 \text{ mA}$		0.6	2.2	Ω
Reverse Breakdown Temperature Coefficient	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$		0.0002	0.0005	%/°C
RMS Noise	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$		7		μV
Long Term Stability	Stabilized, $22^\circ\text{C} \leq T_A \leq 28^\circ\text{C}$, 1000 Hours, $I_R = 1 \text{ mA} \pm 0.1\%$		20		ppm
Temperature Stabilizer	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Still Air, $V_S = 30\text{V}$		12	18	mA
Temperature Stabilizer Supply Voltage				36	V
Warm-Up Time to 0.05%	$V_S = 30\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		5		sec.
Initial Turn-On Current	$9 \leq V_S \leq 40$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		140	200	mA

Electrical Characteristics (Notes 2, 5)

Parameter	Conditions	LM199AH, LM299AH			LM399AH			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$	6.8	6.95	7.1	6.6	6.95	7.3	V
Reverse Breakdown Voltage Change with Current	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$		6	9		6	12	mV
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 1 \text{ mA}$		0.5	1		0.5	1.5	Ω
Reverse Breakdown Temperature Coefficient	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ } LM199A $+85^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ } $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ } LM299A $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ } LM399A		0.00002 0.0005 0.00002	0.00005 0.0010 0.00005		0.00003 0.00001		%/°C %/°C %/°C %/°C
RMS Noise	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$		7	20		7	50	μV
Long Term Stability	Stabilized, $22^\circ\text{C} \leq T_A \leq 28^\circ\text{C}$, 1000 Hours, $I_R = 1 \text{ mA} \pm 0.1\%$		20			20		ppm
Temperature Stabilizer Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Still Air, $V_S = 30\text{V}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$		8.5 22	14 28		8.5	15	mA
Temperature Stabilizer Supply Voltage		9		40	9		40	V
Warm-Up Time to 0.05%	$V_S = 30\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		3			3		sec.
Initial Turn-on Current	$9 \leq V_S \leq 40$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, (Note 3)		140	200		140	200	mA

Electrical Characteristics (Notes 2, 5)

Parameter	Conditions	LM199AH-20, LM299AH-20			LM399AH-50			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$	6.8	6.95	7.1	6.6	6.95	7.3	V
Reverse Breakdown Voltage Change With Current	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$		6	9		6	12	mV
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 1 \text{ mA}$		0.5	1		0.5	1.5	Ω
Reverse Breakdown Temperature Coefficient	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ$ } LM199A $85^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$ } $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$ } LM299A $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ } LM399A		0.00002 0.0005 0.00002	0.00005 0.0010 0.00005		0.00003 0.00001		%/°C %/°C %/°C %/°C
RMS Noise	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$		7	20		7	50	μV
Long Term Stability	Stabilized, $22^\circ\text{C} \leq T_A \leq 28^\circ\text{C}$, 1000 Hours, $I_R = 1 \text{ mA} \pm 0.1\%$		8	20		9	50	ppm
Temperature Stabilizer Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Still Air, $V_S = 30\text{V}$ $T_A = 55^\circ\text{C}$		8.5 22	14 28		8.5	15	mA
Temperature Stabilizer Supply Voltage		9		40	9		40	V
Warm-Up Time to 0.05%	$V_S = 30\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		3			3		s
Initial Turn-on Current	$9 \leq V_S \leq 40$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 3)		140	200		140	200	mA

Note 1: The substrate is electrically connected to the negative terminal of the temperature stabilizer. The voltage that can be applied to either terminal of the reference is 40V more positive or 0.1V more negative than the substrate.

Note 2: These specifications apply for 30V applied to the temperature stabilizer and $-55^\circ\text{C} < T_A < +125^\circ\text{C}$ for the LM199; $-25^\circ\text{C} < T_A < +85^\circ\text{C}$ for the LM299 and $0^\circ\text{C} < T_A < +70^\circ\text{C}$ for the LM399 and LM3999.

Note 3: This initial current can be reduced by adding an appropriate resistor and capacitor to the heater circuit. See the performance characteristic graphs to determine values.

Note 4: Do not wash the LM199 with its polysulfone thermal shield in TCE.

Note 5: A military RETS electrical test specification is available for the LM199H/883, LM199AH/883, and LM199AH-20/883 on request.

Ordering Information

Initial Tolerance	0°C to +70°C	-25°C to +85°C	-55°C to +125°C	NS Package
2%		LM299AH	LM199AH, LM199AH/883	H04D
5%	LM399H LM399AH	LM299H	LM199H, LM199H/883	H04D
5%	LM3999Z			Z03A
Guaranteed Long Term Stability	LM399AH-50	LM299AH-20	LM199AH-20, LM199AH-20/883	H04D

Certified Long Term Drift

The National Semiconductor LM199AH-20, LM299AH-20, and LM399AH-50 are ultra-stable Zener references specially selected from the production runs of LM199AH, LM299AH, LM399AH and tested to confirm a long-term stability of 20, 20, or 50 ppm per 1000 hours, respectively. The devices are measured every 168 hours and the voltage of each device is logged and compared in such a way as to show the deviation from its initial value. Each measurement is taken with a probable-worst-case deviation of ± 2 ppm, compared to the Reference Voltage, which is derived from several groups of NBS-traceable references such as LM199AH-20's, 1N827's, and saturated standard cells, so

that the deviation of any one group will not cause false indications. Indeed, this comparison process has recently been automated using a specially prepared computer program which is custom-designed to reject noisy data (and require a repeat reading) and to record the average of the best 5 of 7 readings, just as a sagacious standards engineer will reject unbelievable readings.

The typical characteristic for the LM199AH-20 is shown below. This computerized print-out form of each reference's stability is shipped with the unit.

Typical Characteristics

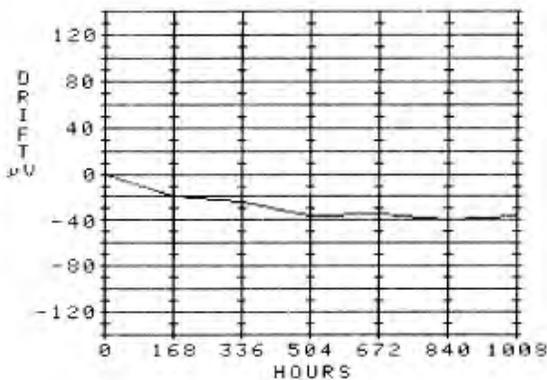
National Semiconductor Certified Long Term Drift

Hrs	Drift
168	-20
336	-24
504	-36
672	-34
840	-40
1008	-36

LM199AH-20
Part # 6849

Limits

LM199AH-20	140 μ V
LM299AH-20	140 μ V
LM399AH-20	350 μ V

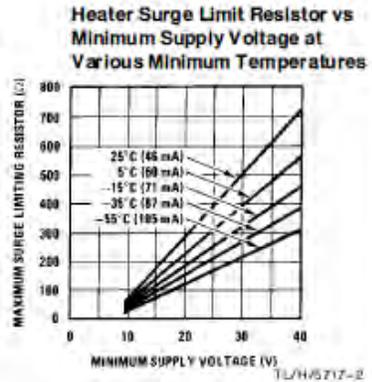
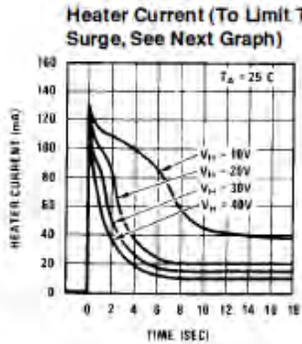
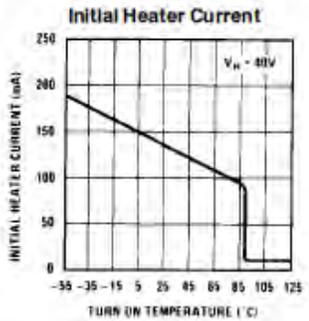
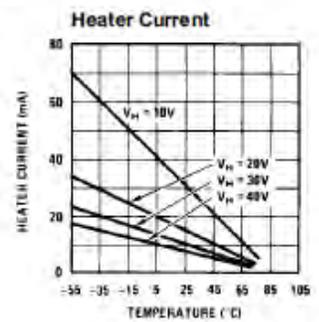
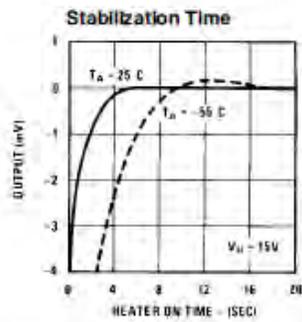
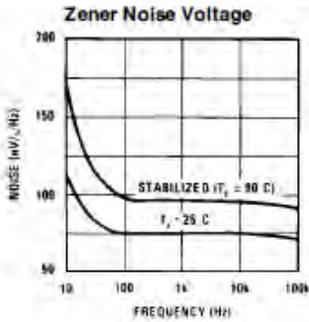
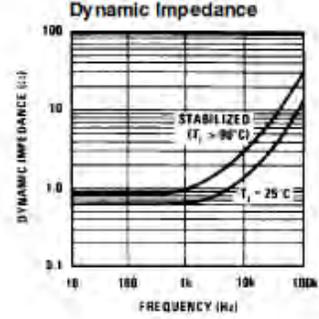
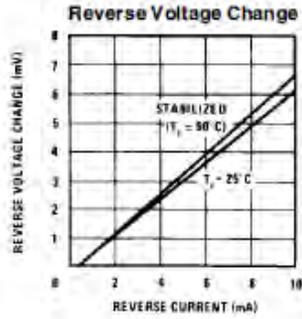
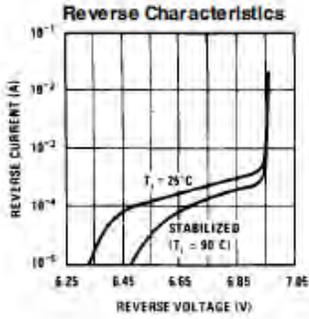


Testing Conditions

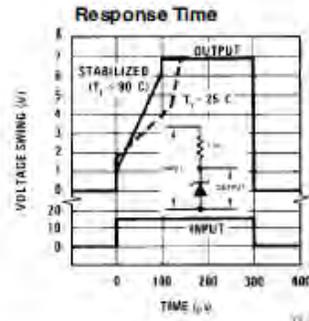
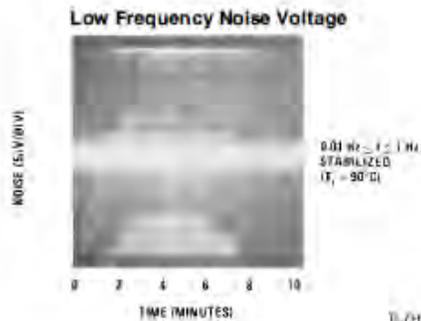
Heater Voltage	30V
Zener Current	1 mA
Ambient Temp.	25°C

TL44/5717-12

Typical Performance Characteristics

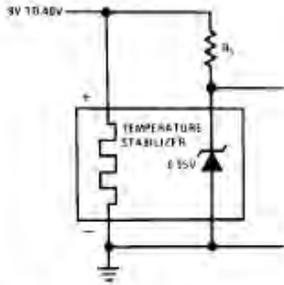


*Heater must be bypassed with a 2 μF or larger tantalum capacitor if resistors are used.

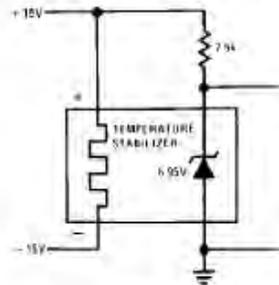


Typical Applications

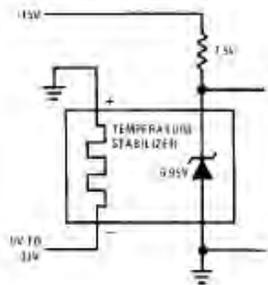
Single Supply Operation



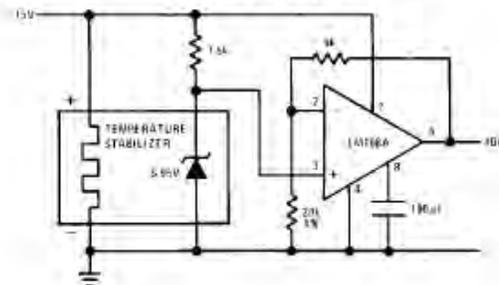
Split Supply Operation



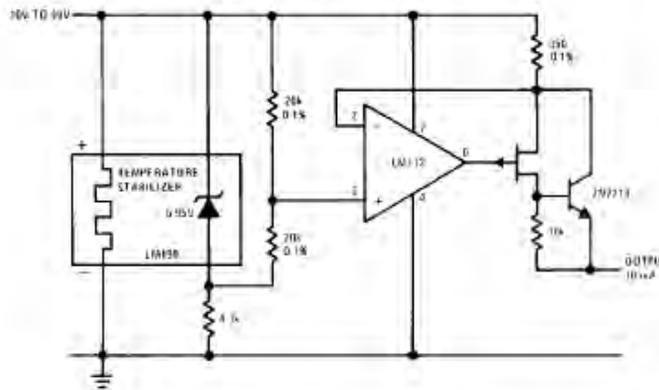
Negative Heater Supply with Positive Reference



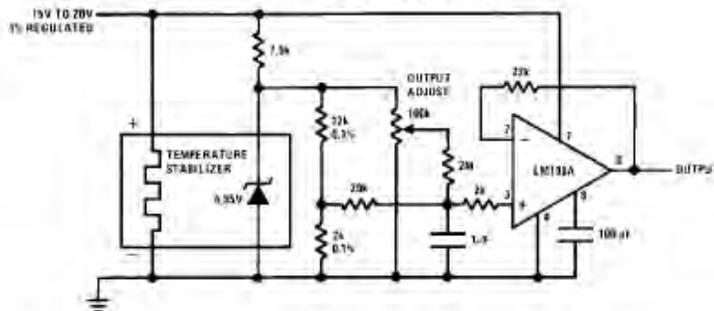
Buffered Reference With Single Supply



Positive Current Source



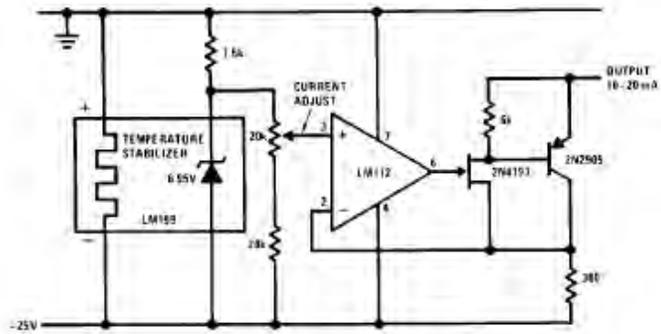
Standard Cell Replacement



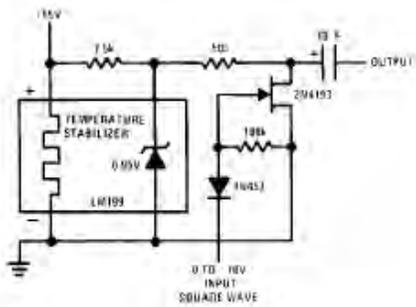
TL/405717-4

Typical Applications (Continued)

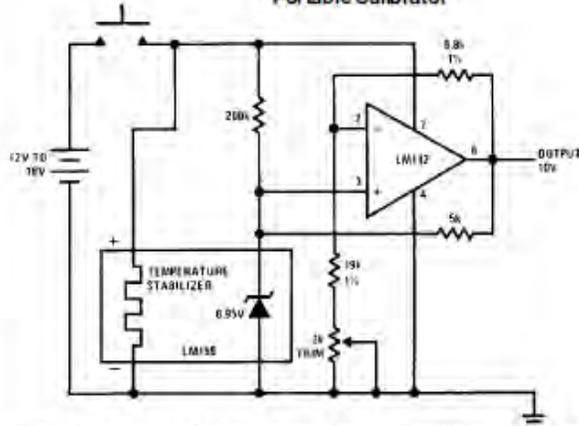
Negative Current Source



Square Wave Voltage Reference

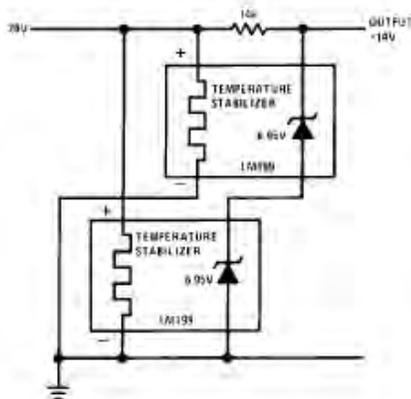


Portable Calibrator*

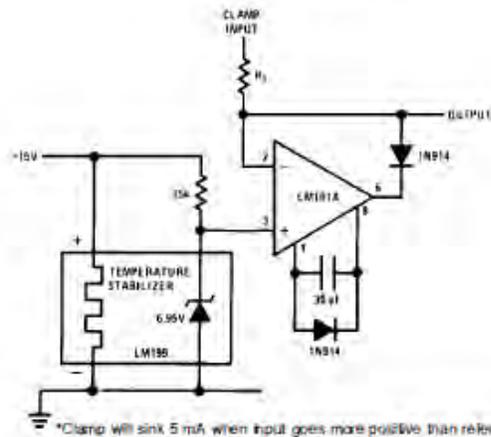


*Warm-up time 10 seconds; intermittent operation does not degrade long term stability.

14V Reference



Precision Clamp*

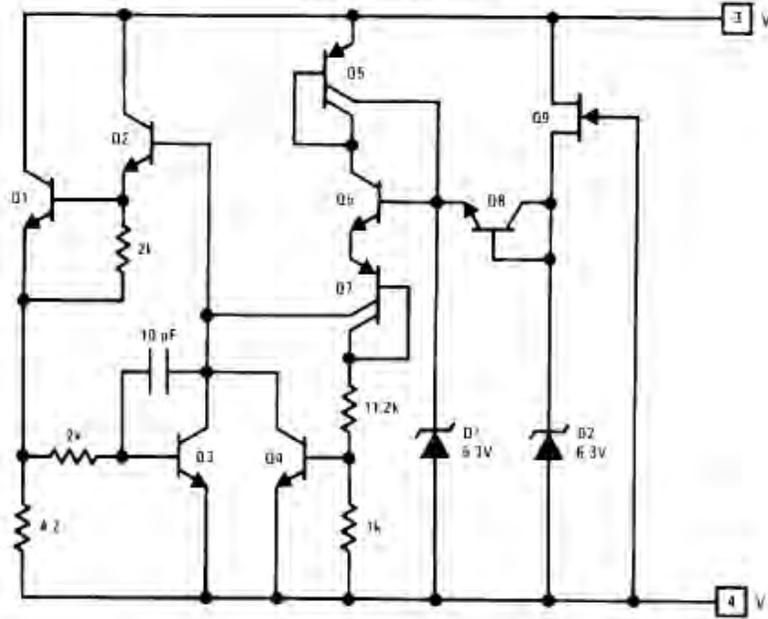


*Clamp will sink 5 mA when input goes more positive than reference

TL4521Z-5

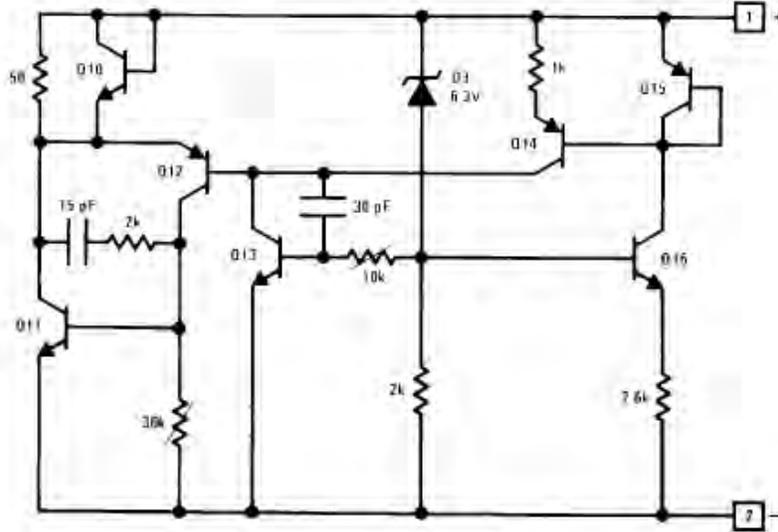
Schematic Diagrams

Temperature Stabilizer



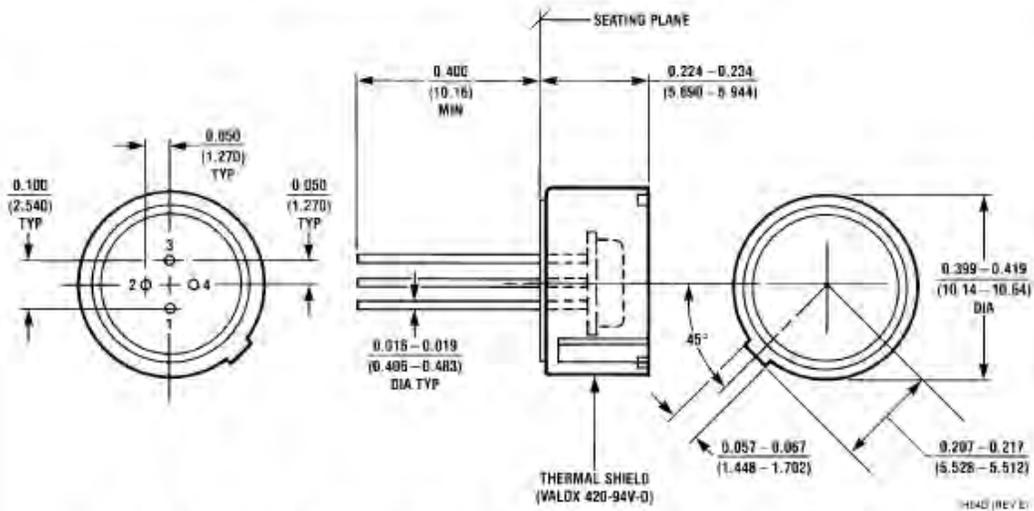
FL/W/5717-01

Reference



FL/W/5717-1B

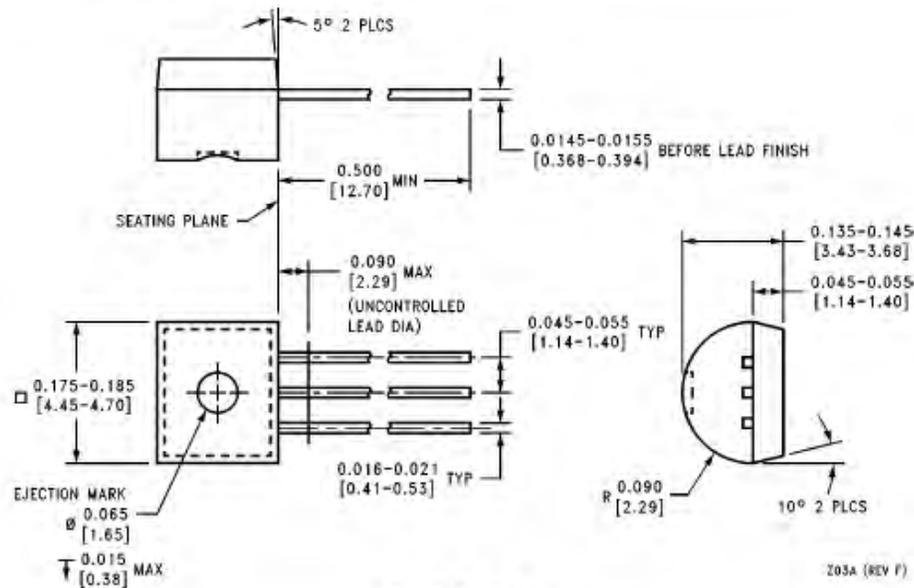
Physical Dimensions inches (millimeters)



Order Number LM199H, LM199H/883, LM299H, LM399H, LM199AH, LM199AH/883, LM199AH-20, LM199AH-20/883, LM299AH, LM299AH-20, LM399AH or LM399AH-50
NS Package H04D

H04D (REV B)

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Plastic Package
Order Number LM3999Z
NS Package Z03A

Z03A (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: (800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-630 85 86
Email: cnr@nlw1.nsc.com
Deutsch: Tel: (+49) 0-180-630 85 85
English: Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français: Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano: Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-8960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuit described herein, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

Fiber Optic Transmitter

OPF692, OPF693 Series



OPF692, OPF693 Series

- Low Cost 850 nm LED technology
- Popular ST[®] style receptacle
- Pre-tested with fiber to assure performance
- Component pre-mounted and ready to use
- 55MHz operation



The OPF692 and OPF693 fiber optic transmitters are high performance devices packaged for data communication links. These transmitters are an 850nm GaAlAs LED and are specifically designed to efficiently launch optical power into fibers ranging in size from 50/125µm up to 200/300µm 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.

These products' combination of features including high speed and efficient coupled power makes them ideal transmitters for integration into all types of data communications equipment.

The mechanical design of these packages are intended for PC Board or panel mounting. They are 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

Package Material		
Part Number	Body Material	Body Style
OPF692	Conductive Plastic	ST-LP [®]
OPF693	Zinc, Die Cast	ST-LP [®]

Typical Coupled Power I _F = 100mA, 25°C				
Fiber Size	Type	N.A.	OPF69x-1	OPF69x-2
50/125 µm	Graded Index	0.20	12µW	25µW
62.5/125 µm	Graded Index	0.28	32µW	65µW
100/140 µm	Graded Index	0.29	80µW	160µW
200/300 µm	Step Index	0.41	315µW	630µW



RoHS



ESD Class 2

All Optek OPF LED emitters are AEL Class I as defined by IEC 60825-1 and are Risk Group 1 (Low-Risk) as defined by IEC 62471.

ST[®] 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.

Fiber Optic Transmitter

OPF692, OPF693 Series



Absolute Maximum Ratings

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

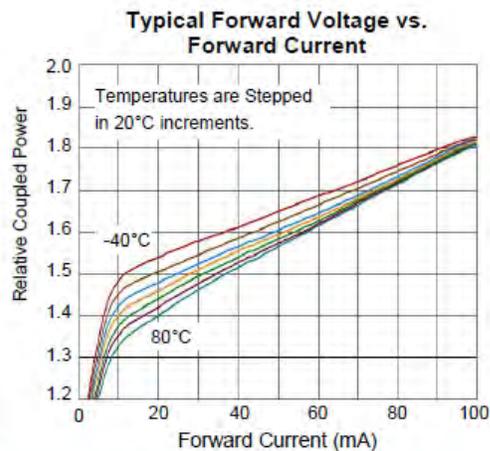
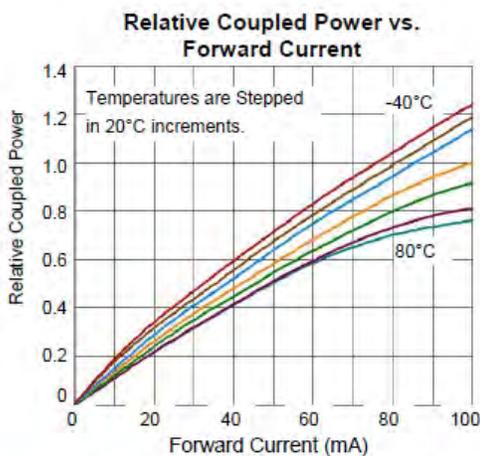
Storage Temperature Range	-55° C to +100° C
Operating Temperature Range	-40° C to +85° C
Lead Soldering Temperature ⁽¹⁾	260° C
Continuous Forward Current ⁽²⁾	100 mA
Maximum Reverse Voltage	1.0 V

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	OPF69X-1	12.0	25.0	40.0	μW	$I_F = 100\text{ mA}$
		OPF69X-2	25.0	50.0	80.0		
V_F	Forward Voltage			1.8	2.2	V	$I_F = 100\text{ mA}$
V_R	Reverse Voltage		1.8			V	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}$
λ	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			4.5	6.0	ns	$I_F = 100\text{ mA}$; 10% to 90% ⁽³⁾

Notes:

1. Maximum of 5 seconds with soldering iron. Duration can be extended to 10 seconds when flow soldering. RMA flux is recommended.
2. De-rate linearly at 1.33mA /°C above 25°C .
3. No Pre-bias.
4. 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.



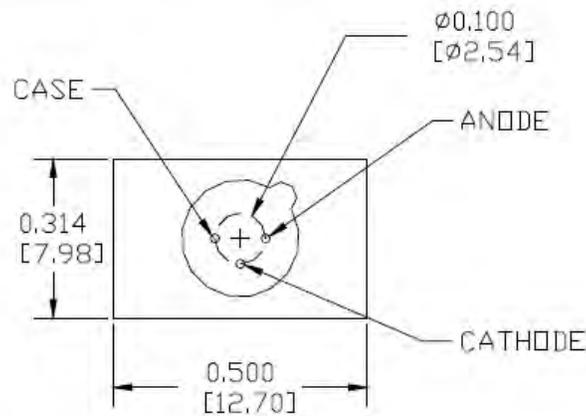
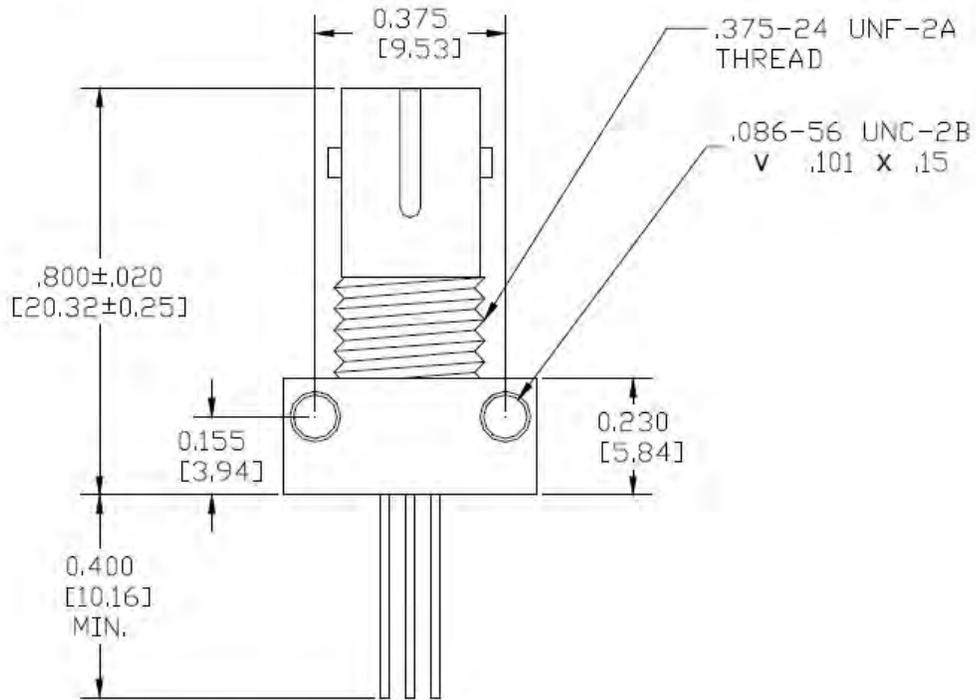
OPTeK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

Fiber Optic Transmitter

OPF692, OPF693 Series



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.

Fiber Optic Receiver

OPF2416, OPF2416T, OPF2416TC



OPF2416 Family

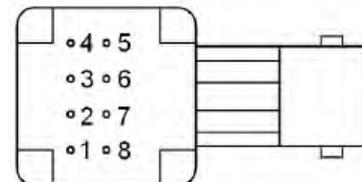
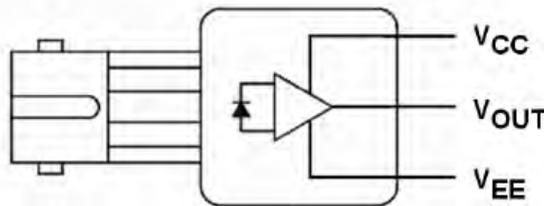
- Up to 155Mbps operation
- 850nm wavelength
- ST[®] style port
- Wave solderable
- Wide temperature range



The OPF2416 family is a low cost solution for high speed fiber optic communications designs. The internal lensing of this receiver's design allows optimal response for fiber sizes of 100µm and below. The receiver is comprised of a high speed, low noise, photodiode coupled to a transimpedance amplifier (TIA). The photodiode/TIA combination produces an output voltage that is proportional to the input light amplitude. This hybrid approach solves many of the problems of high speed data link designs by placing the photodiode close to the TIA. The amplification of the TIA makes the output much less susceptible to EMI. The output of the OPF2416 is an analog, low impedance, emitter follower voltage source. Subsequent circuitry can be utilized to convert the analog voltage to ECL/TTL for digital data rates up to 155 Mbps. The OPF2416 is available with either standard or threaded panel mount ST[®] receptacles. The threaded version is also available in conductive plastic.

Applications

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



PIN	FUNCTION
1	Not Connected
2	V _{OUT}
3	V _{EE}
4	Not Connected
5	Not Connected
6	V _{CC}
7	V _{EE}
8	Not Connected

"T" suffix = Threaded ST[®] package
 "TC" suffix = Threaded, conductive ST[®] package



Pins 3 & 7 are electrically connected to the header.
 Pins 1, 4, 5 & 8 are mechanically connected together.

ST[®] 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.

Fiber Optic Receiver

OPF2416, OPF2416T, OPF2416TC



Absolute Maximum Ratings

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

Storage Temperature Range	-55° C to +85° C
Operating Temperature Range	-40° C to +85° C
Lead Soldering Temperature ⁽¹⁾	260° C
Supply Voltage	-0.5 V to 6.0 V
Output Current	25 mA
Output Pin Voltage	-0.5 V

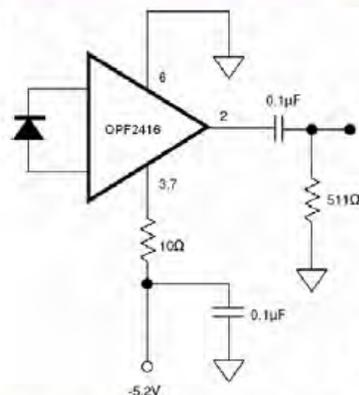
Electrical/Optical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	CONDITIONS
R	Responsivity	5.3 4.5	7.0	9.6 11.5	mV/μW	$\lambda_p = 850\text{ nm}$, $f = 50\text{ MHz}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
V_{NOISE}	RMS Output Noise Voltage		0.40	0.59 0.70	mV	75 MHz Bandwidth Filtered, $P_R = 0$ Unfiltered Bandwidth, $P_R = 0$
P_N	RMS Equivalent Optical Noise Input Power		0.050	0.065	μW	100 MHz Bandwidth Filtered, $P_R = 0$
P_R	Peak Received Optical Power			175 150	μW	$40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
V_{ODC}	DC Output Voltage	-4.2	-3.1	-2.4	V	$P_R = 0$
I_{EE}	Supply Current		9	15	mA	$R_L = \infty$
BW	Bandwidth		125		MHz	-3dB electrical
t_r, t_f	Rise Time, Fall Time		3.3	6.3	ns	$f = 50\text{ MHz}$, $P_R = 100\text{ μW peak}$, $R_L = 511\ \Omega$, $C_{\text{LOAD}} = 5\text{ pF}$
PWD	Pulse Width Distortion		0.4	2.5	ns	$f = 50\text{ MHz}$, $P_R = 100\text{ μW}$
PSRR	Power Supply Rejection Ratio		20		dB	$f = 10\text{ MHz}$

Notes:

- Maximum of 5 seconds with soldering iron. Duration can be extended to 10 seconds when flow soldering. RMA flux is recommended.

Application Circuit



Note that the 10Ω resistor and bypass capacitor are

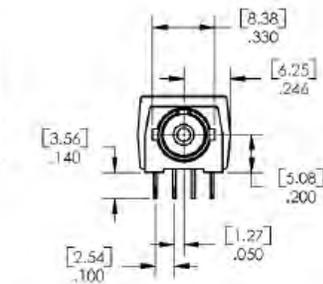
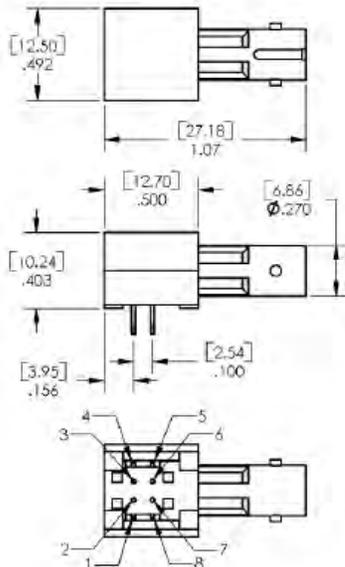
OPTEK reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.

Fiber Optic Receiver

OPF2416, OPF2416T, OPF2416TC



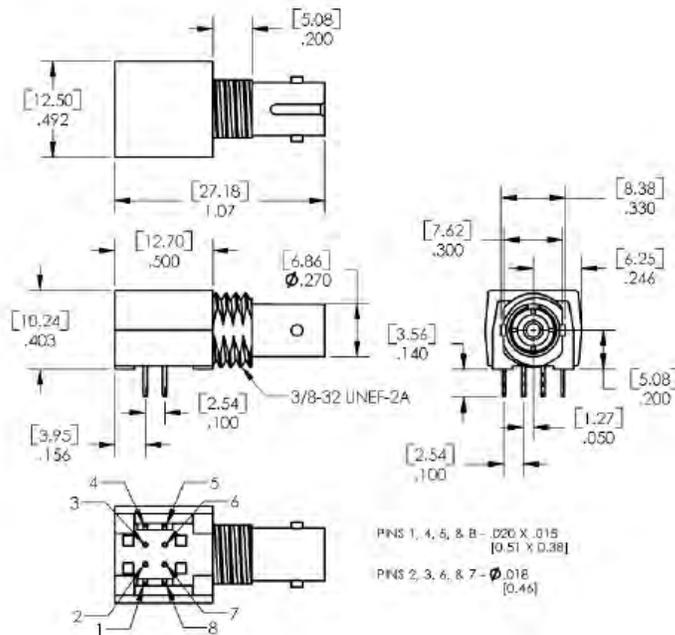
Mechanical Data



PINS 1, 4, 5, & 8 - .020 X .015
[0.81 X 0.38]
PINS 2, 3, 6, & 7 - \varnothing .018
[0.46]

OPF2416

**OPF2416T
OPF2416TC**



PINS 1, 4, 5, & 8 - .020 X .015
[0.51 X 0.38]
PINS 2, 3, 6, & 7 - \varnothing .018
[0.46]

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.

TL081 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

The TL081 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL081 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

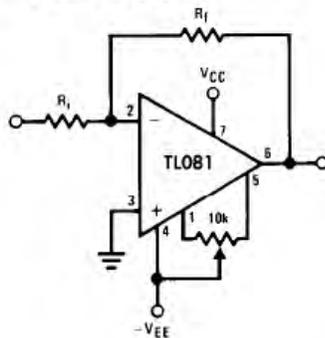
The TL081 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements

are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply current is important, however, the TL081C is the better choice.

Features

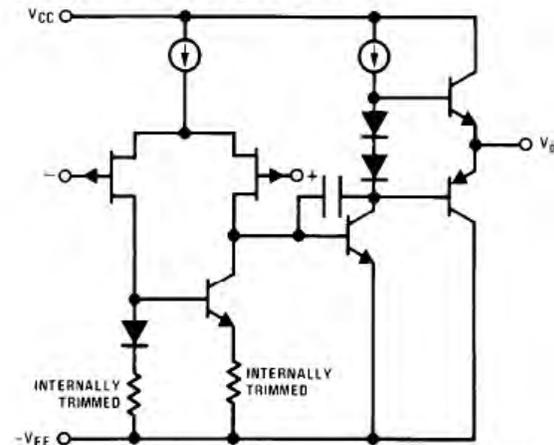
- Internally trimmed offset voltage 15 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion $A_v = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, $BW = 20$ Hz–20 kHz < 0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



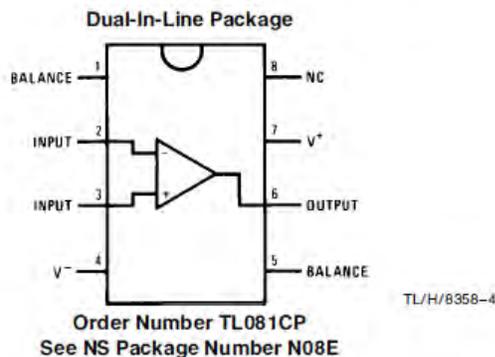
TL/H/8358-1

Simplified Schematic



TL/H/8358-2

Connection Diagram



TL/H/8358-4

BI-FET II™ is a trademark of National Semiconductor Corp.

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T _{J(MAX)}	115°C
Differential Input Voltage	±30V

Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	260°C
θ _{JA}	120°C/W
ESD rating to be determined.	

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	TL081C			Units
			Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ, T _A = 25°C Over Temperature		5	15 20	mV mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ		10		μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	T _J = 25°C, (Notes 3, 4) T _J ≤ 70°C		25	100 4	pA nA
I _B	Input Bias Current	T _J = 25°C, (Notes 3, 4) T _J ≤ 70°C		50	200 8	pA nA
R _{IN}	Input Resistance	T _J = 25°C		1012		Ω
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S = ±15V, T _A = 25°C V _O = ±10V, R _L = 2 kΩ Over Temperature	25 15	100		V/mV V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S = ±15V, R _L = 10 kΩ	±12	±13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S = ±15V	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤ 10 kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I _S	Supply Current			1.8	2.8	mA

AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	TL081C			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	V _S = ±15V, T _A = 25°C		13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V _S = ±15V, T _A = 25°C		4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A = 25°C, R _S = 100Ω, f = 1000 Hz		25		nV/√Hz
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _J = 25°C, f = 1000 Hz		0.01		pA/√Hz

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of 120°C/W junction to ambient for N package.

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

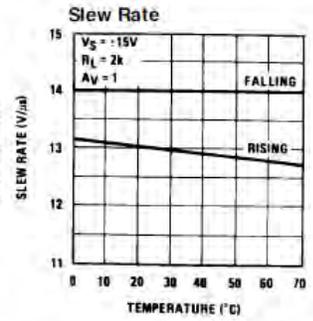
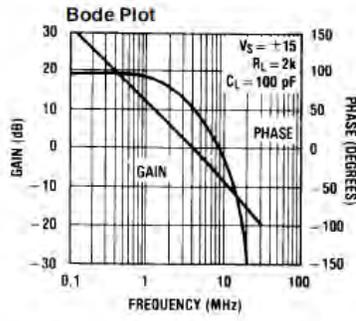
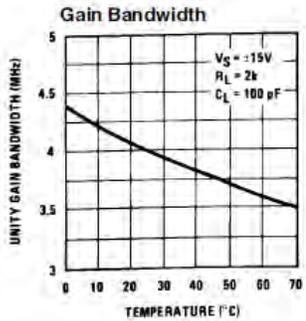
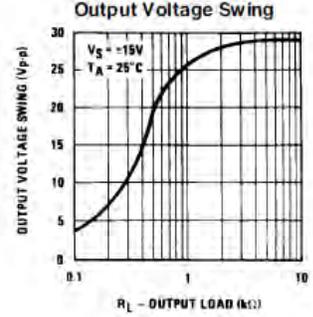
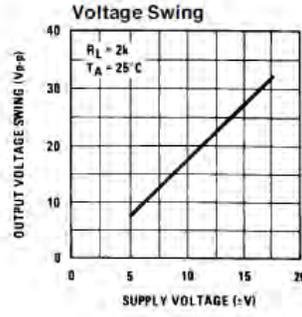
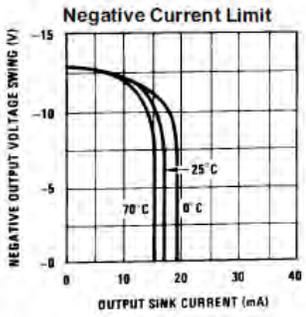
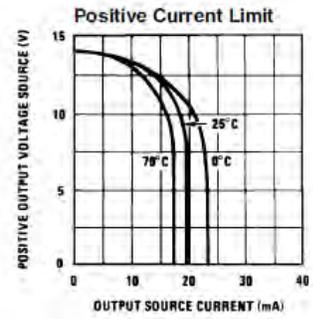
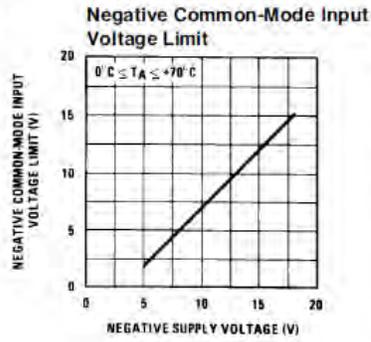
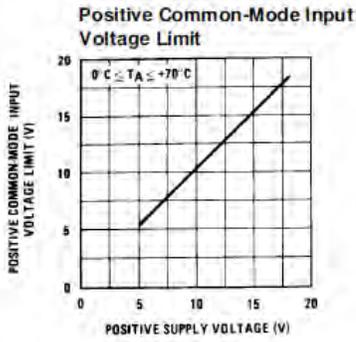
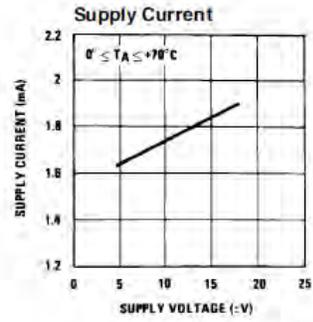
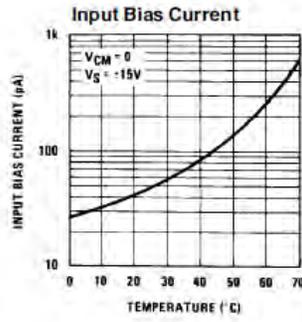
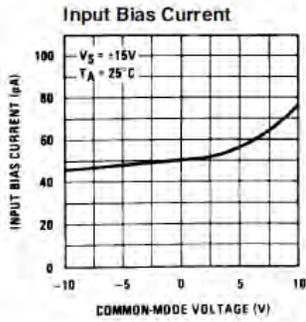
Note 3: These specifications apply for V_S = ±15V and 0°C ≤ T_A ≤ +70°C. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at V_{CM} = 0.

Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D. T_J = T_A + θ_{JA} P_D where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice from V_S = ±5V to ±15V.

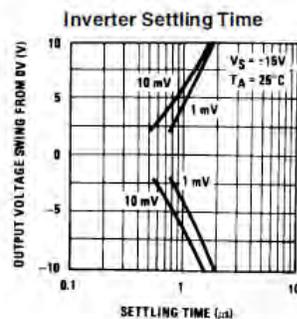
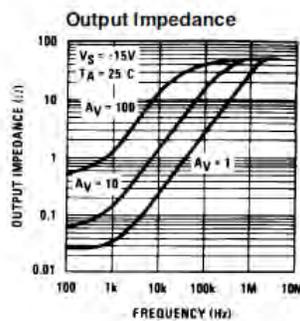
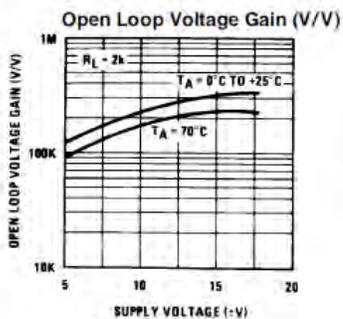
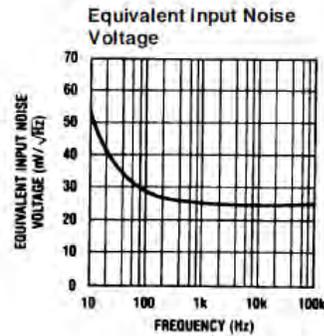
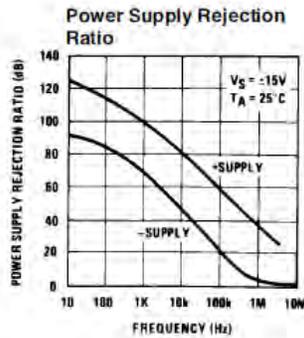
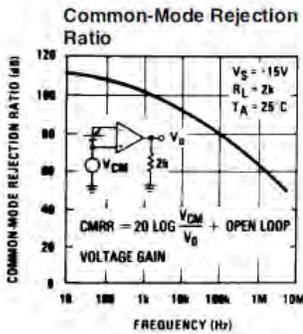
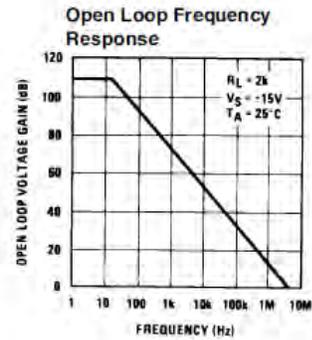
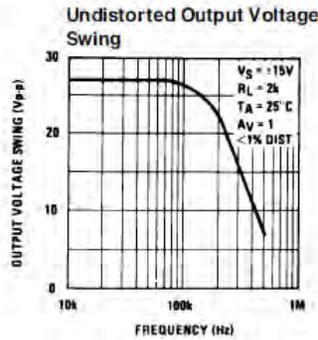
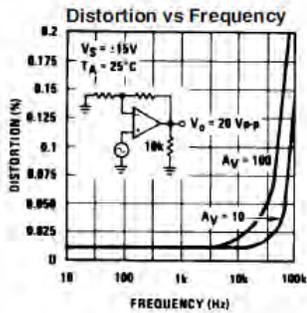
Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

Typical Performance Characteristics



TL/H/6358-5

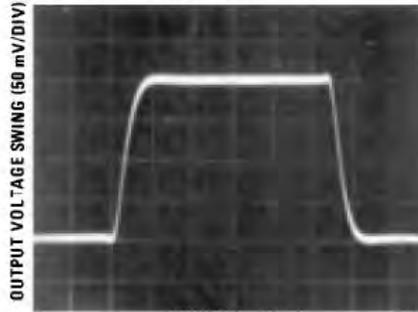
Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/8358-6

Pulse Response

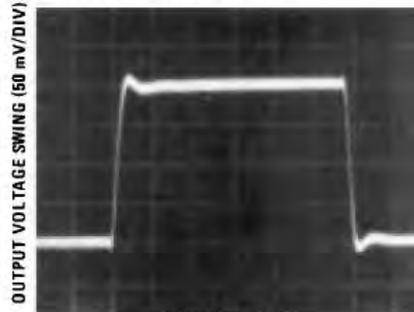
Small Signal Inverting



TIME (0.2 μ s/DIV)

TL/H/8358-7

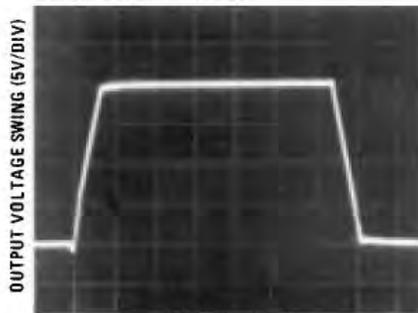
Small Signal Non-Inverting



TIME (0.2 μ s/DIV)

TL/H/8358-13

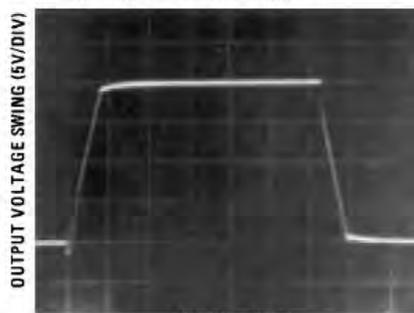
Large Signal Inverting



TIME (2 μ s/DIV)

TL/H/8358-14

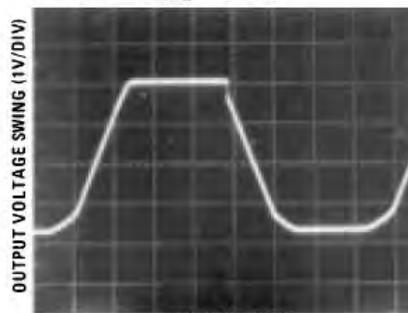
Large Signal Non-Inverting



TIME (2 μ s/DIV)

TL/H/8358-15

Current Limit ($R_L = 100\Omega$)



TIME (5 μ s/DIV)

TL/H/8358-16

Application Hints

The TL081 is an op amp with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this

will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output.

Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the

Application Hints (Continued)

common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifier will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

The TL081 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 4V$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The TL081 will drive a $2\text{ k}\Omega$ load resistance to $\pm 10V$ over the full temperature range of 0°C to $+70^\circ\text{C}$. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the

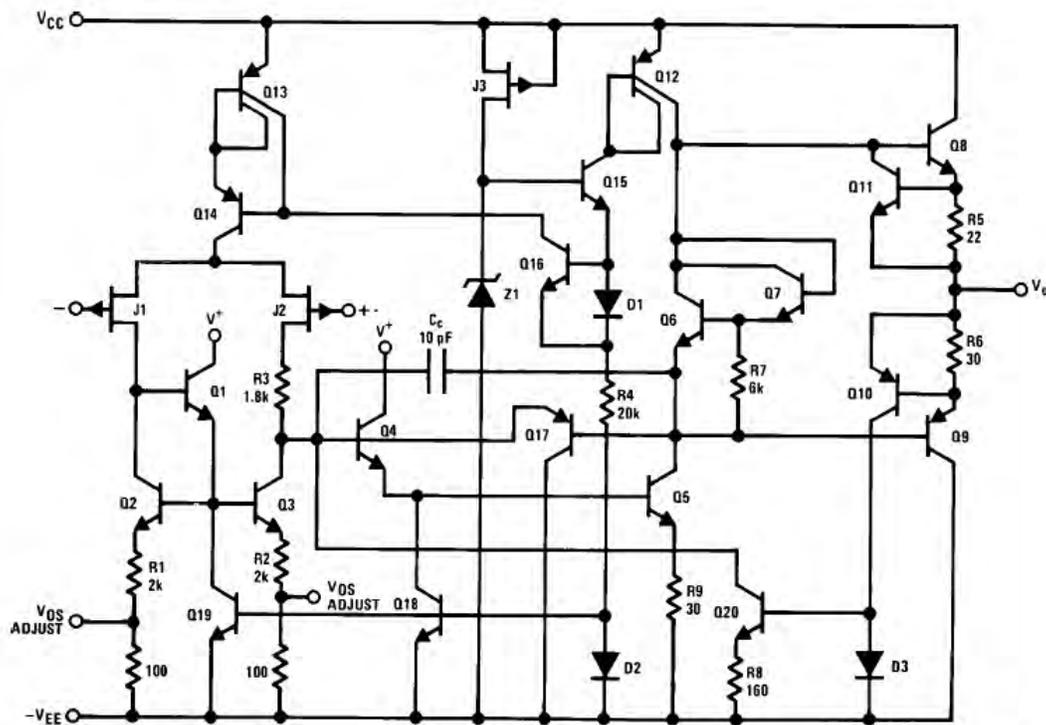
resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Because these amplifiers are JFET rather than MOSFET input op amps they do not require special handling.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

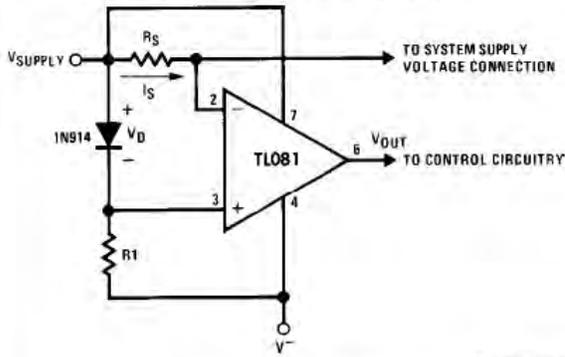
A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

Detailed Schematic



Typical Applications

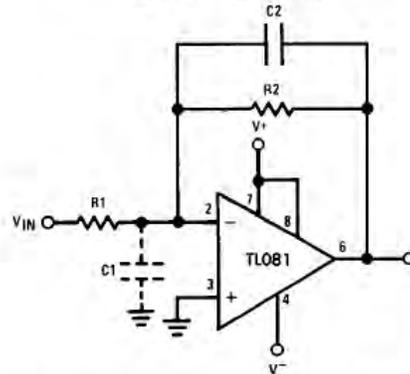
Supply Current Indicator/Limiter



* V_{OUT} switches high when $R_S I_S > V_D$

TL/H/8358-9

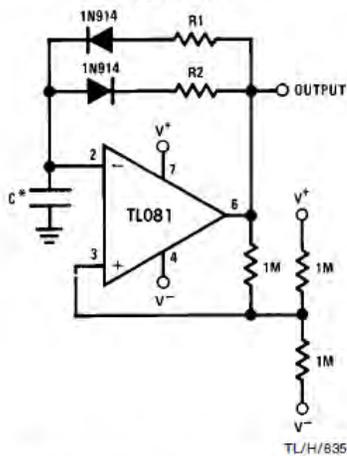
Hi- Z_{IN} Inverting Amplifier



TL/H/8358-10

Parasitic input capacitance $C_1 = (3 \text{ pF for TL081 plus any additional layout capacitance})$ interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add C_2 such that $R_2 C_2 = R_1 C_1$.

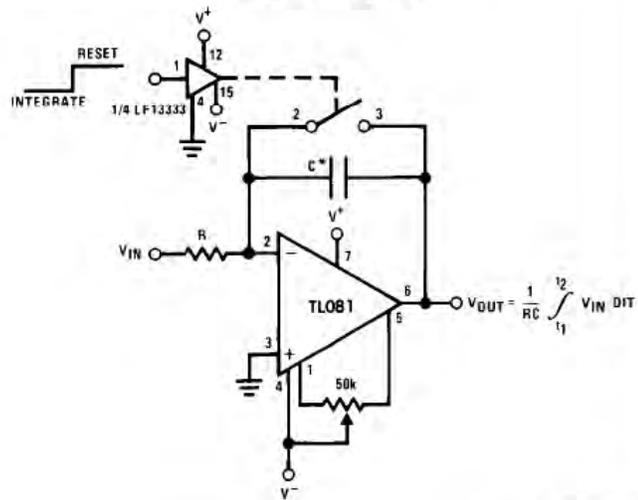
Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



TL/H/8358-11

- * $t_{\text{OUTPUT HIGH}} \approx R_1 C \ln \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$
 - * $t_{\text{OUTPUT LOW}} \approx R_2 C \ln \frac{2V_S - 7.8}{V_S - 7.8}$
- where $V_S = V^+ - |V^-|$
*low leakage capacitor

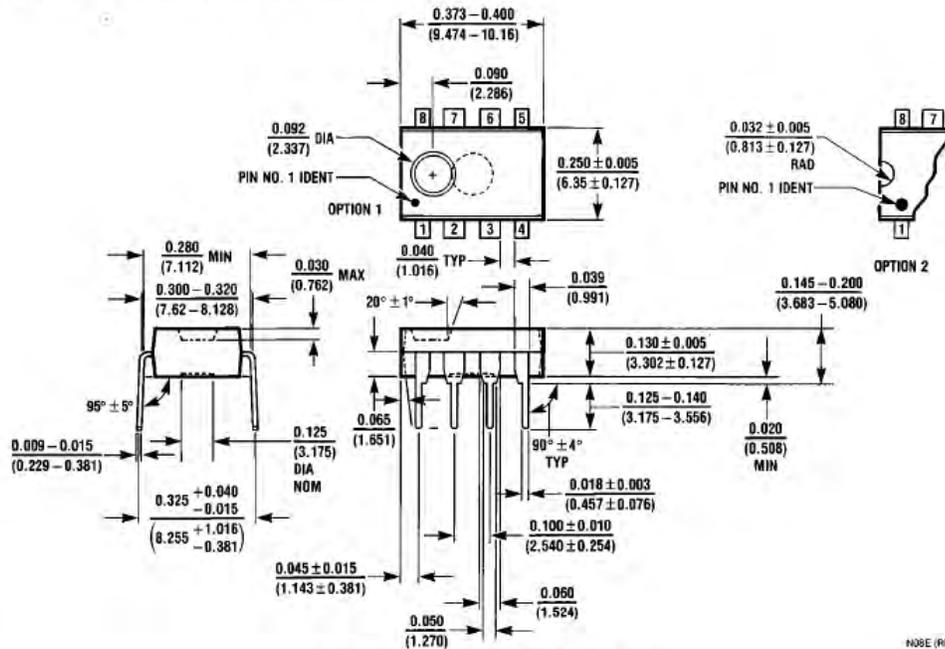
Long Time Integrator



TL/H/8358-12

- * Low leakage capacitor
- * 50k pot used for less sensitive V_{OS} adjust

Physical Dimensions inches (millimeters)



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number TL081CP
 NS Package Number N08E

N08E (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9959
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86
 Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1600
 Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

ANEXO C

PROGRAMAS EN PYTHON

Programa 1: Comunicación labview

```
# Echo server program
import socket
import select
import funcdelservidor

HOST = '' # Symbolic name meaning all
available interfaces
PORT = 50007 # Arbitrary non-privileged port
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
s.bind((HOST, PORT))
s.listen(1)
conn, addr = s.accept()
funcdelservidor.reinicio()
x=0
VALORES = range(12)
VALORES2 = range(12)
DATOS=0
DATOS2=0
ENVIAR2=0
while(x==0):
    conn.setblocking(0)
    ready = select.select([conn], [], [], 0.1)
    if ready[0]:
        DATOS = conn.recv(1024)
        if DATOS!=DATOS2:
            DATOS=DATOS.split()
            j=1
            i=0
            fori in range(2,32,3):
                VALORES[j]=float(DATOS[i])
                VALORES2[j]=0
                j=j+1
            for j in range(1,6):
                if VALORES[j]!=VALORES2[j]:
                    VALORES[0]=j-1
                    funcdelservidor.valores=VALORES
                    funcdelservidor.writeled()
                    funcdelservidor.writepwm()
                    DATOS2=DATOS
                    #ifnot DATOS:
                    #x=1

            ENVIAR3=funcdelservidor.readadc()
            ENVIAR4=funcdelservidor.readpush()
            ENVIAR=ENVIAR3+ENVIAR4
```

```

if ENVIAR!=ENVIAR2:
conn.send(ENVIAR)
    ENVIAR2=ENVIAR
    #ifnot ENVIAR:
        #x=1
funcdelservidor.final()
conn.close()

```

PROGRAMA 2: funcdelservidor

```

#!/usr/bin/python
importAdafruit_BBIO.PWM as PWM
importAdafruit_BBIO.GPIO as GPIO
importAdafruit_BBIO.ADC as ADC
import time
ADC.setup()
valores=range(10)
defreinicio():
PWM.start("P8_13",0,500,0)
PWM.start("P8_34",0,500,0)
PWM.start("P8_46",0,500,0)
PWM.start("P9_14",0,500,0)
PWM.start("P9_21",0,500,0)
PWM.start("P9_29",0,500,0)
PWM.start("P9_42",0,500,0)
GPIO.setup("P8_12",GPIO.OUT)
GPIO.setup("P8_14",GPIO.OUT)
GPIO.setup("P8_16",GPIO.OUT)
GPIO.setup("P8_18",GPIO.OUT)
GPIO.setup("P8_11",GPIO.IN)
GPIO.setup("P8_15",GPIO.IN)
GPIO.setup("P8_17",GPIO.IN)
GPIO.setup("P8_21",GPIO.IN)
defwritepwm():
ifvalores[0]==0:
PWM.set_duty_cycle("P8_13",valores[1])
time.sleep(0.01)
        #print "PWM P8_13 = ",valores[1]
elifvalores[0]==1:
PWM.set_duty_cycle("P8_34",valores[2])
time.sleep(0.01)
        #print "PWM P8_34 = ",valores[2]
elifvalores[0]==2:
PWM.set_duty_cycle("P8_46",valores[3])
time.sleep(0.01)

```

```

        #print "PWM P8_46 = ",valores[3]
elifvalores[0]==3:
PWM.set_duty_cycle("P9_14",valores[4])
time.sleep(0.01)
#print "PWM P9_14 = ",valores[4]
elif valores[0]==4:
PWM.set_duty_cycle("P9_21",valores[5])
time.sleep(0.01)
        #print "PWM P9_21 = ",valores[5]
elifvalores[0]==5:
PWM.set_duty_cycle("P9_29",valores[6])
time.sleep(0.01)
        #print "PWM P9_29 = ",valores[6]
else:
PWM.set_duty_cycle("P9_42",valores[7])
time.sleep(0.01)
        #print "PWM P9_42 = ",valores[7]

defwriteled():
ifvalores[8]==1:
GPIO.output("P8_12",GPIO.HIGH)
ifvalores[8]==0:
GPIO.output("P8_12",GPIO.LOW)

ifvalores[9]==1:
GPIO.output("P8_14",GPIO.HIGH)
ifvalores[9]==0:
GPIO.output("P8_14",GPIO.LOW)

ifvalores[10]==1:
GPIO.output("P8_16",GPIO.HIGH)
ifvalores[10]==0:
GPIO.output("P8_16",GPIO.LOW)
#print "ENTRADA P8_12 = ",valores[2]
        #print "ENTRADA P8_14 = ",valores[3]
#print "ENTRADA P8_16 = ",valores[4]

defreadpush():

fori in range(0,5):
        s_io0= GPIO.input("P8_11")
time.sleep(.01)

fori in range(0,5):
        s_io1= GPIO.input("P8_15")
time.sleep(.01)

```

```

fori in range(0,5):
    s_io2= GPIO.input("P8_17")
time.sleep(.01)

    #print "ENTRADA P8_11 = ",s_io0
    #print "ENTRADA P8_15 = ",s_io1
    #print "ENTRADA P8_17 = ",s_io2
    s_io0=str(s_io0)
    s_io1=str(s_io1)
    s_io2=str(s_io2)
w_io=', '+s_io0+', '+s_io1+', '+s_io2
return(w_io)

defreadadc():
    #s_adc0=0
    #s_adc1=0
    #s_adc2=0
    s_adc3=0
    s_adc4=0
    s_adc5=0
    s_adc6=0
while True:
    time.sleep(.01)
        s_adc0= (round(ADC.read("P9_39"),8))*100
    time.sleep(.01)
s_adc1= (round(ADC.read("P9_40"),8))*100
    time.sleep(.01)
        s_adc2= (round(ADC.read("P9_37"),8))*100

    #for i in range(0,2):
    #    s_adc3= (round(ADC.read("P9_38"),8))*100

    #for i in range(0,2):
    #    s_adc4= (round(ADC.read("P9_33"),8))*100

    #for i in range(0,2):
    #    s_adc5= (round(ADC.read("P9_35"),8))*100

    #for i in range(0,2):
    #    s_adc6= (round(ADC.read("P9_36"),8))*100

#print "ADC P9_39 = ",s_adc0
#print "ADC P9_40 = ",s_adc1
    #print "ADC P9_37 = ",s_adc2
    #print "ADC P9_38 = ",s_adc3
    #print "ADC P9_33 = ",s_adc4
    #print "ADC P9_35 = ",s_adc5

```

```

        #print "ADC P9_36 = ",s_adc6

s_adc0=str(s_adc0)
s_adc1=str(s_adc1)
s_adc2=str(s_adc2)
s_adc3=str(s_adc3)
s_adc4=str(s_adc4)
s_adc5=str(s_adc5)
s_adc6=str(s_adc6)

w_adc=', '+s_adc0+', '+s_adc1+', '+s_adc2+', '+s_adc3+', '+s_a
dc4+', '+s_adc5+', '+s_adc6
return(w_adc)

def final():
PWM.stop("P8_13")
PWM.stop("P8_34")
PWM.stop("P8_46")
PWM.stop("P9_14")
PWM.stop("P9_21")
PWM.stop("P9_29")
PWM.stop("P9_42")
PWM.cleanup()

```