

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**SENSOR DE TEMPERATURA USANDO FIBRA ÓPTICA DE
PLÁSTICO PARA USO EN TRANSFORMADORES DE
POTENCIA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Edwin Henry Bonifacio Güere

ASESOR: Ing. Oscar Melgarejo Ponte

Lima, noviembre de 2013

RESUMEN

El control adecuado de la temperatura del medio en el que funcionan los transformadores de potencia implica la protección del equipo para evitar fallas imprevistas, de modo tal que prolongue su vida útil.

Existen sistemas de medición y control de dicha temperatura que se mantienen vigentes por mucho tiempo; sin embargo, el desarrollo de la tecnología permite encontrar nuevas formas de adquisición de valores y monitoreo de dicho parámetro.

En este caso las propiedades que tiene la fibra óptica de plástico van más allá del aprovechamiento en el área de las comunicaciones. Sus propiedades específicas hacen que podamos medir y monitorear la temperatura de una manera confiable.

Por tal motivo, en el presente trabajo de tesis se propone el diseño de un equipo aplicado a la medición y monitoreo de la temperatura interna de transformadores, usando un sensor óptico.

Para este fin, el diseño estará basado en un principio de los denominados sensores intrínsecos de fibra óptica conocido como pérdidas en la microcurvatura.

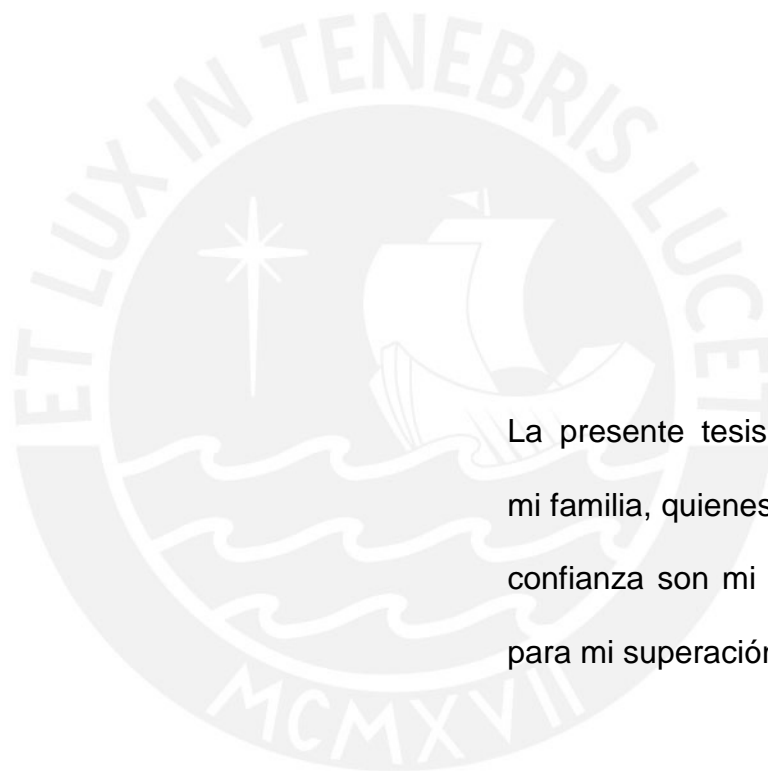
En el capítulo 1 se muestra la problemática actual de los sensores de temperatura para transformadores de potencia.

En el capítulo 2 se describe los diversos métodos de medición de temperatura para transformadores de potencia existentes, además de la descripción del sistema de medición a diseñar.

El capítulo 3 se presenta el diseño y desarrollo de las distintas partes, que integradas dan lugar a la creación del sensor de temperatura tomando como principio fundamental las propiedades de la fibra óptica.

El capítulo 4 muestra las pruebas y los resultados obtenidos luego del desarrollo del sensor.

Finalmente, presentamos las conclusiones y recomendaciones para la mejora en la obtención de datos y precisión según los resultados obtenidos.



DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mi familia, quienes con su apoyo y confianza son mi gran motivación para mi superación.

ÍNDICE

CARATULA.....	i
RESUMEN.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
INTRODUCCIÓN.....	x

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA INTERNA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	12
1.2. DECLARACIÓN DEL MARCO PROBLEMÁTICO.....	13

CAPÍTULO 2

LA TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA INTERNA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1.1. Estado del arte.....	15
2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	22
2.2.1. Definiciones operativas:.....	23

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SENSOR DE TEMPERATURA BASADO EN LOS EFECTOS DE LA MICROCURVATURA

3.1. OBJETIVOS.....	25
3.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....	26
3.3. DISEÑO DEL TRANSMISOR LASER DE POTENCIA CONSTANTE ...	27
3.4. SISTEMA DE SENSADO	29
3.4.1. Fibra óptica de plástico.....	30
3.4.2. Dimensiones de placas.....	30
3.5. SISTEMA DE RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE SEÑAL.....	31
3.6. CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL(ADC) Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL.....	34
3.7. ALIMENTACIÓN.....	39

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. PRUEBA DE TRANSMISOR LÁSER DE POTENCIA CONSTANTE....	41
4.2. PRUEBA DEL SISTEMA DE SENSADO.....	41
4.3. PRUEBA DEL SISTEMA DE RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE SEÑAL.....	42
4.4. PRUEBA DEL SOFTWARE DE CONVERTOR ANALÓGICO DIGITAL Y EL PROCESAMIENTO DE DATOS.....	43
4.5. PRUEBA INTEGRAL DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....	45
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51



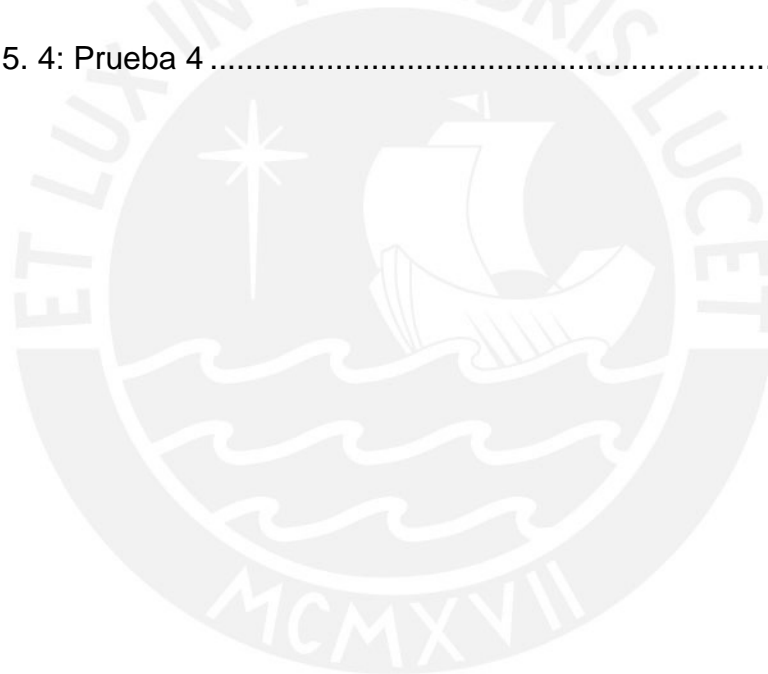
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Características de un transformador de diseño normal.....	12
Tabla 3. 1: Valores de coeficientes de dilatación y conductividad térmica....	29
Tabla 3. 2: Comparativo entre ADC dedicado y un ADC parte de un micro controlador.....	35
Tabla 3. 3: Convertidores analógico digital dedicados.....	35
Tabla 3. 4: ADC de microcontrolador.....	36
Tabla 4. 1: Resumen de datos experimentales obtenidos	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Sensor basado en el uso GaAs	17
Figura 2. 2: Relebuchholz	20
Figura 2. 3: Diagrama básico de un sensor de fibra óptica.....	22
Figura 2. 4: Sistema de sensado	23
Figura 3. 1: Diagrama de bloques del sensor de temperatura.....	26
Figura 3. 2: Transmisor láser	28
Figura 3. 3: Relación entre la atenuación y longitud de onda	30
Figura 3. 4: Relación entre el porcentaje de sensibilidad y longitud de onda	32
Figura 3. 5: Diagrama esquemático del sistema de amplificación	34
Figura 3. 6: Diagrama de bloques del programa desarrollado para la conversión de señal, muestreo y activación de la alarma a temperaturas críticas.	38
Figura 3. 7: Circuito esquemático para la conversión ADC, adecuación de señal, LCD y activación de alarma.....	39
Figura 3. 8: Regulador de voltaje LM7805.	40

Figura 4. 1: Desarrollo del sistema de sensado	42
Figura 4. 2: Desarrollo de la etapa de amplificación	43
Figura 4. 3: Desarrollo de la tarjeta ADC y procesamiento de señal.....	44
Figura 4. 4: Simulación con temperatura por debajo de la temperatura crítica	44
Figura 4. 5: Simulación con temperatura mayor a la temperatura crítica.....	45
Figura 4. 6: Desarrollo integral del sensor	46
Figura 5. 1: Prueba 1	65
Figura 5. 2: Prueba 2	65
Figura 5. 3: Prueba 3	66
Figura 5. 4: Prueba 4	66



INTRODUCCIÓN

Cuando una falla es detectada por los dispositivos de protección y control de un transformador de potencia, mediante la medición de sobrevoltaje y sobrecorriente se procede a desconectar y aislar el transformador del resto del sistema eléctrico. Sin embargo, dentro de un transformador de potencia se desarrollan ciertos fenómenos que pueden conducir a una falla, los mismos que no pueden ser detectados por los dispositivos convencionales de medición y protección, ya que dichos fenómenos no necesariamente producen sobrevoltajes y sobrecorrientes. Tales fenómenos tienen que ver con el proceso de deterioro natural por calentamiento de los componentes internos del transformador.

La necesidad de contar con técnicas específicas de medición y caracterización, impulsaron el desarrollo de varios tipos de sensores. Siendo uno de estos los sensores basados en la aplicación de las microcurvaturas en la fibra óptica, corazón de esta tesis, que son aplicadas en diferentes mediciones por su baja complejidad de desarrollo y su gran aceptabilidad en precisión.

Con la presente tesis se propone desarrollar un sensor de temperatura óptico aplicado específicamente en la medición de temperaturas en el interior de las cubas que contienen los transformadores de potencia para poder tener una monitorización permanente de este parámetro con el fin de evitar que se desarrollen procesos de falla los cuales no puedan ser detectados sino hasta situaciones críticas y poco deseadas por las cuantiosas pérdidas que pueden generar.



CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA INTERNA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El aumento de temperatura de operación en un transformador es la manifestación directa e incluso cuantificable del efecto de los agentes adversos al papel aislante en la disminución de la vida útil de la máquina. Un transformador con diseño normal estará en la capacidad de llegar hasta una temperatura máxima del aceite de 95°C, según las consideraciones mostradas en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1: Características de un transformador de diseño normal

Temperatura ambiente	30°C
Aumento de temperatura (100% de carga)	65°C
Temperatura del punto más caliente	110°C
Punto más caliente de la bobina	+15°C

Fuente: Elaboración propia

Si miramos la expectativa de vida con base en la condiciones de diseño que se muestran en la tabla 1.1. el transformador solo duraría 7.5 años.

La expectativa de vida, en la práctica, para un diseño estándar de un transformador esta en promedio entre 20 y 30 años. Sin embargo un transformador apropiadamente mantenido tiene teóricamente una vida de 412 años [1]; pero en la práctica un transformador puede durar 50 o más años si el aislamiento del papel Kraft es adecuadamente protegido. El efecto directo de la temperatura sobre el papel se cuantifica, en primer lugar, por la disminución de manera directa de su resistencia a la tracción y cuando esta ha perdido más del 50% de su valor inicial se puede afirmar que ya se ha extinguido su vida útil; y en segundo lugar por la disminución del grado de polimerización.

1.2. DECLARACIÓN DEL MARCO PROBLEMÁTICO

El principal indicador del estado de un transformador se puede apreciar en su temperatura interna, la cual puede variar por diferentes factores que se deben diferenciar. Dependiendo del tiempo de vida del transformador pueden ser ocasionados comúnmente por el desgaste de los aislamientos o por sobretensiones.

En la actualidad existen métodos que se aplican a los transformadores para calcular el tiempo de vida de los mismos en donde la temperatura es el principal factor. Dependerá de la exactitud de medición de la temperatura, la confiabilidad en el cálculo de su tiempo de vida. Los métodos de medición de temperatura son diversos; sin embargo, muchos de ellos no son precisos debido a que la precisión de las

medidas de la temperatura del aceite o los bobinados de los transformadores son afectados por el campo magnético del mismo.

Por ello la alternativa de la fibra óptica de plástico aparece como solución por las propiedades inmunes frente a un campo magnético, así como también por su bajo costo. El desarrollo eficiente de un sensor basado en la propiedad de microcurvatura de la fibra óptica dependerá principalmente de la adecuada construcción del sistema de sensado y también de reducir al máximo los efectos ocasionados por factores externos al sistema, como por ejemplo la variación en la medición generada por la inadecuada protección de la fibra óptica ocasionándole daños que generen variaciones de atenuación de la señal que viaja a través de ella.

La microcurvatura es una perturbación mecánica de las ondas guías de las fibras multimodo que causan una redistribución de la potencia de la luz en el interior de los muchos modos de la fibra. A mayor perturbación mecánica o curvatura mayor será la luz acoplada para el modo de radiación de la luz que es perdida. [2]

CAPÍTULO 2

LA TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA INTERNA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Estado del arte

a) Presentación del asunto en estudio

El uso de los transformadores en las ciudades, principalmente en las industrias, es vital debido a que con ellos podemos distribuir grandes potencias a lugares lejanos de su punto de generación variando la magnitud de su voltaje convenientemente; ya sea elevarla para su distribución así como también reducirla para operaciones seguras en equipos. La industria, el comercio y la mayoría de los principales sectores de un país nunca dejan de requerir energía eléctrica para su desarrollo, esto significa que el funcionamiento de los transformadores no se detiene.

En la actualidad la importancia de mantener un monitoreo permanente del estado de los transformadores es de suma importancia, debido a que los parámetros registrados son indicadores que nos informan acerca del estado actual del equipo para prever acciones en contra de fallas inesperadas; y más aún, nos ayudan a prolongar el tiempo de vida útil del transformador. Uno de los principales parámetros es la temperatura interna del equipo; el adecuado monitoreo de este indicador nos puede asegurar una prolongada vida del equipo.

Las principales formas de control de la temperatura interna en los transformadores son mediante termostatos, así como también el dispositivo llamado Relé Buchholz que es un método indirecto muy usado. No teniendo muchas otras alternativas confiables estos métodos con muchos años de aplicación se mantienen vigentes hasta ahora. El uso de sensores convencionales como la termocupla, por ejemplo, queda limitada debido a los efectos que ocasiona el campo magnético generado por el núcleo del transformador. Alternativas modernas han sido desarrolladas y las más resaltantes son el uso de semiconductores como el GaAs (Arseniuro de Galio) [3], así como sensores que aplican las propiedades extrínsecas e intrínsecas de la fibra óptica.

TPT-32

SENSOR DE TEMPERATURA PARA
TRANSFORMADORES REFRIGERADOS EN ACEITE



Figura 2. 1: Sensor basado en el uso GaAs [3]

Finalmente, se podrá apreciar que en la actualidad las propiedades de la fibra óptica están siendo usadas en otros ámbitos diferentes a las comunicaciones, como por ejemplo en el área de control; tal es así que estos avances nos permitirán diseñar y desarrollar un sensor aplicado específicamente a la medición de la temperatura interna de transformadores aprovechando las propiedades intrínsecas de la fibra óptica en el sistema de sensado y complementando el mismo con un adecuado procesamiento electrónico.

b) Estado de la investigación

La medición de la temperatura de los transformadores se realiza de dos formas, directa e indirecta, mencionaremos las principales:

- **Medición indirecta:**

El termostato: El elemento de medición es un medidor de presión (manómetro).

Un bulbo lleno con gas es la parte principal del sensor de temperatura que se coloca dentro del volumen al que quiere medirse la temperatura. Un fino tubo capilar conduce la presión del gas en el bulbo al manómetro, cuya escala ya ha sido calibrada en grados de temperatura.

Los gases al calentarse y enfriarse se dilatan y contraen, entonces el gas de trabajo está confinado a un volumen cerrado; por lo tanto, el efecto que se produce es el incremento y la disminución de la presión cuando aumenta y disminuye la temperatura. Para rellenar los termómetros se usan gases que se comporten lo mejor posible como gas ideal en el rango de temperaturas para el que se utilizará el termómetro, de esta forma se obtiene un comportamiento proporcional entre temperatura y presión al ser el volumen constante, por lo que las divisiones en la escala están a la misma distancia.

Estos termómetros presentan ventaja frente a los de columna de líquido, debido a que la medición puede realizarse a distancia alargando el tubo capilar. La longitud del tubo capilar tiene un límite, ya que si es muy largo, la cantidad de gas contenida en él puede ser comparable con la del bulbo e introducir errores en la medición con los cambios de

temperatura del ambiente al que está sometido el capilar. Esto significa que para que un termómetro de gases sea preciso, la cantidad de gas en el sensor debe ser muy superior a la del tubo capilar. [1]

El relé buchholz: Es una forma indirecta de control de la temperatura. La idea del relé se basa en el hecho de que en los transformadores cualquier sobrecalentamiento actúa destructivamente sobre el aislamiento de la parte donde este se produce. Como resultado de esto aparece cierta cantidad de productos de desintegración gaseosos que se desprenden con mayor o menor velocidad según la intensidad del proceso térmico. El gas formado asciende en condiciones normales y sale al aire a través del conservador de aceite.

En el camino del gas, entre la tapa de la cuba y el conservador de aceite se intercala el relé de gas que tiene la forma mostrada en la figura 2.2. En estado normal el relé está completamente lleno de aceite. Cuando en el tanque del transformador se forma gas, este se acumula en la parte superior del depósito y reduce gradualmente el nivel de aceite. Como resultado desciende un flotador, que en un momento determinado conecta el circuito con el dispositivo de señalización. Sobre la intensidad del proceso se puede juzgar por la velocidad con la que el gas se desaloja del depósito para

lo cual en la pared lateral del depósito se practica una ventanilla con graduaciones.

En el caso cuando el desprendimiento de gas tiene un carácter intenso el flujo de gas inclina el otro flotador y cierra el circuito de mando del interruptor de aceite; así el relé no solo nos advierte de las avería que nos amenaza, sino que también desconecta el transformador en caso de una avería repentina.[4]

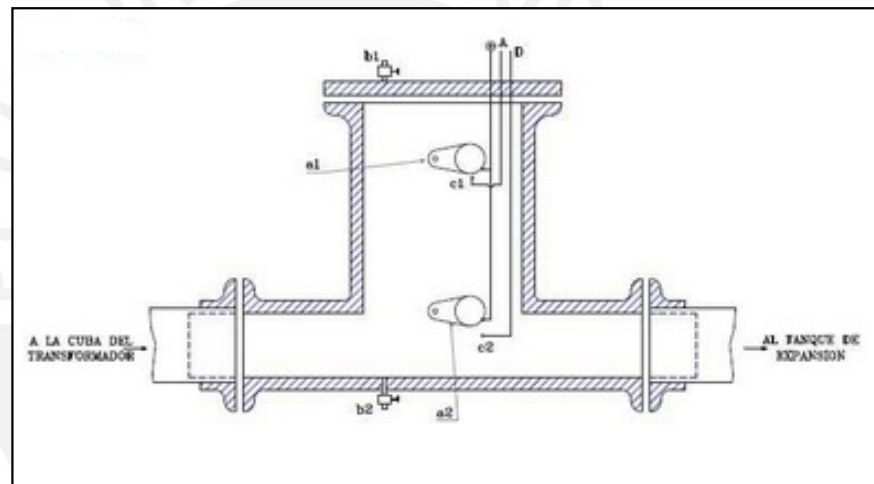


Figura 2. 2: Rele buchholz [5]

Sensores de fibra óptica: La fibra óptica está sujeta a perturbaciones de varias clases, todo cambio en su geometría afectará en mayor o menor medida la propagación de luz. En las aplicaciones de comunicaciones trata de minimizarse este efecto, pero en el caso de los sensores se favorece deliberadamente para que el cambio resultante pueda ser tomado como una medida de la perturbación externa.

En efecto, cualquier agente externo actuando sobre el dispositivo genera cambios en la transmisión luminosa funcionando como transductor de cambios de temperatura, presión, torsión, rotación o corriente eléctrica en cambios en la radiación óptica.

Cualquiera de los parámetros propios de la luz puede servir para detectar un cambio, ya sea su amplitud o intensidad, fase, frecuencia o polarización. La utilidad del sensor de fibra óptica dependerá por lo tanto de la magnitud de este cambio y de su capacidad para medirlo y cuantificarlo en forma repetitiva, confiable y precisa.

Por definición, los sensores con fibra óptica utilizan luz para medir una perturbación externa y fibra óptica para transmitirla desde la fuente hasta el detector.

La configuración general de un sensor de este tipo se muestra en la Figura 2.3 y como se puede observar en el esquema, consta de una fuente de luz, un sistema de medición y un detector óptico interconectados con fibra óptica.

En función de cómo se realice la medición de la perturbación externa se clasifican usualmente en dos grandes clases: extrínsecos e intrínsecos. [6]

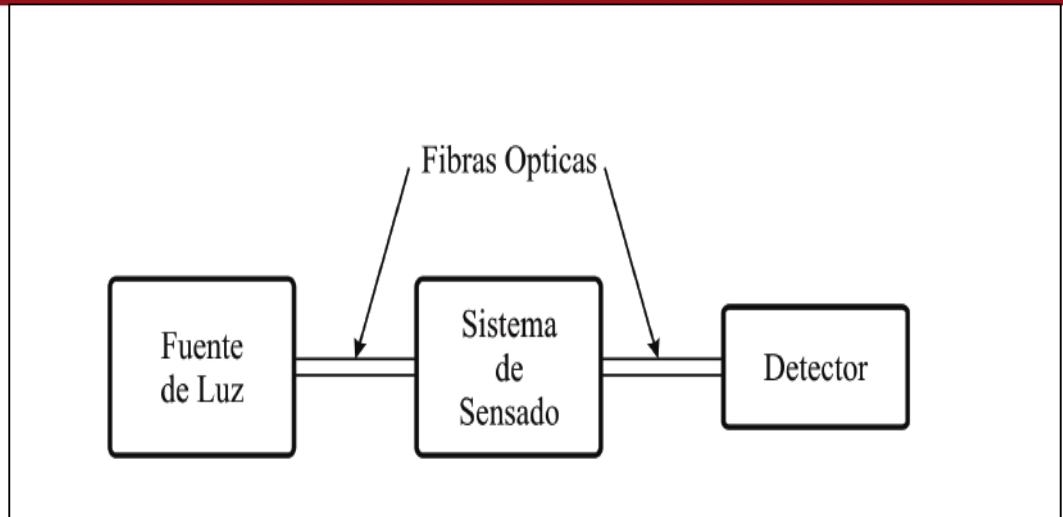


Figura 2. 3: Diagrama básico de un sensor de fibra óptica [6]

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La estructura del sensor óptico consistirá en un transmisor láser que emitirá una luz con una determinada longitud de onda que ingresará al interior de una línea de fibra óptica de plástico por donde viajará, en el camino existirá un sistema de sensado montado en parte del recorrido de la fibra óptica. En el otro extremo de la fibra óptica estará instalado un sistema de recepción de la señal que recibirá la luz para que, luego de ser convertida a variaciones de voltaje, ingrese a un procesador electrónico en donde esta será digitalizada y controlada.

El sistema de sensado estará conformado por dos piezas, una fija y la otra móvil, estas tendrán una extensión que consistirá en una varilla de aluminio con alto coeficiente de dilatación que tendrá su otro extremo fijo a las paredes del transformador. Las variaciones de presión que se originen por la variación de temperatura dentro del transformador harán

que la señal que viaja por el interior de la fibra óptica se atenúe proporcionalmente a la variación de presión.

El sistema de sensado estará montado en las paredes internas del transformador, por lo tanto estará sumergido totalmente en aceite este factor será tomado en cuenta para la construcción del chasis y su debida protección.

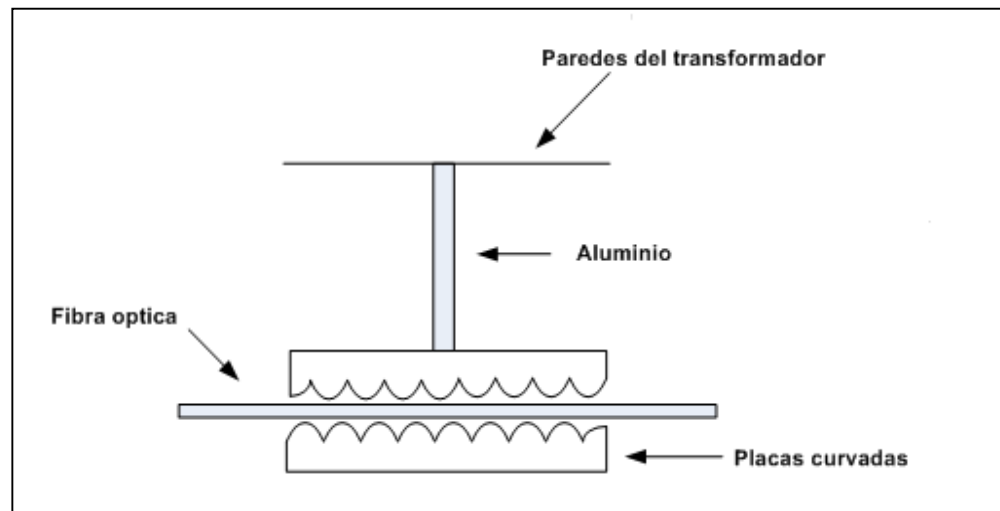


Figura 2. 4: sistema de sensado [7]

2.2.1. Definiciones operativas:

a) Indicadores Cualitativos

Eficiencia en la medición y control: Es el factor que califica el nivel de confiabilidad que se puede lograr con el desarrollo del sensor; esto dependerá de que tan buenos son los indicadores cualitativos.

b) Indicadores Cuantitativos

Nivel de Precisión: Se refiere a la exactitud de toma de datos que se puede alcanzar luego del procesamiento de la señal obtenida por el sistema de sensado.

c) Retardo del sistema de sensado

Se refiere al tiempo que se demora en reaccionar frente a una variación de temperatura en el interior del transformador.



CAPÍTULO 3

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SENSOR DE TEMPERATURA BASADO EN LOS EFECTOS DE LA MICROCURVATURA

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. Objetivos Generales

Diseñar y desarrollar un sistema de protección térmica, que mida permanentemente la temperatura interna del transformador de potencia activando una alarma cuando esta alcance el 90% de la máxima permitida, con el fin de controlar las temperaturas críticas que pueden dañar el bobinado de dichos transformadores.

3.1.2. Objetivos específicos

- Diseñar un transmisor láser de potencia constante.
- Diseñar un sistema de sensado basado en el principio de microcurvatura de la fibra óptica.
- Diseño del sistema receptor y de adecuación de señal.

- Diseño del software para conversión analógico digital y procesamiento de señal.

3.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Conociendo que existe una relación directa entre la atenuación de la luz que viaja a través de la fibra óptica y la presión ejercida por las placas dentadas por donde pasa la fibra óptica, originadas por la variación de temperatura en el interior del transformador podemos desarrollar un diagrama de bloques del sensor a diseñar y desarrollar incluyendo en esta el sistema transmisor láser, el sistema de sensado, el sistema de recepción y adecuación de señal y finalmente el sistema de conversión analógica digital así como el procesamiento de la señal. En el diagrama también se incluye la alimentación de todo el sistema.

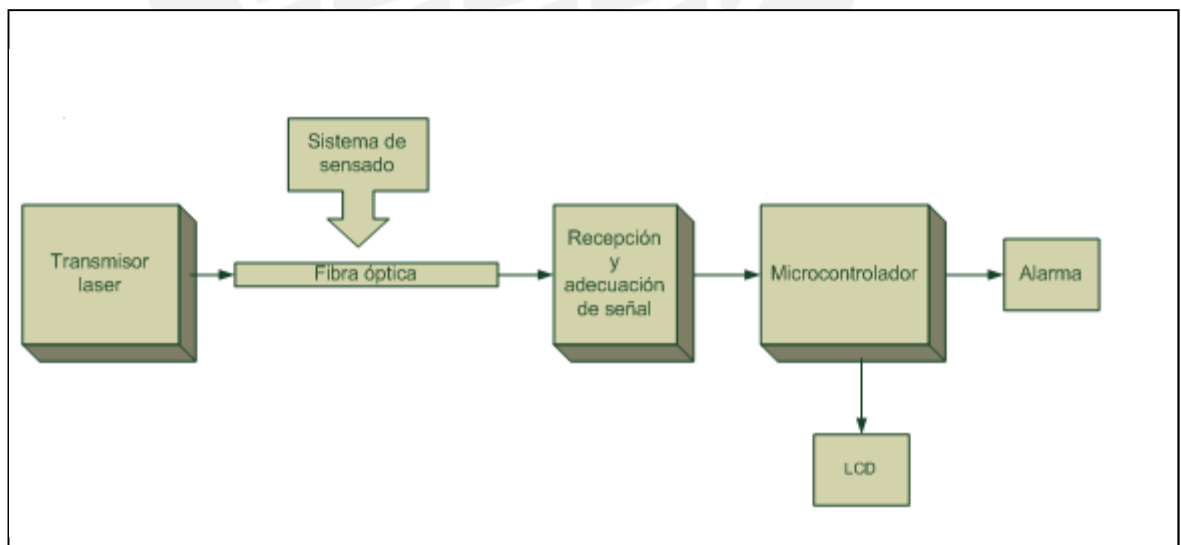


Figura 3. 1: Diagrama de bloques del Sensor de temperatura

Como se observa, la señal luminosa primero es convertida a señal eléctrica para luego ser amplificada según las características deseadas, después es digitalizada, y finalmente, es adecuada para ser mostrada y genere alertas a temperaturas críticas.

3.3. DISEÑO DEL TRANSMISOR LASER DE POTENCIA CONSTANTE

El transmisor láser es el responsable de generar un haz de luz láser a través de uno de los extremos de la fibra óptica que contiene el sensor. El requisito fundamental para este circuito es el de proveer una señal luminosa con una potencia continua y estable. De esta manera, las fluctuaciones de la potencia registradas en el otro extremo de la fibra se pueden atribuir solamente a la atenuación de la luz en el interior de la fibra óptica de plástico. Este es un problema frecuente en las diferentes aplicaciones que existe en el uso de la fibra óptica, donde solo interesa detectar las variaciones producidas por el fenómeno modulante y se busca, por lo tanto, que las variaciones intrínsecas de la fuente óptica puedan ser mínimas y como consecuencias despreciables.

Los diodos emisores de luz (LED), sufren efectos de la temperatura, así como también de envejecimiento. Por esta razón, aunque la corriente de inyección se mantenga constante la potencia óptica emitida por el LED no lo es. Por ello, se requiere el diseño de una fuente óptica estable, que cuente con los circuitos para lograr una compensación de las variaciones de la potencia óptica. Existen varios métodos para lograrlo y cada uno exige un nivel de sofisticación acorde con los

resultados deseados. Existe en el mercado LED láser modulados, que usan técnicas de estabilización para los casos en que se requiere una estabilidad aceptable, asociada con un costo relativamente bajo, estas se basan en la retroalimentación óptica de parte de la señal de la fuente. Esta técnica emplea un fotodetector que toma una parte de la luz emitida por el LED y la retroalimenta negativamente a la fuente. De esta forma, cuando por alguna razón la cantidad de potencia emitida por el LED tienda a variar, la retroalimentación emitida compensará esta variación, causando que la fuente ejerza un efecto contrario sobre la variable eléctrica (corriente o tensión) que maneja la emisión de potencia del LED.

Para el diseño usaremos como elemento emisor un LED láser modulado, el LB516. El mismo posee una longitud de emisión de 650 nm y potencia de emisión de 5 mW. En la siguiente figura se muestra una fotografía del aspecto externo del LED láser modulado elegido.

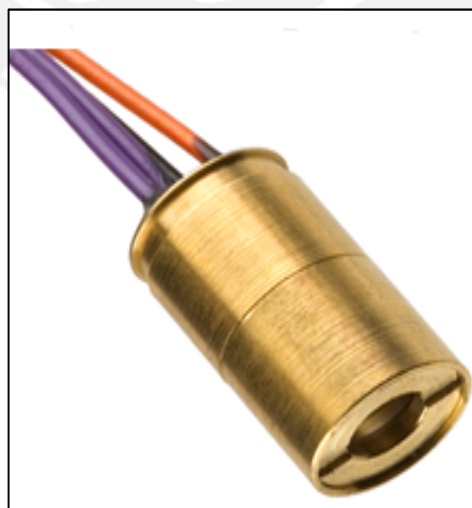


Figura 3. 2: Transmisor láser

3.4. SISTEMA DE SENSADO

Para el sistema de sensado usamos dos placas curvadas de un material de fácil maquinado, bajo costo y principalmente con baja conductividad térmica como es el teflón con la finalidad de proteger a la fibra óptica de las altas temperaturas; por el contrario las barras que unirán estas placas con las paredes del recipiente usado como prototipo del transformador se usará un material con conductividad térmica y coeficiente de dilatación alto para que así la dilatación del sistema se dé solo en el eje Y, además de que tengan una variación de longitud medible y rápida. Se conoce el alto valor de coeficiente de dilatación del aluminio y es por este motivo que se elige este material así como también por ser económico en comparación con otros materiales con características similares.

Tabla 3. 1: Valores de coeficientes de dilatación y conductividad térmica

Material	Coeficiente de dilatación($^{\circ}C^{-1}$)	Conductividad térmica ($Kcal \cdot h^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1} \cdot m^{-1}$)
Teflón	$125 \cdot 10^{-6}$	0.24
Aluminio	$24 \cdot 10^{-6}$	175

Fuente: Elaboración propia

El principio de medición se realiza aprovechando la propiedad de la fibra óptica llamada microcurvatura; las variaciones de presión que se ejercerá sobre la fibra óptica cuando esta pase entre estas placas curvadas generarán una atenuación en la luz que viaja a través de la fibra óptica.

3.4.1. Fibra óptica de plástico

La fibra óptica es la parte fundamental del sensor por lo cual tenemos que tener cuenta dos aspectos técnicos fundamentales; primeramente que su uso está limitado a 80° esto significa que la fibra se dañará si es que es doblada a ángulos mayores a este límite; así como también que la atenuación típica de la fibra es de 0.22 db/m no siendo este un problema para nuestro sistema debido a que la longitud de la fibra a usar es de 0.2m por lo que la atenuación originada por la longitud de la fibra es mínima (0.05db).

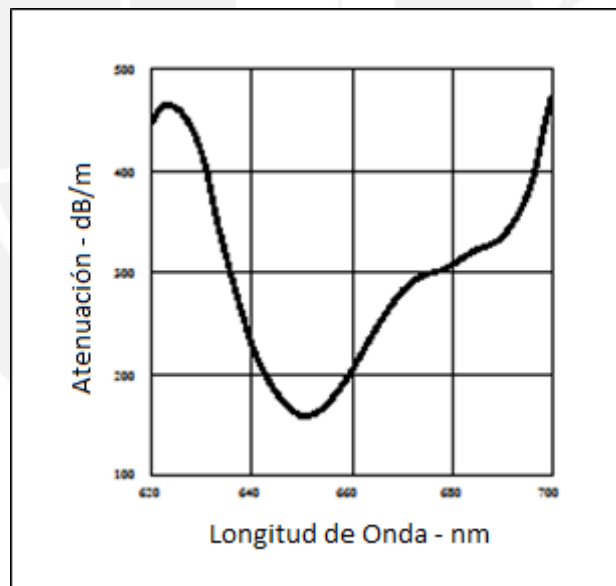


Figura 3. 3: Relación entre la atenuación y longitud de onda [8]

3.4.2. Dimensiones de placas

El rango y la precisión que se desea obtener dependerá directamente del aspecto mecánico de las placas (periodo,

separación y altura) esto se puede entender por la fórmula mostrada en la ecuación 3.1.

$$\Delta T = \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right) \Delta F \left(k_f + \frac{A_s Y_s}{l_s} \right)^{-1}$$

Ecuación 3.1: Diseño y modelamiento de las microcurvaturas [2]

T: temperatura

X: desplazamiento de deformación de las placas

F: Fuerza aplicada

A: área

Y: Modulo de Young

L: Espesor del material espaciador

3.5. SISTEMA DE RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE SEÑAL

Para poder detectar la variación de la potencia óptica producida por el sensor se empleó un circuito receptor, el cual convierte la potencia óptica en una señal de voltaje, que es proporcional a la potencia óptica que está recibiendo del sensor a través del emisor. Para la elección del dispositivo optoelectrónico y la conversión de la potencia óptica en una señal eléctrica, se debe tener en cuenta principalmente que trabajen acoplados con corriente directa: por tal motivo se buscó un dispositivo que pudiese operar en el rango de intensidad y longitud de onda proporcionadas por el LED láser emisor. Las posibilidades eran escoger un fotodiodo o un fototransistor. El primero posee una respuesta dinámica muy rápida pero su sensibilidad es muy baja

respecto a un fototransistor. En la figura 9 se muestra la curva de respuesta en función de la longitud de onda del fototransistor elegido ST1KLA, donde se puede observar que a 840 nm la sensibilidad decrece sólo un 5% respecto a la sensibilidad máxima.

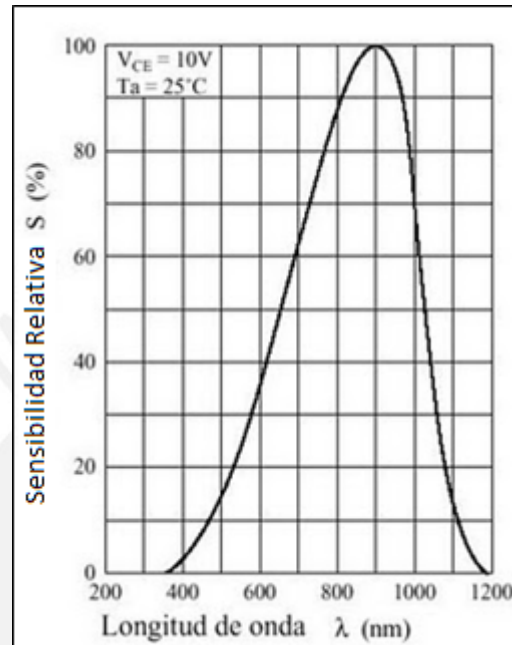


Figura 3. 4: Relación entre el porcentaje de sensibilidad y longitud de onda [10]

Con el circuito de polarización empleado y en estado de reposo, es decir; cuando no está recibiendo señal óptica, el fototransistor proporciona una salida de tensión colector-emisor de 50 mV en promedio. Dado que la hoja de datos suministradas por el fabricante no proporciona información acerca de la sensibilidad del dispositivo en función de la potencia óptica, se procedió a medir la misma. Utilizando la fuente óptica desarrollada, se midió el rango de variación de tensión colector-emisor a la salida de los sensores para el intervalo de temperatura de trabajo. Esto resultó, en promedio, entre 60 mV y 20 mV. Esto depende del sensor empleado, ya que no todos proveen el

mismo nivel de atenuación en la señal óptica a causa de pequeñas diferencias propias del proceso de fabricación. Además, existen diferencias en el grado de acoplamiento óptico entre la fibra óptica y el fototransistor. Observamos así una variación de 30mV entre el máximo y mínimo valor, primeramente con respecto a tierra llevamos esta variación a un rango de 0 V para el mínimo valor y 30mV para un máximo y así luego amplificar este nuevo rango. Se utilizó, por lo tanto, un circuito amplificador en configuración restador para la salida del receptor, con control de nivel de corriente DC (offset). El circuito necesitará de una ganancia de 250 a la señal proveniente del fototransistor y además corregir el nivel de voltaje de offset, mediante el ajuste del valor de resistencia de un potenciómetro de precisión. Esto último para lograr que la salida del circuito sea de 0V cuando la entrada luminosa sea de 0 μ W. Por lo tanto, con los valores de ganancia del circuito, el circuito del termómetro tendrá una sensibilidad (promedio) de 20 mV/°C para el intervalo de temperaturas de interés (desde 0°C a 255°C).

Teniendo en cuenta estos requerimientos el amplificador elegido fue el LM741, un amplificador que puede generar la ganancia requerida y trabajar en la configuración de restador para llevar los valores a la salida del colector al rango de variación de 0 a 30 mV.

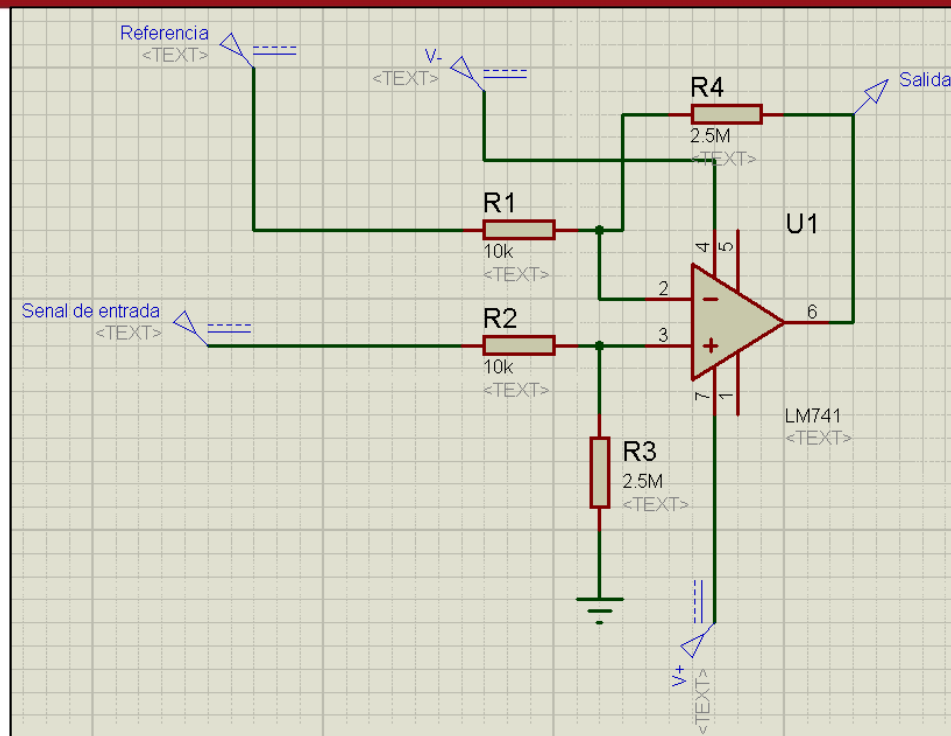


Figura 3. 5: Diagrama esquemático del sistema de amplificación

La salida de este circuito se envía a la etapa siguiente. Este cable tiene una longitud aproximada de 0.2 m, por lo que no representa un inconveniente en cuanto a la carga capacitiva.

3.6. CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL(ADC) Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL

La salida de la etapa de anterior de adecuación de señal es idealmente de 0 a 5V, no hay un diferencial de potencial negativo, por lo que la entrada puede ir directamente al ADC. Con la señal acomodada podemos digitalizarla, para ello tenemos como requerimientos en esta etapa:

- Señal de entrada debe ser positiva, en este caso ya contamos con una señal positiva comprendida entre 0 y 5 voltios.
- Debe tener una precisión de al menos 20mV, lo cual nos da 255 valores posibles, por lo que el ADC debe tener una resolución mayor o igual a 8 bits.

A continuación presentamos un cuadro comparativo entre la utilización de un convertidor analógico a uno digital integrado dedicado y utilizar el que ya viene incorporado en un micro controlador.

Tabla 3. 2: Comparativo entre ADC dedicado y un ADC parte de un micro controlador.

ADC	ADC de un micro controlador
Comúnmente necesita señal de Reloj externa.	Cuenta con señal de Reloj interna.
Comúnmente salida en paralelo.	Cuenta con salida serial o paralelo.
Opción de tener alta resolución y frecuencia de muestreo.	No llegan a tener tanta resolución como podría llegar un ADC dedicado, comúnmente entre 8 y 10 bits.

Tabla 3. 3: Convertidores analógico digital dedicados.

ADC	Fabricante	Resolución	Fs	salida	CLK interno	Precio Unit \$ (Digikey)
AK5394A	AKM	24 bits	192KHz	serial	no	14.3
AK5393	AKM	24 bits	96KHz	serial	no	27.966
ADC804	Philips	8 bits	40MHz	paralelo	si	3.483

Tabla 3. 4: ADC de microcontrolador.

Micro controlador	Resolución	canales	Fs por defecto	Entrada ADC	Precio Unitario S/. (Local)	Precio Unitario \$ (Digikey)
Atmega8L	10 bits	8	200 KHz	0 - 5V	12	3.32
Pic16f84	10 bits	8	–	0 -5V	–	6,44

Como podemos observar en los cuadros anteriores, al usar un ADC integrado podemos obtener una mayor frecuencia de muestreo y mayor resolución, pero necesitaríamos agregar más componentes para entregarle una señal de reloj y poder convertir la salida de paralelo a serie; y si utilizamos los que ya cuentan con ello, se puede elevar los costos hasta 27\$ cada uno. Por esas razones se opta por la utilización del ADC que viene incorporado en un microcontrolador, con ello podemos obtener una salida serial, cuenta con un reloj interno y a un precio mucho menor.

Siendo este el caso, como observamos en el Cuadro 4, los microcontroladores mostrados cumplen con los requisitos, y escogemos utilizar el microcontrolador ATMEGA8L, debido a su menor precio, además de que ya se tiene experiencia utilizando el conversor A/D de dicho microcontrolador.

El conversor A/D del ATMEGA8L, cuenta con 6 canales, de los cuales los 4 primeros (canal 0 al 3) son de 10 bits, y los 2 últimos (canal 4 y

5) son de 8 bits. En este caso utilizaremos el canal 4, por lo que obtenemos el resultado de la conversión usando la ecuación 3.2.

$$ADC = \frac{V_{IN} \times 256}{V_{REF}} \quad [12]$$

Ecuación 3.2: Cálculo del valor digital para una determinada entrada

Tomando como referencia el VCC ($V_{ref} = 5 \text{ V}$), Hallar el valor de un LSB a partir de la ecuación 3.3.

$$LSB = \frac{V_{REF}}{2^n}$$

Ecuación 3.3: Cálculo del valor menos significativo

Tomando en cuenta que $n=8$, obtenemos un $LSB = 19.53 \text{ mV}$, lo que cumple con el último requerimiento que es tener una precisión de al menos 20 mV .

La programación realizada del microcontrolador incluirá la conversión analógica digital basados a los requerimientos planteados líneas arriba, así como también la adecuación de la señal basada en obtener un determinado valor de BIT relacionado directamente con la temperatura actual medida. Las salidas del microcontrolador serán a través del uso de sus puertos de salida: b, c y el d. El puerto b estará íntegramente conectado a la transmisión de datos del microcontrolador hacia el LCD y tres bits más del puerto c que nos servirán para el control del LCD; a través de este último se podrá visualizar permanentemente la temperatura del transformador en

tiempo real. Solo un BIT del puerto d será usado para la activación de la alarma contra altas temperaturas, cabe resaltar que el valor mínimo para la activación de la alarma será previamente definida en la programación.

El detalle del desarrollo del programa está incluido en el anexo del presente documento.

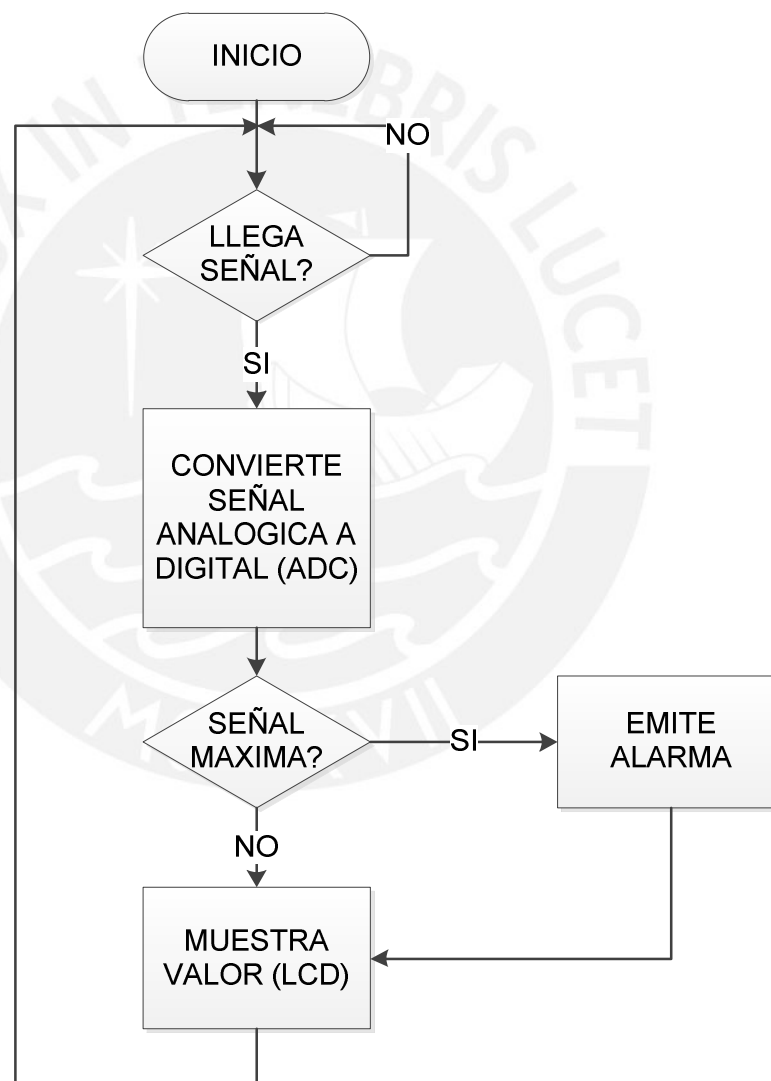


Figura 3. 6: Diagrama de bloques del programa desarrollado para la conversión de señal, muestreo y activación de la alarma a temperaturas críticas.

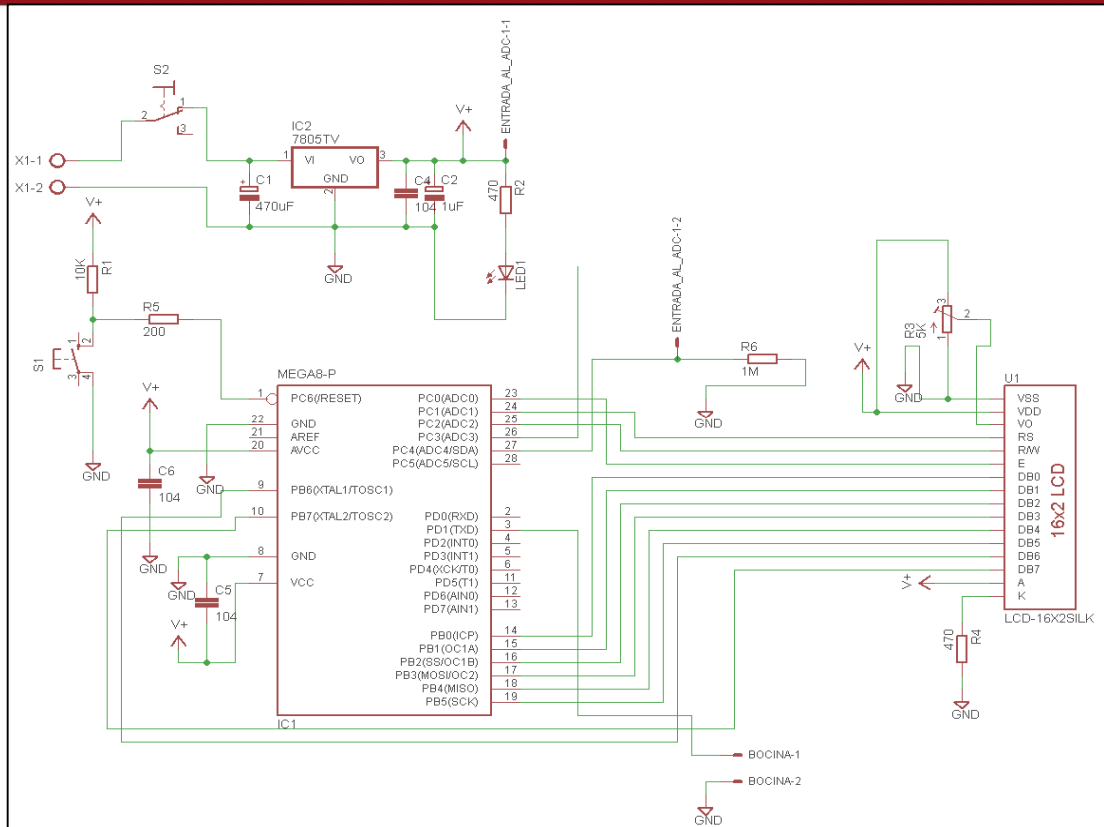


Figura 3. 7: Circuito esquemático para la conversión ADC, adecuación de señal, LCD y activación de alarma

3.7. ALIMENTACIÓN

La necesidad de usar amplificadores operacionales hace que requiramos una alimentación positiva y negativa, por esta razón para la alimentación del sistema se elige usar dos baterías de 9V que con un arreglo de conexión nos genere la alimentación positiva y negativa, siendo esta última solamente necesaria para la alimentación del amplificador operacional; la parte positiva alimentara todo el sistema comprendido por las dos tarjetas diseñadas para el microcontrolador y para la amplificación de señal.

Ante una caída de la tensión entregada por la batería, se elige utilizar el regulador de voltaje LM7805, que tiene una caída alrededor de 1.5 V; con ello aseguramos la alimentación del sistema a 5V aunque la tensión de la batería caiga unos voltios. El transmisor láser por la necesidad de estar alejado de todo el sistema será alimentado independientemente por una batería de 5V.

Se tendrá en cuenta también el consumo de potencia de todo el sistema, para cuantificar la duración en horas de las baterías, antes de que fallen y que pongan en peligro el sistema de protección.

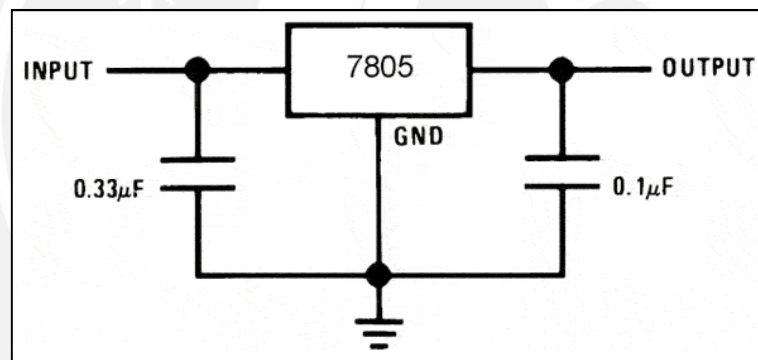


Figura 3. 8: Regulador de voltaje LM7805. [14]

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas fueron realizadas por etapas, luego de obtener resultados favorables en cada etapa se integró el sistema y se realizaron las pruebas del sistema completo.

4.1. PRUEBA DE TRANSMISOR LÁSER DE POTENCIA CONSTANTE

Con la aplicación del diseño de la fuente de luz continua obtenemos una intensidad de luz aproximada de 650Nw el cual se encuentra en el rango permitido de recepción del fototransistor que se usa en la siguiente etapa.

4.2. PRUEBA DEL SISTEMA DE SENSADO

Los materiales elegidos en el diseño del sistema de sensado como el aluminio y el teflón fueron bastante moldeables tal es así que la forma

dentada y las barras de aluminio se maquinaron con relativa facilidad siguiendo las dimensiones del diseño.

Los resultados de la presión ejercida por las placas con relación al grado de atenuación de la luz en el interior de la fibra óptica fueron favorables siendo estos directamente proporcionales y aproximadamente lineales, pudiéndose mejorar la precisión con un mejor acabado de las piezas maquinadas.

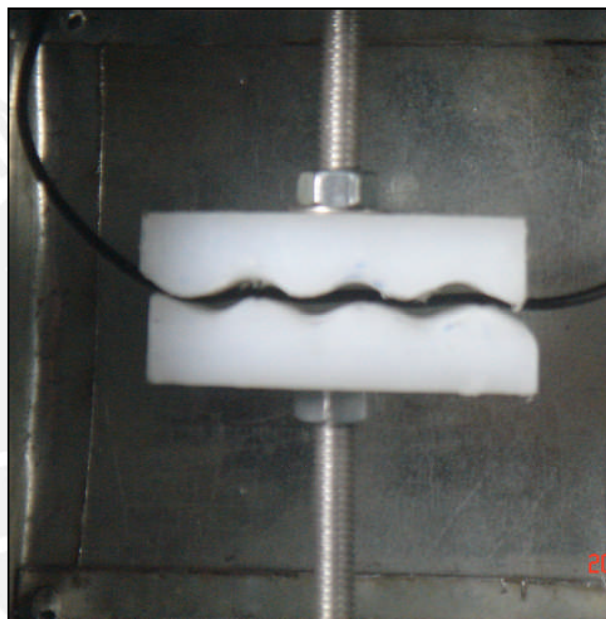


Figura 4. 1: Desarrollo del sistema de sensado

4.3. PRUEBA DEL SISTEMA DE RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE SEÑAL

Con el uso del fototransistor ST1KLA elegido en el diseño podemos obtener en las pruebas a la salida del colector un máximo de 4.970 V con respecto a tierra con la intensidad constante de la fuente y sin atenuación de la luz en el interior de la fibra óptica; a medida que esta intensidad se reduce por efecto de la atenuación de la luz y llegando a

un máximo de atenuación permitido por la máxima presión de las placas el mínimo voltaje que recibe es de 4.950V con respecto a tierra obteniendo entonces un rango de variación de 20 Mv. Según el diseño con el uso de un amplificador en configuración restador logramos obtener a la salida del amplificador esta misma variación en un rango más amplio de 0 a 5V siendo esta señal la que pasará a la etapa de conversión analógica digital y luego al procesamiento de la señal contenida en el microcontrolador.

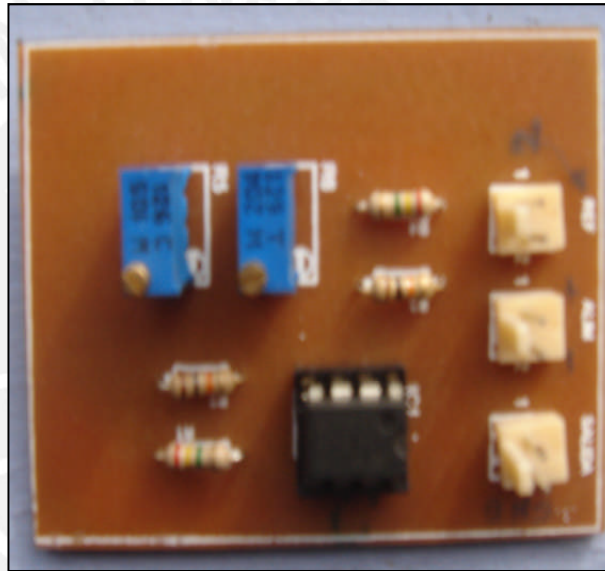


Figura 4. 2: Desarrollo de la etapa de amplificación

4.4. PRUEBA DEL SOFTWARE DE CONVERSION ANALÓGICO DIGITAL Y EL PROCESAMIENTO DE DATOS

Los resultados fueron simulados con diferentes valores dentro del rango de entrada al microcontrolador obteniendo satisfactoriamente valores de temperatura mostradas en el display además de la activación de la señal de alarma a la temperatura programada.

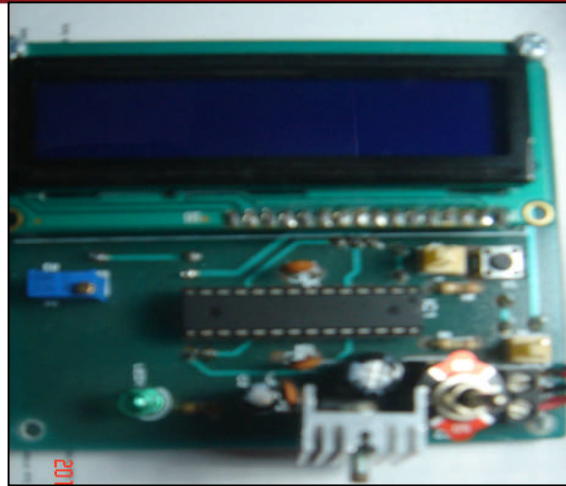


Figura 4. 3: Desarrollo de la tarjeta ADC y procesamiento de señal

La simulación realizada por el programa verifica el funcionamiento óptimo del software desarrollado. Configurando en el programa como temperatura crítica el valor de 90°C podemos observar en la figura 4.4 que para una temperatura simulada de 37°C la alarma del sistema esta desactivada (LED del panel de control desactivado).

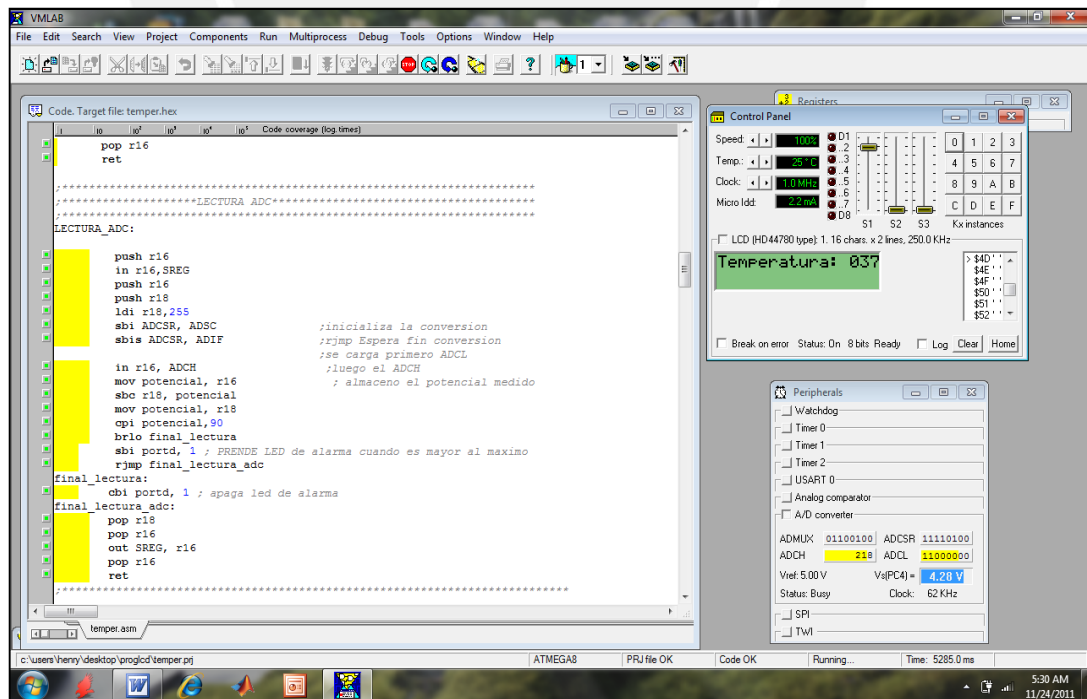


Figura 4. 4: Simulación con temperatura por debajo de la temperatura crítica

En la figura 4.5 se configura en el programa un valor de temperatura mayor a la temperatura crítica del transformador observando la activación de la alarma representado por el encendido del LED en el panel de control.

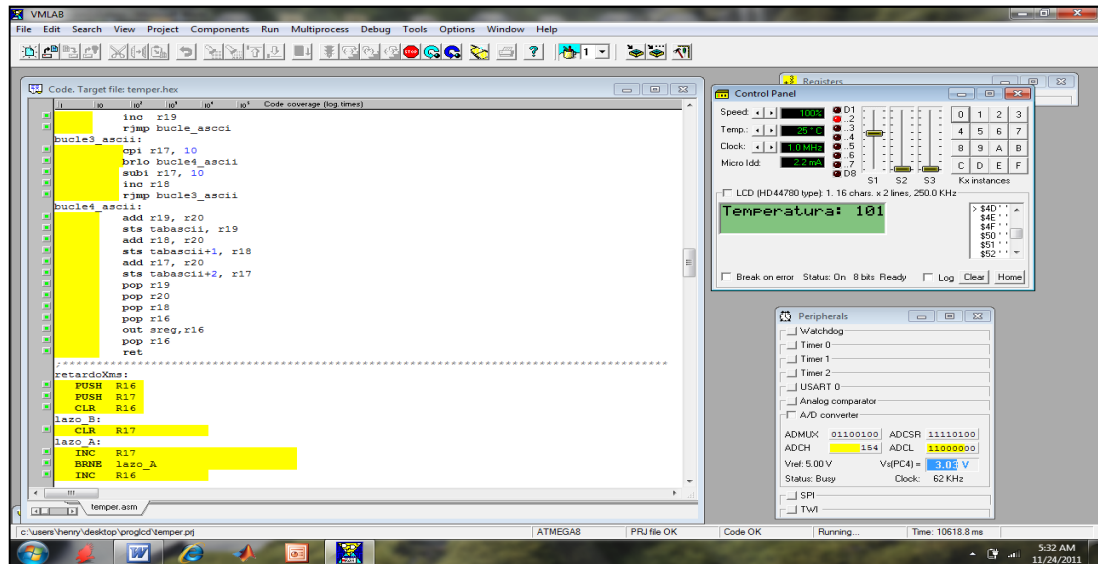


Figura 4. 5: Simulación con temperatura mayor a la temperatura crítica

4.5. PRUEBA INTEGRAL DEL SENSOR DE TEMPERATURA

En la figura 4.6 se muestra las diferentes partes que componen el sensor conjuntamente con el prototipo del transformador diseñado para hacer las pruebas finales.

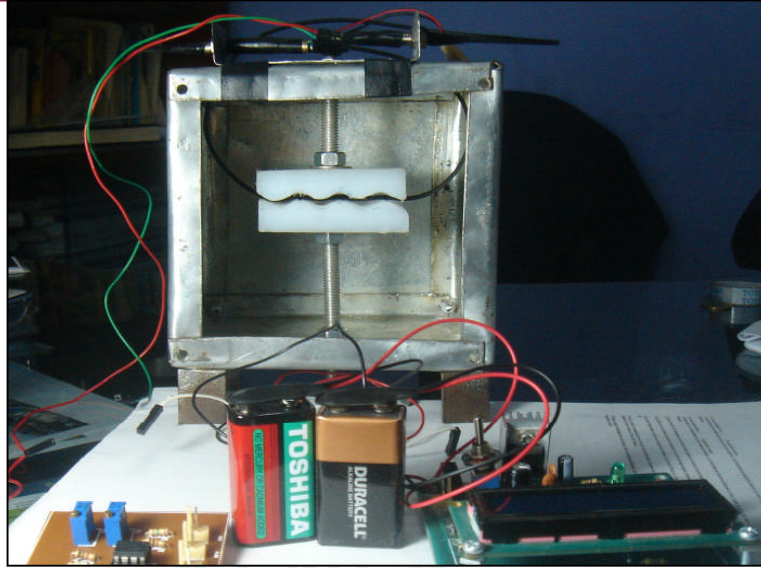


Figura 4. 6: Desarrollo integral del sensor

Al realizar las pruebas con el sensor debidamente calibrado, ya sea regulando la presión inicial ejercida por las placas curvadas a la fibra óptica o regulando la señal de referencia en la etapa de restador amplificador y además de mantener todo el sistema mecánico debidamente asegurado para aislar variaciones de atenuación de la luz ajenas a las originadas por la variación de presión se obtuvo los resultados que presentamos resumidos en la tabla 4.1.

Tabla 4. 1: Resumen de datos experimentales obtenidos

Prueba	Temperatura real(°C)	Temperatura medida (°C)	Tiempo de respuesta (seg)	Error de medición (%)
1	24.6	26	65	5.38
2	26.1	27	55	3.33
3	38	39.5	33	3.80
4	41	42.8	76	4.21
5	48.9	48	34	1.88
6	54	57.3	43	5.76
7	58	59.4	29	2.36
8	61	62.5	34	2.40
9	64	67.1	51	4.62
10	71.3	75.8	41	5.94
Promedio			46.1	3.97

El anexo 2 presenta fotos de algunas pruebas de mediciones realizadas por el sensor en tiempo real luego de su calibración y verificamos sus valores obtenidos con un termómetro láser debidamente calibrado marca EXTECH modelo 42509 con un rango de medición de -50°C a 538°C y una precisión de $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ en el rango de 0 a 100°C

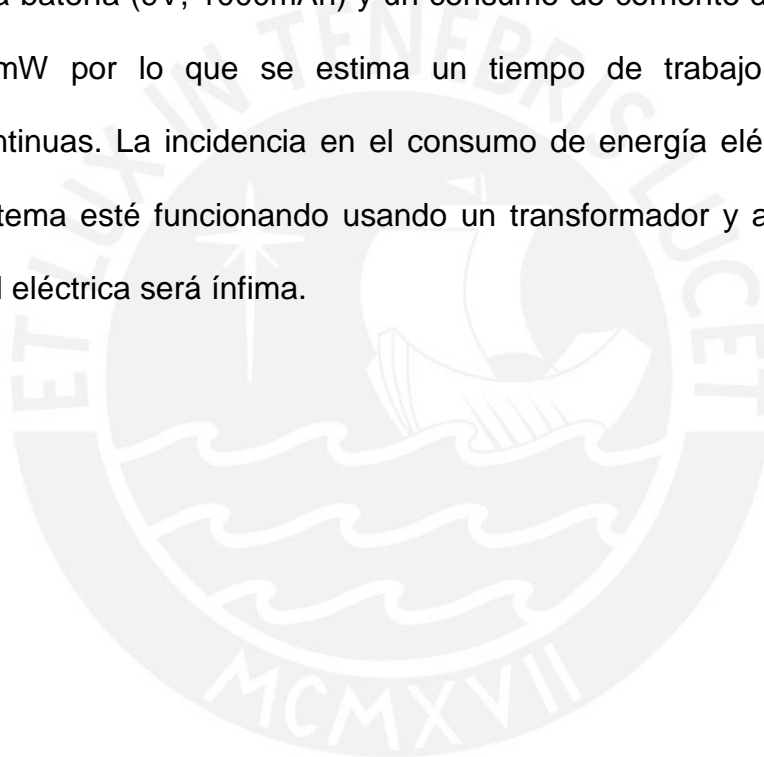
El anexo 3 presenta un cuadro de costos de los principales componentes que permitieron el desarrollo del sensor.

CONCLUSIONES

1. El tiempo de respuesta promedio del sensado de temperatura en el área refrigerante del transformador según los datos obtenidos es de 46.1 segundos por lo que observamos que la respuesta del sistema es lenta no siendo este factor muy relevante debido a que el cambio de temperatura es también lento.
2. Según los resultados obtenidos tenemos un promedio de error de 3.97% siendo este valor referencial con respecto a las temperaturas registradas por el instrumento patrón utilizado como referencia para el contraste (Ver especificaciones técnicas Cap. 4 punto 4.5); por lo que podemos concluir que el sistema de medida cumple con el objetivo propuesto en la tesis (+/- 10%).
3. Es de alta importancia el cuidado en el desarrollo de la parte mecánica del sensor (placas dentadas que originan la atenuación de la señal luminosa y los conectores del emisor, receptor de señal), siendo esta notoriamente influyente en la precisión de los datos a obtener (Ver Cap.2 Sensores de fibra óptica, descripción del sistema y Cap.4 punto 4.2); es recomendable adquirir conectores estándares del tipo ST para cable de

fibra óptica para los dos extremos, de modo que se reduzcan errores causados por factores externos.

4. El consumo de potencia para el prototipo diseñado alimentado por una batería (9V, 1000mAh) y un consumo de corriente de 3mAh es de 27mW por lo que se calcula un tiempo de trabajo del sistema de aproximadamente 334 horas continuas.
5. El consumo de potencia para la alimentación del diodo LED láser con una batería (9V, 1000mAh) y un consumo de corriente de 8.3mAh es de 75mW por lo que se estima un tiempo de trabajo de 125 horas continuas. La incidencia en el consumo de energía eléctrica cuando el sistema esté funcionando usando un transformador y alimentado de la red eléctrica será ínfima.



RECOMENDACIONES

Para reducir el error en las mediciones obtenidas y por consiguiente el mejoramiento del sensor, se deberá tomar en cuenta:

1. La importancia de la fidelidad de los componentes a utilizar como por ejemplo; el uso de resistencias de precisión en lugar de las convencionales de carbón teniendo los primeros una variación de solo 1% a diferencia de los últimos que llegan a variar hasta un 5%.
2. Cuidar que los componentes no introduzcan ruido en el sistema, sobre todo en la etapa de emisión y recepción de señal, debido a que las señales son de baja energía se debe prever el comportamiento lineal de los componentes, además para el problema del ruido es importante cuidar el ancho y longitud de las pistas del circuito impreso.
3. La elección del amplificador no fue la óptima, con un presupuesto mayor el sensor podrá reducir su error reemplazando el usado por la utilización de amplificadores de instrumentación, debido a que ofrecen una alta impedancia de entrada, alto CMRR, y bajo ruido específicamente el INA121 teniendo un costo en el mercado de 35 nuevos soles.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2009/11/proteccion-buchholz.html> Última fecha de acceso 22/05/2011.
- [2] <http://www.sabelotodo.org/termicos/medirtemperatura.html> Última fecha de acceso 17/05/2011.
- [3] Datasheet “Plastic optical fiber cable HFBR-RXXYYY” Agilent technology
- [4] Fidanboylu, K., “Fiber Optic Sensor And Their Applications”, 5to Simposium de Avances Tecnológicos, Mayo 2009 Turkia.
- [5] Jayaprakash A., “Incipient Fault Deteccion in transformers using fiber optic microbend sensors”, Colegio de Ingenieros de Coimbratore India.
- [6] Datasheet “Phototransistors ST1KLA” Kodenshi Corp.
- [7] Ernesto Gallo Martínez, Diagnostico y mantenimiento a transformadores en campo, Bogota 2010
- [8] “Sistemas digitales, manual de laboratorio” pontificia universidad católica del Perú.
- [9] Datasheet “Voltage regulator LM7805”, National semiconductor
- [10] Yadav D., “Sensor and Transducer”, Revista de sensores y transductores, Vol 84 pp 1651-1659, Octubre 2007.

- [11] Corke M., Gillham F, Hu A., Stowe D.W., Sawyer L. Fiber Optic Pressure Sensors Employing Reflective Diaphragm Techniques. En Fiber Optic and Laser Sensors VI. Boston USA 1988.
- [12] M.P. Kostenko, Maquina Eléctricas, Editorial MIR Moscu 1975.
- [13] John W. Berthold III, Journal of Light wave Technology, Vol 13 No7, Julio 1995
- [14] <http://www.fiso.com/transformers/> Ultima fecha de acceso 28/04/2011.





ANEXOS

ANEXO 1: PROGRAMA DEL ATEMEGA 8

```

; *****
;
; basic .asm template file for avr
; *****

.include "c:\vmlab\include\m8def.inc"

.def instruccion=r16
.def dato=r19
.def potencial=r17
.def cont=r20

.dseg
.org $60
tabascii:
.byte 3
.cseg
.org $00
rjmp inicio
.org $006
; *****
; *****programaprincipal*****
; *****
inicio:

ldi r16, high(ramend)      ; stack pointer al final de la ram
out sph, r16
ldi r16, low (ramend)
out spl, r16
rcall config_puertos      ; rutina que configura puertos e/s
rcall configura_lcd
rcall config_adc          ; rutina que configura adc
rcall config_tmr1        ; rutina que configura temporizador timer1
clr r16
sbi adcsr,aden           ;inicializa _osición__

medir:
        in r16, tifr      ; sondea ocf1a
        andi r16, $10     ; espera que sea 1

```

```

cpi r16, $10
brne medir
in r16,tifr
ori r16,$10 ; se pone a = el bit ocf1a
out      tifr, r16
rcall lectura_adc ; se obtiene el potencial medido
rcall retardo5xms
rcall retardo5xms

```

```
rcall retardo5xms
```

```
rcallascii; guarda los valores listos para mostrar en 3 bytes de la memoria
```

```
rcall mensaje2
```

```
rjmp medir
```

```

.*****
;
.*****_osición___ón puertos e/s*****
;
.*****
;

```

```
config_puertos:
```

```
push r16
```

```
ldi r16,$ff ;configuramos las salidas para el ldc
```

```
out ddrb,r16
```

```
ldi r16,0b00000111
```

```
out ddrc,r16
```

```
ldi r16, $01 ; pulsador en pull up
```

```
out portd, r16
```

```
ldi r16, $02 ; configuramos la entrada de los pulsos, pd0 pulsador y pd1
```

```
salida de led
```

```
out ddrd, r16
```

```
cbi portd, 1
```

```
pop r16
```

```
ret
```

```

.*****
;
.*****_osición___ón del adc*****
;
.*****
;

```

```
;canal _osición___ó: pc0 ; modo de _osición__: unica;
```

```

;factor de divisi[on del pre-escalador: 4; ajuste del resultado: izquierdo;
;voltaje de referencia:avcc
;*****
;
config_adc:
push r16

        ldi r16,0b01100100    ; mux3:0 = 0000: canal 0
        out admux, r16        ; refs1:0 =01 : avcc
                                ;adlar= 1 ajuste a la izquierda
        ldi r16, (0<<aden|0 <<adsc| 0<<_osi | 0 <<adif | 0<<adie |
0<<adps2|1 << adps1 | 0<< adps0) ;
        ldi r16,,0b00000010    ; _osi = 0: modo _osición__ unica
        out adcsr, r16         ; adps2:0= 010: pre escalador 4
        pop r16
        ret

;*****
;
;*****_osición__ón timer1*****
;*****
; se configura el timer1 de 16 bits para que realice una cuenta de 60 segundos
;*****
;
config_tmr1:

        push r16
        push r17
        ldi r16,(0<<com1a1 | 0<<com1a0 | 0<<wgm11 | 0<< wgm10 )
        out tccr1a , r16 ; modo ctc
        ldi r16, (0<<wgm13 | 1<<wgm12 | 0<<cs12 | 0<< cs11 | 1<< cs10 ) ;
sin preescalamiento
        out tccr1b, r16
        ldi r17, $4e           ; valor de registro ocr1a: 78 ($4e20)
        ldi r16, $20
        out ocr1ah, r17        ; (1us)x(20000)= 20ms
        out ocr1al, r16        ; 20ms

        pop r17
pop r16

        ret

```



```

.*****
,
.*****|lectura adc*****
,
.*****
,

lectura_adc:

push r16
in r16,sreg
push r16
push r18
    ldi r18,255
sbi adcsr, adsc          ;inicializa la _osición__
    sbis adcsr, adif      ;rjmp espera_fin_conversion
;se carga primero _osi
    in r16, adch          ;luego el adch
    mov potencial, r16    ; almaceno el potencial medido
    sbc r18, potencial
    mov potencial, r18
    cpi potencial,200
    brlo final_lectura
    sbi portd, 1 ; prende led de alarma cuando es mayor al maximo
    rjmp final_lectura_adc

final_lectura:
    cbi portd, 1 ; apaga led de alarma
final_lectura_adc:
pop r18

    pop r16
    outsreg, r16
    pop r16
    ret

.*****
,
.*****convertimos a _osición visible*****
,
.*****
,

ascii:
push r16

```

```
in r16, sreg
push r16
push r18
push r20
push r19
ldi r18, 0
ldi r19, 0
ldi r20, 48
bucle_ascii:
cpi r17, 100
brlo bucle3_ascii
    subi r17, 100
inc r19
    rjmp bucle_ascii
bucle3_ascii:
cpi r17, 10
    brlo bucle4_ascii
    subi r17, 10
inc r18
    rjmp bucle3_ascii
bucle4_ascii:
add r19, r20
sts tabascii, r19
add r18, r20
sts tabascii+1, r18
add r17, r20
sts tabascii+2, r17
pop r19
pop r20
pop r18
pop r16
out sreg,r16
pop r16
ret
```

```
.*****
,
```

retardoxms:

```
    push r16
    push r17
    clr  r16
```

lazo_b:

```
    clr  r17
```

lazo_a:

```
    inc  r17
    brne lazo_a
    inc  r16
    cpi  r16,60
    brne lazo_b
    pop  r17
    pop  r16
    ret
```

retardo5xms:

```
    push r17
    ldi  r17,0
```

lazo_retardo:

```
    rcall retardoxms
    inc  r17
    cpi  r17,5
    brne lazo_retardo
    pop  r17
    ret
```

escribei:

```
    push r17
    ldi  r17,0b000
    out  portc,r17
    ldi  r17,0b001
    out  portc,r17
    out  portb,r16
    ldi  r17,0b000
    out  portc,r17
    ldi  r17,0b100
```

```
    out    portc,r17
    pop    r17
    ret
escribed:
    push  r16
    push  r17
    ldi   r16,0b010
    out   portc,r16
    ldi   r16,0b011
    out   portc,r16
    out   portb,r17
    ldi   r16,0b010
    out   portc,r16
    ldi   r16,0b100
    out   portc,r16
    pop   r17
    pop   r16
    ret
esperabf:
    push  r16
    push  r17
    ldi   r16,0
    out   ddrb,r16
lecturabf:
    ldi   r16,0b100
    andi  r16,0b00000111
    out   portc,r16
    ldi   r16,0b101
    andi  r16,0b00000111
    out   portc,r16
    nop
    in    r17,pinb
    ldi   r16,0b100
    andi  r16,0b00000111
    out   portc,r16
```

```

andi r17,0b10000000
cpi r17,0
brne lecturabf
ldi r16,$ff
out ddrb,r16
pop r17
pop r16
ret

```

```

,*****
,

```

```

_posición__lcd:

```

```

push r16
push r17
rcall retardoxms
ldi r16,$30
rcall escribei
rcall retardoxms
ldi r16,$30
rcall escribei
rcall retardoxms
ldi r16,$30
rcall escribei
rcall retardoxms
ldi r16,$38
rcall escribei
rcall esperabf
ldi r16,8
rcall escribei
rcall esperabf
ldi r16,1
rcall escribei
rcall esperabf
ldi r16,6
rcall escribei
rcall esperabf
ldi r16,$0c

```

```
rcall escribei
rcall esperabf
pop r17
pop r16
ret
```

```
.*****
;
```

```
mueve_cursor1:
```

```
push r16
push r17
rcall esperabf
ldi r16,$8d ;mando a la _osición 14 primera linea
rcall escribei
rcall esperabf
pop r17
pop r16
ret
```

```
mueve_cursor2:
```

```
push r16
push r17
rcall esperabf
ldi r16,$cd ;mando a la _osición 14 segunda linea
rcall escribei
rcall esperabf
pop r17
pop r16
ret
```

```
.*****
;
```

```
mensaje2:
```

```
push r16
push r17
rcall esperabf
ldi r16,$80 ;mando a primera lina
```

```
rcall escribei
rcall esperabf
ldi zh,high(mensaje2a*2)
ldi zl,low(mensaje2a*2)
ldi r16,0
```

leer_linea2a: ; escribe el mensaje

```
rcall esperabf
lpm r17,z+
rcall escribed
```

```
inc r16
cpi r16,13
brne leer_linea2a
rcall esperabf
rcall mueve_cursor1
lds r17, tabascii
rcall escribed
rcall esperabf
lds r17, tabascii+1
rcall escribed
rcall esperabf
lds r17, tabascii+2
rcall escribed
rcall esperabf
ldi r16,$c0
rcall escribei
rcall esperabf
ldi zh,high(mensaje2b*2)
ldi zl,low(mensaje2b*2)
ldi r16,0
```

leer_linea2b:

```
rcall esperabf
lpm r17,z+
```

```
rcall   escribed
inc     r16
cpi     r16,13
brne    leer_linea2b
pop     r17
pop     r16
ret
mensaje2a:
        .db     "temperatura: " ;14 caracteres
mensaje2b:
        .db     "" ;9 caracteres
```



ANEXO 2: PRUEBAS REALIZADAS

Primera prueba:

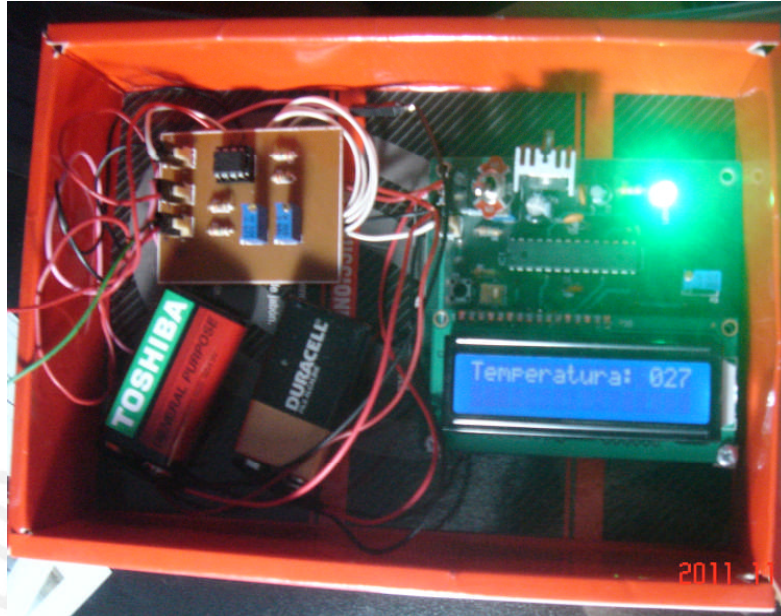


Figura 5. 1: Prueba 1

Segunda prueba:

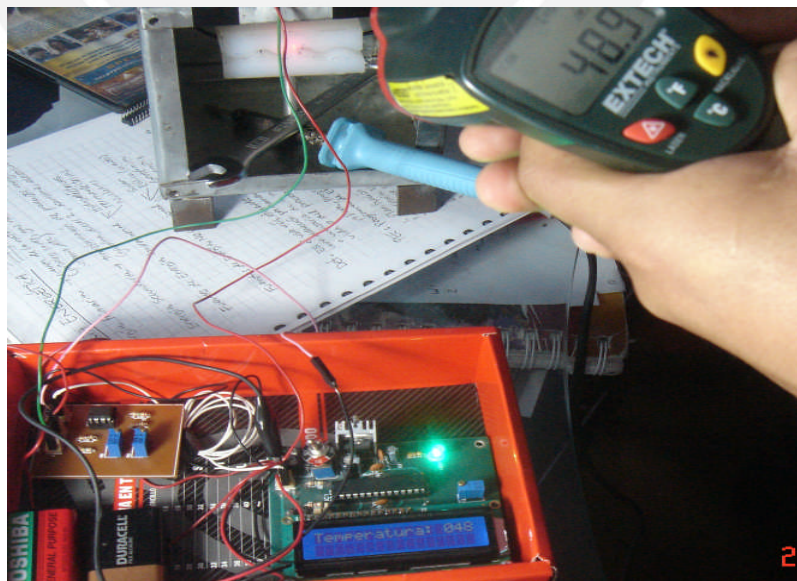


Figura 5. 2: Prueba 2

Tercera prueba:

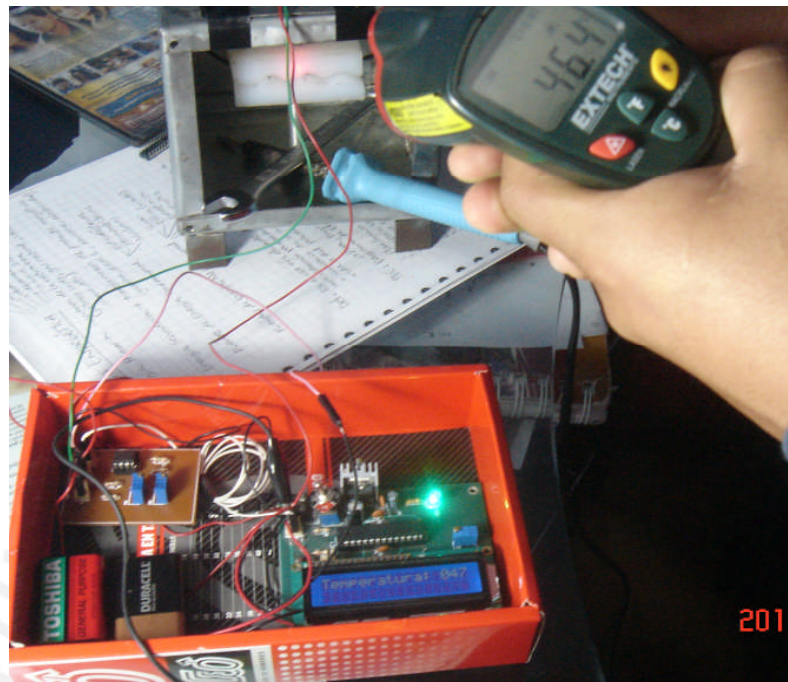


Figura 5. 3: Prueba 3

Cuarta prueba:



Figura 5. 4: Prueba 4

ANEXO 3: CUADRO DE COSTOS

Componente	Tipo	Costo (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
LM7805	Regulador	0.69	1	0.69
LM741	op-amp	0.88	1	0.88
ATMEGA8L	Microcontrolador	4.76	1	4.76
LCD16X2SIL K	LCD	5.06	1	5.06
HFBR- RXXYYY	fibra óptica de plástico	15.00	1	15.00
ST1KLA	Fototransistor	0.96	1	0.96
LB516	diodo led láser	3.69	1	3.69
	Batería	2.55	2	5.10
Varios	RLC	3.00	1	5.00
	Aluminio	3.50	2	7.00
	Teflón	4.80	1	4.80
	Chasis	14.00	1	14.00
	Diseño	150	1	150
TOTAL				216.94

Nota: Los precios de los componentes electrónicos en el mercado peruano son reales.