

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE TURBIEDAD DEL AGUA USANDO FIBRA ÓPTICA”

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del grado de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

ANA CRISTINA ALVARADO LÓPEZ

BETTY ALEXANDRA FLORENCIA MARIDUEÑA

GUAYAQUIL - ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestro director de tesina, Ingeniero Germán Vargas por el importante aporte brindado para el desarrollo de este proyecto. Al Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, Ingeniero Justo Huayamave y a la Ingeniera Olga González por su colaboración brindada en sus instalaciones.

A todas las personas que de alguna manera formaron parte este proyecto.

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios por ser quien me ilumina en todos los aspectos de mi vida, a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado, y a todos mis familiares y amigos que de una u otra manera contribuyeron en mi vida universitaria.

Ana Cristina Alvarado

Este trabajo lo dedico a Dios por las bendiciones, las oportunidades y ser mi fortaleza en tiempos difíciles. A mi hermana Carylu por su constancia, su amor incondicional y sobre todo por creer en mí. A mis padres por enseñarme a rezar.

Betty Florencia Maridueña

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Germán Vargas

PROFESOR DEL SEMINARIO
DE GRADUACIÓN

Ing. Sara Ríos

PROFESORA DELEGADA
POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesina nos corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

.....
Ana C. Alvarado López

.....
Betty A. Florencia Maridueña

RESUMEN

La intención principal de nuestro proyecto es introducir el uso de la fibra óptica de plástico que en nuestro caso irá direccionada no solo en el área de telecomunicaciones, sino también en la Química mediante la implementación de un sistema de detección de turbiedad de agua.

Para este proyecto primero el estudio de la ley de Beer-Lambert y entender los parámetros que están involucrados. Además fue necesario el entender los conceptos de dispersión en partículas suspendidas en el agua (TSS) y turbiedad, el buscar la mejor técnica de dispersión, ya sea dispersión a 90° o transmitancia, e investigar las longitudes de onda de operación de los colores que serán usados como fuentes de luz. Fue también necesario establecer el ancho de banda espectral de la fuente de luz y definir la longitud de la fibra óptica que será usada la misma que será recorrida por la luz incidente.

Este proyecto fue implementado mediante el uso de componentes ópticos y electrónicos; se diseñó un sistema que conste de un circuito emisor de luz, fibra óptica donde la luz es transmitida, la mezcla de agua y óxido de titanio en donde se realizarán los análisis de turbiedad, un fotodetector el que se encarga de convertir la respuesta óptica en señal eléctrica, luego un circuito amplificador y seguido de un sistema de adquisición de datos (LABVIEW) para obtener valores numéricos del estudio, para esto utilizamos la DAQ NI6009.

En primer lugar utilizaremos la Fibra Óptica de Plástico como medio de transmisión y recepción de los datos, la misma que es multimodo y es utilizada para aplicaciones en cortas distancias. Podemos aprovechar las numerosas ventajas que nos ofrece la fibra óptica en cuanto a la inmunidad a fenómenos electromagnéticos, ancho de banda, óptica geométrica, etc.; y gracias a la precisión que proporciona este sistema de medición poder llegar a obtener los resultados requeridos.

Para el desarrollo del experimento utilizamos dos tipos de LED's; LED azul 08IFE92B y el LED rojo 08IFE96 los cuales han sido escogidos debido a su diferencia en longitud de onda de 230 nm, cada uno con una longitud de onda de $\lambda_p = 430$ nm y $\lambda_p = 660$ nm respectivamente. Utilizaremos el fotodiodo PIN 08MFOD71 el cual nos ayudará a receptar nuestra señal óptica y convertirla a eléctrica. Adicionalmente para la elaboración de nuestro circuito electrónico utilizaremos OPAMP's UA741 y añadiremos a nuestro circuito el amplificador de instrumentación el cual nos permitirá amplificar acorde a nuestras necesidades el valor de voltajes que viene desde nuestro fotodetector. Para tener valores certeros en nuestro experimento realizamos la calibración del equipo en donde utilizamos el turbidímetro HACH 2100 AN con el que obtendremos los valores reales de turbidez de las muestras preparadas, el mismo que nos sirve para generar la curva de calibración y de esta manera poder obtener los valores de

turbidez en nuestro equipo y luego de esto integraremos a un sistema de adquisición de datos el cual fue creado con el programa LABVIEW para obtener los resultados numéricos de turbiedad.

Una de las aplicaciones del sensor es en el ámbito experimental ya que se lo puede utilizar en un laboratorio de análisis químico para la medición de turbiedad en muestras de agua de uso doméstico, industrial o residual, también se lo puede usar para fines educativos ya que encierra la aplicación de óptica, electrónica y química, el sensor también puede ser aplicado para industrias dedicadas al análisis de la calidad del agua.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
CAPÍTULO 1	1
ANTECEDENTE Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Calidad del Agua.....	2
1.1.1 Historia.....	2
1.1.2 Uso y calidad	3
1.2 Turbidez.....	4
1.2.1 Normativas de turbidez	5
1.3 Importancia	6
1.3.1 Prevención de enfermedades	6
1.3.2 Análisis químicos en correlación a la calidad del agua	7
1.4 Objetivos Generales Propuestos	8
CAPÍTULO 2	11
FUNDAMENTO TEÓRICO	11
2.1 Radiación Electromagnética	12
2.1.1 Espectro electromagnético	12

2.1.2	Propagación de la luz	15
2.2	Óptica geométrica.....	16
2.2.1	Índice de refracción.....	17
2.2.2	Leyes de reflexión y refracción	17
2.3	Espectroscopia	21
2.3.1	Absorción.....	21
2.3.1.1	Proceso de absorción	22
2.3.2	Ley de Lambert- Beer	24
2.4	Dispersión de la Luz en el Agua	27
2.4.1	Técnicas de dispersión	27
2.4.1.1	Turbidimetría.....	27
2.4.1.2	Nefelometría	28
2.4.2	Diferencia en uso de Turbidimetría y Nefelometría.....	29
CAPÍTULO 3.....		30
DISEÑO DEL SISTEMA		30
3.1	Diagrama de Bloques	31
3.2	Diagrama de Procesos	34
3.3	Circuito Emisor.....	36
3.3.1	Generadores de luz para equipos ópticos	36
3.3.2	Diseño electrónico del Circuito Emisor	37
3.4	Circuito Receptor	41
3.4.1	Receptores de luz para equipos ópticos	41
3.4.2	Diseño electrónico del Circuito Receptor	42
3.5	Adquisición de datos (DAQ).....	50
3.5.1	Obtención de datos previos para Curvas de Calibración	51
3.5.1.1	Procedimiento de la Preparación de la Muestra	52
3.5.1.2	Procedimiento para Determinar Turbidez	53

3.5.1.3	Procedimiento para preparación de muestra en nuestro sistema de detección y medición de turbidez	54
3.5.1.4	Procedimiento para Toma de Datos de Voltaje	55
3.5.2	Diseño de Calibración del Sistema de Detección y Medición de Turbidez.....	58
3.5.3	Diseño de Cálculo de Error	61
3.5.4	Otros Diseños	64
3.5.5	Diseño del Sistema de Detección y Medición de Turbidez	65
CAPÍTULO 4.....		70
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		70
4.1	Pruebas de Turbidez para calibración	71
4.2	Análisis de Pruebas de Turbidez para Calibración	72
4.3	Pruebas de Turbidez de Nuestra Aplicación.....	75
4.3.1	Procedimiento para Detección y Medición de Turbidez en el Agua	75
4.4	Análisis Pruebas de Turbidez de Nuestra Aplicación.....	76
4.4.1	Muestra de 38mg.....	77
4.4.2	Muestra de 2mg.....	80
4.5	Análisis Final.....	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		85
APÉNDICE.....		89
BIBLIOGRAFÍA.....		120

ABREVIATURAS

λ:	Longitud de onda.
nm:	Unidad de longitud de onda en nano-metros.
VDC:	Voltaje continuo.
POF:	Fibra Óptica Plástica (Plastic Optical Fiber).
DAQ:	Adquisición de datos (Data Acquisition)
ν:	Frecuencia de la radiación electromagnética, n ciclos por segundo.
c:	Velocidad a la que se propaga la radiación electromagnética.
E:	Energía de la radiación electromagnética [J]
h:	Constante de <i>Plank</i> . (6.626×10^{-34} J/s)
η_1:	Es el índice de refracción del primer medio.
η_2:	Es el índice de refracción del segundo medio
θ_1:	Ángulo de incidencia del primer medio.
θ_2:	Ángulo de refracción del segundo medio
θ_c:	Ángulo que hace que $\theta_2 = 90^\circ$, ángulo crítico
A:	Absorbancia
ϵ:	Coeficiente de absorción molar
d:	Es la distancia en cm
C:	Es la concentración en porcentaje [%]
I_s:	Radiación dispersada

I_0:	Radiación de la fuente incidente
K_S:	Constante.
V_{CC}:	Voltaje +9V.
V_D:	Voltaje Diodo.
I_B:	Corriente de Base.
I_C:	Corriente de Colector.
I_E:	Corriente de Emisor.
V_{be}:	Voltaje Base Emisor.
r_1:	Resistencia para circuito amplificador (2.2 k Ω).
r_2:	Resistencia para circuito amplificador (2.2 k Ω).
r_3:	Resistencia para circuito amplificador (10 k Ω).
r_4:	Resistencia para circuito amplificador (10 k Ω).
r_5:	Resistencia para circuito amplificador (10 k Ω).
r_6:	Resistencia para circuito amplificador (10 k Ω).
V_a:	Voltaje de salida del OPAMP 2.
V_b:	Voltaje de salida del OPAMP 1.
R_a:	Resistencia variable para ajuste del amplificador.
V_1:	Voltaje en el pin+ del OPAMP 2.
V_1^*:	Voltaje de un terminal del fotodetector.
V_2:	Voltaje en el pin+ del OPAMP 1.

V2*: Voltaje de un terminal del fotodetector.

Vr: Voltaje de ruido

VDAQ: Voltaje DAQ.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Espectro Electromagnético [13]	13
Figura 2.2: Reflexión de una onda	18
Figura 2.3: Refracción de una Onda	19
Figura 2.4: Reflexión total Interna	20
Figura 2.5: Rayos Reflejados, Absorbidos y Transmitidos en Vidrio [12].....	26
Figura 3.1: Diagrama de Bloques	31
Figura 3.2: Diagrama de Procesos	34
Figura 3.3: Puente H.....	38
Figura 3.4: Circuito Equivalente	39
Figura 3.5: Foto-Darlington Estructura Interna.....	42
Figura 3.6: Circuito de Detección.....	43
Figura 3.7: Circuito Pre-filtrado	44
Figura 3.8: Circuito de Amplificación.....	46
Figura 3.9: Turbídímetro HACH 2100AN	52
Figura 3.10: Cubeta con Acople Óptico	55
Figura 3.11: Adquisición de Datos para Calibración	56
Figura 3.12: Diagrama de Bloques	57
Figura 3.13: Función LED Verde [i], Función LED Rojo [d].....	58
Figura 3.14: Partes del “General Polynominal Fit”	59

Figura 3.15: Programación Función LED Verde	60
Figura 3.16: Programación Función LED Rojo	60
Figura 3.17: Error LED Verde [i], Error LED Rojo [d]	61
Figura 3.18: Lazo <i>While</i> Comparativo.....	63
Figura 3.19: Cal LED Verde [i], Cal LED Rojo [d].....	64
Figura 3.20: Tonalidad LED Verde [i], Tonalidad LED Rojo [d].....	64
Figura 3.21: Interfaz Gráfica Final	66
Figura 3.22: <i>Case Structure</i> Mensaje de Error.....	67
Figura 3.23: Mensaje de Error	68
Figura 3.24: Cubeta	69
Figura 3.25: <i>FillColor</i> para Cubeta.....	69
Figura 4.1: Regresión Lineal LED Verde	73
Figura 4.2: Regresión de Lineal LED Rojo.....	73
Figura 4.3: Ajuste Polinomial de Grado 5	74
Figura 4.4: Muestra 38mg - Color Rojo.....	77
Figura 4.5: Muestra 38mg - Color Verde.....	78
Figura 4.6: Muestra 2mg - Color Rojo.....	80
Figura 4.7: Muestra 2mg - Color Verde.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Índice de Refracción de Materiales	17
Tabla 3.1: Datos del Circuito Electrónico-Óptico.....	41
Tabla 4.1: Valores Promedios de Voltajes y Turbidez	71

INTRODUCCIÓN

El agua tiene una función importante en los diversos ecosistemas existentes en el planeta Tierra, es de esta manera como se convierte en un elemento fundamental para el desarrollo de la vida. Debido a que el agua (un líquido vital) es de suma importancia hay tener en cuenta que uso le vamos a dar y a su vez que consecuencias conllevaría en el caso de que esta no se encuentre bajo los estándares de salubridad.

Existen muchos factores y recursos naturales para la purificación del agua. La ciencia desde el inicio de los tiempos hasta hoy en día con los avances tecnológicos nos ha ayudado a facilitar este proceso.

Podemos encontrar muchas irregularidades en el aspecto físico de un líquido lo cual indicaría presencia de partículas no deseadas, las cuales podrían ser dañinas para los seres vivos. Es por esto que se encuentra a la turbidez como una de las propiedades más importantes del agua ya sea que esta sea utilizada para el consumo humano, en medio comercial o industrial.

La turbidez es un indicador de la calidad de agua en conjunto con el olor y sabor, según la OMS (Organización Mundial para la Salud), en lo referente a la calidad del agua, la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTE Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo procederemos a realizar la presentación del problema. Debido a que el agua es de uso vital para el ser humano y el medio que nos rodea, vamos a estudiar el proceso de análisis de turbidez y su importancia de que manera afecta a los diferentes ambientes sea este de trabajo, salud, economía, etc.; mostraremos las normas en las que debe de estar el agua para consumo y las consecuencias de no realizar el estudio correspondiente. Además de cómo en el transcurso de los años ha ido evolucionando este proceso.

1.1 Calidad del Agua

1.1.1 Historia

Desde la conformación de las primeras sociedades, estas siempre han buscado asentarse en lugares cercanos a grandes cúmulos de agua, pues la misma les permitía realizar sus actividades básicas para así poder sobrevivir, actividades como la pesca, el riego de sus cultivos y la más importante, poder ingerir líquidos.

Conforme aumentan los años, el control de la calidad del agua aumenta de tal manera que pasamos de los tiempos antiguos en el que el agua poseía una apariencia, olor o sabor desagradable hasta nuestros tiempos en los que se busca el mejor nivel de agua en términos de purificación, con lo cual se da inicio al tratamiento del agua. En un principio el tratamiento del agua era usado sólo para mejorar la calidad estética del agua que se usaba para tomar.

Ubicándonos por ejemplo en el año 4000 A.C. tiempo en el cual se crearon escrituras griegas las cuales indican que para poder ingerir agua era necesario que esta pase primero por métodos tales como filtración por carbón, exponerla a la luz solar y hervirla (esta última es

un proceso que se mantiene hasta nuestros tiempos cuando usamos el agua potable para beber).

Ya desde hace muchos años se consideraba también el factor de la turbidez como una propiedad importante de los líquidos, puesto que nos ayuda a determinar que tan pura es la muestra. También conocido como “nublazón visible” [6], la turbidez se la utilizó como primicia para determinar partículas que le dan aromas y sabores peculiares al líquido en cuestión (agua). Una de las primeras civilizaciones en determinar esta propiedad fueron los egipcios, los cuales utilizando sustancias químicas que provocaban la suspensión de las partículas, así de esta manera podían removerlas. A pesar de esto, el método que empleaban era básico y no permitía una purificación al 100% ni determinar con exactitud el grado de turbidez.

1.1.2 Uso y calidad

Para el consumo diario del agua es importante saber que se está utilizando un producto que se encuentre dentro de los niveles de calidad, y que no sea dañino a la salud. Hoy en día el agua es utilizada en diferentes medios entre los cuales tenemos el uso doméstico, industrial, termoeléctrico, en la minería, etc.; y sin importar

el uso que tenga, el agua, va a retornar a sus cauces originales cada vez más con su calidad degradada. Los principales problemas que presentará son la disminución de oxígeno disuelto e incremento de elementos tóxicos.

1.2 Turbidez

Turbidez o también conocido por turbiedad es una de las características más importantes del agua, y que es un parámetro indicador de contaminación de cualquier fluido que este sea (en nuestro caso tomaremos como referencia el agua). Es la presencia de partículas que no permiten que el agua tenga la transparencia que la caracteriza debido a que estas se encuentran en suspensión en la misma.

La medición de la turbidez del agua es una manera de saber cuándo y hasta qué punto debemos tratar el agua para que cumpla con la especificación requerida, las cuales son medidas en unidades nefelométrías de turbidez (NTU) [7]. Este es un aspecto físico el cual, más que estético, servirá para medir que tan puro es el líquido a tratar (agua) y si debe o no someterse a un tratamiento de purificación.

1.2.1 Normativas de turbidez

Para determinar si una muestra de agua se encuentra bajo los estándares de salubridad es importante recalcar que existe diferentes normas por las cuales hay que regirse para que el agua este bajo los estándares legales y que involucran a la turbidez como un parámetro fundamental el cual observaremos a continuación en unidades NTU.

En la norma de la República del Ecuador de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua [8] podemos encontrar que los límites máximos de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional debe tener una turbiedad de 100 NTU; para las aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección debe tener una turbiedad de 10 NTU.

Además para la aguas de estuarios bajo esta norma, la turbidez debe de estar con una condición natural más 5% si la turbiedad natural se encuentra entre 0 y 50 NTU; más 10% si la turbidez natural varia de 50 a 100 NTU y más 20% si la turbidez natural es mayor a los 100 NTU.

Para las aguas de uso estético no deberán tener partículas que generen color, olor, sabor y que no contenga turbiedad mayor a 20 NTU. Se puede encontrar la norma en el apéndice de este documento para mayor información.

1.3 Importancia

1.3.1 Prevención de enfermedades

Hoy en día se producen muchas enfermedades debido a la calidad del agua, perspectiva que fue determinada por primera vez a inicio del siglo XIX debido a una de las peores enfermedades que azotó al mundo, “el cólera”, el cual provocó una alta tasa de mortalidad ya que no había forma de prevenirla. A medida que la turbidez fue una propiedad que se consideró para análisis de agua, se convirtió en una vía de prevención y detección de agentes externos (microorganismos, partículas maliciosas), de esta manera, junto con la evolución de la tecnología se logró disminuir y crear vacunas para combatir estas enfermedades como el cólera, tifoidea, disentería, giardia [9], entre otras.

Las aguas subterráneas no contienen microorganismos así como también las aguas de manantial se encuentran libres de organismos

patógenos; a pesar de esto si en los alrededores de los mismos se encuentran aguas con desperdicios humanos o animales en abundancia estas se encuentran muy propensas a la contaminación, puesto que no será suficiente el filtrado de las rocas para las aguas subterráneas generando también la contaminación de los manantiales. A pesar de que la turbidez no es considerada como un indicador directo de enfermedades, con ayuda de esta propiedad existirá siempre una estrecha relación con la detección de elementos que no permiten tener agua apta para el consumo humano sin riesgo nocivo para la salud y el medio ambiente.

1.3.2 Análisis químicos en correlación a la calidad del agua

Prácticamente todo producto que compramos en nuestra vida diaria es producto de alguna combinación de elementos. En toda reacción química se genera la combinación de átomos y moléculas, razón por la cual, si se incluyen agentes externos no deseados pueden dar como resultado un producto final de baja calidad o que no cumple con los requerimientos mínimos permitidos, lo cual representa pérdidas para las empresas, es por esto que previo se debe medir el factor de turbidez de las diversos fluidos a utilizar, para determinar si existe

dentro del mismo alguna presencia de sustancias adicionales o microorganismos que alteren al proceso de producción.

Para tratar aguas residuales se suele utilizar un sistema de pantallas y sedimentadores para de esta manera eliminar parcialmente los sólidos en suspensión. Habitualmente se utiliza el cloro, el dióxido de cloro y el ozono como métodos de desinfección. A pesar de que el cloro es uno de los desinfectantes más empleados, también puede causar daño en el organismo, con la aparición de cloroformo que es un producto muy abundante entre la reacción de HOCL (componente activo de la mayoría de lejías y agentes blanqueadores) y los ácidos húmicos (moléculas complejas que contienen anillos bencénicos con una gran variedad de sustituyentes [1], el cual actúa como un agente cancerígeno que afecta el hígado.

1.4 Objetivos Generales Propuestos

- a. **Aplicación de la Fibra Óptica Plástica en la implementación de sensores.** En esta tesina implementaremos la creación de un Sensor de Turbiedad, el mismo que utilizará la fibra como medio de transmisión y recepción de datos. La fibra óptica plástica que

utilizaremos para el desarrollo de este detector es una fibra multimodo ideal para la transferencia de información a corta distancia.

- b. Selección del LED's.** Los LED's que utilizaremos deberán de ser de diferentes longitudes de onda para de esta manera se pueda observar y realizar un estudio de la diferencia de comportamiento entre varios colores. Adicionalmente vamos a utilizar el fotodetector, el cual debe de ser lo suficientemente sensitivo, así su rango dinámico nos permitirá realizar la detección puesto que trabajaremos con luz no coherente el cual nos ayudará a receptor nuestra señal óptica y convertirla a eléctrica.
- c. Creación y diseño del circuito electrónico de emisión y recepción.** Para la elaboración de nuestro circuito electrónico utilizaremos OPAMP's UA741 adicional añadiremos nuestro circuito el amplificador de instrumentación el cual nos permitirá amplificar acorde a nuestras necesidades el valor de voltajes que viene desde nuestro fotodetector.
- d. Calibración del sistema; realización de pruebas y validación de las mismas.** Usando muestras calibradas por medio de análisis

espectrofotométrico, emplearemos estas muestras para de esta manera poder calibrar nuestro detector con datos reales y certeros.

- e. **Desarrollo de la interface gráfica para manejo y visualización de datos.** Para el desarrollo de esta interface gráfica utilizaremos a LABVIEW como herramienta para desarrollar la implementación de la interface, realizando de esta manera un VI que nos ayude a observar cual es el porcentaje de turbidez de la muestra en unidades NTU en conjunto con un indicador el cual cambiara de color dependiendo el valor de turbidez detectado en la muestra.

- f. **Adquisición de Datos.** Este proyecto se implementará mediante el uso de componentes ópticos y electrónicos; se diseñará un sistema que conste de un circuito emisor de luz, fibra óptica donde circulará la luz transmitida, la mezcla de agua y Óxido de Titanio en donde se realizarán los análisis de turbiedad, un fotodetector el que se encargará de convertir la respuesta óptica en señal eléctrica, luego un circuito amplificador y seguido de un sistema de adquisición de datos para (LABVIEW) obtener valores numéricos del estudio, para esto utilizaremos la DAQ NI6009.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo desarrollaremos una breve descripción de los conceptos básicos y fórmulas necesarias que debemos conocer para el desarrollo de este proceso iniciando desde conceptos de radiación electromagnética, propiedades, la absorción de los sólidos en suspensión, así como también la ley por la cual se rige este proceso y las diferentes técnicas de medición en conjunto con los principios para detectar y medir turbidez en el agua.

2.1 Radiación Electromagnética

Podemos describir a la radiación electromagnética como la energía en función de leyes ondulatorias (luz), la misma que se propaga en forma de onda. Una onda electromagnética es la interacción de los campos magnéticos y eléctricos en un mismo espacio o región, las ondas originadas por estos campos son de forma transversal y se encuentran en fase, quien descubrió y estudio dichas ondas fue el físico James C. Maxwell ^[a]. Para nuestro detector vamos a desarrollar un estudio con dos haces de radiación electromagnética que se encuentran en diferentes longitudes de onda.

2.1.1 Espectro electromagnético

Comúnmente conocido como luz visible es un conjunto de ondas electromagnéticas, mismas que se encuentran agrupadas dependiendo de su longitud de onda y de su frecuencia.

La frecuencia "es el número de oscilaciones por segundo que completa una onda electromagnética". La frecuencia aproximada de la luz visible es de 2.3×10^{14} Hz. Existe otro parámetro importante en el estudio de la teoría ondulatoria, la longitud de onda λ , que es la

^[a] Maxwell, James. Físico Británico quien demostró la relación entre los campos magnéticos y eléctricos y quien comprobó que la luz está compuesta de ondas electromagnéticas.

“longitud en metros correspondiente al ciclo de una onda”. El ojo humano tiene límites para la percepción de esta forma de radiación según sea la longitud de onda de la misma. La longitud de onda de la luz visible se encuentra en el rango de 770×10^{-9} metros a 330×10^{-9} [4] metros.

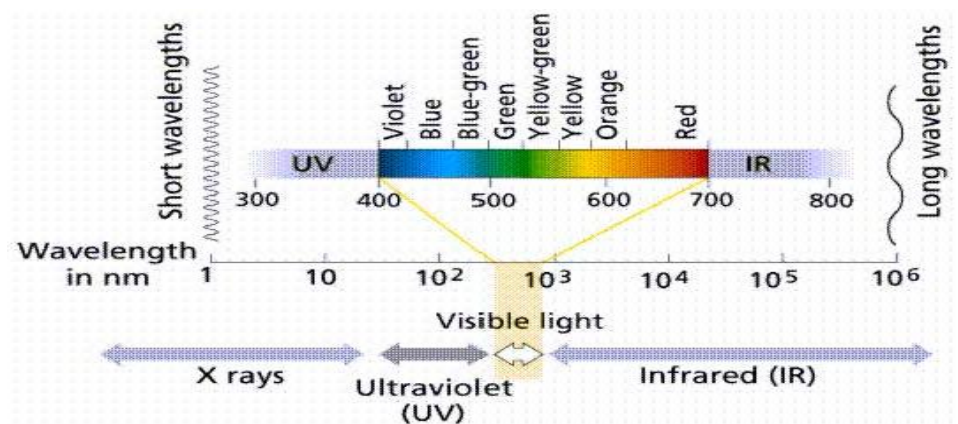


Figura 2.1: Espectro Electromagnético [13]

Existe una relación matemática entre la frecuencia y la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

dónde:

ν : la frecuencia de la radiación electromagnética, el número de ciclos por segundo.

c : la velocidad a la que se propaga la radiación electromagnética.

λ : la longitud de onda de un haz de radiación electromagnética.

“La luz usada para las comunicaciones por fibra óptica está en la región infrarroja (IR), la misma que se encuentra ubicada por debajo de la luz visible. El espectro para comunicaciones por fibra óptica están en 1550, 1310 y 850 nm; trabajan con una frecuencia de 2.3×10^{14} Hz (alta frecuencia), la misma que permite que la luz lleve información a altas velocidades.” [4]

Otra forma de comportamiento de la luz es en forma de partícula denominada fotón, concepto basado en la teoría de Planck ^[b], el mismo que tiene una energía E usada en la siguiente fórmula:

$$E = h \cdot \nu \quad (2.2)$$

^[b] Planck, Max. Físico Alemán quien descubrió que la radiación electromagnética combina las propiedades de las ondas y de las partículas.

dónde:

E: la energía de la radiación electromagnética, unidad Joules[J]

h: constante de *Planck*. ($6.626 \cdot 10^{-34}$ J/s)

2.1.2 Propagación de la luz

Las características de la propagación de la luz son:

- a. La luz se propaga en línea recta
- b. La luz se propaga en todas las direcciones.
- c. La luz se propaga a gran velocidad.

Independientemente de la longitud de onda, la onda electromagnética se propaga en el vacío con una velocidad de 299.8 Km/s, aproximadamente, éste valor corresponde a la velocidad de la luz en el vacío que se aplica para ondas electromagnéticas monocromáticas o policromáticas ^[c]. Cuando el medio donde se propagan las ondas no es el vacío, la velocidad de propagación dependerá de éste y siempre será menor a la velocidad *c*, y se puede calcular con la siguiente expresión:

^[c] Ondas electromagnéticas monocromáticas luz con la misma longitud de onda o dentro de un intervalo muy pequeño de longitudes de onda; Ondas electromagnéticas policromáticas; combinación de ondas monocromáticas a diferentes longitudes de onda.

$$v = \frac{1}{\mu_r \mu_0 \epsilon_r \epsilon_0} \quad (2.3)$$

donde:

μ_r : Permeabilidad relativa del material

μ_0 : Permeabilidad magnética del vacío

ϵ_r : Permitividad relativa del medio

ϵ_0 : Permitividad eléctrica del vacío

2.2 Óptica geométrica

Esencialmente la óptica geométrica es un modelo matemático que nos ayuda en el estudio de la luz y su propagación por los diferentes medios.

“La óptica geométrica interpreta los rayos luminosos como la trayectoria de la energía radiante en su propagación”. [10]

Este tema será utilizado como recurso para entender el comportamiento y las propiedades de la luz en la fibra óptica; existe un sin número de fenómenos que se pueden estudiar tales como: reflexión de la luz, refracción, dispersión de la luz, reflexión total interna.

2.2.1 Índice de refracción

Este término es el más importante en el estudio de la óptica y la teoría de rayos. El símbolo utilizado para su representación es η e indica la relación que existe entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio que se trata; es la relación entre las velocidades de una onda en dos medios distintos.

MATERIAL	INDICE DE REFREACCIÓN
Vacío	1
Acetona	1.36
Agua	1.33
Alcohol	1.329
Benceno	1.5
Cloruro de Sodio	1.53
Vidrio	1.52
Cuarzo	1.544
Diamante	2.471

Tabla 2.1: Índice de Refracción de Materiales

2.2.2 Leyes de reflexión y refracción

Es necesario tomar en cuenta la expresión del índice de refracción:

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (2.4)$$

Donde:

c es la velocidad de la luz en el vacío

v es la velocidad de la luz en el medio

“La reflexión de la luz ocurre cuando un rayo pasa de un material a otro diferente, parte de esta luz no pasa al segundo medio, sino que se refleja al primer medio” [4] .

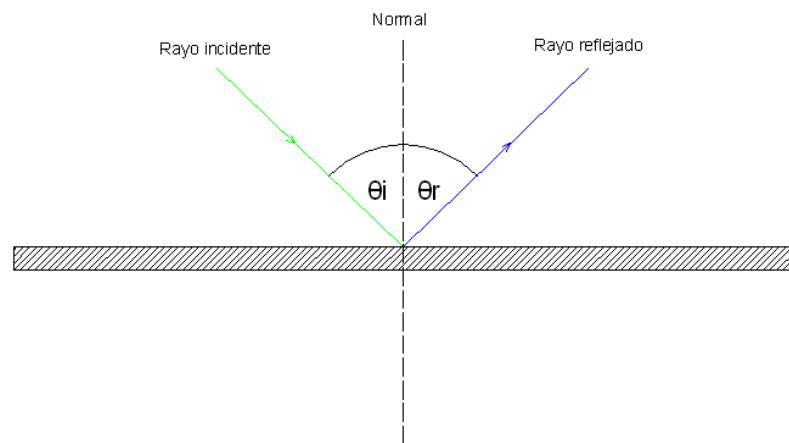


Figura 2.2: Reflexión de una onda

En la figura 2.2 podemos observar que el rayo incidente y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión $\theta_i = \theta_r$.

La refracción de la luz ocurre cuando un rayo pasa de un medio a otro y experimenta un cambio en la dirección, esto ocurre en la frontera que limita a ambos materiales.

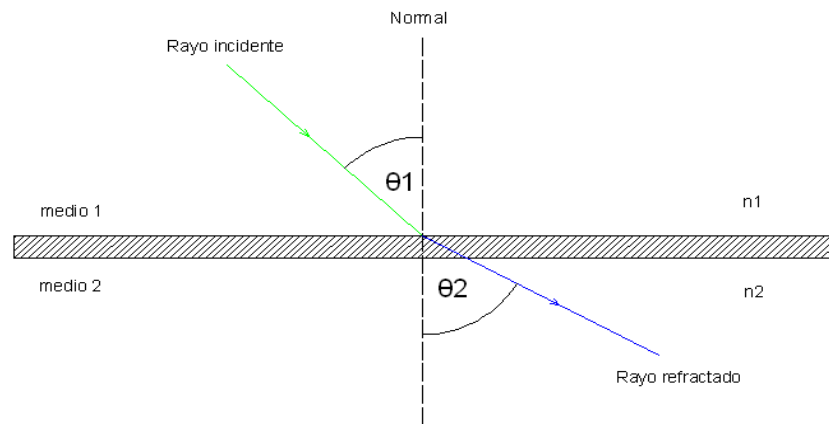


Figura 2.3: Refracción de una Onda

En la figura 2.3 se muestra la refracción de una onda en dos medios con diferentes índices de refracción. El ángulo de incidencia y de refracción cumplen una ley denominada ley de Snell ^[d].

$$\text{ley de Snell} = \frac{\eta_1 \text{Sen} \theta_1}{\eta_2 \text{Sen} \theta_2} \quad (2.5)$$

Donde:

η_1 : Índice de refracción del primer medio.

η_2 : Es el índice de refracción del segundo medio

θ_1 : Ángulo de incidencia del primer medio.

θ_2 : Ángulo de refracción del segundo medio

^[d] Snell, Willebrod. Astrónomo y matemático que descubrió la ley de refracción y describió la relación entre los ángulos de incidencia y de refracción.

Existe un fenómeno adicional denominado reflexión total interna, el mismo que es la base del comportamiento de la luz en la fibra óptica, y ocurre cuando la luz pasa de un medio más denso a uno menos denso, el rayo refractado se aleja de la normal.

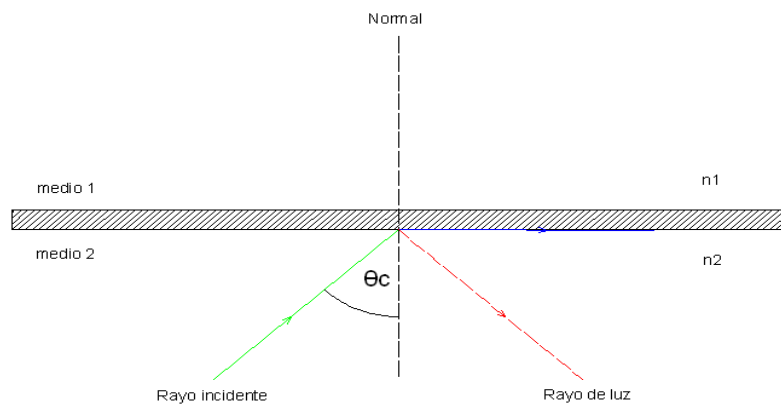


Figura 2.4: Reflexión total Interna

Si θ_1 es muy grande, es posible asumir que $\theta_2 = 90^\circ$; el ángulo crítico θ_c es el ángulo que hace que $\theta_2 = 90^\circ$.

$$n_1 \text{Sen} \theta_c = n_2 \text{Sen} 90^\circ$$

$$\text{Sen} \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.6)$$

Cuando $\theta_1 > \theta_c$ el rayo refractado desaparece, y el total de luz incidente es reflejado en la superficie, a esto se lo conoce como reflexión total interna.

2.3 Espectroscopia

Es la ciencia que estudia la absorción y la emisión de radiación de luz por la materia

2.3.1 Absorción

Un ejemplo particular para comprender mejor el concepto de la absorción es observar en una hoja de papel blanco, un rayo incidente, a su vez realizar lo mismo en una hoja de papel negro. Podemos observar como en el primer escenario, el rayo se refleja y se difunde; mientras que en el segundo escenario no existe reflexión, se absorbe totalmente. Es relevante saber que parte del rayo de luz emitido siempre será absorbido sin importar cuál sea la superficie. [12]

Se la puede definir como la propiedad de todo cuerpo o partícula para adquirir un agente externo a su sistema ya sea este solido liquido o gaseoso; logrando como resultado un incremento parcial de la masa del anfitrión. Además de la posibilidad de existir una combinación de dichos elementos dando como resultado uno nuevo de ser estos químicamente miscibles.

Podemos considerar como ejemplo básico el de una esponja la cual al colocarla en un recipiente con agua esta absorbe la misma e incrementa en masa y volumen a su vez podemos notar que no son miscibles.

Otro ejemplo que podemos recalcar es el de un rayo de luz blanca incidente en un recipiente que contenga una mezcla de sulfato de cobre el cual al interactuar con la luz blanca parte ella es absorbida por los iones de cobre, la longitud de onda roja, mientras que la longitud de onda azul es completamente transmitida.[2]

2.3.1.1 Proceso de absorción

La absorción de la radiación electromagnética es el proceso por el cual la radiación es captada por la materia, transfiriendo energía a la misma. Los átomos, iones o moléculas tienen un número limitado de niveles energéticos^[e], los cuales están cuantizados.

La energía recibida por la materia da como resultado un cambio en el estado de ésta, lo que provoca una EXCITACIÓN, la misma que puede consistir en tres procesos:

^[e] Los niveles energéticos de un átomo, ion o molécula están cuantizados porque su excitación requiere de cantidades finitas o discretas de energía.

transición de un electrón a un nivel energético superior, cambio en el modo de vibración de las moléculas, y alteración en el modo de rotación. [2]

Por lo general las transiciones que promueven a los electrones a un nivel superior absorben mayor cantidad de energía que las vibracionales y a su vez mucho mayores a las alteraciones en los modos rotacionales.

Fijándonos en el espectro electromagnético las absorciones en microondas e infrarrojas lejanos son debido a alteraciones en los niveles rotacionales; en la zona infrarroja y visible las absorciones se producen por cambios en los niveles vibracionales y en la región de luz visible, ultravioleta y rayos X la absorción es provocada por el intercambio de electrones a un nivel superior.

Cabe recalcar que la cantidad de energía requerida para el proceso de absorción es única para cada tipo de material absorbente, lo que proporcionará las características químicas del elemento en cuestión. Para entender la relación que existe entre la absorción y la longitud de onda nos basamos

en un gráfico llamado Espectro de Absorción que es la representación gráfica del comportamiento de la energía absorbida por la muestra al hacer incidir en ésta un haz de diferentes longitudes de onda.

2.3.2 Ley de Lambert- Beer

Es la ley que tendremos como base para el entendimiento de nuestro proyecto, la misma que estudia fundamentalmente la absorción de la luz UV, visible e infrarroja en una muestra; la cual es un método matemático que se utiliza para expresar de qué modo la materia absorbe luz, esta ley nos permite establecer una relación entre la absorción de radiación y la concentración de la sustancia que absorbe en un medio conocido. [11]

También esta ley explica que existen tres fenómenos por los cuales la cantidad de luz irradiada de la muestra varía, esto es debido a tres parámetros: el número de partículas suspendidas en la materia que la luz tiene que atravesar, el mismo que se define como CONCENTRACIÓN, la distancia que la luz debe atravesar en la muestra y la cantidad de luz que absorbe la muestra, se conoce con

el nombre de ABSORBANCIA, se puede expresar de la siguiente manera:

$$A = \epsilon dc = \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad (2.7)$$

donde:

A: es la absorbancia

ϵ : es el coeficiente de absorción molar

d: es la distancia en cm

c: es la concentración

I: Intensidad de radiación transmitida por la muestra

Como se ve en la ecuación (2.7) la absorbancia también puede ir expresada en términos de intensidad de luz e indica que cuando en un cuerpo o material incide un haz de luz, parte de esta luz es absorbida por el cuerpo y el resto atraviesa dicho cuerpo. A mayor cantidad de luz absorbida, mayor cantidad de absorbancia en el cuerpo y menor cantidad de luz transmitida. El factor ϵ es el mismo que

se denomina coeficiente de absorción molar ^[f] de la muestra a la longitud de onda de la luz incidente

La intensidad de la radiación disminuye exponencialmente al pasar por la muestra.

Existe otro factor llamado TRANSMITANCIA, que es la cantidad o fracción de la radiación incidente transmitida.

$$T = 10^{-A} \quad (2.8)$$

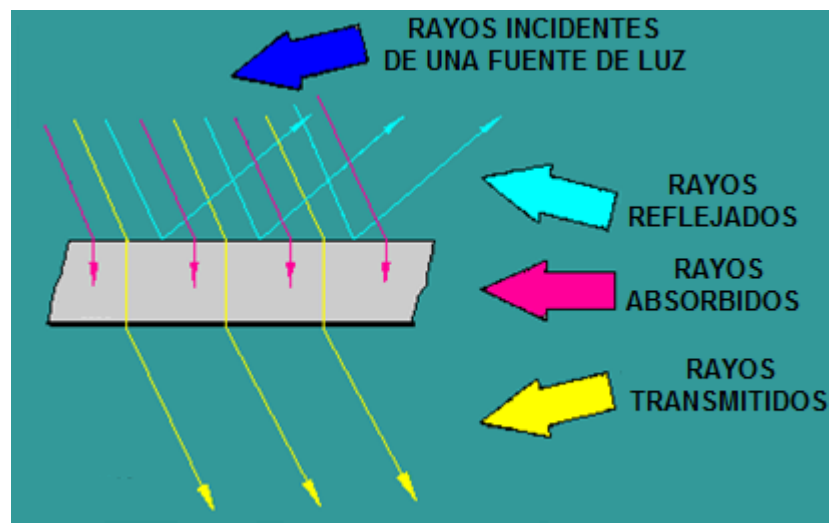


Figura 2.5: Rayos Reflejados, Absorbidos y Transmitidos en Vidrio [12]

^[f] Coeficiente de absorción molar propiedad que no depende de la concentración de la sustancia y representa la absorción de luz por parte de un mol de soluto para la longitud de onda dada.

2.4 Dispersión de la Luz en el Agua

2.4.1 Técnicas de dispersión

Existen dos técnicas analíticas que nos permiten estudiar el comportamiento de la dispersión de la luz en una solución de partículas suspendidas, la turbidimetría y la nefelometría.

2.4.1.1 Turbidimetría

La turbidimetría mide la disminución de la luz transmitida por el emisor a través de la muestra que contiene los sólidos suspendidos, que forma un ángulo con el rayo incidente, para medir turbidimetría se usa un espectrofotómetro, el mismo que puede medir absorbancia o transmitancia.

Esencialmente la turbidimetría se la utiliza para realizar mediciones de concentraciones altas en la muestra, en soluciones muy densas, debido a que existe una diferencia en el ángulo de medida mientras que la nefelometría se usa para bajas concentraciones ya que existirá poca dispersión de la luz.

2.4.1.2 Nefelometría

La nefelometría mide la luz dispersada en dirección a la luz emitida, generalmente entre ángulos de 15 a 90°, para las mediciones se utiliza un nefelómetro en el cual se coloca el detector a un ángulo de 90°. Cuando un haz de luz atraviesa la muestra que contiene partículas suspendidas; éste se dispersa en todas las direcciones y se observa turbia. Existe una relación lineal entre la luz dispersada y la concentración de partículas. La relación matemática que cumple es la siguiente:

$$I_s = K_S I_0 C \quad (2.9)$$

Donde:

C: Es la concentración en %

I_s : Radiación dispersada

I_0 : Radiación de la fuente incidente

K_S : Constante

2.4.2 Diferencia en uso de Turbidimetría y Nefelometría

La principal diferencia entre éstas es la manera de medir la luz dispersada.

Estas dos importantes técnicas tienen aplicación en el estudio de la calidad del agua y aire, las medidas de dispersión se usan para determinar la concentración de humo, polvo, aerosoles, etc.

Hay que tomar en cuenta dos factores para la elección de cualquiera de las dos técnicas, en primer lugar y como ya se mencionó anteriormente se debe tomar en cuenta el tamaño de las partículas, y la intensidad de la radiación transmitida o dispersada en relación a la irradiada por la fuente.

Se aplica turbidimetría cuando se tienen muestras con un gran número de partículas dispersantes.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo desarrollaremos una aplicación opto-electrónica basada en la ley de Beer y Lambert la cual como se detalló en el capítulo anterior se basa en el principio de la absorción de la radiación electromagnética por los sólidos en suspensión que se encuentran en una muestra de agua. El sólido en suspensión seleccionado para este estudio es el Óxido de Titanio. Utilizaremos una tarjeta de adquisición de datos NI6008.

3.1 Diagrama de Bloques

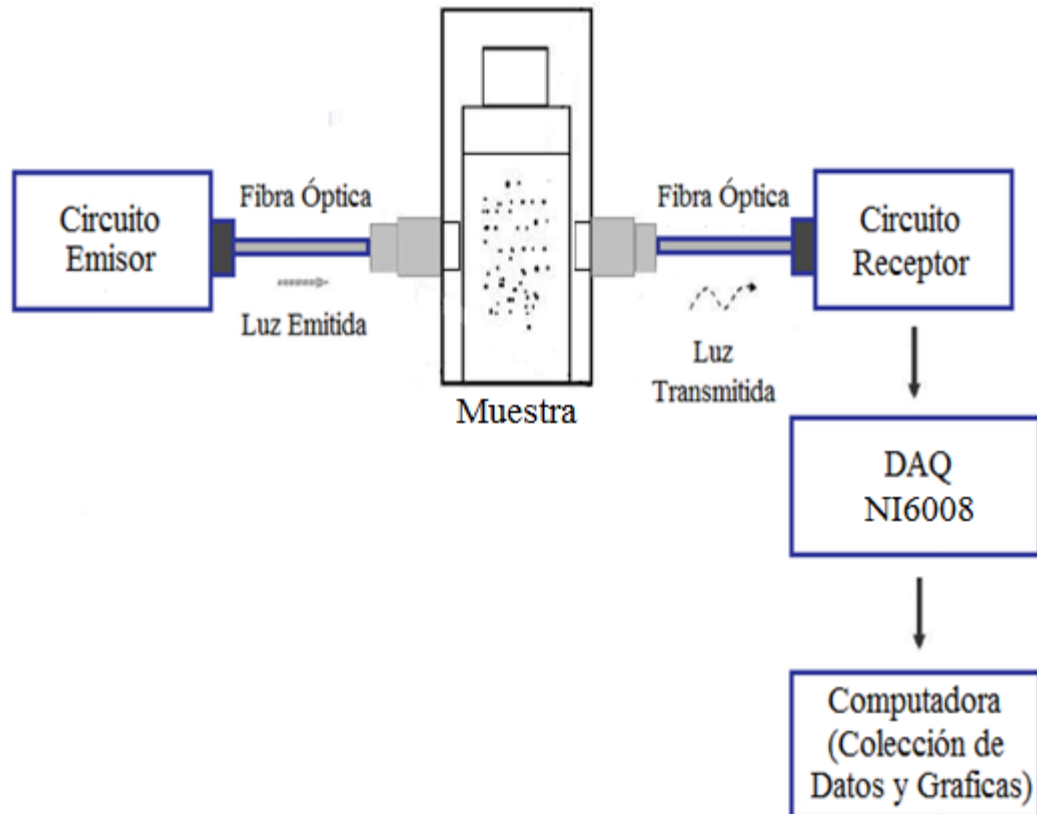


Figura 3.1: Diagrama de Bloques

Nuestro sistema está compuesto por cinco bloques como muestra la figura 3.1: un circuito emisor, muestra, circuito receptor, tarjeta de adquisición de datos NI6008 y PC.

El *circuito emisor* está formado por dos fuentes de luz a diferente color uno Rojo y otro Verde, los cuales están representados por LED's emisores. Donde ambos LEDs trabajan con diferentes longitudes de onda.

La *muestra* es el bloque en donde se encontrará la solución de agua destilada con una concentración de Óxido de Titanio dentro de una cubeta de cuarzo ($n=1.544$), este bloque es el que representa a nuestra información a extraer.

El Óxido de Titanio o Dióxido de Titanio se lo utiliza como pigmento blanco y catalizador. También es el más explotado a nivel mundial por sus propiedades de dispersión, no toxicidad (no se ha documentado efectos negativos sobre la salud) y su estabilidad química.

Sirve para elaborar absorbentes de rayos UV en productos para el bronceado, jabones, polvos cosméticos, cremas, pasta de dientes, papel de cigarro y la industria cosmética. También en la industria de la cerámica, la manufactura de cemento blanco. Proporciona a sus productos finales brillantes, blancura, opacidad y protección [14].

Mientras más fino es el Óxido de Titanio, más costoso es.

El *Circuito receptor* se encuentra formado por tres etapas. La primera etapa consta por un fotodetector en serie con una resistencia y un LED indicador. La segunda etapa consta de un filtro Pasa Bajos en conjunto a un seguidor de voltaje. La tercera etapa consta de un circuito de amplificación en donde

luego de convertir la corriente a voltaje y de pasar por un proceso de filtrado se procederá a realizar una amplificación del mismo.

La *DAQ NI6008* es la tarjeta con la cual realizaremos la recolección de datos iniciales para las curvas de calibración respectivas; así como también una vez ya desarrollada una aplicación servirá para la obtención de los datos finales.

La *Colección de Datos y Gráficas* es la programación que se realizará en una PC con ayuda del programa LabView en donde se desarrollará la aplicación de obtención de datos para la calibración y la aplicación que será para que el usuario final interactúe con el sistema.

3.2 Diagrama de Procesos

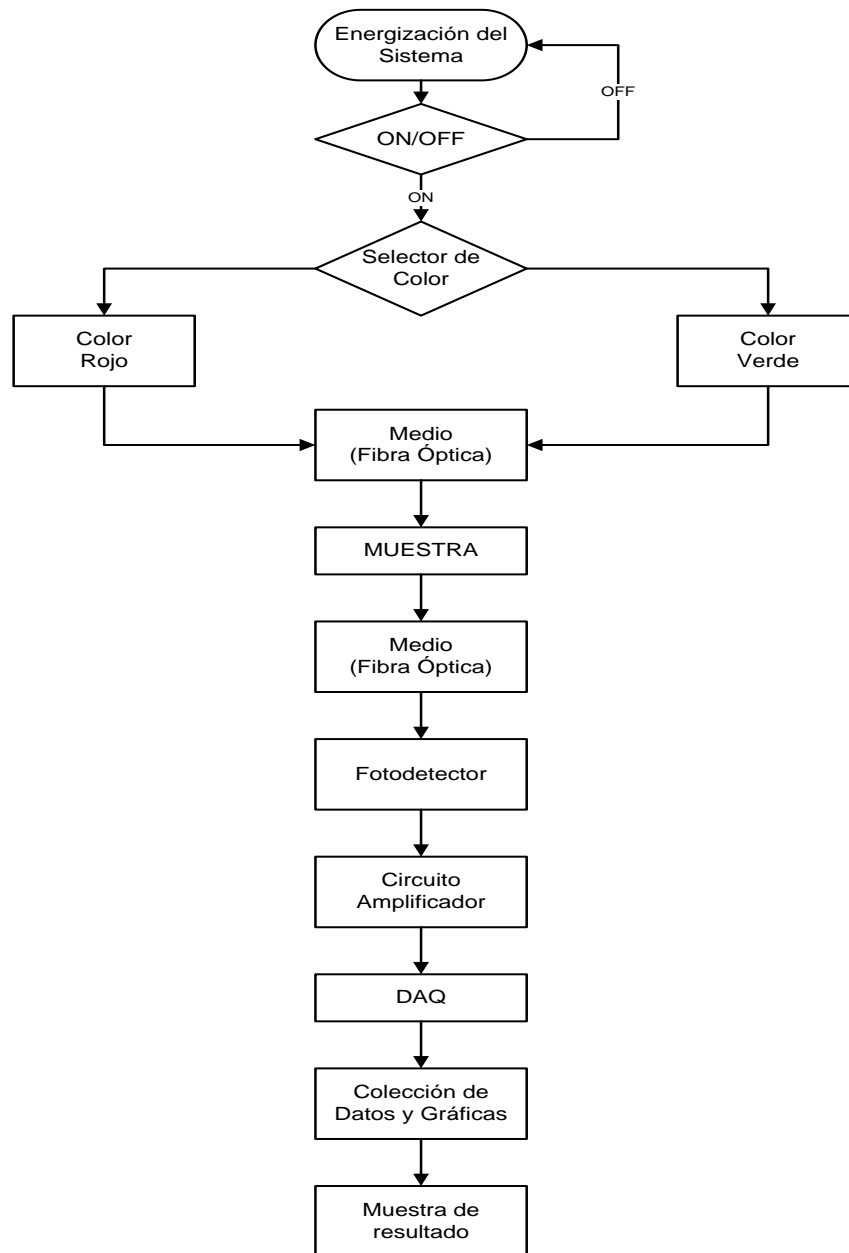


Figura 3.2: Diagrama de Procesos

Como podemos observar en la figura 3.2 nuestro proceso inicia con la energización del sistema en donde de manera física por medio del switch de ON/OFF. Para la interfaz gráfica a través de la PC existirá un botón de *run* para iniciar el sistema y el de Stop para detener.

Ya energizado el sistema, nos encontramos con el selector de color, el cual nos ayudará a realizar los diferentes estudios a la misma muestra para poder observar su comportamiento a diferentes longitudes de onda (color rojo 660nm y color verde 530nm).

Utilizando los acoples ópticos que tienen los LED's, el fotodetector y los acoples ópticos que se incorporaron a la cubeta de cuarzo, se coloca la POF el cual es el medio guiado por donde viajará la luz emitida por los LED's y transmitida luego de pasar por la muestra.

El fotodetector recepta la luz transmitida y la convierte en corriente (mA), la cual al pasar a través de una resistencia obtenemos valores de voltaje y es así como pasamos a la etapa de amplificación, utilizando el circuito de amplificación de instrumentación.

Este valor amplificado es adquirido por la tarjeta DAQ NI6008; por medio de esta tarjeta es con la que se interactúa con la interfaz gráfica en la PC, en donde mostraremos datos adquiridos y los resultados finales (Turbidez).

3.3 Circuito Emisor

3.3.1 Generadores de luz para equipos ópticos

Los fotoemisores son dispositivos que se comportan de tal manera que al estar sometidos a una corriente eléctrica o a una diferencia de potencial generan un haz de luz; estos transforman la energía eléctrica en luminosidad.

Existen dos tipos de generadores de luz para los equipos ópticos de transmisión por fibra óptica: los LED's (diodos emisores de luz) y los LASER's (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación). Para nuestro proyecto utilizaremos el LED como fuente de luz.

En las comunicaciones ópticas es necesario que las fuentes de luz sean estables y de larga duración.

Hoy en día es muy común utilizar los diodos LED en las comunicaciones con fibra óptica ya que son muy económicos y son los adecuados para transmisiones de datos a cortas distancias. Técnicamente el LED es un dispositivo semiconductor que en presencia de una corriente eléctrica emite luz de manera directa; hay disponibles en diferentes colores o longitudes de onda, el color

depende del material semiconductor utilizado cuando se construye el diodo; generalmente están contruidos con semiconductores inorgánicos como el Arseniuro de Galio Aluminio GaAlAs para longitudes de ondas cortas, y el Indio Galio Arsénico Fósforo InGaAsP para longitudes de ondas largas.

3.3.2 Diseño electrónico del Circuito Emisor

El circuito emisor que se describe a continuación se encuentra en el apéndice con el título CIRCUITO EMISOR. Este circuito está alimentado con una señal analógica de 9 Vdc; consta de un switch inicial On/Off para encendido y apagado de todo el circuito emisor y un switch secundario el cual sirve para seleccionar que color se desea emplear. El color de medición con emisión de luz verde trabaja con una longitud de onda de 530nm y el color de medición con emisión de luz roja opera con una longitud de onda de 660nm.

Cada alternativa de color consta de su propio LED emisor con el acople correspondiente para poder introducir la POF logrando que la cara de la fibra quede justo frente al LED para así no exista perdida de luz.

La configuración que utilizamos es tipo “Puente H” cuyo elemento clave es un transistor NPN, con la cual tenemos valores específicos de corriente. Hemos realizado un análisis matemático del mismo en donde podemos observar como es el comportamiento de esta configuración.

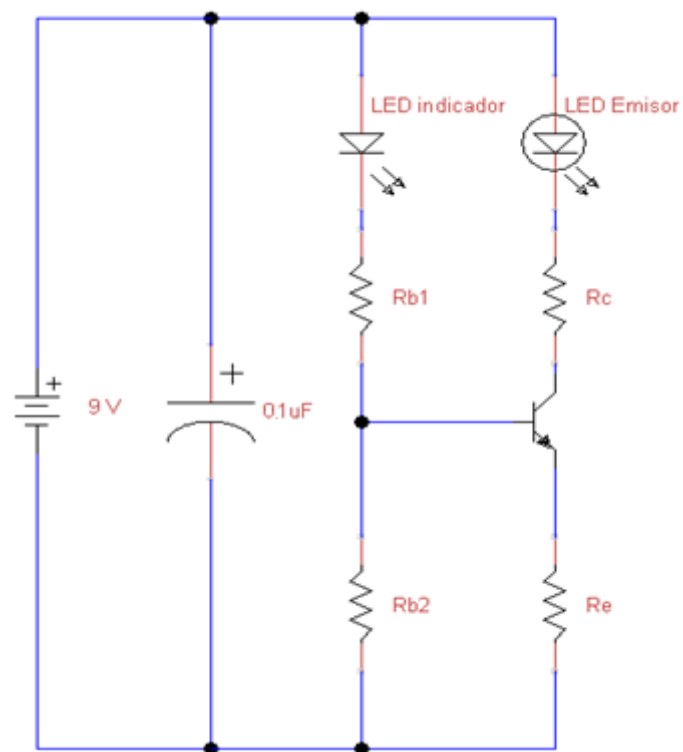


Figura 3.3: Puente H

En esta configuración hemos añadido un capacitor en paralelo a la fuente para que sirva como filtrado inicial de ruido inducido.

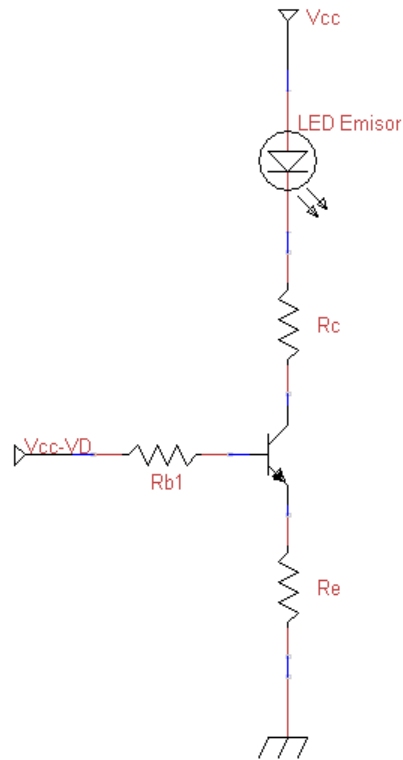


Figura 3.4: Circuito Equivalente

A partir del circuito anterior obtenemos este circuito equivalente:

$$V_{cc} - V_D = I_b R_{b1} + V_{be} + I_e R_e$$

$$V_{cc} - V_D = \frac{I_e}{\beta + 1} R_{b1} + 0,7 + I_e R_e$$

$$V_{cc} - V_D = 0,7 + I_e \frac{R_{b1}}{\beta + 1} + R_e$$

$$I_e = \frac{V_{cc} - V_D - 0,7}{\frac{R_{b1}}{\beta + 1} + R_e} \quad (3.1)$$

En la formula (3.1) encontramos la relación de I_e la cual es inversamente proporcional al valor de R_e , al ser dependiente I_e de R_e nos permite tener la corriente deseada alterando esta resistencia.

Es importante considerar que se realizó un circuito independiente para cada alternativa de medición, es decir el LED verde y LED rojo funcionan con la misma configuración pero se emplearon diferentes valores en sus elementos con el objetivo de que ambos LED's tuvieran la misma intensidad de luz logrando así que estos tipos de emisión se encuentren bajo las mismas condiciones y a su vez sean independientes.

Con ayuda de esta configuración se puede tener conocimiento de las corrientes que pasan a través de los LED's con acople para la POF. De esta manera podemos controlar de manera teórica cuanta corriente llega a nuestro circuito y que no esté propenso a ruido térmico.

A continuación se mostrara los datos obtenidos de nuestro circuito emisor en una prueba real de cada uno de los LED's generando un valor similar de potencia.

	LED Rojo	LED Verde
Voltaje [V]	1,85	3.57
Corriente [mA]	43.801	23,9
Potencia [mW]	81.032	85.323

Tabla 3.1: Datos del Circuito Electrónico-Óptico

3.4 Circuito Receptor

3.4.1 Receptores de luz para equipos ópticos

En esta etapa la luz que es transmitida a través de la POF es convertida a valores eléctricos por medio de los fotodetectores; estos al recibir los fotones los convierten en corriente. Existen dos tipos de fotodetectores: los fotodiodos y los fototransistores. Para nuestro sistema hemos utilizado un fototransistor el cual es conocido como Foto-Darlington.

El Foto-Darlington como se muestra en la siguiente configuración es más sensitivo que los otros fototransistores debido a que tiene una ganancia mucho mayor, gracias a sus dos etapas de amplificación conectadas en cascada. También cabe recalcar que por ser el más sensitivo su tiempo de respuesta es muy limitado y no sería de mucha utilidad para realizar transmisión de datos a grades velocidades.

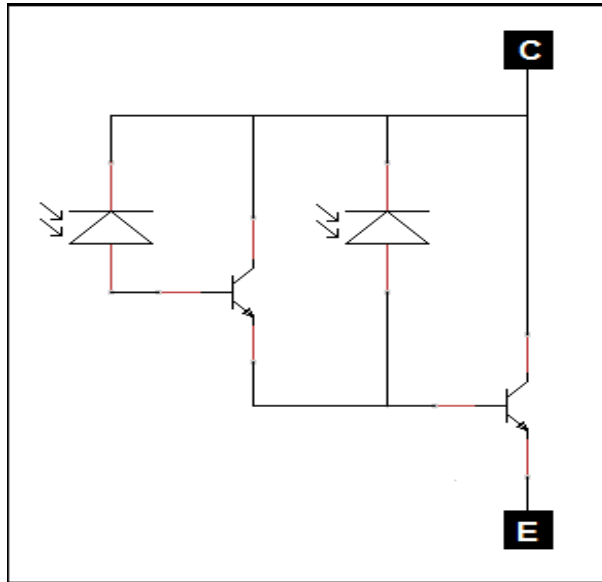


Figura 3.5: Foto-Darlington Estructura Interna

3.4.2 Diseño electrónico del Circuito Receptor

El circuito que se describe a continuación se encuentra en el apéndice con el título CIRCUITO RECEPTOR. Este circuito está alimentado con una señal analógica de 9 Vdc y para polarizar los amplificadores operacionales hemos utilizado una señal analógica de 12 Vdc. Este circuito consta de tres etapas las cuales procederemos a explicar con detalle cada una de ellas a continuación.

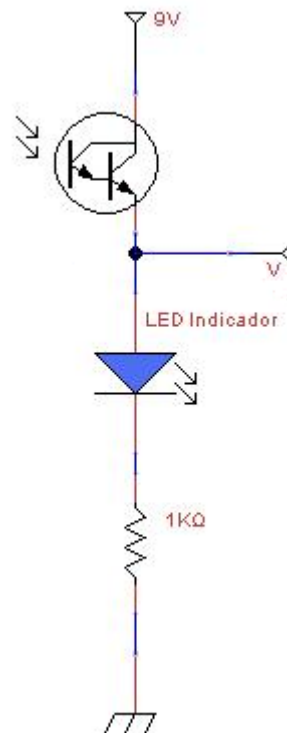


Figura 3.6: Circuito de Detección

La primera etapa la hemos denominado “*etapa de detección*” como podemos observar en la figura 3.6 está formada por una red que se encuentra alimentada por la fuente de 9 Vdc, la cual alimenta a nuestro fotodetector (fotodarlington), mismo que se accionará generando una corriente sólo al recibir la luz que viene desde el circuito emisor pasando a través de la cubeta con la muestra de agua destilada con cierta cantidad de Óxido de Titanio. Esta corriente pasará y activará a un LED azul el cual servirá como indicador de intensidad lumínica, mientras mayor sea la intensidad de luz del

mismo, más luz se encuentra pasando a través de la muestra. Finalmente la corriente pasa a través de una resistencia de carga de $1\text{ K}\Omega$ la cual nos ayudara a convertir los datos a valores de voltaje V.

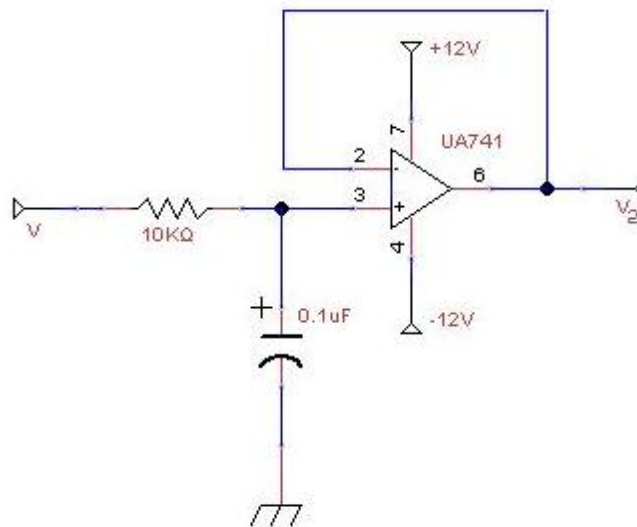


Figura 3.7: Circuito Pre-filtrado

La segunda etapa la hemos denominado “*etapa de pre-filtrado*” como podemos observar en la figura 3.7 está formada por un filtro paso-bajo y un OPAMP el cual lo conectamos como un seguidor de voltaje. Esta etapa la hemos diseñado con una resistencia de $10\text{ K}\Omega$ y un capacitor de $0.1\mu\text{F}$ el cual nos permite un paso de frecuencias menores a 159.155 Hz limitando de esta manera el paso de señales de ruido de alta frecuencia.

Hemos colocado en esta etapa un OPAMP con la configuración de seguidor de voltaje con la finalidad de que el valor que se encuentra en el extremo izquierdo V se mantenga igual a pesar de que este pase primero por un filtrado de señales de alta frecuencia, en donde V será igual al valor de V_2 una vez pasado el filtrado y el circuito seguidor de voltaje como observamos en la figura 3.7.

La tercera etapa la hemos denominado “*etapa de amplificación*” como podemos observar en la figura 3.8 está formada por un circuito amplificador. Considerando que necesitamos tener un amplificador que logre elevar esta pequeña señal a los voltios y que en vista que la señal de entrada es pequeña y se puede confundir con el ruido, este amplificador debe tener un alto CMRR (rechazo de modo común).

Un amplificador que logra ambas cosas, es el conocido como “Amplificador de Instrumentación”, el cual logra elevar bastante el voltaje de entrada (entrada diferencial) y tiene un alto rechazo de ruido de modo común.

Este circuito tiene la siguiente configuración:

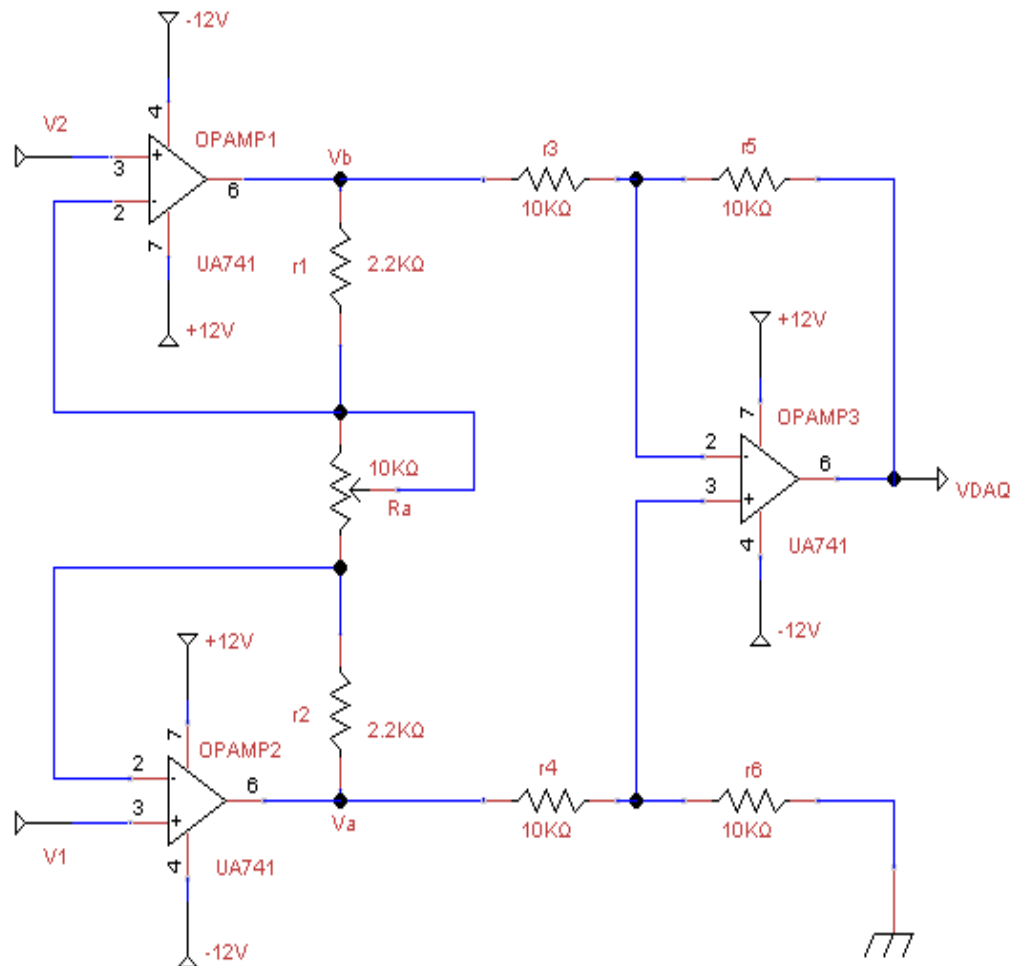


Figura 3.8: Circuito de Amplificación

Para poder demostrar la fórmula de ampliación de este amplificador definimos:

V1: voltaje en el pin+ del OPAMP 2

V2: voltaje en el pin+ del OPAMP 1

Va: Voltaje de salida del OPAMP 2

Vb: Voltaje de salida del OPAMP 1

VDAQ: Voltaje de salida del OPAMP 3

$r_1 = r_2 = 2,2k\Omega$

$r_3 = r_4 = r_5 = r_6 = 10k\Omega$

Ra: $10k\Omega$ variables

Entonces una vez definidas las variables tenemos el análisis particular de los 3 OPAMP's que forman este circuito:

Análisis del OPAMP1:

$$I^+ = I^- = 0A$$

$$v^+ = v^- = V2$$

Análisis del OPAMP2:

$$I^+ = I^- = 0A$$

$$v^+ = v^- = V1$$

Corriente a través del Ra:

$$I_{Ra} = \frac{V2 - V1}{Ra}$$

$$\begin{aligned}
 Vb &= \frac{V2 - V1}{Ra} * r1 + V2 \\
 Va &= -\frac{V2 - V1}{Ra} * r2 + V1
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

Análisis del OPAMP3:

$$I^+ = I^- = 0A$$

$$v^- = v^+ = Va * \frac{r6}{r4 + r6} = \frac{Va}{2}$$

Corriente a través de R3:

$$I_{r3} = \frac{Vb - \frac{Va}{2}}{r3} = \frac{2Vb - Va}{2 * r3}$$

$$I_{r3} = I_{r5}$$

$$VDAQ = -I_{r5} * r5 + \frac{Va}{2} = -\frac{2Vb - Va}{2 * r3} * r5 + \frac{Va}{2} = Va - Vb$$

$$VDAQ = -\frac{V2 - V1}{Ra} * r2 + V1 - \frac{V2 - V1}{Ra} * r1 + V2$$

$$VDAQ = \frac{V1 - V2}{Ra} r2 + r1 + (V1 - V2)$$

$$VDAQ = (V1 - V2) \frac{(r2 + r1)}{Ra} + 1$$

$$VDAQ = V1 - V2 \frac{4,4}{Ra} + 1 \quad (3.3)$$

Ra= 5.96K

Como se puede apreciar, cuando $Ra \approx 0$ entonces $vo \approx \infty$, con lo cual podemos lograr amplificar el voltaje generado ($v1-v2$) cuantas veces queramos. El voltaje mínimo de la amplificación para nuestra aplicación será de 1.48 V.

La razón por la cual este circuito logra amplificar la señal de nuestro fotodetector sin afectar de la misma manera al ruido, se debe a la premisa que si se induce ruido en nuestro fotodetector, se inducirá el mismo, o uno parecido entre sus dos terminales, razón por la cual:

$$V1 = V1^* + vr$$

$$V2 = V2^* + vr$$

Donde:

V1*: Voltaje propio de un terminal del fotodetector.

V2*: Voltaje propio del otro terminal del fotodetector.

vr: Voltaje de ruido.

Por lo que la fórmula del voltaje de salida por el amplificador de instrumentación será:

$$V_{DAQ} = V_1 - V_2 \frac{4,4}{R_a} + 1 = (V_1^* + vr) - (V_2^* + vr) * \frac{4,4}{R_a} + 1$$

$$V_{DAQ} = ((V_1^* - V_2^*) + vr - vr) * \frac{4,4}{R_a} + 1$$

$$V_{DAQ} = (V_1^* - V_2^*) * \frac{4,4}{R_a} + 1$$

Eliminando así el ruido inducido y demostrando el por qué esta circuitería tiene un rechazo al ruido alto.

3.5 Adquisición de datos (DAQ)

Para realizar la adquisición de datos utilizaremos la tarjeta NI6008 la cual para esta comunicación conectaremos el voltaje VDAQ de nuestro circuito en AI 0/AI 0+ y Gnd. LabView será el programa que utilizaremos para recibir los datos a través de la tarjeta de adquisición de datos con ayuda del asistente de DAQ mismo que tomará el voltaje previamente amplificado y en base a una programación en lenguaje G (Graphic) determinará los valores de turbidez.

3.5.1 Obtención de datos previos para Curvas de Calibración

Para poder obtener las curvas de calibración necesitamos realizar adquisición de datos de turbidez en un equipo específico y datos de voltaje de la misma muestra en nuestro sistema.

Para el desarrollo de esta aplicación hemos realizado pruebas a veinte muestras cada una de ellas con diferentes concentraciones de Óxido de Titanio diluidos en 100ml de Agua Destilada.

Para efectos de calibración de nuestro proyecto y adquisición de datos de turbidez, se utilizó el equipo HACH 2100AN, figura 3.9, del Instituto de Ciencias Químicas en el Laboratorio de Aguas ESPOL-ULPGC-AECID. Previo a realizar la medición en el turbidímetro se procedió a realizar la calibración del equipo con sus estándares y la limpieza del filtro como indica en el manual; el procedimiento lo podemos encontrar en el apéndice de este documento.



Figura 3.9: Turbídmetro HACH 2100AN

Posterior a la calibración y la limpieza del equipo se procedió a realizar el procedimiento de la preparación de la muestra. Una vez lista la muestra de estudio se realizó al mismo tiempo el procedimiento en nuestro equipo diseñado para determinar turbidez mediante la toma de datos de voltaje.

3.5.1.1 Procedimiento de la Preparación de la Muestra

Utilizamos una balanza de precisión de hasta 4 decimales para poder tomar valores muy pequeños de Óxido de Titanio; un vaso de precipitación de 100ml de volumen; un matraz de 100ml de volumen, un pipeta de y una pera.

Se realiza la tara en la balanza colocando el vaso de precipitación el cual será el recipiente en donde procedimos a colocar **N** gramos de Óxido de Titanio deseado para realizar la muestra.

Una vez ya pesada la cantidad exacta en mg de Óxido de Titanio se utiliza poca agua destilada para diluirlo, hasta que no quede ni una sola partícula alrededor del recipiente.

Se procede a verter en el matraz de 100ml de volumen cuando ya se ha diluido todo el Óxido de Titanio; se coloca agua hasta la marca que indica los 100ml en el matraz.

Se agita hasta tener una mezcla homogénea sin grumos.

3.5.1.2 Procedimiento para Determinar Turbidez

Turbidímetro HACH 2100AN

Ya teniendo la muestra lista tomamos una de las cubetas redondas del turbidímetro HACH 2100AN y vertemos en dicha cubeta parte de la muestra preparada del matraz de 100ml hasta donde indica la marca en la cubeta.

Ya puesta la muestra se procedió a realizar una previa limpieza a la cubeta con aceite de silicona y la franela de gamuza para retirar todas las partículas.

Se introduce la cubeta redonda en el soporte de cubetas de muestras; con la marca en forma de triángulo de la cubeta alineada con la marca de referencia del soporte. Es importante que estas marcas coincidan para que al realizar las mediciones en el turbidímetro estas sean valores correctos.

Por cada muestra realizamos hasta 5 veces la medición de turbidez para así de esta manera garantizar que las pruebas que se están realizando tengan el mínimo error posible.

3.5.1.3 Procedimiento para preparación de muestra en nuestro sistema de detección y medición de turbidez

Sea para realizar procedimiento de toma de datos para calibración o para tomar datos de turbidez es necesario que la cubeta de cuarzo que estamos empleando para colocar la muestra este limpia.

Utilizando un hisopo y alcohol isopropílico procedemos a limpiar la cubeta de cuarzo. Una vez ya limpia cada extremo de la fibra óptica de plástico será limpiado con un hisopo adicional y alcohol isopropílico antes de introducirla a la cubeta.

Una vez ya lista la cubeta y las fibras procedemos a utilizar la pipeta de Pasteur y una pera, para de esta manera tomar un poco de la muestra e introducirla dentro de la cubeta como lo muestra en la figura 3.10.

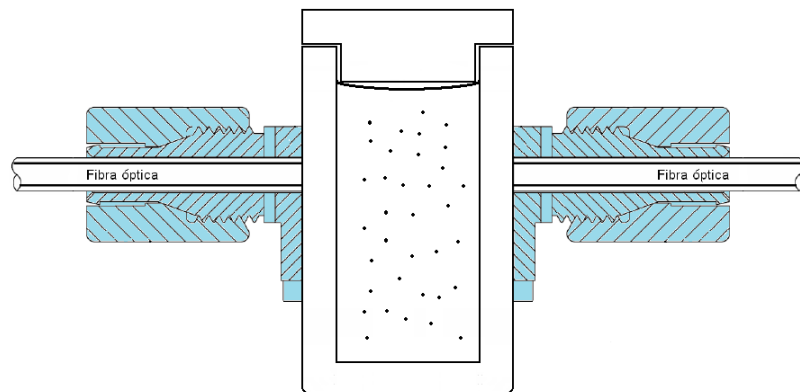


Figura 3.10: Cubeta con Acople Óptico

3.5.1.4 Procedimiento para Toma de Datos de Voltaje

Para realizar el procedimiento de toma de datos de voltaje hemos programado en LabView un Vi llamado "Adquisición

de Datos para Calibración”. Adicional hemos tomado datos de voltaje con un multímetro FLUKE 77 SERIE II para hacer una comprobación de los datos adquiridos por el Vi con la tarjeta de adquisición de datos NI6008.

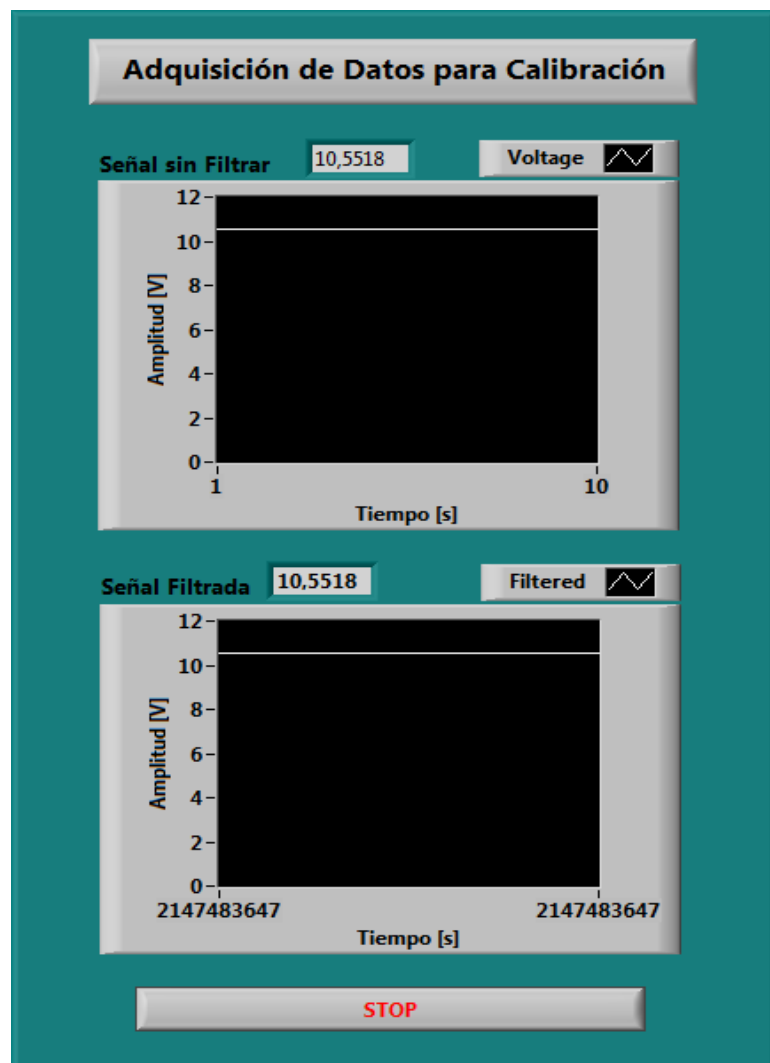


Figura 3.11: Adquisición de Datos para Calibración

En la figura 3.10 podemos observar la interfaz con el usuario para la adquisición de datos. Cuenta con dos indicadores un botón de Stop y dos cuadros de gráficas que muestran, en el primer cuadro la señal tal cual es adquirida desde la tarjeta de adquisición y en el cuadro posterior muestra la señal con un filtro con una frecuencia de corte de 10Hz (este filtro es programado desde LabView) después del asistente de adquisición de datos. Como podemos observar en el diagrama de bloques de la figura 3.11 a continuación.

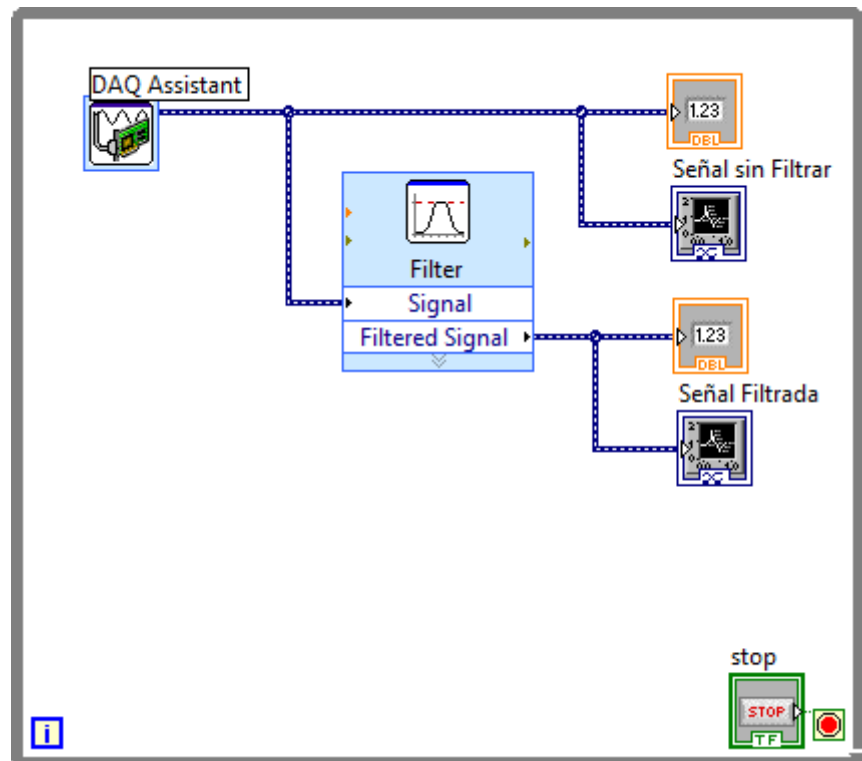


Figura 3.12: Diagrama de Bloques

En el apéndice de este documento podemos encontrar imágenes de cómo se realizó el Proceso de Adquisición de Datos de Calibración.

3.5.2 Diseño de Calibración del Sistema de Detección y Medición de Turbidez

Para obtener las curvas de calibración hemos realizado un VI en LabView llamado “Función LED Verde” y “Función LED Rojo” los cuales las encontraremos en el Diagrama de Bloques de programa principal con este icono.

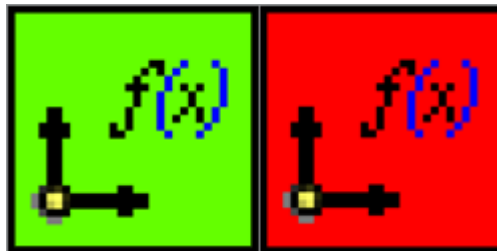


Figura 3.13: Función LED Verde [i], Función LED Rojo [d]

El diagrama de bloques de la función de LED verde que se describe a continuación se encuentra en el apéndice con el título “Función LED Verde”. Para ambas funciones tanto rojo como verde se utilizó la misma programación; en lo que difieren es en los arreglos que contienen los valores numéricos correspondientes a la toma de datos

particular que se tomó para cada color verde como rojo y tanto de turbidez como de voltajes.

El elemento fundamental que hemos empleado para este sistema es el “General Polynominal Fit”, tiene como función devolver los coeficientes polinomiales de una función y dar una gráfica de mejor ajuste. Para esto debe recibir como datos dos arreglos, un arreglo de “Y” y otro arreglo “X”; y el orden polinomial (en número entero) como se muestra en la figura 3.14.

Para esta aplicación hemos utilizado una función polinomial de orden 8, un arreglo Y que son los valores de turbidez y un arreglo de X que son los valores de voltaje, previamente adquiridos.

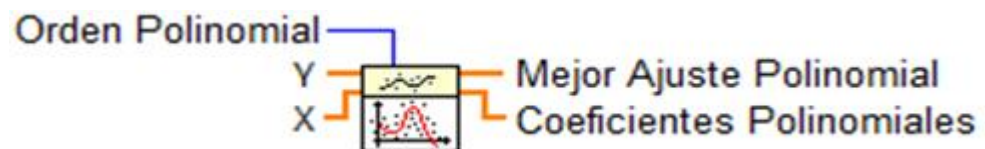


Figura 3.14: Partes del “General Polynominal Fit”

Una vez ya generados los coeficientes polinomiales procederemos a utilizar un cuadro de fórmulas en donde tendremos como dato de entrada los valores que sean adquiridos por la tarjeta NI6008 y como salida será ya el valor de turbidez. Dentro de este cuadro de fórmulas, una vez declaradas variables, utilizaremos los valores que generó el

“General Polynominal Fit”, elevando el valor de “**x**” (ENTRADA DAQ) a sus respectivas potencias. Como podemos observar, en la figura 3.14 para LED verde y la figura 3.15 para LED rojo, los respectivos valores.

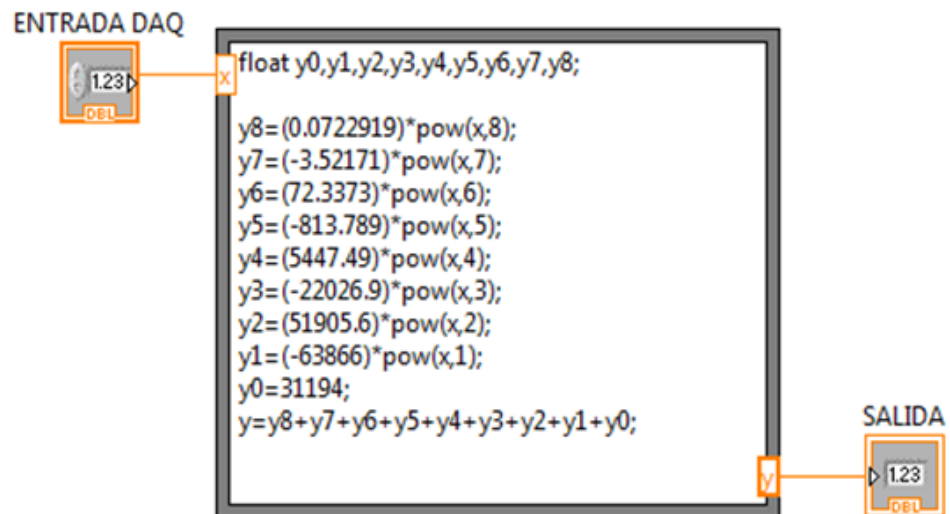


Figura 3.15: Programación Función LED Verde

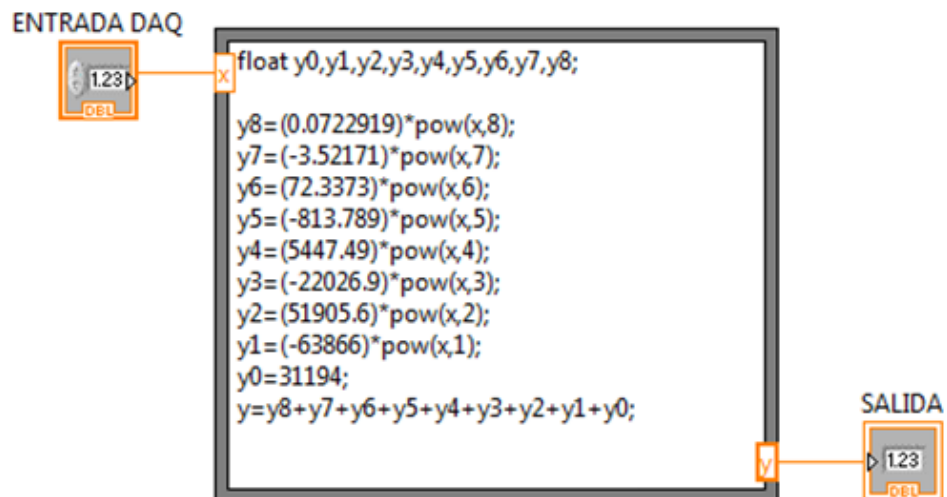


Figura 3.16: Programación Función LED Rojo

3.5.3 Diseño de Cálculo de Error

Para obtener los valores de “Error 1” y “Error 2” hemos realizado un subVI en LabView llamado “Error LED Verde” y “Error LED Rojo” los cuales las encontraremos en el Diagrama de Bloques de programa principal con este icono.



Figura 3.17: Error LED Verde [i], Error LED Rojo [d]

Para realizar la programación nos hemos basado en el cálculo de error absoluto y cálculo de error relativo, utilizando la programación previamente desarrollada para el Diseño de Calibración del Sistema de Detección y Medición de Turbidez; en donde directamente se utilizó los valores del arreglo “X” (valores reales [V]), que son los valores de voltaje, para que sean evaluados por los respectivos cuadros de fórmulas, de esta manera podemos obtener un nuevo arreglo “estimado” el cual tendrá el mismo tamaño del arreglo “X” y sus datos serán valores estimados de turbidez.

Como sabemos el error absoluto es la diferencia entre el valor real y el valor estimado y el error relativo el cociente entre el valor de error absoluto y el valor real. Teniendo estos conceptos, tomamos los valores del arreglo "Y" (valores reales [NTU]) y los valores del arreglo "estimado" y realizamos cálculo de error absoluto y relativo de cada una de las muestras tomadas en donde el valor real será el valor de turbidez tomado por el turbidímetro y el valor estimado es el calculado a través de la aproximación polinomial, arreglo "estimado". Una vez ya realizado el cálculo de error de las veinte muestras se crearán dos arreglos, el primero para los valores obtenidos de error absoluto y el segundo para los valores obtenidos de error relativo, de los cuales utilizaremos la posición n y la posición $n-1$. Este método consiste en realizar una comparación del valor de turbidez que genera el vi "Función LED Verde" dentro de los valores del arreglo "estimado" si existe una igualdad el resultado que muestra son los errores calculados en esa posición del arreglo; si el valor de turbidez es menor a uno de los valores del arreglo "estimado" este realizará una comparación entre las dos posiciones de ambos arreglos de errores, la posición n y la posición $n-1$, en donde se tomará de las dos posiciones el valor mayor, estos valores son *Error 1*, el error absoluto

hallado y el *Error 2*, el error relativo hallado. Colocamos toda esta programación dentro de un lazo *while* de donde solo se podrá salir del mismo al haber encontrado el valor de error, *Error 1* y *Error 2*, como muestra la figura 3.18. Estos valores se muestran fuera del lazo *while*.

La figura 3.18 muestra parte de la programación previamente detallada, el programa completo lo encontraremos en el apéndice de este documento.

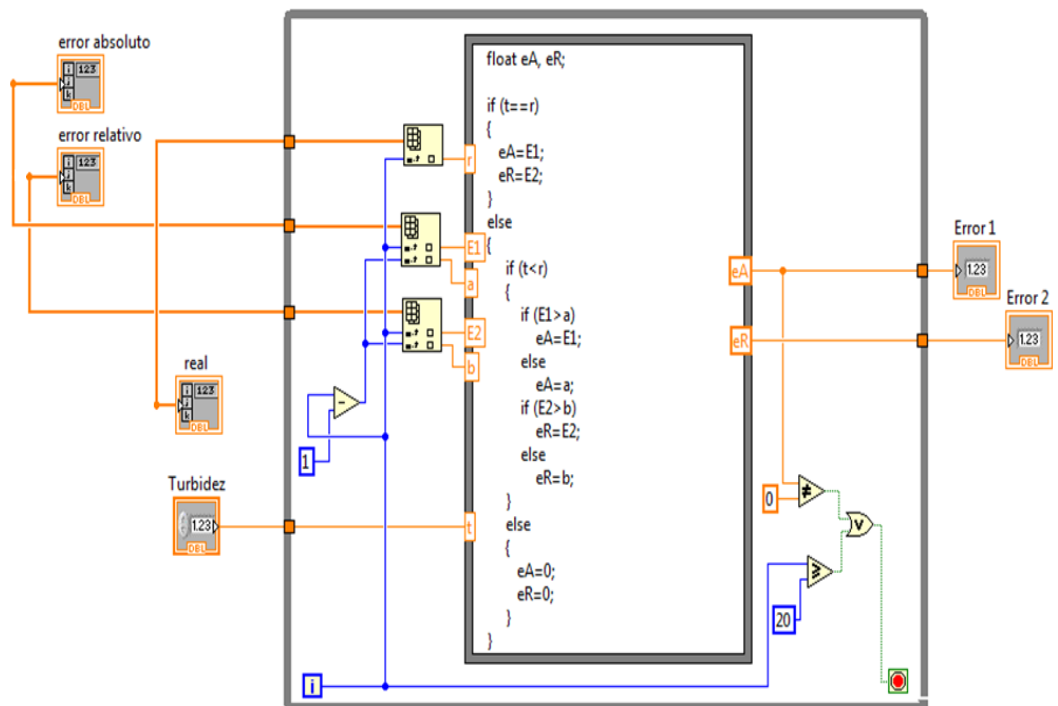


Figura 3.18: Lazo *While* Comparativo

3.5.4 Otros Diseños

Otros diseños que hemos programado para el desarrollo de esta aplicación son:

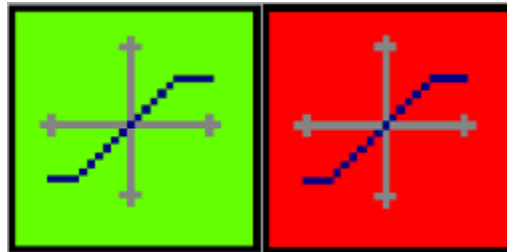


Figura 3.19: Cal LED Verde [i], Cal LED Rojo [d]

Cal LED Verde y Cal LED Rojo son subVI's creados para generar la curva de calibración de cada color y mostrarla respectivamente al momento de realizar la selección en el programa principal "Turbidez".



Figura 3.20: Tonalidad LED Verde [i], Tonalidad LED Rojo [d]

Tonalidad LED Verde y Tonalidad LED Rojo son subVI's creados para generar la tonalidad de la cubeta, misma que va variando su color dependiendo de los rangos utilizados.

3.5.5 Diseño del Sistema de Detección y Medición de Turbidez

Una vez realizados todos los subVI necesarios para la implementación del Sistema final, se unifican para desarrollar el programa final, mismo que hemos llamado como “tes principal” en donde el panel frontal está formado de cinco partes como podemos observar en la figura 3.21.

La *selección del color* a utilizar, sea este Rojo o Verde según el requerimiento. Cuenta con un *gráfico de la cubeta* en donde podremos visualizar como la cubeta a medida de que la concentración de Óxido de Titanio es mayor esta pierde el color de la alternativa de medición seleccionada. Los *datos generados*, por la DAQ el valor real de voltaje que está detectando en ese instante, el valor de turbidez generado una vez que el valor de voltaje es evaluado por la función “Función LED Verde/Rojo” y los valores de Error 1 y Error 2. Las *dos gráficas* en donde podemos encontrar la respectiva Curva de Calibración que dependerá del color escogido y la gráfica de Voltaje DAQ siendo sensado el voltaje en tiempo real. En la parte final encontraremos le botón de *STOP* para detener la simulación.

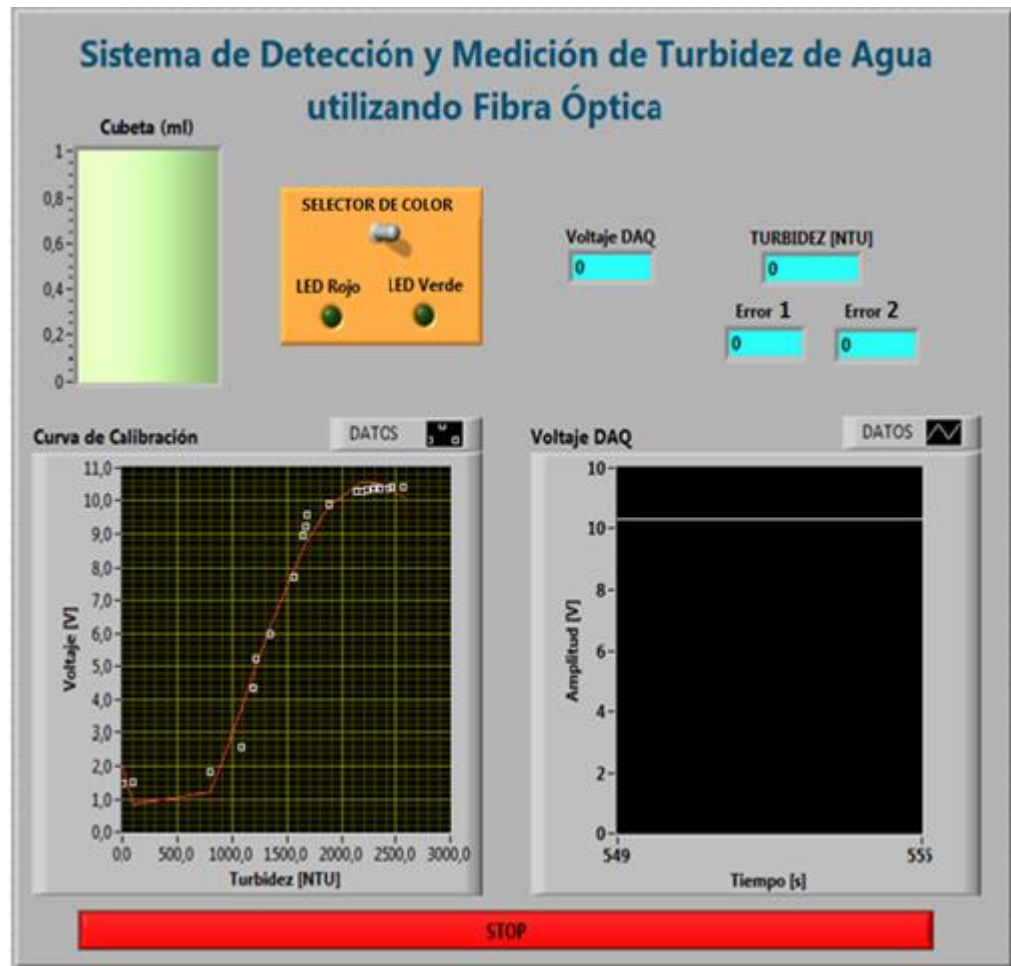


Figura 3.21: Interfaz Gráfica Final

Esta es la pantalla principal con la cual el usuario, jefe de laboratorio o personal encargado realizará la obtención y conversión de datos. No hay necesidad de detener la simulación para realizar el cambio de color. El diagrama de bloques con la programación lo podemos encontrar en el apéndice de este documento.

Este VI lo hemos programado utilizando como base un *Case Structure* el cual nos ayudará para realizar la selección del color; es dentro de éste que se utilizan los cuatro subVI's antes mencionados. Como podemos observar, existe por cada color (Verde, Rojo) cuatro subVI's.

En el mismo momento que se ingresa al *Case Structure* de la selección del color, nos encontramos con otro *Case Structure* el cual podemos graduar límites del rango dinámico de nuestro sistema; puesto que como podemos observar en las gráficas de calibración, adjuntas en el anexo de este documento, existen dos codos, uno en cada extremo (al inicio y al final). Hemos delimitado el valor inferior desde 2V y el valor superior hasta 10,6028V, el cual es el valor límite que sensa la tarjeta de adquisición de datos NI6008. Con ayuda de una puerta *OR* definiremos cuando deberá generarse.

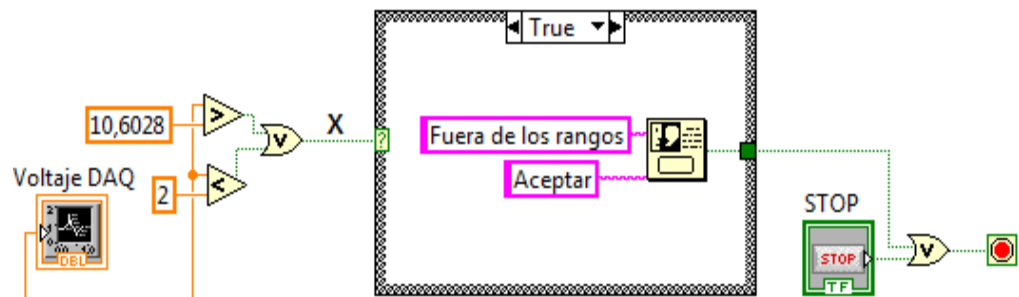


Figura 3.22: Case Structure Mensaje de Error

La figura 3.23 muestra el mensaje de error que genera el *Case Structure* en el panel frontal. Al seleccionar “Aceptar” se detiene la simulación, puesto que se encuentra directamente conectado con el botón stop del lazo *while* que encierra toda la programación como podemos observar en la imagen anterior (figura 3.21).

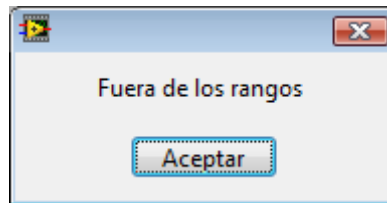


Figura 3.23: Mensaje de Error

La cubeta que se muestra en el panel frontal forma parte del diseño gráfico, la hemos implementado con esta herramienta de programación denominada *tank*. La variación de su color dependerá de qué color este seleccionado y de los valores de voltaje que esté sensando la tarjeta de adquisición de datos. Como podemos observar en la figura 3.24 esta cubeta se encuentra conectada con un *Select* el cual al estar conectado en el centro la salida de la puerta *OR* dependiendo de la respuesta de la misma, este tomara 0 (vacía la cubeta) cuando sea falso y 1 (llena la cubeta) cuando sea verdadero.

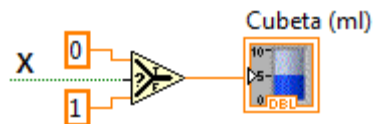


Figura 3.24: Cubeta

Para el color utilizamos la función “Tonalidad LED Verde/Rojo” antes mencionada; sin importa que color esté seleccionado se conectará con *FillColor* (esta función forma parte de la herramienta *tank*) el cual se encuentra fuera del *Case Structure* de la selección de color; es por medio de éste que se realiza el llenado de la cubeta con los colores dependiendo del color elegido previamente.



Figura 3.25: *FillColor* para Cubeta

Cabe recalcar que esto lo hemos usado solo como un indicador gráfico del que está ocurriendo dentro del equipo, se puede agregar más rangos de valores de voltaje en la función “Tonalidad LED Verde/Rojo” para generar más tonalidades para hacer de esta aplicación más didáctica.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo realizaremos un análisis de la conversión de los datos sensados por la tarjeta de adquisición; de los valores obtenidos para la calibración del sistema y de los valores obtenidos una vez ya operativo el VI principal programado en LABVIEW. Realizaremos un análisis final que presentará la funcionalidad del sistema y de qué manera podemos optimizar el mismo.

4.1 Pruebas de Turbidez para calibración

Se realizaron, en 20 muestras, las pruebas de turbidez; con los datos obtenidos realizamos la curva de calibración respectiva a cada color. Cada muestra contenía una concentración de Oxido de Titanio de n [mg] en 100 [ml] de agua destilada. Se realizó hasta 5 veces la toma de datos, utilizando el procedimiento detallado en el capítulo anterior.

Concentración [mg]	Promedio Turbidez [NTU]	Promedio LED Verde [V]	Promedio LED Rojo [V]
0	0,1574	1,47179	1,5024
1,3	91,28	1,50036	1,893006
2,6	795,2	1,817078	2,611742
3,1	1077,4	2,60188	4,008498
5,2	1192,4	4,325468	5,585304
7,7	1217,8	5,250268	7,264936
10,4	1346,4	6,007396	8,933716
13,1	1560,2	7,748036	10,06982
15,2	1643,8	8,951086	10,12946
17,6	1665,4	9,198976	10,20898
20	1680,4	9,579212	10,3049
25,4	1884,6	9,888646	10,34938
30,7	2125,2	10,26488	10,5212
32,7	2176,8	10,27544	10,53908
35,2	2231,4	10,33138	10,55996
37,7	2281,8	10,35586	10,5824
40,4	2350,6	10,38248	10,60276
42,6	2429	10,39302	10,6028
45,3	2467,4	10,42328	10,6028
50,4	2568	10,43962	10,6028

Tabla 4.1: Valores Promedios de Voltajes y Turbidez

En la tabla 4.1 encontramos el valor promedio de voltaje y turbidez de cada muestra con su respectivo valor de concentración.

Para realizar esta recolección de datos se tomó dos valores frontera, tales que puedan ser mesurables tanto por el turbidímetro *HACH 2100NA* como por nuestro *Sistema de Detección y Medición de Turbidez en el Agua utilizando la Fibra Óptica*. Este valor fue producto de la mezcla de 50 mg de Óxido de Titanio y 100ml de agua destilada. Nuestro sistema fue el equipo que tuvo este valor como limitante debido a que con el color Rojo ya no era medible con la tarjeta de adquisición de datos.

4.2 Análisis de Pruebas de Turbidez para Calibración

En cada prueba de turbidez para la calibración se hallaba el mismo patrón en donde el valor de cada muestra se volvía repetitivo en al menos 3 de 5 mediciones que se realizaba. Para la realización de las curvas y para la conversión en el VI final se han utilizado los valores promedios de voltaje como de turbidez.

Para el desarrollo de este sistema una vez ya adquirido los valores para la calibración se procedió a realizar un estudio de regresión lineal mismo que nos dio estos resultados.

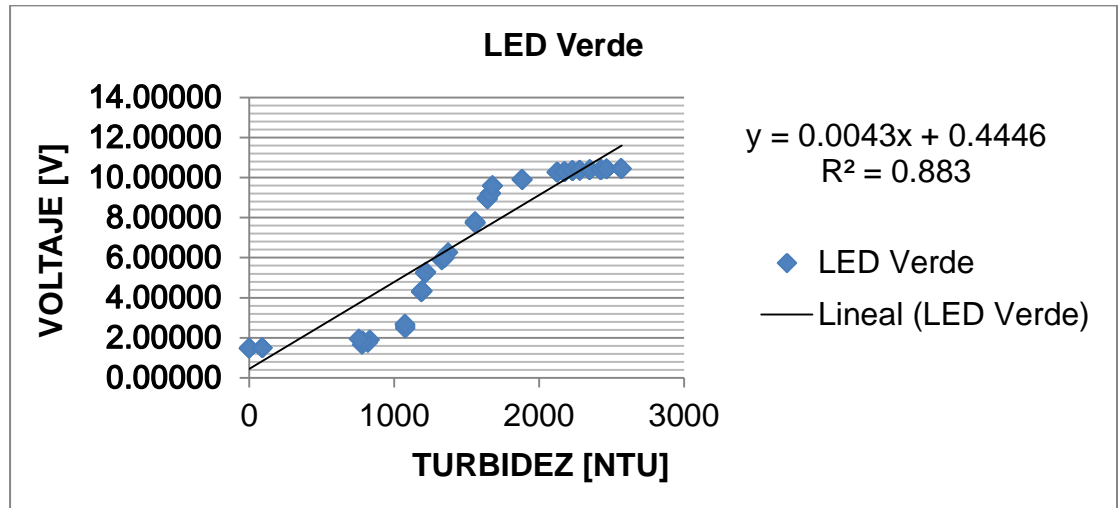


Figura 4.1: Regresión Lineal LED Verde

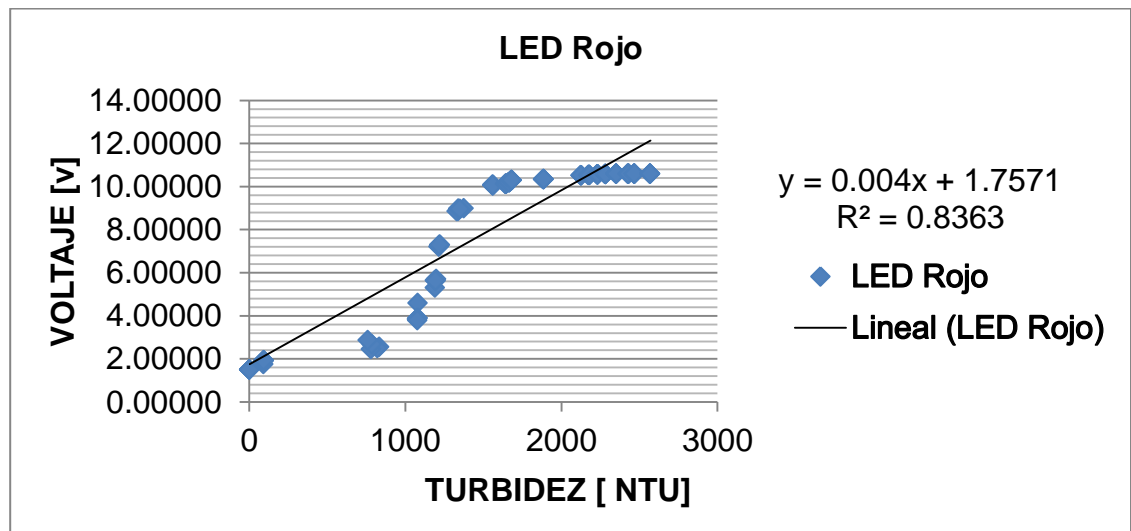


Figura 4.2: Regresión de Lineal LED Rojo

Como podemos observar en las figuras 4.1 y 4.2 cada color presenta su función lineal ajustada, misma que va acompañada de un factor R^2 , este

valor nos indica que tan preciso es el ajuste de la recta a los datos; mientras más se aproxima a 1 es mejor el ajuste lineal.

A pesar que los valores R^2 del ajuste lineal son superiores a 0.8 se necesita mayor precisión, puesto que estamos elaborando un sensor. Es por esto que se realizó un análisis polinomial; mientras mayor sea el grado de la función, mejor es el ajuste polinomial. A continuación observaremos el ajuste polinomial realizado con los valores promedios.

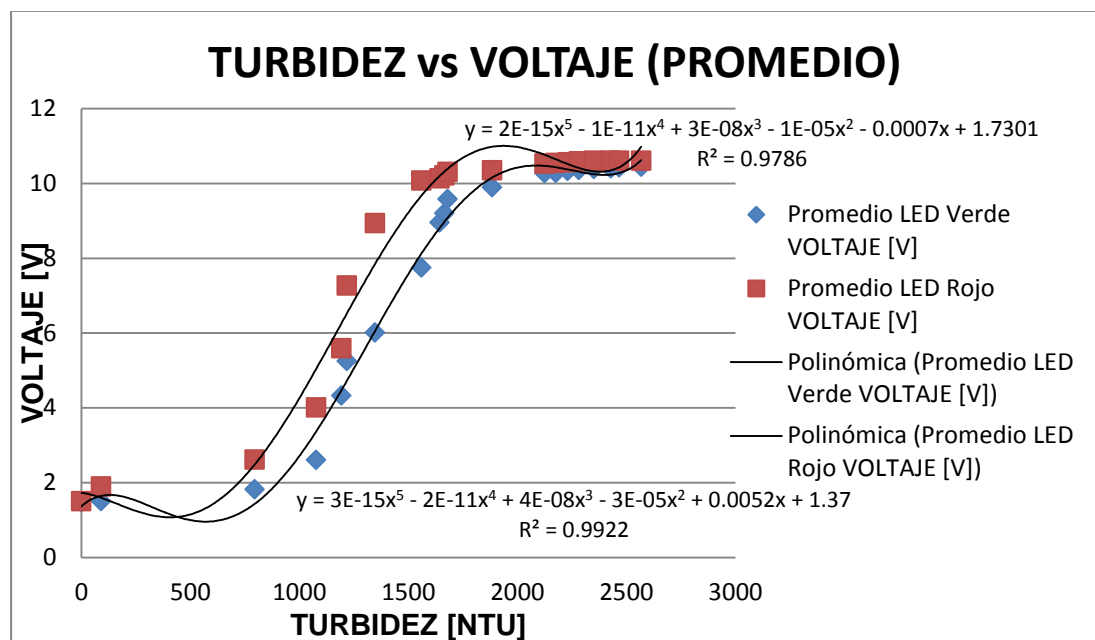


Figura 4.3: Ajuste Polinomial de Grado 5

La figura 4.3 nos muestra el Ajuste polinomial realizado en ambos colores (LED Rojo, LED Verde) utilizando los promedios. Podemos observar en las funciones generadas los valores de R^2 respectivamente; estos valores son

muy cercanos a 1, para color rojo el R^2 es 0.9786 y para color verde el R^2 es 0.9922. Es por esto que para el desarrollo de este sistema de detección y medición de turbidez se seleccionó el método de ajuste polinomial para la conversión de los datos de voltaje a turbidez.

En el anexo de este documento podremos encontrar los datos adquiridos para la calibración de los equipos que utilizamos: turbidímetro 2100NA, la tarjeta NI6008 y el multímetro FLUKE 77 SERIE II.

4.3 Pruebas de Turbidez de Nuestra Aplicación

4.3.1 Procedimiento para Detección y Medición de Turbidez en el Agua

Para realizar las pruebas se debe previamente haber realizado el procedimiento para la preparación de muestra en nuestro sistema de detección y medición de turbidez que se encuentra en el capítulo anterior.

Una vez ya preparada la muestra se procede a abrir la aplicación creada “tes principal” se presiona la tecla *RUN* en LabView y con esto se encuentra operativo. Si se requiere cambiar de color Rojo a color Verde con el selector que muestra el panel frontal de la aplicación se

lo puede realizar; no es necesario detener la simulación para realizar el cambio de color.

Físicamente el cambio de color se realiza con el interruptor que tiene circuito emisor. Debido a que solo tenemos una sola fibra del circuito emisor se procede a cambiar la misma hacia el otro LED. En este caso, primero apagamos el sistema físico y luego de realizar el cambio de la fibra; posterior a estos pasos enciende el sistema y se selecciona el color.

4.4 Análisis Pruebas de Turbidez de Nuestra Aplicación

Para el desarrollo de este documento hemos realizado dos muestras una de ellas, que contiene 38 mg de óxido de titanio diluidos en 100 ml de agua destilada, la cual se encuentra dentro de los rangos y va a ser medida por nuestro sistema; y la otra prueba, que contiene 2mg de óxido de titanio diluidos en 100 ml de agua destilada, la cual se encuentra fuera de los rangos establecidos por nuestro sistema. Para ambas muestras se ha realizado la toma de datos con ambos colores (color rojo y color verde).

4.4.1 Muestra de 38mg

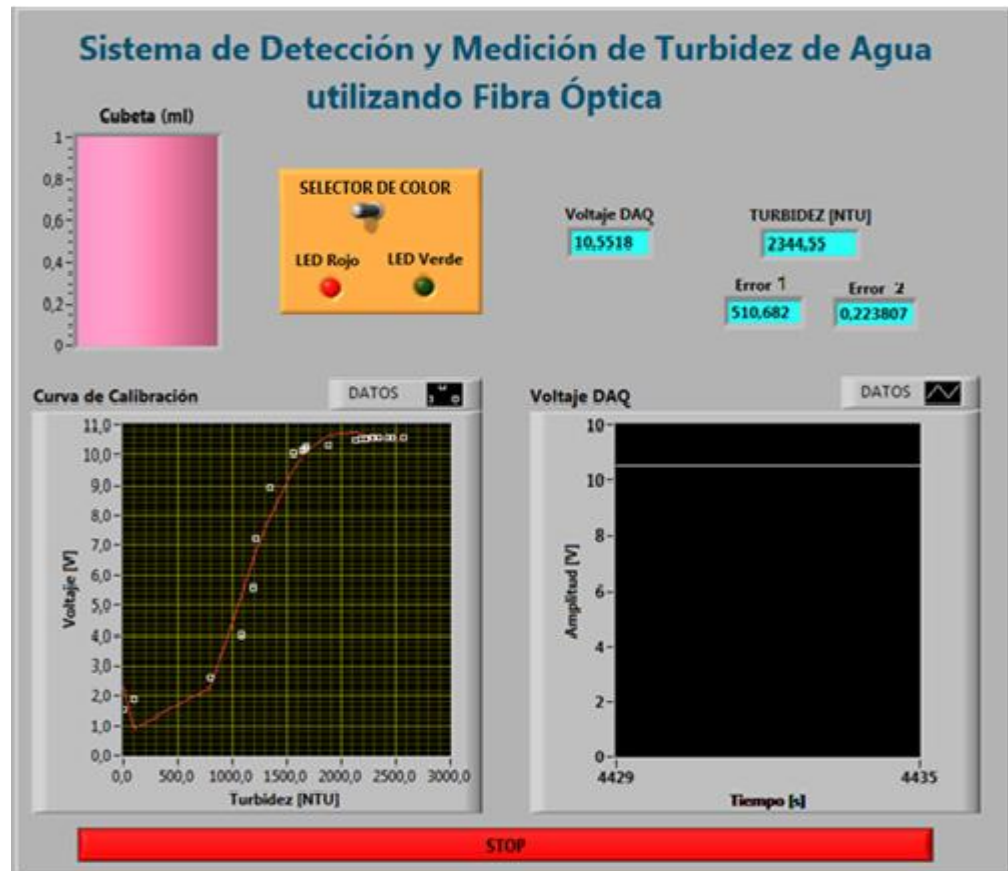


Figura 4.4: Muestra 38mg - Color Rojo

La figura 4.4 es el resultado de la prueba realizada. Como podemos observar en el panel frontal el valor detectado por la DAQ es de 10,5518 [V], mismo que se convierte en el valor estimado de 2344,55 [NTU]. También podemos observar esta aproximación en la gráfica de Curva de Calibración. El error absoluto es 510.682 y el relativo es

0.223807, estos valores son los errores en el sector donde se encuentra este punto.

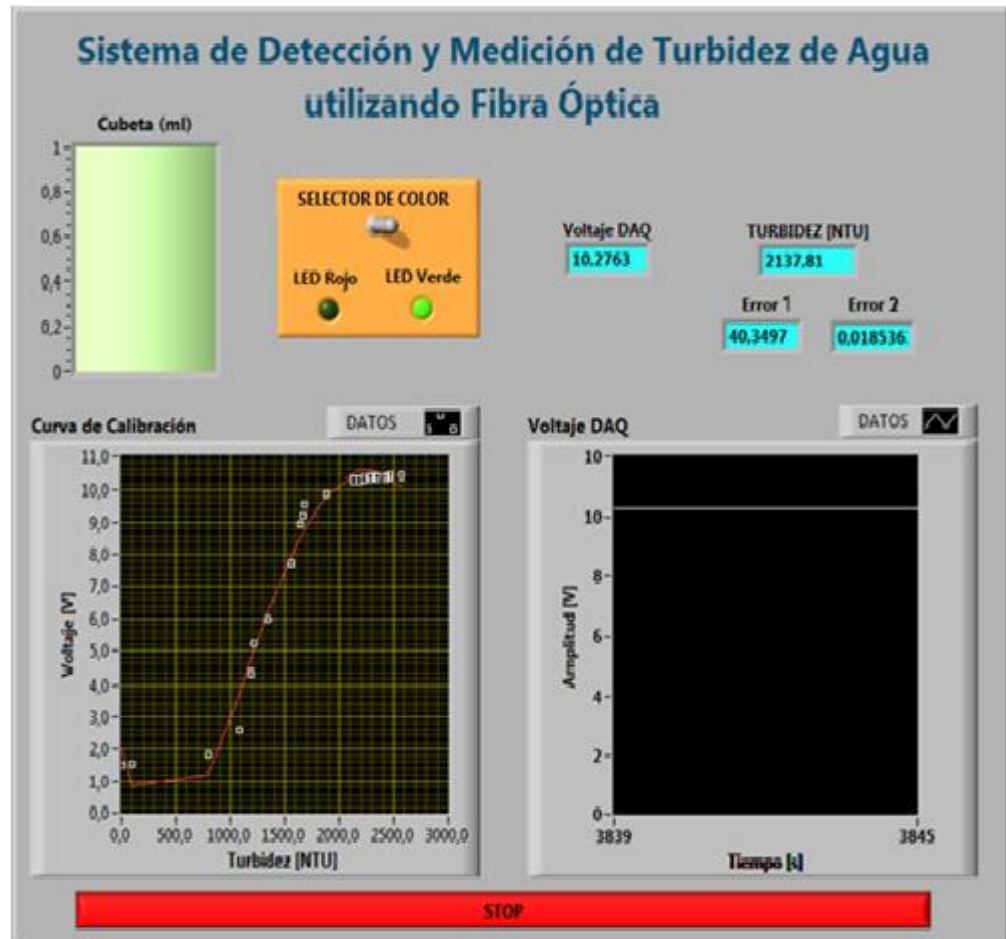


Figura 4.5: Muestra 38mg - Color Verde

La figura 4.5 es el resultado de la prueba realizada. El valor detectado por la DAQ es de 10,2763 [V], mismo que se convierte en el valor estimado de 2137,81 [NTU]. También podemos observar esta aproximación en la gráfica de Curva de Calibración. El error absoluto

es 40.3497 y el relativo es 0.018536, estos valores son los errores en el sector donde se encuentra este punto.

4.4.2 Muestra de 2mg

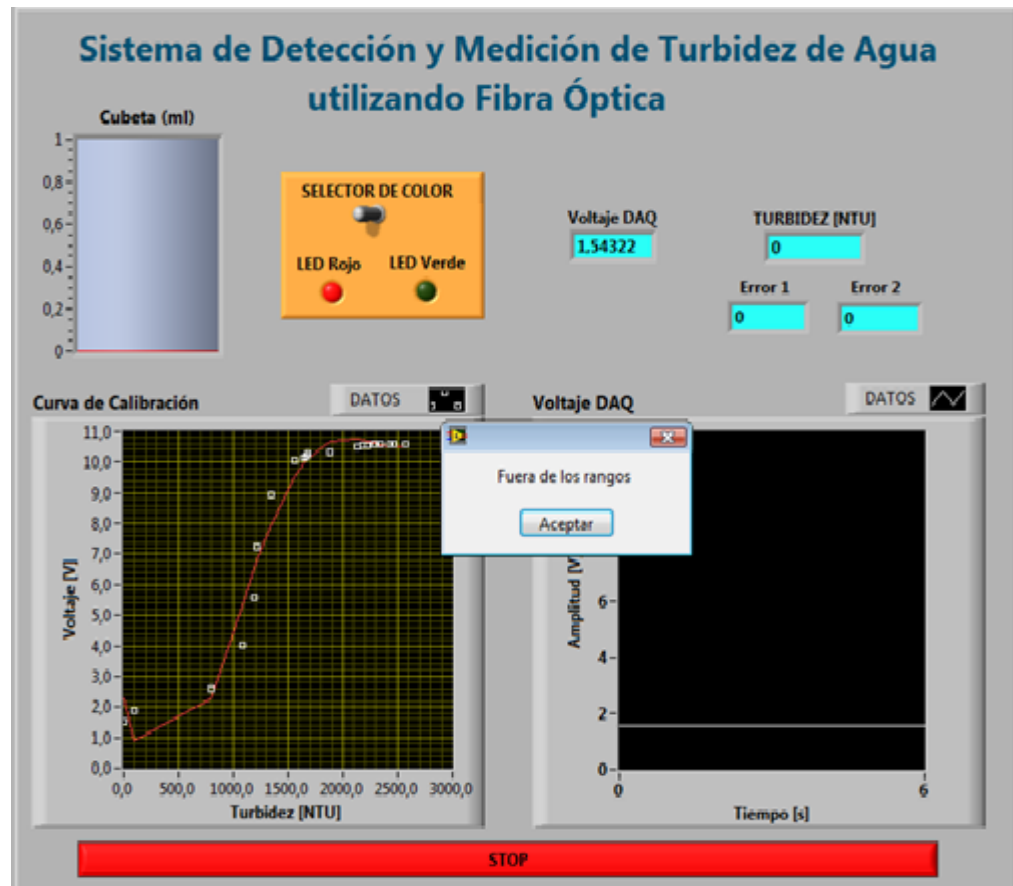


Figura 4.6: Muestra 2mg - Color Rojo

La figura 4.6 es el resultado de la prueba realizada. El valor detectado por la DAQ es de 1,54322 [V]. Como podemos observar presenta un mensaje de error indicando que el valor detectado por la tarjeta NI6008 no se encuentra dentro de los rangos establecidos. En el capítulo anterior se estableció que los rangos limitantes son 2 [V]

como valor mínimo y **10.6028 [V]** como valor máximo; el valor máximo es tomado como límite que presenta la tarjeta para adquirir datos, el valor mínimo puesto que como se observa en las curvas de calibración de ambos colores es en donde la gráfica presenta un codo (es en donde los errores absolutos y relativos son extremadamente altos).

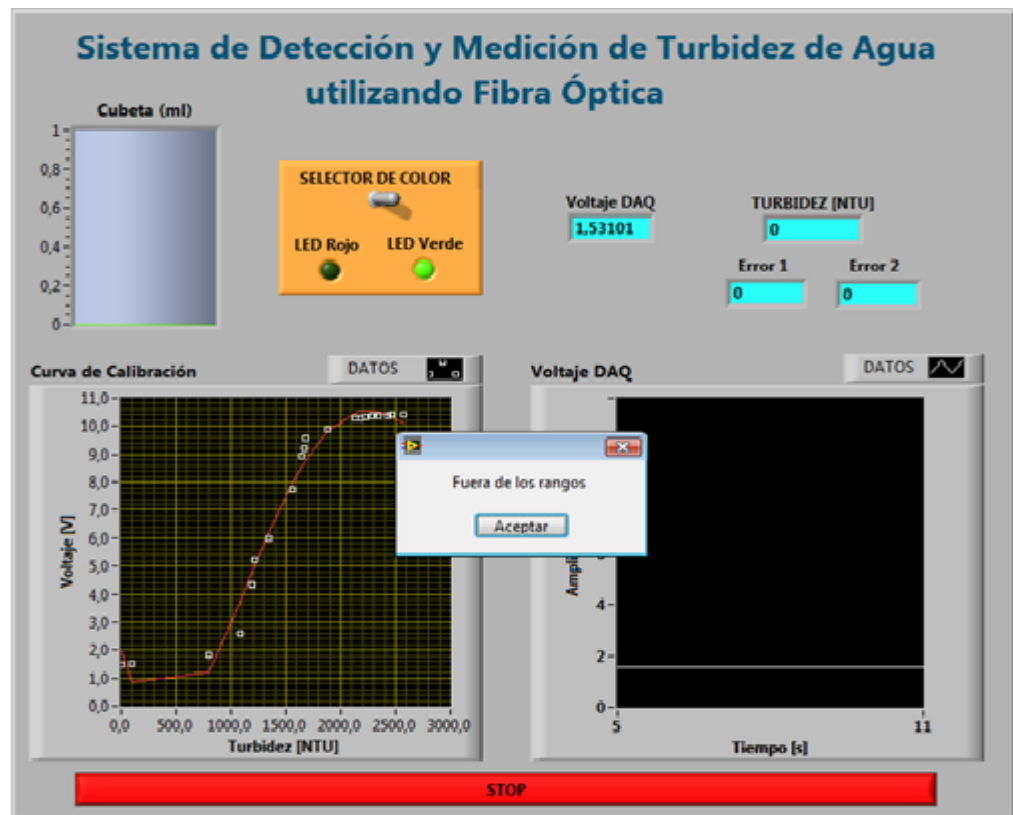


Figura 4.7: Muestra 2mg - Color Verde

La figura 4.7 utiliza la misma muestra con color verde. Presenta el mismo resultado.

4.5 Análisis Final

Al realizar las pruebas en con las muestras de 38mg y 2 mg pudimos notar puntos relevantes de implementación tales como se detallarán a continuación.

Al realizar la prueba con la muestra que contenía 38mg de Óxido de Titanio podemos observar las diferencias notables que presentan en los valores detectados de voltaje. Esto se debe a que ambos están trabajando a diferentes potencias.

En el desarrollo de este sistema y con los datos obtenidos pudimos observar que tenía mayor respuesta (rango) al utilizar el LED verde el cual está operando con una longitud de onda de 530nm inferior a la longitud de onda en la que está operando el LED rojo (660nm).

En las pruebas con el LED rojo se pudo observar que éste se atenuaba más que al realizar con la misma muestra la prueba con el LED verde.

Al realizar la prueba con la muestra que contenía 2mg de Óxido de Titanio presento un mensaje de error que indica que se encuentra fuera de los rangos establecidos. Ya mencionados anteriormente, estos rangos fueron establecidos bajos las limitantes que presentaba el mismo sistema físico.

El valor mínimo que detectaba el fotodetector es de 1.48 [V], valor ya amplificado adquirido cuando la cubeta se encontraba sin muestra.

El valor máximo que detectaba la tarjeta de adquisición de datos NI6008 era de 10.6928 [V]. A pesar de que este valor era límite en la tarjeta de adquisición de datos se continuó adquiriendo datos con un multímetro digital; este presentó un valor límite de 11.583 [V]. Es relevante mencionar que los OPAMP's utilizados para la implementación son UA741 y se encuentran alimentados con fuentes de +12V y -12V.

Como podemos observar este sistema es exclusivo para un tipo de sustancia. Específicamente se lo desarrolló con fines didácticos para realizar el estudio de la ley de absorción de luz como esta viaja a través de un medio guiado, en nuestro caso la fibra óptica plástica (fibra multimodo) la cual para este tipo de prácticas utilizando cortas distancias y en donde se consume muy poco ancho de banda es muy práctica y a un bajo costo en el mercado.

También podemos emplear este tipo de sistemas en donde se necesite tener un tipo de filtrado de un proceso específico, sea en un laboratorio clínico o industria; mismo que esté midiendo de manera continua que grado de turbidez tiene la muestra y hasta qué punto debe de llegar esta. Al mismo sistema se lo puede automatizar con las herramientas que nos brinda

LabView para que ésta no solo mida valores y los almacene en una hoja de cálculo sino que también emita alertas en el caso de que la sustancia que este sensando esté superando o disminuyendo el valor de turbidez requerido.

En el desarrollo de este sistema fue importante realizar un estudio acerca de la sensibilidad del fotodetector en este caso se quiso utilizar un fotodiodo PIN IFD91, a pesar de que es un excelente fotodetector no era lo que requería esta aplicación. La responsividad es en el orden de los nA y su velocidad de respuesta en ns. Es por esto que al realizar la selección del fotodetector se escogió el fotodarlington IFD93 que sin duda su velocidad de respuesta es lenta (ms) pero es muy sensitivo, su responsividad se encuentra entre los 200 μ A para longitudes de onda de 632nm.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se comprobó que la fibra óptica puede ser destinada a múltiples aplicaciones, en nuestro caso se involucró el uso de la fibra óptica de plástico como medio de transmisión en la realización del turbidímetro pues, ésta nos ofrece un sin número de beneficios, mismos que hacen que este medio guiado sea muy efectivo.
2. Los LED's que utilizamos son: LED verde IFE93 y el LED rojo 08IFE96 los cuales hemos escogido debido a que tienen una diferencia en longitud de onda de 130 nm, cada uno con una longitud de onda de $\lambda_p = 530$ nm y $\lambda_p = 660$ nm respectivamente. Además utilizamos en el receptor el fotodiodo IFD93 mismo que fue seleccionado de entre tres fotodetectores por ser el que tenía mayor sensibilidad en este medio guiado, tomando en cuenta las características de cada uno de ellos; así pudimos descubrir la mejor opción, la misma que fue destinada en la implementación del equipo llevándonos a obtener los resultados esperados luego de un gran estudio experimental.

3. Con las pruebas realizadas en el Instituto de Ciencias químicas en el Laboratorio de Aguas ESPOL-ULPGC-AECID con las muestras formadas por óxido de titanio y agua destilada en conjunto con nuestro equipo y el multímetro digital, pudimos notar que los datos tenían concordancia en cuanto a Voltaje, Turbidez y Concentración respectivamente, a mayor concentración de óxido de titanio mayor valor de turbidez y por ende mayor voltaje, la relación se dio directamente proporcional.
4. Para elegir el material al cual se iba a realizar el estudio de turbidez y su curva de calibración, elegir la mejor opción para formar la muestra, logramos usar el óxido de titanio con el agua destilada ya que era el material que se diluía con facilidad y que nos permitía tener mejores resultados. La arcilla tenía un tiempo muy limitado en el cual se asentaba y no permitía buenos resultados, los valores de turbidez de turbidímetro 2100NA diferían en grandes cantidades.
5. Gracias a la implementación del proyecto que básicamente está dirigido para fines didácticos, logramos comprender que podemos direccionar esta aplicación no solo en el ámbito de las telecomunicaciones sino también en explotar nuestros recursos y proporcionar ideas innovadoras en todos los ámbitos de la ciencia para contribuir con la sociedad y al adelanto de nuestro país.

Recomendaciones

1. Previamente a diseñar los circuitos debemos buscar información sobre el tema a realizarse, entender los conceptos básicos y teóricos para poder estructurar de manera correcta el proyecto, buscar ayuda técnica, en nuestro caso investigar el uso de diferentes modelos de turbidímetros y entender su funcionamiento y bajo qué parámetros operan, su confiabilidad, precisión y exactitud en la medición.
2. Investigar las variables involucradas en el sistema para poder controlarlas de una manera eficiente y por ende poder elegir los dispositivos más apropiados para utilizarlos en los circuitos; se debe hacer un estudio matemático antes de utilizar cualquier elemento electrónico como ganancia, saturación de los dispositivos, relación voltaje-corriente, entre otros, así como también en los elementos ópticos como ruido, respuesta espectral, fotosensibilidad, corriente oscura, etc; para así tener los resultados deseados
3. Cabe tener como dato relevante que de querer realizar las pruebas de turbidez con este equipo se deberá realizar previo una curva de calibración específica para el elemento que se está realizando el estudio, en nuestra prueba realizamos el estudio en base al Óxido de Titanio. Debido a que este sistema se basa por la ley de absorción de intensidad de luz y la base de

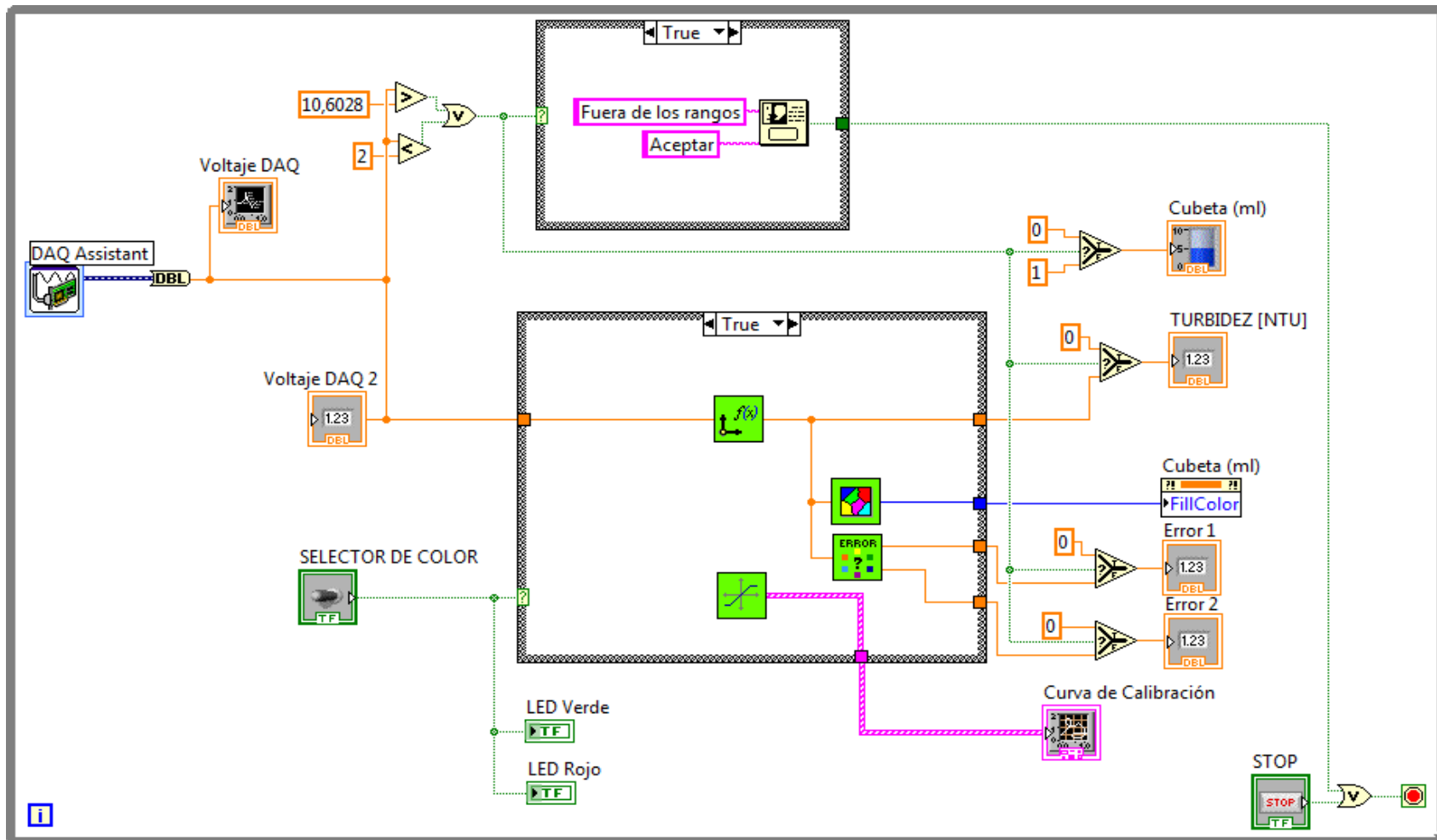
este método es que depende de la absorbancia, coeficiente de absorción, que tiene en particular cada elemento al que se realice este estudio de turbidez.

4. El procedimiento del aseo de la cubeta al igual que el de la fibra debe ser tomado en consideración. No debe de quedar partícula alguna dentro de la cubeta, así mismo la fibra una vez se ha procedido a limpiarla con el alcohol isopropílico debe de introducirse a los acoplos ópticos que se encuentran en la cubeta para evitar que estos orificios se llenen de impurezas y obstaculicen o formen interferencia en el paso de la luz no coherente. En todo este proceso es recomendable utilizar guantes.
5. Se recomienda que todo el sistema se encuentre almacenado en un lugar limpio, no solo los recipientes donde va a ir la muestra, sino también la circuitería completa, fuente, circuito emisor y circuito receptor.
6. LabView es una herramienta de programación gráfica muy útil. Al momento de realizar la programación es recomendable que se realicen subVI's para realizar tareas específicas, y no hacer dentro del programa principal toda la programación. Esto le dará orden y de llegar a existir algún conflicto o error, éste será más sencillo de encontrar por etapas utilizando los subVI's.

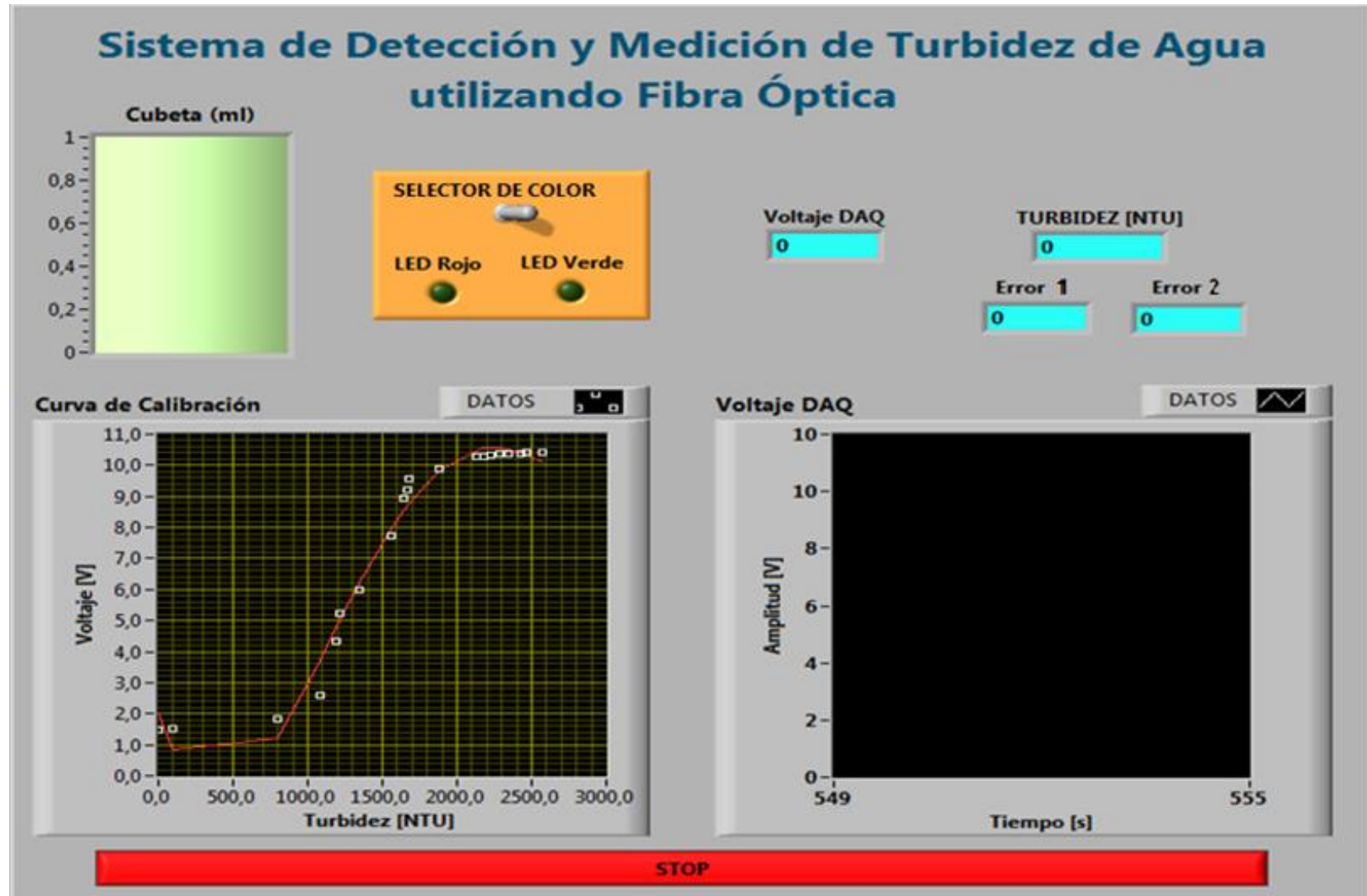
APÉNDICE

“tes principal”

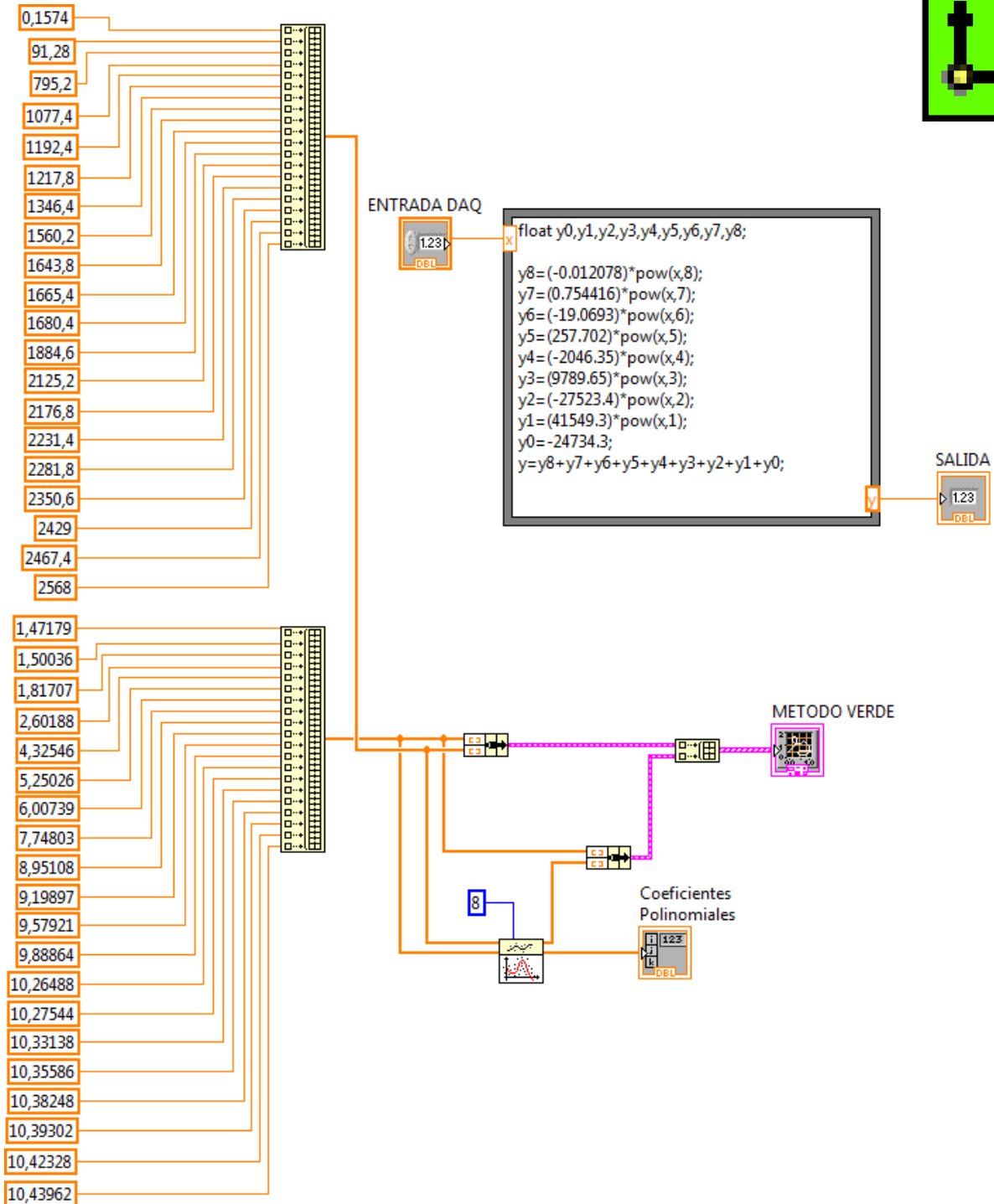
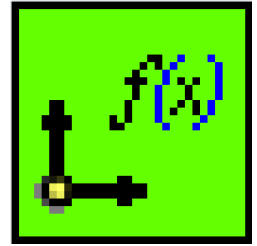
Diagrama de Bloques



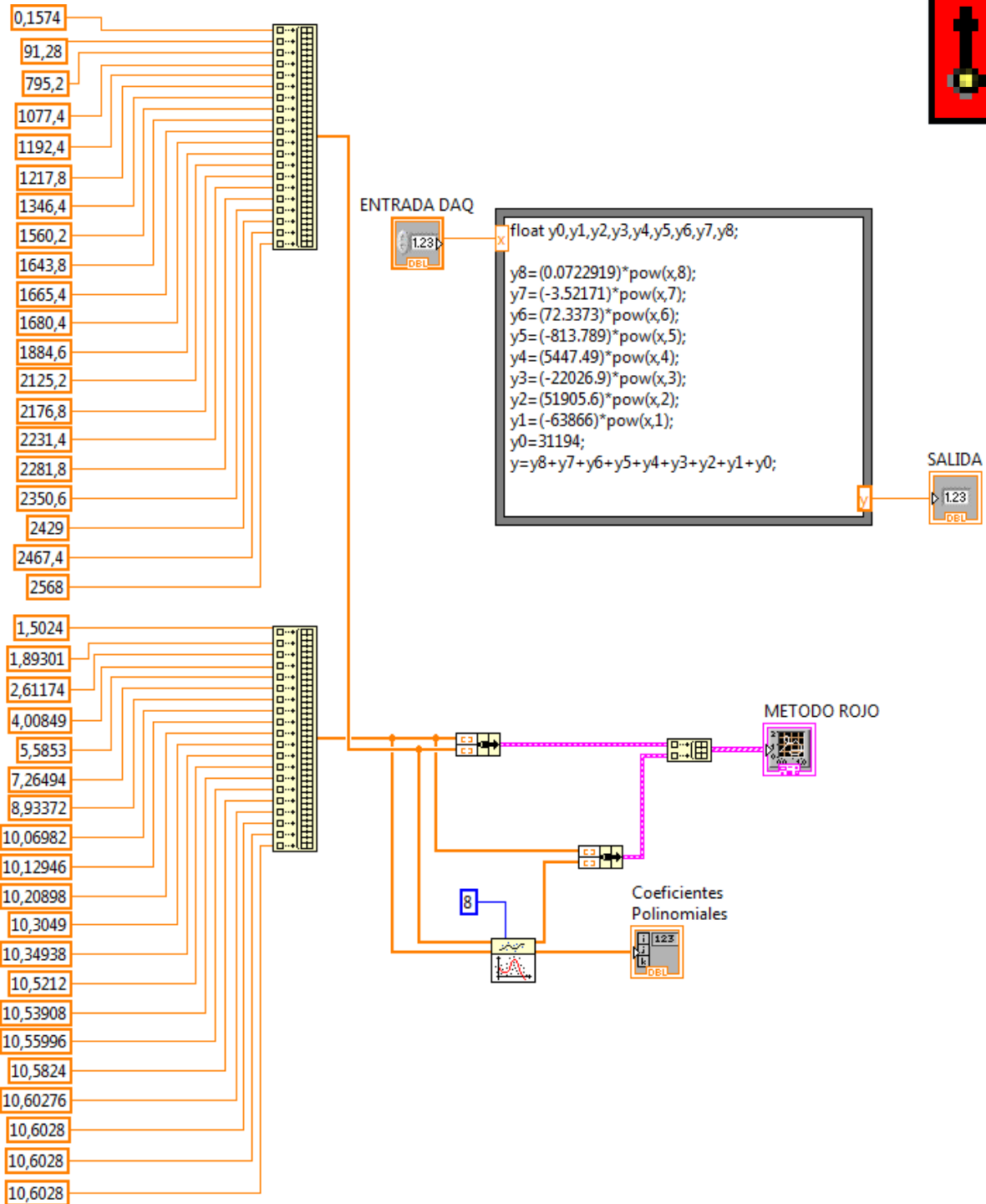
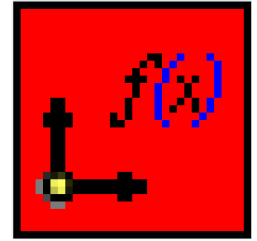
Panel Frontal



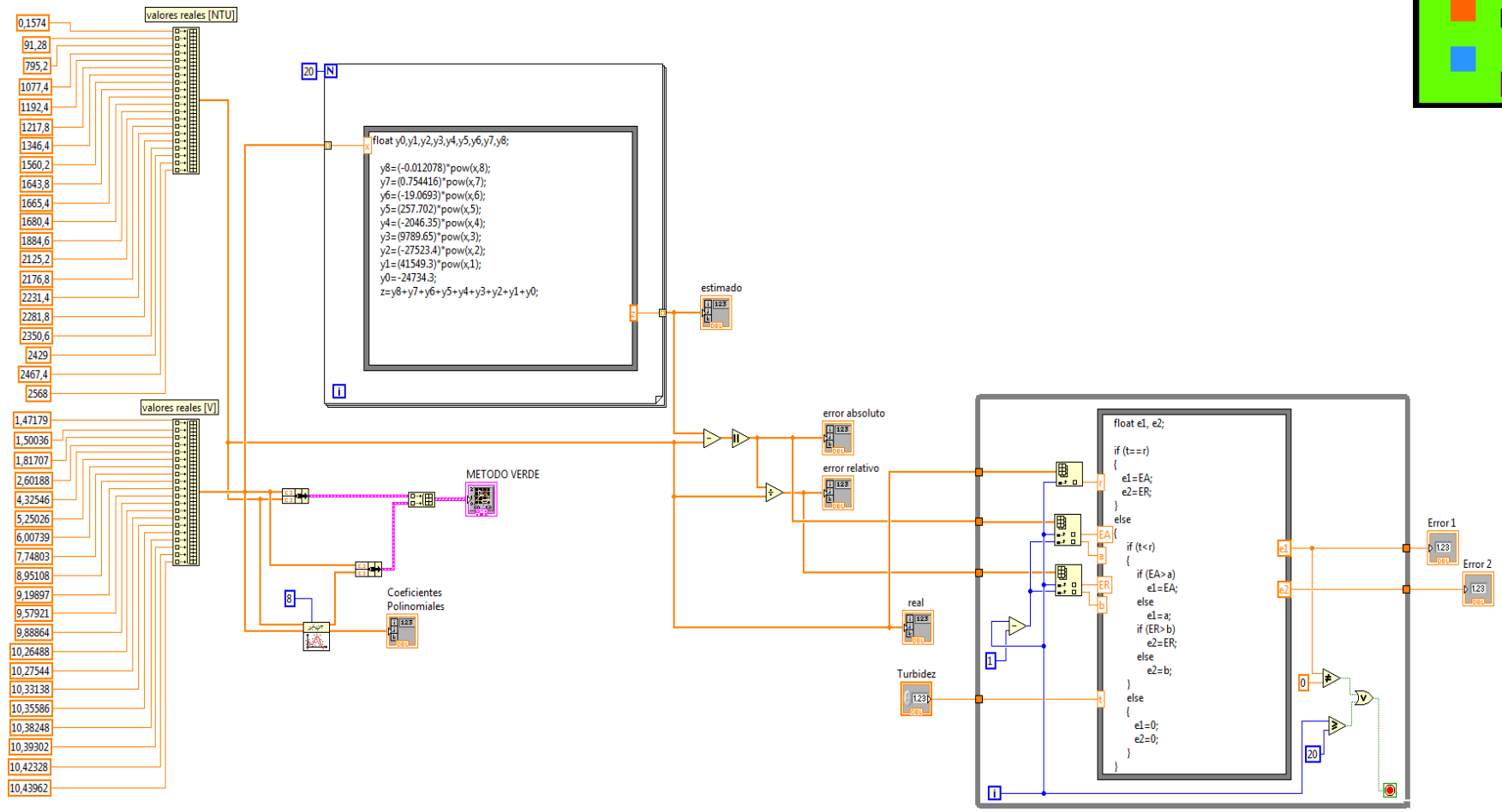
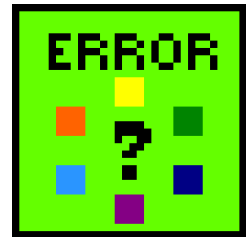
“Función LED Verde”



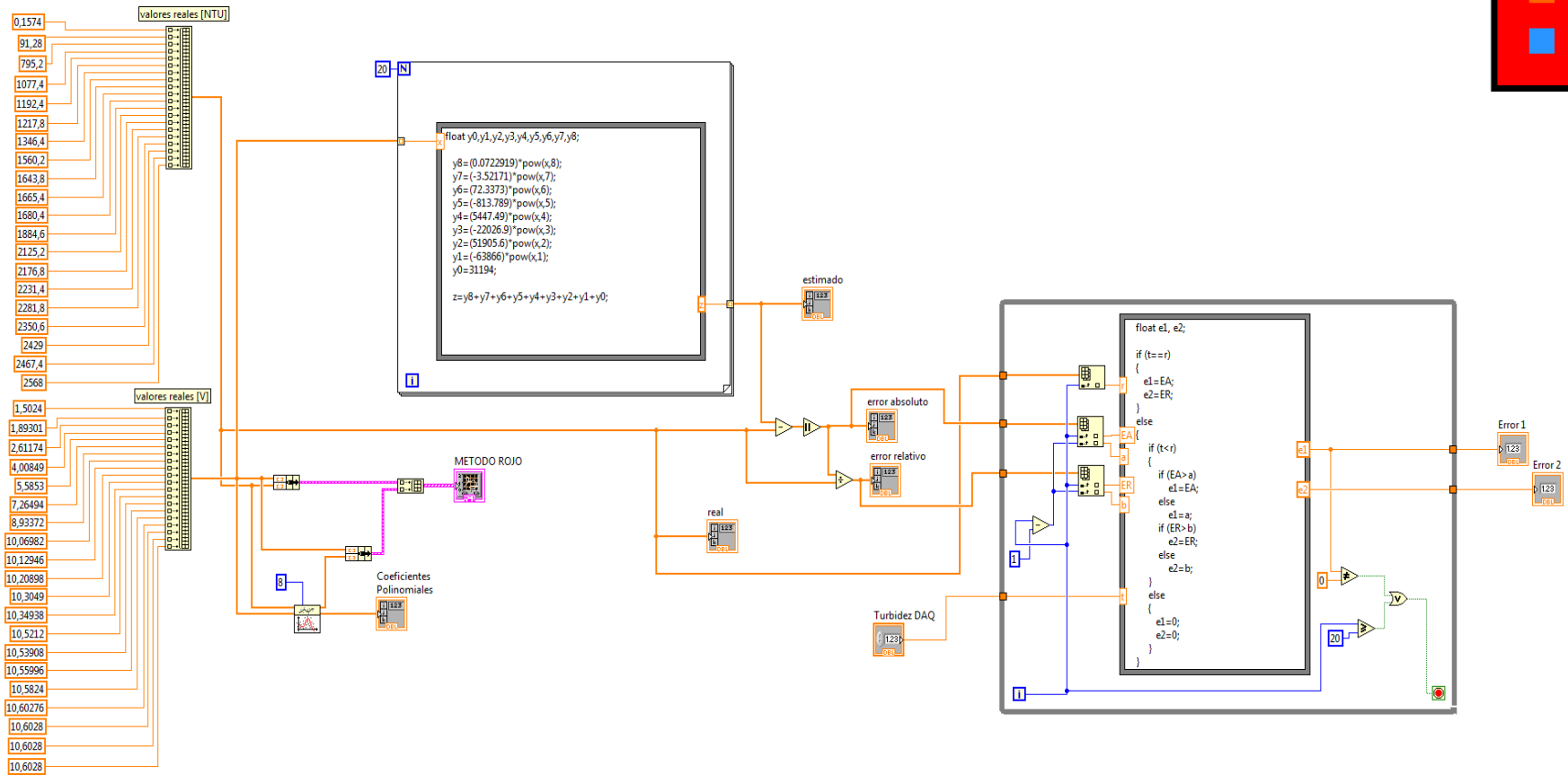
“Función LED Rojo”



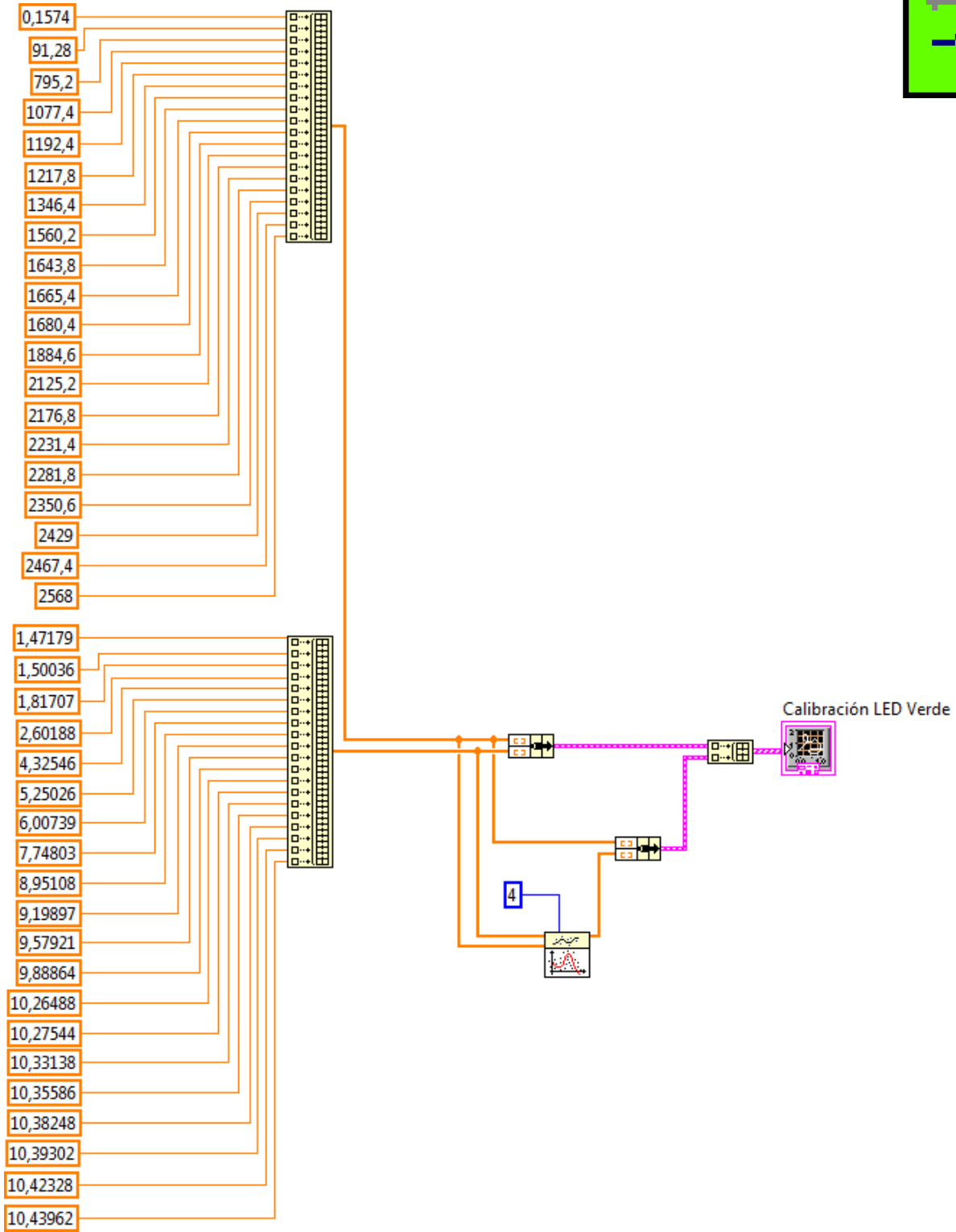
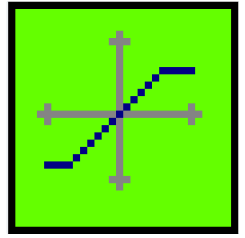
"Error LED Verde"



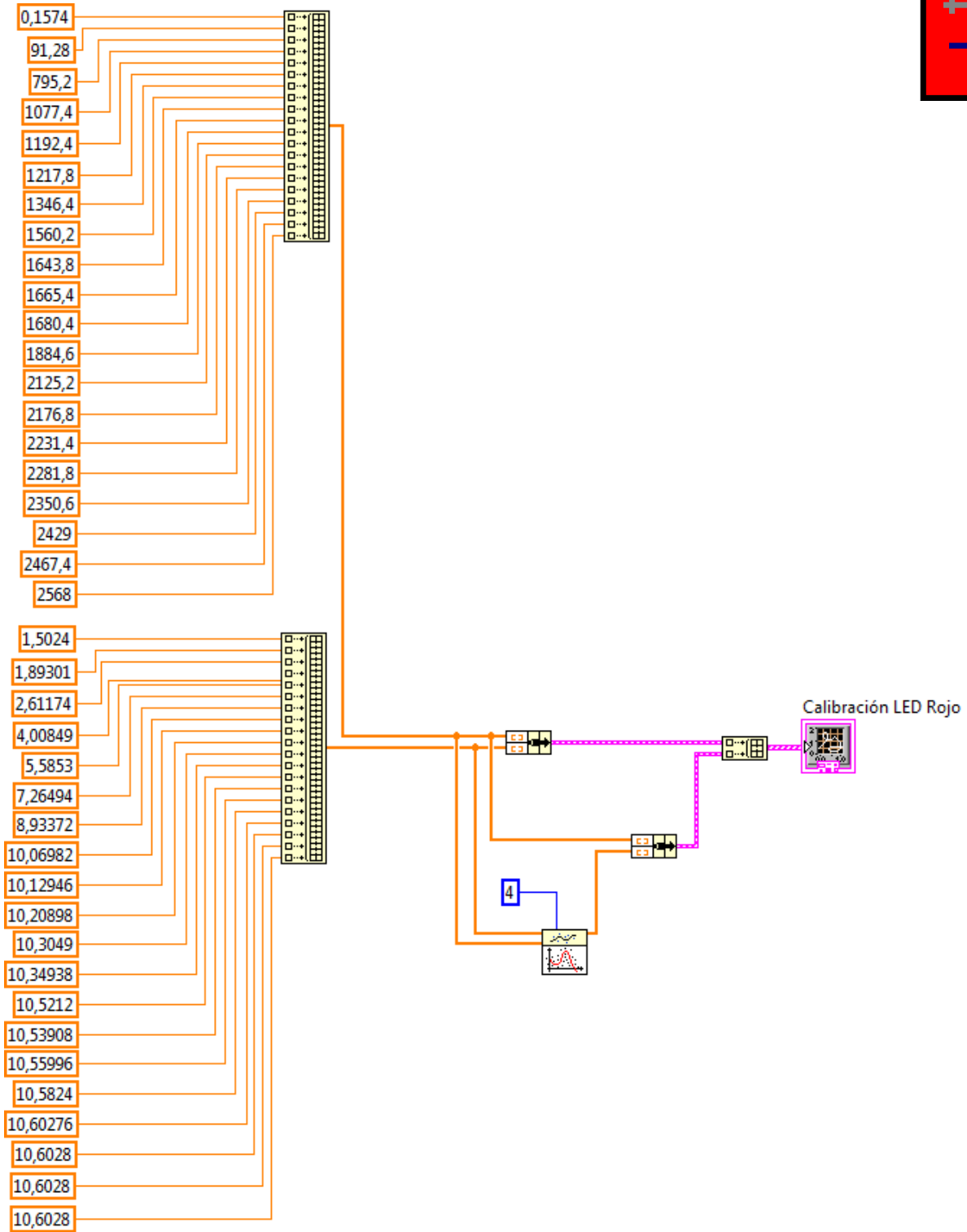
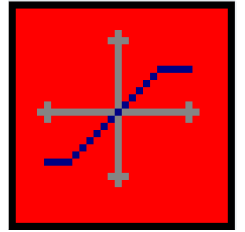
“Error LED Rojo”



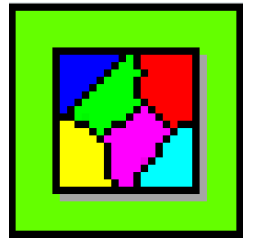
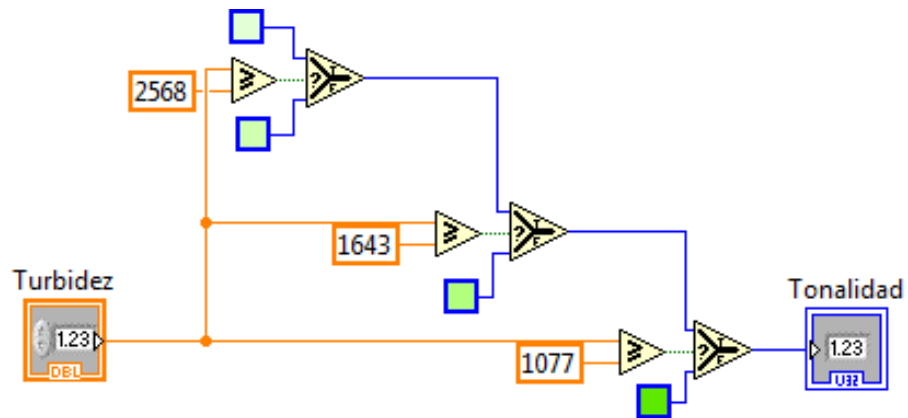
“Cal LED Verde”



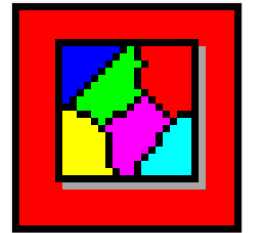
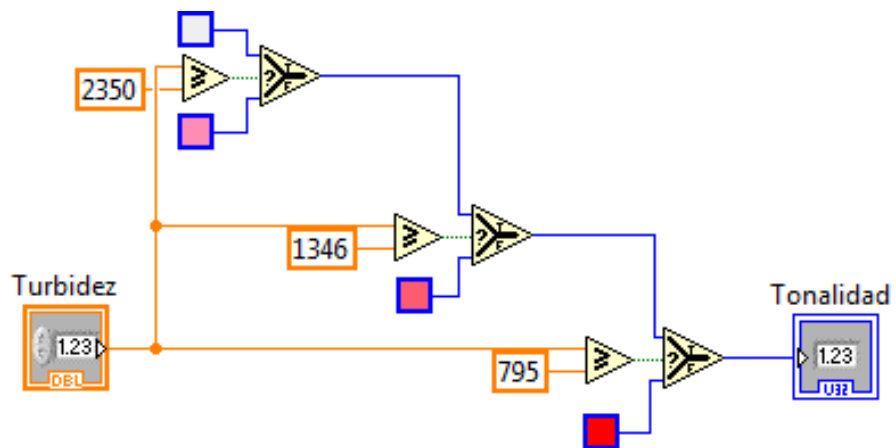
“Cal LED Rojo”

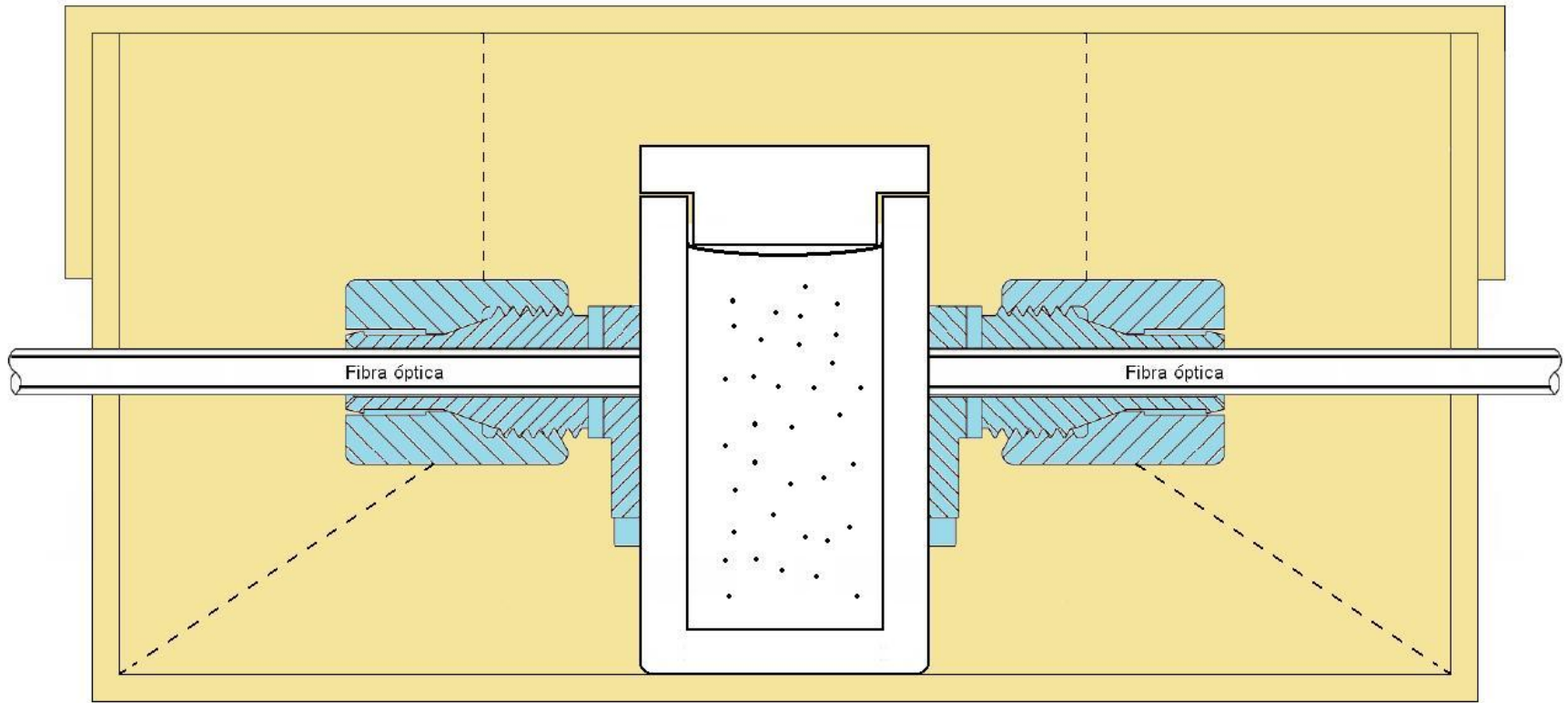


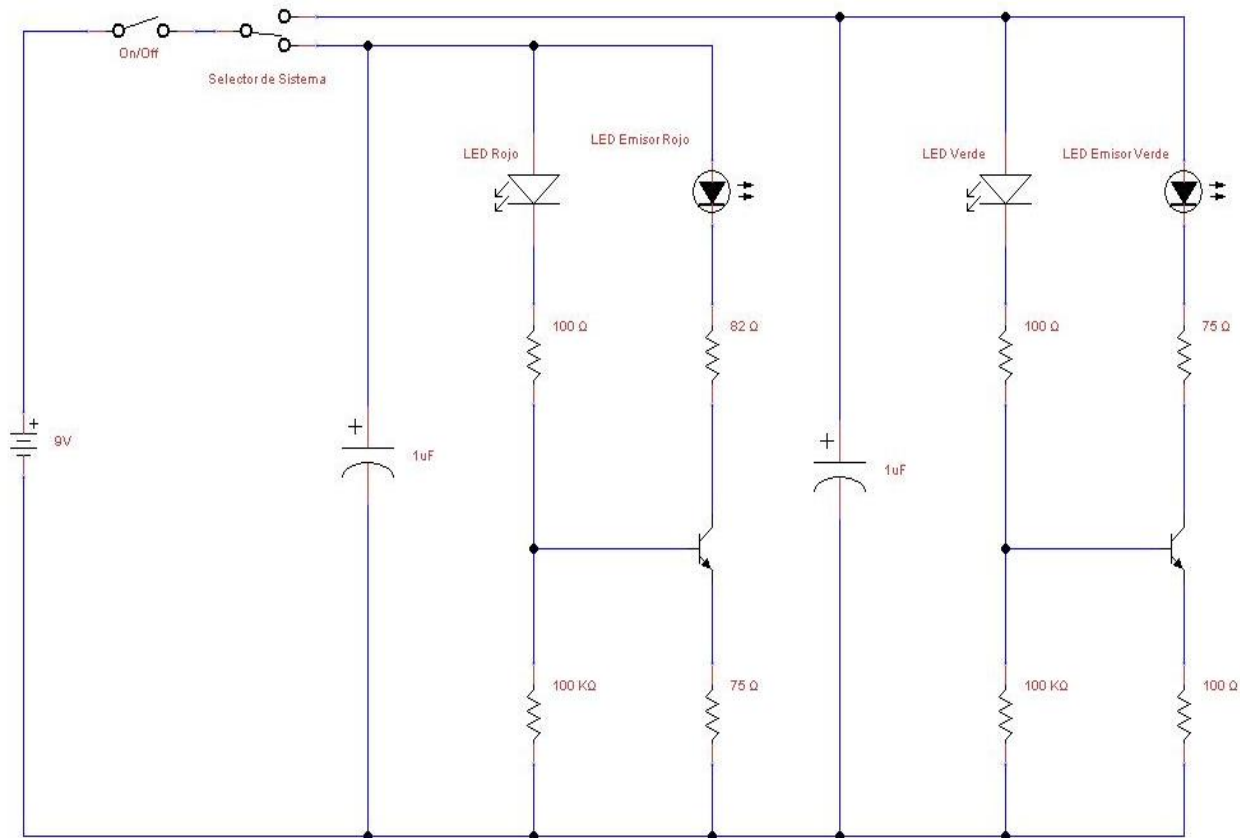
Tonalidad LED Verde



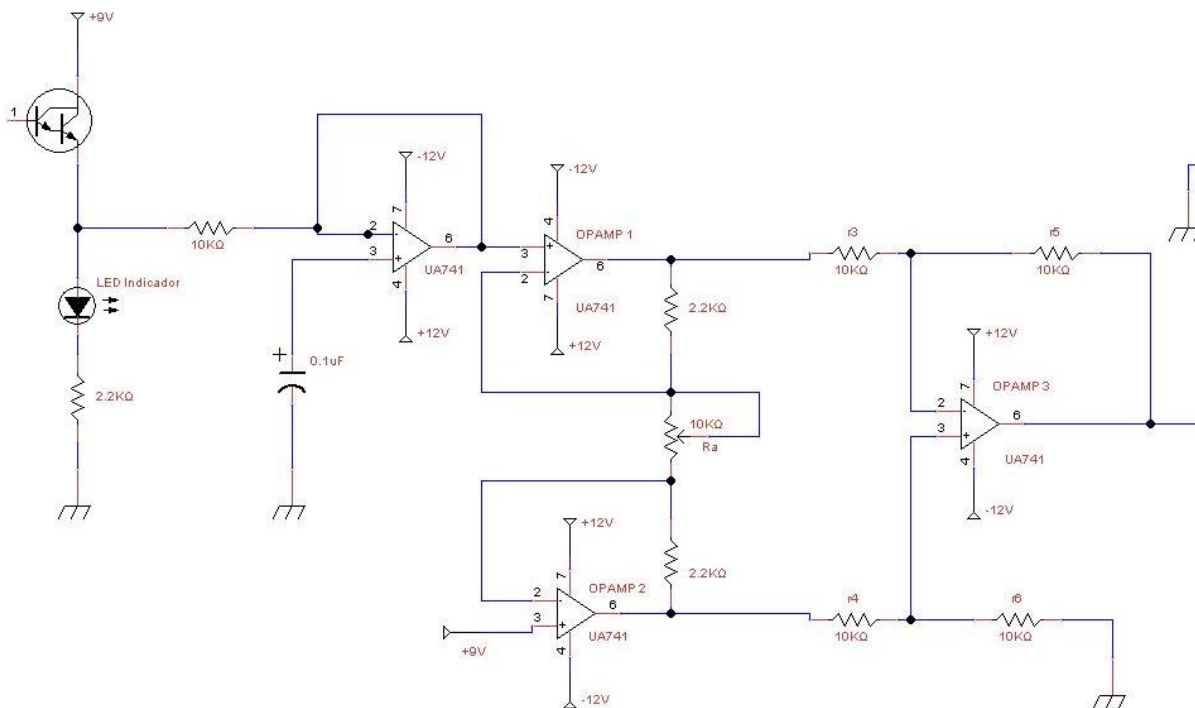
Tonalidad LED Rojo







Title			CIRCUITO EMISOR
Author			ANA CRISTHINA ALVARADO LÓPEZ BETTY ALEXANDRA FLORENCIA MARIDUEÑA
File		F:\apendice\Circuito Emisor.dsn	Document
Revision	Date	Sheets	
1.0		1 of 1	



Title			CIRCUITO RECEPTOR
Author			ANA CRISTHINA ALVARADO LÓPEZ BETTY ALEXANDRA FLORENCIA MARIDUEÑA
File		F:\apendice\Circuito Receptor.dsn	
Revision		Date	Sheets
1.0			1 of 1

Lista de Materiales

Circuito Emisor

No	Detalle	Código	Precio por Unidad	Precio Total
1	LED Rojo	IFE96	3.80	3.80
1	LED Verde	IFE93	10.63	10.63
2	LED		0.20	0.40
8	Resistencia	res varias 1/2W	0.10	0.80
2	Capacitores	0.1 uF - 16V	0.15	0.30
2	Transistores	bc549	0.35	0.70
2	Switch		0.40	0.80
3	Bueneras		0.20	0.60
1	PCB		4.50	4.50
1	caja		2.00	2.00
TOTAL				24.53

Circuito Receptor

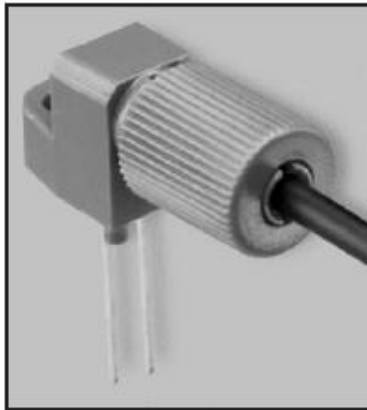
No	Detalle	Código	Precio por Unidad	Precio Total
1	Fotodetector	IFD93	5.65	5.65
1	LED		0.20	0.20
8	Resistencia	res varias 1/2 W	0.10	0.80
1	Capacitor	0.1 uF - 16 V	0.15	0.15
4	OPAMP	UA741	0.30	1.20
1	Potenciómetro	trimmer 10K	1.00	1.00
1	Switch		0.40	0.40
4	Bornera		0.20	0.80
1	PCB		4.74	4.74
1	Caja		2.00	2.00
TOTAL				16.94

Circuito Fuente

No	Detalle	Código	Precio por Unidad	Precio Total
1	Transformador	12V - 1A	5.00	5.00
2	Fusibles		0.10	0.20
2	Porta-fusibles		0.30	0.60
1	Puente de diodos	w04	0.25	0.25
1	Regulador de Voltaje	LM7912	0.70	0.70
1	Regulador de Voltaje	LM7812	1.00	1.00
1	Regulador de Voltaje	LM7809	1.25	1.25
3	LED Rojo		0.15	0.45
8	Borneras		0.20	1.60
2	Capacitores	2200uF - 16V	0.35	0.70
3	Capacitores	0.1uF - 16 V	0.15	0.45
3	Resistencias	1K - 1/2 W	0.10	0.30
1	Switch		0.40	0.40
1	PCB		5.10	5.10
1	caja		12.00	12.00
TOTAL				30.00

Muestra

No	Detalle	Código	Precio por Unidad	Precio Total
1	Cubeta de Cuarzo		45.00	45.00
2	LED Rojo	IFE96	3.80	7.60
30 gr	Óxido de Titanio		0.00	0.00
2 ltrs	Agua Destilada		0.00	0.00
1	Fibra Óptica Plástica	POF	0.00	0.00
1	Caja de Madera		1.50	1.50
1	Pruebas de Laboratorio		53.75	53.75
TOTAL				107.85



DESCRIPTION

The IF-E93 is a high-output, high-speed, green LED housed in a “connector-less” style plastic fiber optic package. The output spectrum of the green LED is produced by a Gallium Nitride die which peaks at a wavelength of 530 nm, ideally mapping to the lowest attenuation window of PMMA plastic core optical fiber. The device package features an internal LED micro-lens, and the PBT plastic housing ensures efficient optical coupling with standard 1000 μm core plastic fiber cable.

APPLICATION HIGHLIGHTS

The high output and fast transition times of the IF-E93 make it suitable for low-cost digital data links. When coupled to PMMA plastic optical fiber, attenuation is less than .1 dB/m, as compared to .16 dB/m with commonly used 650 nm LEDs. Using standard 1 mm core plastic fiber, the IF-E93 LED is capable of distances in excess of 150 meters at data rates of 5 Mbps. The fast rise and fall times of the IF-E93 permit data rates up to 30 Mbps. The drive circuit design is simpler than required for laser diodes, making the IF-E93 a good, low-cost alternative in a variety of analog and digital applications.

TYPICAL APPLICATIONS

- Local Area Networks (LANs)
- Optical Sensors
- Medical Instruments
- Automotive Displays
- Audio Systems
- Electronic Games
- Robotics Communications
- Fiber Optic Modems
- Fluorescent Instruments
- Wavelength Multiplexing

FEATURES

- ◆ Ultra-Low Loss in Plastic Optical Fiber
- ◆ No Optical Design Required
- ◆ Mates with Standard 1000 μm Core Jacketed Plastic Fiber Cable
- ◆ Internal Micro-Lens for Efficient Coupling
- ◆ Inexpensive Plastic Connector Housing
- ◆ Connector-Less Fiber Termination and Connection
- ◆ Interference-Free Transmission from Light-Tight Housing
- ◆ Visible Light Output
- ◆ Fast Rise and Fall Times
- ◆ RoHS Compliant

MAXIMUM RATINGS

($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Operating and Storage Temperature Range (T_{OP}, T_{STG})	-40° to 60°C
Junction Temperature (T_J)	85°C
Soldering Temperature (2 mm from case bottom) (T_S) $t \leq 5$ s	240°C
Reverse Voltage (V_R)	5 V
Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A = 25^\circ\text{C}$	60 mW
De-rate Above 25°C	1.1 mW/°C
Forward Current, DC (I_F)	35 mA
Surge Current (I_{FSM}) $t \leq 10 \mu\text{s}$	150 mA

CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Peak Wavelength	λ_{PEAK}		530		nm
Spectral Bandwidth (50% of I_{MAX})	$\Delta\lambda$	-	50	-	nm
Output Power Coupled Into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance Lens to Fiber ≤ 0.1 mm, 1 m SH4001 fiber, $I_F = 20$ mA	Φ_{min}	95 -10.2	115 -9.4	135 -8.7	μW dBm
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($F = 33$ MHz, $I_F = 10$ mA) See Figure 3	t_r, t_f	-	3.5, 16	-	ns
Capacitance ($V_F = 0$, $F = 1$ MHz)	C_0	-	100	-	pF
Forward Voltage ($I_F = 20$ mA)	V_f	-	3.5	-	V
Temperature Coefficient, λ_{PEAK}	TC_λ		.17		nm/K

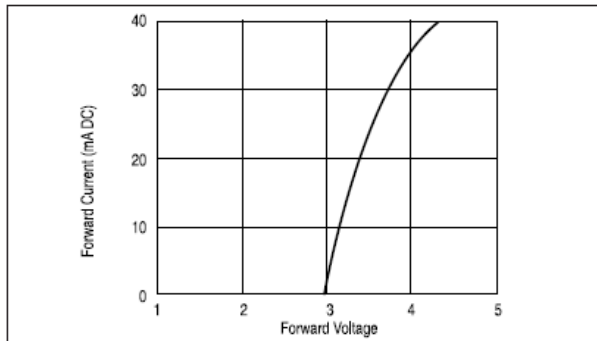


FIGURE 1. Forward current vs. forward voltage.

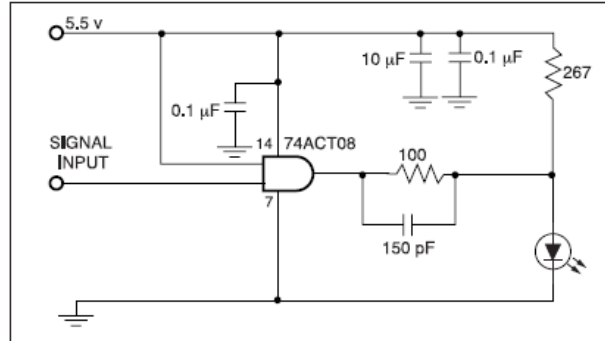


FIGURE 3. Test drive circuit ($I_F = 22\text{mA}$).

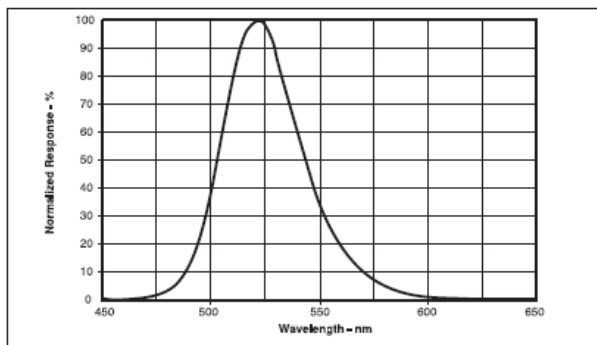


FIGURE 2. Typical spectral output vs. wavelength.

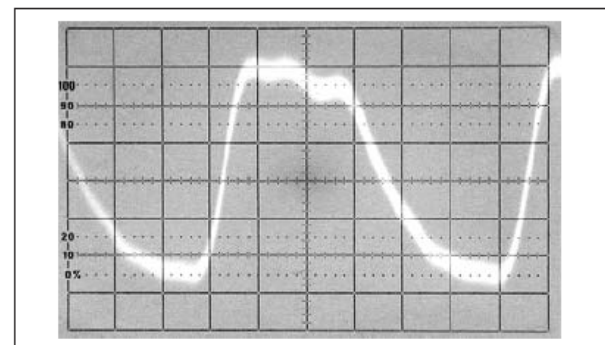


FIGURE 4. Transition times - Sweep = 5ns/div.

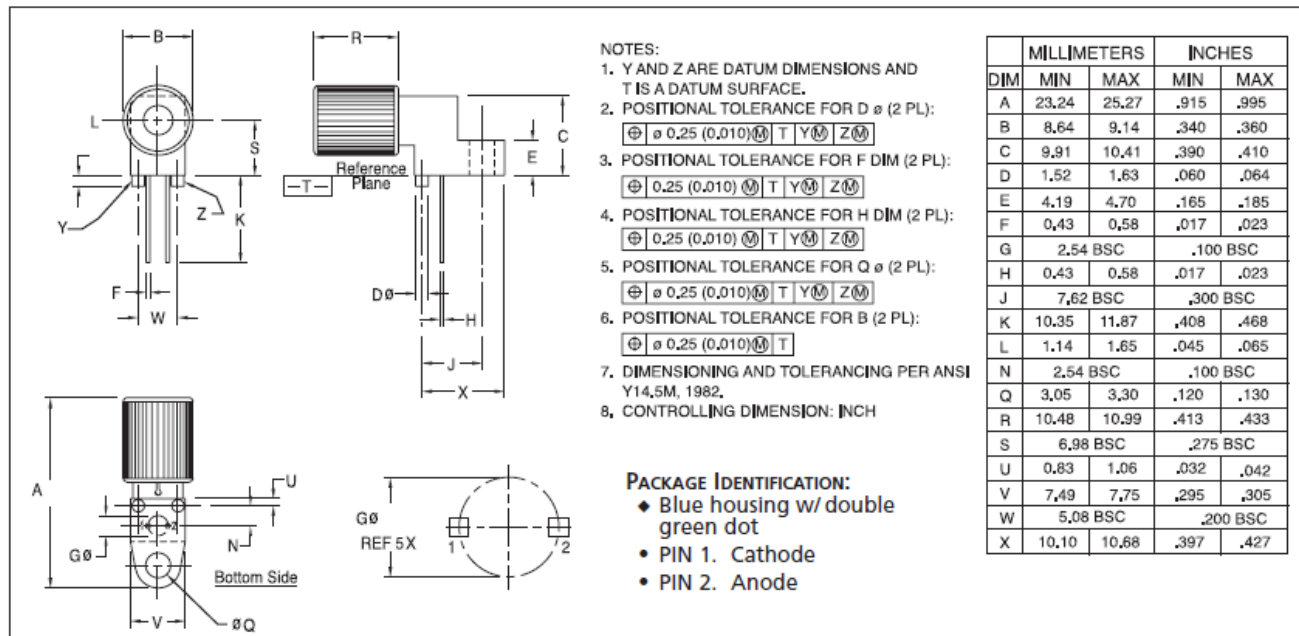


FIGURE 5. Case Outline.

Part No. 08IFE96Back to [Fiber Optic Devices](#) Main Page**Plastic Fiber Optic Red LED****IF-E96****DESCRIPTION**

The IF-E96 is a low-cost, high-speed, visible red LED housed in a "connector-less" style plastic fiber optic package. The output spectrum is produced by a GaAlAs die which peaks at 660 nm, one of the optimal transmission windows of PMMA plastic optical fiber. The device package features an internal micro-lens and a precision-molded PBT housing to maximize optical coupling into standard 1000 μm core plastic fiber cable.

APPLICATION HIGHLIGHTS

The performance/price ratio of the IF-E96 is particularly attractive for high volume design applications. The visible red output has low attenuation in PMMA plastic fiber and aids in troubleshooting installations. When used with an IF-D96 photologic detector the IF-E96 can achieve data rates of 5 Mbps. Fast transition times and low attenuation make the IF-E96 an excellent device selection for low cost analog and digital data links up to 75 meters.

APPLICATIONS

- ▶ Low Cost Analog and Digital Data Links
- ▶ Automotive Electronics
- ▶ Digitized Audio
- ▶ Medical instruments
- ▶ PC-to-Peripheral Data Links
- ▶ Robotics Communications
- ▶ Motor Controller Triggering
- ▶ EMC/EMI Signal Isolation
- ▶ Local Area Networks
- ▶ Intra-System Links: Board-to-Board, Rack-to-Rack

FEATURES

- ◆ High Performance at Low Cost
- ◆ Visible Red Output Aids Troubleshooting
- ◆ Low Transmission Loss with PMMA Plastic Fiber
- ◆ Fast Transition Times
- ◆ Mates with standard 1000 μm core jacketed plastic fiber cable
- ◆ No Optical Design required
- ◆ Internal Micro-Lens for Efficient Optical Coupling
- ◆ Inexpensive Plastic Connector Housing
- ◆ Connector-Less Fiber Termination
- ◆ Light-Tight Housing Provides Interference-Free Transmission

MAXIMUM RATINGS $(T_A = 25^\circ\text{C})$

Operating and Storage Temperature Range (T_{OP}, T_{STC})	-40° to 85°C
Junction Temperature (T_J)	85°C
Soldering Temperature (2 mm from case bottom) (T_S) $t \leq 5$ s	240°C
Reverse Voltage (V_R)	5 V
Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A = 25^\circ\text{C}$	60 mW
De-rate Above 25°C	1.1 mW/°C
Forward Current, DC (I_F)	35 mA
Surge Current (I_{FSM}) $t \leq 10 \mu\text{s}$	150 mA

CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Peak Wavelength	λ_{PEAK}	650	660	670	nm
Spectral Bandwidth (50% of I_{MAX})	$\Delta\lambda$	-	20	-	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter), Distance Lens to Fiber ≤ 0.1 mm, 1 m SH4001 fiber, $I_F = 20$ mA	Φ_{min}	125 -9.0	200 -7.0	300 -5.2	μW dBm
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($I_F = 20$ mA)	t_r, t_f	-	.1	-	μs
Capacitance ($F = 1$ MHz)	C_0	-	30	-	pF
Forward Voltage ($I_F = 20$ mA)	V_f	-	-	1.8	V
Temperature Coefficient, λ_{PEAK}	TC_λ		0.2		nm/K

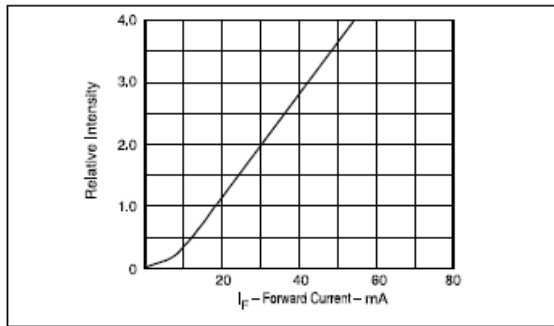


FIGURE 1. Normalized power launched versus forward current.

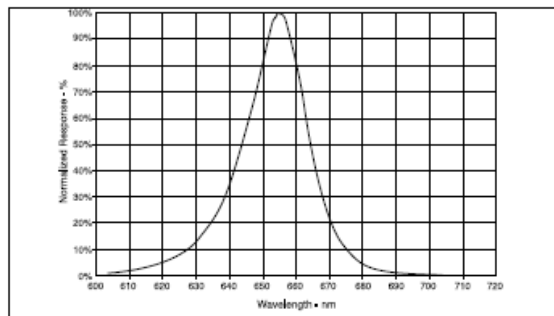


FIGURE 2. Typical spectral output versus wavelength.

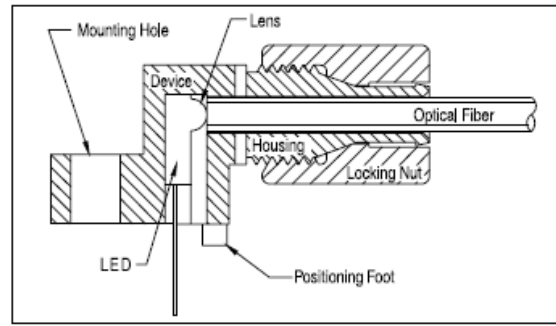


FIGURE 3. Cross-section of fiber optic device.

FIBER TERMINATION INSTRUCTIONS

1. Cut off the ends of the optical fiber with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.

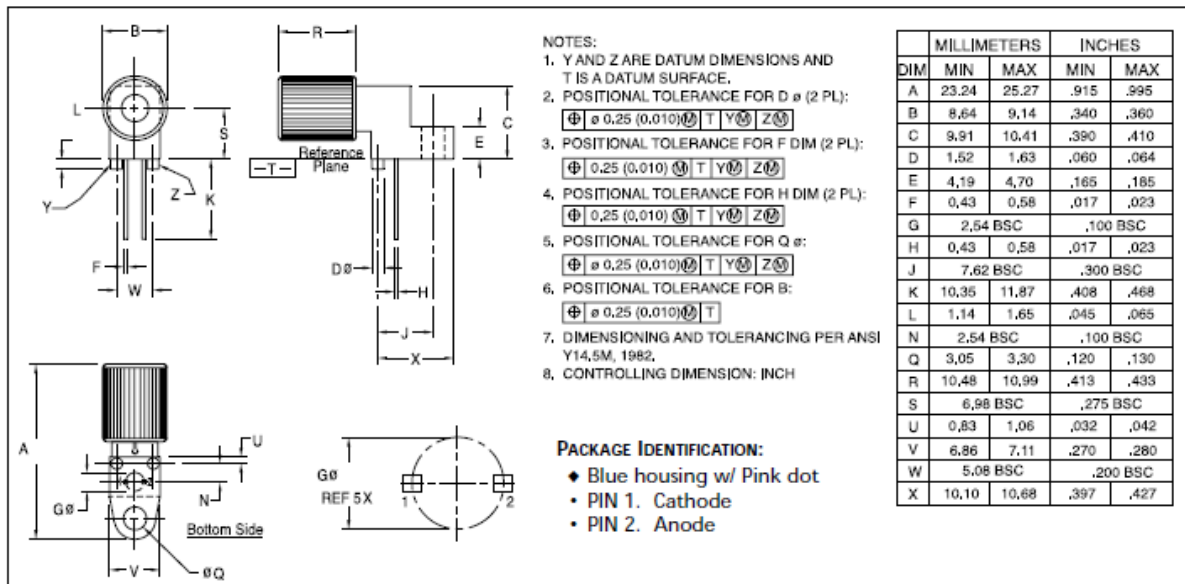
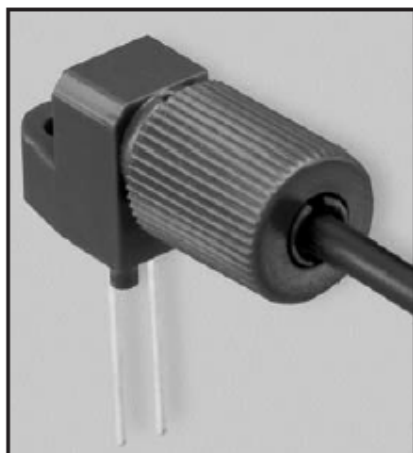


FIGURE 4. Case outline.



DESCRIPTION

The IF-D93 is a very high-sensitivity photodarlington detector housed in a "connector-less" style plastic fiber optic package. Optical response of the IF-D93 extends from 400 to 1100 nm, making it compatible with a wide range of visible and near-infrared LEDs and other optical sources. This includes 650 nm visible red LEDs used for optimum transmission in PMMA plastic optic fiber. The detector package features an internal micro-lens and a precision-molded PBT housing to ensure efficient optical coupling with standard 1000 μm core plastic fiber cable.

APPLICATION HIGHLIGHTS

The IF-D93 is suitable for low-speed optical links requiring high sensitivity. Triggering rates up to 1 k are possible using the IF-D93 and a suitable LED source. Photodarlington transistor operation provides very high optical gain, eliminating the need for post amplification in many circuits. The integrated design of the IF-D93 makes it a simple, cost-effective solution in a variety of applications.

APPLICATIONS

- ▶ Low-Speed Optical Links
- ▶ Optical Interrupter/Reflective Sensors
- ▶ Process Control
- ▶ Motor Controller Triggering
- ▶ Medical Instruments
- ▶ Automotive Electronics
- ▶ Robotics Control
- ▶ EMC/EMI Signal Isolation
- ▶ Electronic Games

FEATURES

- ◆ Mates with Standard 1000 μm Core Jacketed Plastic Fiber Optic Cable
- ◆ No Optical Design Required
- ◆ Inexpensive but Rugged Plastic Connector Housing
- ◆ Internal Micro-Lens for Efficient Optical Coupling
- ◆ Connector-Less Fiber Termination
- ◆ Light-Tight Housing provides Interference Free-Transmission
- ◆ Very High Optical Sensitivity
- ◆ RoHS Compliant

MAXIMUM RATINGS

($T_A=25^\circ\text{C}$)

Operating and Storage Temperature Range (T_{OP}, T_{STG}).....	-40° to 85°C
Junction Temperature (T_J)	85°C
Soldering Temperature (2 mm from case bottom) (T_S) $t \leq 5$ s.....	240°C
Collector Emitter Voltage (V_{CEO}).....	15 V
Emitter Collector Voltage (V_{ECO}).....	5 V
Collector Current (I_C)	50 mA
Collector Peak Current (I_{CM}) $t=1$ ms	100 mA
Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A=25^\circ\text{C}$	100 mW
De-rate Above 25°C	1.33 mW/°C

CHARACTERISTICS ($T_A=25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Wavelength for Maximum Photosensitivity	λ_{PEAK}	-	850	-	nm
Spectral Bandwidth ($S=10\%$ of S_{MAX})	$\Delta\lambda$	400	-	1100	nm
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($R_L=1k\Omega, V_{CE}=5$ V, $\lambda=880$ nm) See Figure 2.	t_r, t_f	-	5, 2.5	-	ms
Responsivity min. @ 880 nm @ 632 nm	R	-	400 200	-	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$ $\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Collector Dark Current ($V_{CE}=15$ volts)	I_{CEO}	-	-	100	nA
Breakdown Voltage ($I_C=1$ mA)	BV_{CEO}	15	-	-	V
Breakdown Voltage ($I_C=100$ μA)	BV_{ECO}	5	-	-	V
Saturation Voltage ($I_C=0.4$ μA , $H=10$ μW)	$V_{CE sat}$	-	1.10	-	V

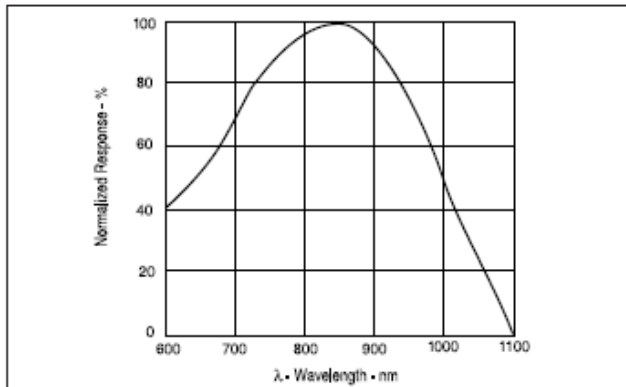


FIGURE 1. Typical detector response versus wavelength.

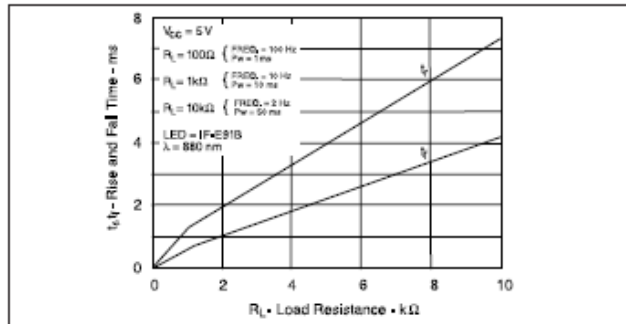


FIGURE 2. Rise and fall times versus load resistance.

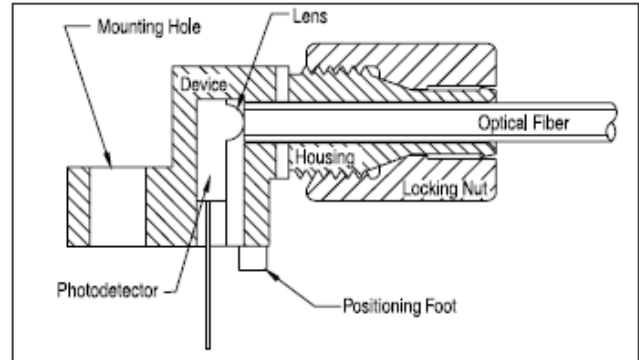


FIGURE 3. Cross-section of fiber optic device.

FIBER TERMINATION INSTRUCTIONS

1. Cut off the ends of the optical fiber with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.

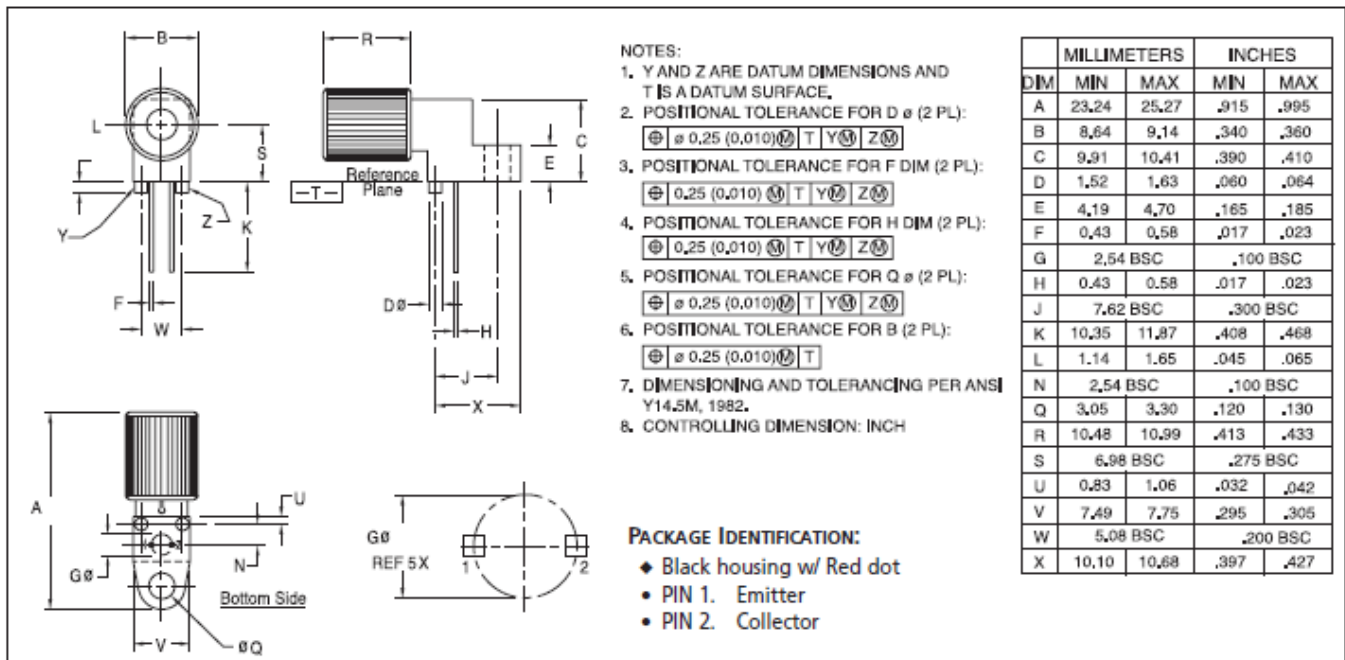
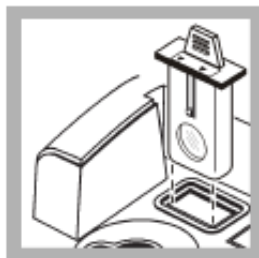


FIGURE 4. Case outline.

- Limpie el ensamblado del filtro USEPA antes de realizar una calibración primaria o al menos una vez cada 3 meses (que es el intervalo de calibración primaria recomendado por la USEPA).

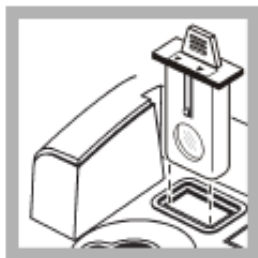
Procedimiento de calibración StabCal®



1. Retire el ensamblado del filtro. Consulte [Cambie el ensamblado del filtro](#) en la página 58.



2. Limpie la lente del ensamblado del filtro USEPA. Consulte [Limpie el ensamblado del filtro](#) en la página 58.



3. Sujete la pestaña del ensamblado del filtro USEPA de forma que las flechas apunten hacia la parte delantera del instrumento. Introduzca el ensamblado del filtro firmemente en la carcasa.



4. Pulse **CAL/Zero** (CAL/Cero). La luz CAL/Zero (CAL/Cero) se encenderá, y en la pantalla de modo podrá ver "00". La pantalla mostrará el valor NTU del agua de dilución utilizada en la calibración anterior.



5. Coja el vial < 0,01 NTU. Limpie el vial con un paño suave sin pelusa para eliminar las gotas de agua y las huellas de dedos. No invierta el vial.



6. Aplique una pequeña gota de aceite de silicona desde la parte superior del vial hasta la inferior.



7. Utilice el paño lubricante para aplicar el aceite de forma uniforme por la superficie del vial. Elimine el exceso de aceite. Asegúrese de que el vial esté casi seco.



8. Coloque el vial en el soporte de cubetas de muestras con el triángulo del vial alineado con la marca de referencia del soporte de cubetas de muestras. Cierre la cubierta.



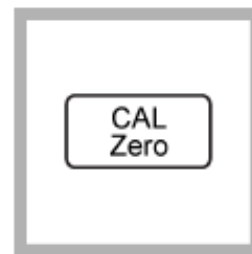
9. Pulse **ENTER** (Intro).
El instrumento realizará una cuenta atrás y, a continuación, medirá el estándar.
Después mostrará el siguiente estándar que debería usarse (p. ej., 20,00). La pantalla de modo mostrará "01".



10. Retire el vial del soporte de cubetas de muestras.



11. Repita los pasos 5-10 para los otros viales StablCal (desde el estándar NTU más bajo hasta el más alto). La pantalla de modo mostrará "00" después de la medición del último vial.



12. Pulse **CAL/Zero** (CAL/Cero).
El instrumento guardará los nuevos datos de calibración y volverá al modo de medición.

Almacenamiento de estándares StablCal

- No traslade un estándar StablCal a otro contenedor distinto para almacenarlo. Mantenga los estándares StablCal en la caja de plástico suministrada, con la cubierta cerrada.
- Almacénelos a una temperatura de 5 a 25 °C (41 a 77 °F).
- Para un almacenamiento a largo plazo (más de un mes hasta que se vuelvan a usar), manténgalos a 5 °C (41 °F).

Medición de la turbidez

⚠ ADVERTENCIA

Peligro potencial de explosión e incendio. Este instrumento está diseñado para medir muestras con base acuosa. No utilice el instrumento para muestras de solventes o combustibles.

Para obtener mediciones de turbidez precisas, utilice cubetas de muestras limpias y extraiga las burbujas de aire.

Notas sobre la medición

Las técnicas de medición adecuadas son importantes para minimizar los efectos de los cambios de instrumento, la difusión de la luz y las burbujas de aire. Para obtener mediciones precisas y repetibles:

Instrumento

- Durante la medición, asegúrese de que el instrumento esté sobre una superficie nivelada y en reposo que no vibre.
- El ensamblado del filtro USEPA es obligatorio para las mediciones de turbidez que se envíen para los permisos de estas entidades: Environmental Protection Agency (USEPA), National Primary Drinking Water Regulations (NPDWR) o National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES).
- Encienda el instrumento 30 minutos antes (proporción activada) o 60 minutos antes (proporción desactivada) de realizar la medición. Mantenga el instrumento encendido las 24 horas del día si lo utiliza con regularidad.

- Coloque siempre la tapa del compartimento durante la medición, calibración y guardado.
- Extraiga la cubeta de muestras del instrumento y apáguelo si lo va a guardar por un periodo largo de tiempo (más de un mes).
- Mantenga cerrada la tapa del compartimento de muestras para que no entre suciedad o polvo.

Cubetas de muestras

- Coloque siempre el tapón de la cubeta de muestras para evitar el derrame dentro del instrumento.
- Utilice siempre cubetas limpias y en buen estado. Las cubetas sucias, arañadas o dañadas pueden arrojar lecturas no precisas.
- Asegúrese de que las muestras frías no "empañen" la cubeta de muestras.
- Guarde las cubetas llenas con agua destilada o desionizada y tápelas firmemente.

- Para obtener la mayor precisión, utilice una única cubeta de muestras para cada medición o una celda de flujo.

***Nota:** Como alternativa, puede utilizar cubetas de muestras coincidentes para realizar mediciones, pero no ofrecerán una exactitud y precisión tan buenas como una única cubeta de muestras indexada o una celda de flujo. Cuando utilice cubetas de muestras coincidentes, alinee la marca de orientación de la cubeta de muestras con la marca de referencia del soporte de cubetas de muestras.*

Medición

- Mida las muestras inmediatamente para evitar sedimentación y cambios de temperatura. Antes de tomar una medición, asegúrese de que la muestra sea homogénea.
- Evite diluir la muestra cuando sea posible.
- Evite utilizar el instrumento bajo la luz solar directa.

Procedimiento de medición de la turbidez



1. Enjuague una cubeta de muestras dos veces con la solución que se vaya a medir y déjela secar completamente. Llene la cubeta de muestras hasta la línea (aprox. 30 ml) con muestra y coloque inmediatamente el tapón de la cubeta de muestras.



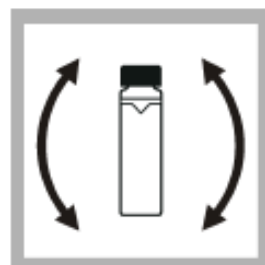
2. Limpie las cubetas de muestras con un paño suave sin pelusa para eliminar las gotas de agua y las huellas de dedos.



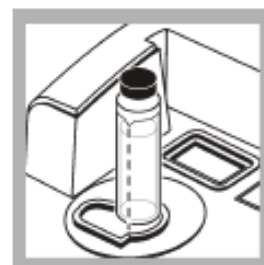
3. Aplique una pequeña gota de aceite de silicona desde la parte superior de las cubetas de muestras hasta la inferior.



4. Utilice el paño lubricante suministrado para aplicar el aceite de forma uniforme por la superficie de las cubetas de muestras. Elimine el exceso de aceite. Asegúrese de que las cubetas de muestras estén casi secas.



5. Invierta lenta y cuidadosamente la cubeta de muestras para que la muestra se mezcle totalmente. Tenga cuidado de que no aparezcan burbujas de aire.



6. Coloque la cubeta de muestras en el soporte de cubetas de muestras con el triángulo de la cubeta de muestras alineado con la marca de referencia del soporte de cubeta de muestras. Cierre la cubierta.



7. Lea el valor y regístrelo cuando se estabilice.

Nota: Para imprimir o enviar (mediante RS232) un registro de la medición, pulse **PRINT** (IMPRIMIR).

Técnicas de medición

Las mediciones pueden realizarse empleando diferentes ajustes de modo de funcionamiento y accesorios opcionales.

Calibre el instrumento siempre que cambie la longitud de recorrido de la cubeta de muestras.

Rango manual o automático

El fabricante recomienda usar el modo de rango automático para la mayoría de las mediciones.

El ajuste puede cambiarse en cualquier momento durante la medición de muestras.

Pulse **RANGE** (RANGO) varias veces para pasar del modo automático al modo manual y, a continuación, desplácese por los ajustes del modo de rango manual.

"MANUAL" aparece sobre la etiqueta Range Mode (Modo de rango) del instrumento cuando el modo de rango manual está activado. "AUTO" aparece sobre la etiqueta Range Mode (Modo de rango) del instrumento cuando el modo de rango automático está activado.

Notas:

- Cuando seleccione el rango manual, la pantalla mostrará una serie de nueve parpadeantes cuando la muestra que se esté midiendo sea superior al rango seleccionado. La pantalla mostrará una serie de ceros parpadeantes cuando la muestra que se esté midiendo sea inferior al rango seleccionado.
- Cuando seleccione el rango automático, la pantalla mostrará una serie de nueve parpadeantes cuando la muestra sea superior al rango del instrumento. La pantalla mostrará nueve parpadeantes cuando la proporción esté desactivada y la medición sea superior a 40 NTU (28 nephelos o 9,8 EBC). Active la proporción para aumentar el rango.
- Cuando el rango automático esté seleccionado, la pantalla mostrará ceros parpadeantes cuando la medición sea inferior al rango del instrumento o sea un valor negativo. Calibre el instrumento. Cuando mida el color, la absorbancia o la transmitancia, fije de nuevo el punto de referencia cero.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“SISTEMA DE DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA USANDO FIBRA ÓPTICA”

PRUEBAS DE TURBIDEZ

DESCRIPCIÓN: Para el desarrollo de medición de turbidez se realizaron pruebas en el LABORATORIO DE AGUAS ESPOL-ULPGC-AECID utilizando turbidímetro HACH 2100AN. Las muestras empleadas fueron el producto final de una mezcla de Agua Destilada [ml] y Óxido de Titanio [mg].

	Mediciones	Turbidez [NTU]	Voltaje [V]			
			LED Verde [$\lambda=530\text{nm}$]		LED Rojo [$\lambda=680\text{nm}$]	
			DAQ	MULT	DAQ	MULT
MUESTRA # 00 0 [mg] 100 [ml]	1	0,161	1,47179	1,470	1,50240	1,500
	2	0,153	1,47179	1,470	1,50240	1,500
	3	0,154	1,47179	1,470	1,50240	1,500
	4	0,141	1,47179	1,470	1,50240	1,500
	5	0,178	1,47179	1,470	1,50240	1,500
MUESTRA # 01 1,3 [mg] 100 [ml]	1	90,1	1,50240	1,504	1,75341	1,753
	2	91,5	1,50240	1,505	1,92280	1,927
	3	91,4	1,50240	1,501	1,92280	1,927
	4	91,8	1,50240	1,501	1,93301	1,931
	5	91,6	1,49220	1,493	1,93301	1,331

	Mediciones	Turbidez [NTU]	Voltaje [V]			
			LED Verde [$\lambda=530\text{nm}$]		LED Rojo [$\lambda=680\text{nm}$]	
			DAQ	MULT	DAQ	MULT
MUESTRA # 02 2,6 [mg] 100 [ml]	1	833	1,89743	1,891	2,56479	2,562
	2	820	1,75634	1,753	2,49643	2,492
	3	780	1,64859	1,645	2,45340	2,455
	4	785	1,84538	1,841	2,67530	2,652
	5	758	1,93765	1,933	2,86879	2,863
MUESTRA # 03 3,1 [mg] 100 [ml]	1	1075	2,67454	2,670	3,85442	3,840
	2	1079	2,64746	2,642	3,90420	3,900
	3	1079	2,54677	2,543	4,59422	4,590
	4	1078	2,46579	2,432	3,89422	3,890
	5	1076	2,67484	2,671	3,79543	3,790
MUESTRA # 04 5,2 [mg] 100 [ml]	1	1198	4,32842	4,320	5,70553	5,700
	2	1189	4,27357	4,270	5,30784	5,300
	3	1189	4,31791	2,310	5,64451	5,640
	4	1193	4,35372	4,350	5,63432	5,630
	5	1193	4,35372	4,350	5,63432	5,630
MUESTRA # 05 7,7 [mg] 100 [ml]	1	1215	5,23641	5,230	7,21566	7,210
	2	1218	5,24395	5,240	7,28341	7,280
	3	1222	5,28157	5,270	7,30084	7,300
	4	1215	5,23641	5,230	7,22393	7,220
	5	1219	5,25300	5,250	7,30084	7,300
MUESTRA # 06 10,4 [mg] 100 [ml]	1	1338	5,94038	5,930	8,85822	8,850
	2	1329	5,86896	5,860	8,85822	8,850
	3	1375	6,24694	5,930	9,00105	9,000
	4	1340	5,99035	5,990	8,98065	8,970
	5	1350	5,99035	5,990	8,97044	8,960

	Mediciones	Turbidez [NTU]	Voltaje [V]			
			LED Verde [$\lambda=530\text{nm}$]		LED Rojo [$\lambda=680\text{nm}$]	
			DAQ	MULT	DAQ	MULT
MUESTRA # 07 13,1 [mg] 100 [ml]	1	1559	7,79701	7,790	10,09270	10,090
	2	1559	7,75620	7,750	10,06610	10,060
	3	1563	7,73579	7,730	10,07630	10,060
	4	1560	7,72559	7,710	10,05190	10,040
	5	1560	7,72559	7,720	10,06210	10,060
MUESTRA # 08 15,2 [mg] 100 [ml]	1	1645	8,97458	8,970	10,12130	10,110
	2	1642	8,95377	8,950	10,12130	10,110
	3	1641	8,97262	8,970	10,12130	10,110
	4	1645	8,91223	8,910	10,14170	10,130
	5	1646	8,94223	8,940	10,14170	10,130
MUESTRA # 09 17,6 [mg] 100 [ml]	1	1662	9,18469	9,190	10,20490	10,200
	2	1667	9,20510	9,200	10,21510	10,210
	3	1666	9,21530	9,210	10,20490	10,200
	4	1667	9,20510	9,200	10,21510	10,290
	5	1665	9,18469	9,190	10,20490	10,200
MUESTRA # 10 20 [mg] 100 [ml]	1	1679	9,58530	9,585	10,30710	10,306
	2	1678	9,58258	9,581	10,30690	10,306
	3	1682	9,57280	9,570	10,29670	10,296
	4	1681	9,58258	9,582	10,30690	10,304
	5	1682	9,57280	9,573	10,30690	10,304
MUESTRA # 11 25,4 [mg] 100 [ml]	1	1882	9,90905	9,909	10,34770	10,347
	2	1885	9,88865	9,889	10,35190	10,352
	3	1884	9,87844	9,878	10,35190	10,352
	4	1886	9,87844	9,878	10,34770	10,347
	5	1886	9,88865	9,889	10,34770	10,347

	Mediciones	Turbidez [NTU]	Voltaje [V]			
			LED Verde [$\lambda=530\text{nm}$]		LED Rojo [$\lambda=680\text{nm}$]	
			DAQ	MULT	DAQ	MULT
MUESTRA # 12 30,7 [mg] 100 [ml]	1	2124	10,26000	10,260	10,52120	10,520
	2	2125	10,26610	10,266	10,52120	10,520
	3	2125	10,26610	10,266	10,52120	10,520
	4	2126	10,26610	10,266	10,52120	10,520
	5	2126	10,26610	10,266	10,52120	10,520
MUESTRA # 13 32,7 [mg] 100 [ml]	1	2172	10,27630	10,270	10,53740	10,530
	2	2178	10,27200	10,270	10,53740	10,530
	3	2175	10,27630	10,270	10,53740	10,530
	4	2179	10,27630	10,270	10,54160	10,530
	5	2180	10,27630	10,270	10,54160	10,530
MUESTRA # 14 35,2 [mg] 100 [ml]	1	2229	10,33750	10,330	10,56200	10,550
	2	2231	10,32730	10,320	10,56200	10,550
	3	2233	10,33750	10,330	10,56200	10,550
	4	2232	10,32730	10,320	10,55180	10,540
	5	2232	10,32730	10,320	10,56200	10,550
MUESTRA # 15 37,7 [mg] 100 [ml]	1	2281	10,34770	10,340	10,58240	10,570
	2	2282	10,35790	10,350	10,58240	10,570
	3	2281	10,35790	10,350	10,58240	10,570
	4	2282	10,35790	10,350	10,58240	10,570
	5	2283	10,35790	10,350	10,58240	10,570
MUESTRA # 16 40,4 [mg] 100 [ml]	1	2351	10,38860	10,380	10,60280	10,590
	2	2350	10,37840	10,370	10,60280	10,590
	3	2350	10,37840	10,370	10,60280	10,590
	4	2350	10,37840	10,370	10,60260	10,580
	5	2352	10,38860	10,380	10,60280	10,590

	Mediciones	Turbidez [NTU]	Voltaje [V]			
			LED Verde [$\lambda=530\text{nm}$]		LED Rojo [$\lambda=680\text{nm}$]	
			DAQ	MULT	DAQ	MULT
MUESTRA # 17 42,6 [mg] 100 [ml]	1	2429	10,39880	10,390	10,60280	10,600
	2	2431	10,38930	10,390	10,60280	10,600
	3	2424	10,37940	10,390	10,60280	10,600
	4	2431	10,39880	10,390	10,60280	10,600
	5	2430	10,39880	10,390	10,60280	10,600
MUESTRA # 18 45,3 [mg] 100 [ml]	1	2466	10,41920	10,410	10,60280	10,610
	2	2468	10,41920	10,410	10,60280	10,610
	3	2467	10,42940	10,420	10,60280	10,610
	4	2469	10,41920	10,410	10,60280	10,610
	5	2467	10,42940	10,420	10,60280	10,610
MUESTRA # 19 50,4 [mg] 100 [ml]	1	2567	10,44990	10,430	10,60280	10,630
	2	2567	10,43960	10,430	10,60280	10,630
	3	2568	10,43960	10,430	10,60280	10,630
	4	2568	10,42940	10,420	10,60280	10,630
	5	2570	10,43960	10,430	10,60280	10,630

Ana Alvarado López
Tesista

Betty Florencia Maridueña
Tesista

Dr. David Matamoros
**Director Instituto de Ciencias
Químicas y Ambientales**

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Skoog, Introducción a la Química Analítica, Editorial Reverté, 1969, páginas 499-525 .
- [2] Daniels, “Fisicoquímica”, CECSA, (1972), páginas 683-703.
- [3] Cancellieri Giovanni, Ravaioli Umberto, “Measurements of Optical Fibers”, Artech House, (1984).
- [4] Chomycz, Bob , “Instalaciones de Fibra Óptica”, McGraw-Hill, 2002, Capítulo 2 página 12.
- [5] Ghatak Ajoy, Thyagarajan K., Introduction to Fiber Optics, Cambridge University, Junio de 1998.
- [6] EXCEL WATER Technologies INC. La Historia del Tratamiento del Agua de Tomar, http://www.excelwater.com/spa/b2c/about_7.php
- [7] La Guía MetAs, Medición de Turbidez en la Calidad del Agua , <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-10-01-Turbidez.pdf>, Enero de 2010
- [8] Presidencia de la República, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, <http://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf> , 2005.
- [9] Center for Disease Control and Prevention, Giardia <http://healthvermont.gov/local/rhealth/spanish/Giardia.Spa.pdf>, Septiembre 2012.
- [10] Rodríguez García José, Fundamentos de Óptica Geométrica, Universidad de Oviedo, 1997.
- [11] Levine Ira N., Fisicoquímica Volumen 2, Editorial McGraw Hill, Quinta edición, 2004.
- [12] Navy Electricity and Electronics Training Series, Module 24 - Introduction to Fibers Optics, ETCS(SW) Donnie Jones, Septiembre 1998.
- [13] Purves, W.K., Orians, G.H., and Heller, H.C.. Life: The Science of Biology, 4th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, 1995.

[14] IBERCordones Pretensados,S.L., Acero Pretensado – Pigmentos Inorgánicos – Dióxido de Titanio, <http://www.ibercordones.com>, 2011.