

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias



**Desarrollo de una plataforma experimental con LabVIEW
para el estudio y caracterización de diferentes tipos de
sensores en un curso de Instrumentación**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

F Í S I C O

PRESENTA

MELISSA ALMANZA SOTO

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias

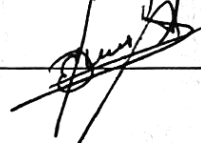
**Desarrollo de una plataforma experimental con LabVIEW
para el estudio y caracterización de diferentes tipos de
sensores en un curso de Instrumentación**

TESIS PROFESIONAL

QUE PRESENTA

MELISSA ALMANZA SOTO

APROBADO POR



Dra. Eloísa del Carmen García Canseco

Directora de tesis



M.C. Héctor Francisco Ortiz Kerbertt

Secretario



Dr. Jesús Ramón Lerma Aragón

Sinodal

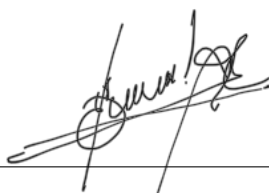
Resumen

Resumen de la tesis de Melissa Almanza Soto presentada como requisito parcial para la obtención de la Licenciatura en Física. Ensenada, Baja California, México. Junio 2021.

Desarrollo de una plataforma experimental con LabVIEW para el estudio y caracterización de diferentes tipos de sensores en un curso de Instrumentación.

Resumen aprobado:

En este proyecto se presenta el diseño y construcción del primer prototipo de una plataforma experimental basada en LabVIEW, para el control de cuatro diferentes sensores. La plataforma experimental fue diseñada con el objetivo de utilizarse en los laboratorios de Física de la Universidad Autónoma de Baja California. El prototipo presentado consta de un dispositivo con un circuito electrónico diseñado para combinar los cuatro sensores en un sólo aparato donde el usuario puede seleccionar el sensor a utilizar por medio de una perilla. El dispositivo se conecta a la tarjeta NI myDAQ para la toma de mediciones con un programa diseñado en LabVIEW específicamente para los sensores seleccionados, el cual, despliega las mediciones convertidas en la variable física respectiva del sensor, ya sea por medio de indicadores numéricos o gráficas.



Dra. Eloísa del Carmen García Canseco
Directora de tesis

Agradecimientos

A mi directora de tesis, la Dra. Eloísa del Carmen García Canseco, por guiarme durante la realización de este trabajo y por todas las oportunidades de aprendizaje y crecimiento en mi carrera profesional que este me ha traído.

A mis compañeros de clase, ahora colegas y grandes amigos, Alex Santacruz Casillas, Karen Macias Cárdenas, Karla Sharai Rodríguez Ramírez y Daniel García Flores por las experiencias que vivimos juntos en este trayecto y su apoyo emocional cuando todo parecía imposible, sin ellos no sería quien soy hoy.

A Carlos Octavio Maciel Santillán y a mi gato Orión, quienes me acompañaron durante todo este trabajo, me dieron su cariño cuando más lo necesitaba, me recordaron el futuro al que quiero llegar y que este trabajo era parte del camino.

A mi familia Soto, por siempre apoyarme en mis ideas y proyectos, aún cuando no entendían bien de que se trataba mi carrera, me ayudaron en cada ocasión para que pudiera continuar alcanzando mis metas.

Finalmente a mi madre, por siempre creer en mi y apoyarme sin dudar. Mami, gracias a ti estoy donde estoy y estoy segura que juntas llegaremos aún más lejos, te amo.

Índice general

Resumen	II
Agradecimientos	III
Índice general	IV
Índice de figuras	VI
Índice de tablas	IX
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo del trabajo	2
1.3. El dispositivo NI myDAQ	3
1.4. Organización del documento	3
2. Estado del Arte	4
3. Metodología	11
3.1. Recopilación de información	11
3.2. Taxonomía de sensores	11
3.3. Prueba y asignación de sensores para la plataforma experimental	13
3.3.1. Sensor de ángulo	13
3.3.2. Sensor de fuerza	14
3.3.3. Sensor de temperatura	14
3.3.4. Sensor de luz	15
3.4. Diseño 3D del armazón para la plataforma	15
3.5. Diseño del circuito a utilizar en la plataforma experimental	17
3.6. Diseño del circuito impreso	17
3.7. Diseño del programa en LabVIEW	20
3.7.1. Valores iniciales de entrada	20
3.7.2. Estructura de casos principal	22
3.7.2.1. Caso 0: Medición continua	22

3.7.2.2. Caso 1: Multímetro	28
3.7.2.3. Caso 2: Gráfica Medición respecto al tiempo Tiempo	29
3.7.2.4. Caso 3: Gráfica IV	30
3.8. Creación del Panel Frontal para el programa de LabVIEW	32
4. Resultados y discusión	35
4.1. Medición continua	35
4.2. Gráfica Medición con respecto al Tiempo	38
4.3. Multímetro	38
4.4. Gráfica I-V	38
4.5. Generación de voltaje	40
4.6. Toma de mediciones con los sensores en protoboard	40
4.6.1. Medición continua	40
4.6.2. Gráfica Medición con respecto al Tiempo	45
4.6.3. Gráfica IV	51
5. Conclusiones	54
Bibliografía	56
A. Archivos de programas y diseños 3D	59
B. Encuesta: Uso de sensores en laboratorios de la UABC	60
C. Hoja de datos de sensor de temperatura	66
D. Hoja de datos de sensor de luz	71
E. Hoja de datos de sensor de fuerza	77
F. Hoja de datos de sensor de ángulo	81

Índice de figuras

2.1. Panel frontal de un instrumento virtual de LabVIEW para la demostración de vibraciones libres. Obtenido de (Espino et al., 2015)	6
2.2. Ventana de simulación de experimento con el uso de Blender y Maya 3D. Obtenido de (Daineko et al., 2017)	7
2.3. Panel frontal de LabVIEW mostrando la generación de dos señales analógicas. Obtenido de (Oleagordia et al., 2014)	8
2.4. VI para el control del nivel de agua en tanques acoplados. Obtenido de (Stefanovic et al., 2011)	10
3.1. Sensores seleccionados para el prototipo. De izquierda a derecha: Round Force-Sensitive Resistor, Long Flex Sensor, GA1A12S202 Log-scale Analog Light Sensor y Thermistor 10k.	13
3.2. Gráfica de resistencia contra fuerza en escala logarítmica para el sensor de fuerza FSR 400 Series Round Force Sensing Resistor. Obtenida de Interlink Technologies (2013)	15
3.3. Gráfica en escala logarítmica de Corriente de luz del colector vs. Iluminancia. Obtenida de Vishay-Semiconductors (2004)	15
3.4. Diseño de base 3D con las entradas de USB y la terminal de 20 tornillos del myDAQ	16
3.5. Diseño 3D de la tapa del dispositivo	16
3.6. Diseño 3D de la perilla para seleccionar el instrumento	17
3.7. Diagrama esquemático del circuito electrónico creado en el programa de diseño Multisim	18
3.8. Diseño de circuito en Ultiboard mostrando vías, rutas y posicionamiento de los componentes electrónicos	19
3.9. Circuito electrónico listo para impresión en PCB	19
3.10. Diagrama de flujo representativo del programa de LabVIEW	21
3.11. Controles y VIs de valores iniciales del programa	22
3.12. VIs de creación e inicialización de las tareas de lectura de canales analógicos	23
3.13. Creación e inicialización de un canal de salida de voltaje analógico.	23
3.14. Estructura de casos para cambiar el voltaje de entrada para sensor de luz	24

3.15. VI de lectura de señales de corriente y voltaje	25
3.16. VI de escritura de señal de voltaje	25
3.17. Estructura del nodo de aritmética compuesta tipo OR detener el ciclo while .	26
3.18. Caso 0: selección del sensor de luz para el instrumento de medición continua	26
3.19. Caso 1: selección del sensor de fuerza para el instrumento de medición con- tinua	27
3.20. Caso 2: selección del sensor de temperatura para el instrumento de medi- ción continua	27
3.21. Caso 3: selección del sensor de ángulo para utilizarse con el instrumento de medición continua	27
3.22. Caso 0: Selección de medición de corriente con el instrumento de multímetro	28
3.23. Estructura de ciclo while para la lectura y escritura de señales en el instru- mento de multímetro	29
3.24. Ajustes iniciales para los canales de entrada del instrumento Gráfica IV . . .	30
3.25. Configuración para el canal de salida de voltaje para el instrumento Gráfica IV	31
3.26. Configuración de bloques para el ciclo while del instrumento Gráfica IV . . .	31
3.27. Configuración del indicador de Gráfica para el instrumento Gráfica IV	32
3.28. Panel Frontal completo del programa de LabVIEW	33
3.29. Acercamiento de los instrumentos del lado izquierdo del panel frontal del programa de LabVIEW	34
3.30. Acercamiento de los instrumentos del lado derecho del panel frontal del pro- grama de LabVIEW	34
4.1. Prototipo conectado al NI myDAQ para la toma de mediciones.	35
4.2. Medición del instrumento de medición continua con el sensor de luz a dife- rentes exposiciones de luz	36
4.3. Mediciones con el instrumento de medición continua mostrando errores para diferentes sensores	37
4.4. Medición del instrumento de Gráfica Medición con respecto al Tiempo selec- cionando diferentes sensores	39
4.5. Medición de resistencia utilizando el instrumento de multímetro	40
4.6. Medición de voltaje con el instrumento de multímetro	40
4.7. Medición de voltaje con el instrumento de multímetro	41
4.8. Mediciones de corriente utilizando el instrumento de multímetro	41
4.9. Medición del instrumento de gráfica IV	42
4.10. Medición de Gráfica IV para el sensor de ángulo	42
4.11. Medición de Gráfica IV para el sensor de temperatura	43
4.12. Generación de voltaje de 10 V medido con el instrumento de multímetro . .	44
4.13. Generación de voltaje de 8 V medido con el instrumento de multímetro . . .	45
4.14. Sensores sobre circuito en protoboard conectado a myDAQ	46

4.15. Medición de ángulo con el instrumento de medición continua con el sensor montado sobre un protoboard	46
4.16. Medición de temperatura por el instrumento de medición continua con el circuito en protoboard	47
4.17. Medición de fuerza utilizando el instrumento de medición continua con el circuito en protoboard	47
4.18. Medición continua con el sensor de luz sobre protoboard	48
4.19. Gráfica Medición con respecto al Tiempo para el sensor de ángulo	49
4.20. Gráfica Medición con respecto al Tiempo para el sensor de temperatura en protoboard	50
4.21. Medición de fuerza contra tiempo utilizando el circuito en protoboard	50
4.22. Gráfica Medición con respecto al tiempo del sensor de luz, utilizando el circuito en protoboard	51
4.23. Gráfica IV para el sensor de ángulo en posición plana	52
4.24. Gráfica IV para el sensor de ángulo en posición plana, cambiando el rango de voltaje	52
4.25. Análisis de los datos de las gráficas IV	53

Índice de tablas

2.1. Proyectos similares encontrados en la revisión bibliográfica	5
3.1. Sensores disponibles en el laboratorio de instrumentación	12
3.2. Sensores disponibles en la web	12
3.3. Mediciones de prueba para el Long Flex Sensor	14
3.4. Mediciones de resistencia con el sensor de fuerza para diferentes masas . .	14
3.5. Tabla de selección de sensor de acuerdo a los estados de los interruptores magnéticos	17

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

En todo el mundo el estudiar una carrera en Física significa adentrarse en algunas de las tantas ramas de esta disciplina. Sea superficialmente o profundamente, es importante que los estudiantes adquieran conocimientos sobre lo que es trabajar en cualquiera de las áreas estudiadas, para así, tomar una decisión informada sobre la continuación de su carrera al terminar sus estudios de licenciatura.

La física podría separarse en dos ramas principales: Física Experimental y Física Teórica, de esta forma también se organizan los planes de estudios de la licenciatura en Física de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Generalmente se utilizan cursos de laboratorio para explicar la parte experimental de la Física y reforzar la teoría con demostraciones experimentales, aunque es común que se dé énfasis a la segunda parte.

Uno de los objetivos principales de los cursos de laboratorio avanzados en la parte disciplinaria de la carrera, es el preparar a los estudiantes para el trabajo en investigación, en caso de que esta sea el área en que deseen continuar después de sus estudios de licenciatura. Es importante darles a los estudiantes todas las herramientas para la solución de problemas, realización de prácticas experimentales y la creación de métodos experimentales. En general los laboratorios a nivel licenciatura deberían preparar a los estudiantes para la investigación integrándolos a las prácticas y la comunidad de físicos experimentales ([Zwickl et al., 2012](#)).

Es común encontrar cursos donde el estudiante siga una lista de pasos para completar la práctica de laboratorio, esta es una de las formas en que el trabajo de los estudiantes en la instrucción tradicional casi siempre difiere de la práctica de la ciencia y la ingeniería ([Etkina and Murthy, 2006](#)). Otro punto importante, aparte de las aptitudes que deben tener los estudiantes al terminar la carrera, es la percepción de los cursos por los estudiantes. Cursos introductorios de laboratorio aburridos han sido mencionados como una razón significativa de la baja retención en carreras de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM por sus siglas en inglés) ([Zwickl et al., 2012](#)). Debido a la forma comúnmente usada de enseñar cursos de laboratorio los estudiantes pueden perder de vista el propósito de estos y verlos como innecesarios y aburridos, es importante encontrar una forma de cambiar esta percepción por parte de los estudiantes.

Aún cuando cada día existen nuevas tecnologías revolucionarias que la enseñanza de la Física, el problema central prevalece: proveer a los estudiantes de experiencias prácticas relevantes y significativas mientras se está limitado por recursos finitos de hardware e infraestructura ([Ertrugul, 2000](#)). Este proyecto de tesis plantea una forma de utilizar los recursos ya disponibles en la UABC de una forma en que los estudiantes puedan apreciar

y aprender del uso de tecnologías en los laboratorios. El uso de computadoras ha abierto nuevas posibilidades en los laboratorios, incluyendo simulación, adquisición de datos automatizada, control remoto de instrumentos, y el rápido análisis y presentación de la información (Feisel and Rosa, 2005). La utilización de software de programación gráfica, como LabVIEW, en el programa de los cursos remueve grandes barreras que ocurren al utilizar lenguajes de programación escritos. Aparte de que ayudan a los estudiantes a adquirir conocimientos de programación e instrumentación y aumentan la confianza y motivación para aprender Física y lenguajes de programación (Kuan et al., 2016).

Definición 1.1.1 (Laboratorio virtual). Un *laboratorio virtual* es la simulación del modelo matemático de un proceso físico real.

Definición 1.1.2 (Laboratorio remoto). un *laboratorio remoto* provee el acceso a un proceso físico real situado remotamente, por medio del Internet (Chacón et al., 2015).

Los laboratorios virtuales permiten a los estudiantes experimentar y repetir una y otra vez. Permiten también observar cómo los cambios de parámetros y sus efectos se generan, una de las características más importantes de los laboratorios virtuales es proveer a los estudiantes la experiencia de aprendizaje por medio de fracasos sin causar ningún daño real (Subali et al., 2017).

El propósito de un laboratorio virtual es el ser una alternativa o apoyo en la indisponibilidad de equipo de laboratorio adecuado (Subali et al., 2017), pero al utilizarse en conjunto con el equipo tradicional, se convierte en una forma de enseñanza más entretenida y fácil de llevar a cabo los experimentos. Hoy en día incluso los laboratorios tradicionales son mediados por computadoras, por lo tanto en lugar de laboratorios tradicionales, virtuales y remotos se podría hablar mejor del grado en que estos son tradicionales, simulados y remotos (Ma and Nickerson, 2006).

Se ha encontrado que este tipo de laboratorios son beneficiosos para la formación de los estudiantes, resultados de investigaciones donde se pone a prueba el uso de laboratorios virtuales con estudiantes indican que se muestra un efecto positivo en el entendimiento de los conceptos estudiados (Gunawan et al., 2018) y en su habilidad para resolver problemas (Subali et al., 2017).

En los últimos años, universidades alrededor del mundo se han dado cuenta de los beneficios de la enseñanza de la instrumentación con LabVIEW, por esto proponen cursos interdisciplinarios de adquisición de señales y mediciones basados en LabVIEW (Globig, 2003). Estos cursos se separan en la explicación del uso de LabVIEW y técnicas de adquisición. La utilización de esta plataforma junto con tarjetas de adquisición especializadas para estudiantes, como la NI ELVIS y NI myDAQ, es el siguiente paso para la enseñanza de la instrumentación y acerca a los estudiantes a un nivel que verán en su vida profesional después de sus estudios, si deciden dedicarse a esta área.

1.2. Objetivo del trabajo

En esta tesis se presenta el diseño y parte de la construcción de un dispositivo equipado con sensores para utilizarse en el laboratorio de instrumentación de la carrera de Física de la Universidad Autónoma de Baja California. El dispositivo se utiliza en conjunto con la tarjeta NI myDAQ para su control y adquisición de señales y se controla por medio de un programa de LabVIEW específicamente diseñado para funcionar con cada uno de los cuatro sensores disponibles y así desplegar distintos valores de mediciones en las unidades

adecuadas para cada uno. En la Universidad Autónoma de Baja California el curso optativo de Instrumentación, diseñado para la Licenciatura en Física, utiliza desde el semestre 2018-2 el instrumento myDAQ de la compañía National Instruments. Se espera que esta plataforma experimental sea de utilidad en el entendimiento de el uso de sensores de la clase de instrumentación así como para tomar mediciones necesarias en otros laboratorios de la UABC.

1.3. El dispositivo NI myDAQ

El dispositivo NI myDAQ es una tarjeta de control y adquisición de datos diseñada para estudiantes, al ser de bajo costo, portátil y simple de usar ([National Instruments, 2010](#)). La tarjeta se controla utilizando el software LabVIEW, creado también por la compañía National Instruments.

El NI myDAQ cuenta con entradas y salidas digitales y analógicas para la creación y medición de voltajes. Con esta tarjeta de adquisición los estudiantes tienen acceso a el análisis de señales eléctricas utilizando un mismo aparato que cumple las funciones de multímetro, osciloscopio, lector de señales digitales, entre otros.

1.4. Organización del documento

En el capítulo 2 se presenta una introducción al tema de la enseñanza de la instrumentación en laboratorios de física. También se muestran ejemplos de trabajos similares encontrados en la literatura y se hace una comparación con las características del dispositivo diseñado en este trabajo.

La metodología seguida en el proyecto se presenta con en el capítulo 3. En este capítulo se menciona a detalle cada etapa del proyecto incluyendo descripciones de los materiales y el software utilizado.

El capítulo 4 presenta de una forma secuencial los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. Por último, las conclusiones generales del trabajo se presentan en el capítulo 5.

Capítulo 2

Estado del Arte

La enseñanza de la instrumentación basada en instrumentos virtuales ha tomado mayor importancia con el desarrollo de *laboratorios virtuales* y *laboratorios remotos*. Ambas herramientas son recientes y están relacionadas en que para implementarlas se puede utilizar software especializado como herramientas de control, monitoreo y procesamiento de los datos obtenidos.

En el caso de los laboratorios virtuales se generan señales simuladas mediante el modelado matemático de procesos físicos mientras que en los laboratorios remotos se leen señales producidas por un proceso físico real al cual se tiene acceso a distancia mediante internet apoyado con un sitio web ([Chacón et al., 2015](#)). Por su parte los laboratorios remotos son experimentos fijos en un sitio, a los cuales el estudiante accede por medio de internet. Un laboratorio virtual es todo aquel en el cual se utilice una computadora como medio para el control y adquisición de señales, sean estas reales de un proceso físico que se esta llevando a cabo o simuladas, por lo cual un laboratorio remoto puede ser en gran parte *virtual*.

En la tabla 2.1 se presentan los proyectos similares al de esta tesis encontrados en la revisión bibliográfica, en la tabla se desglosan por tipo de laboratorio, software utilizado, entre otras características.

En la actualidad existen propuestas de cursos de laboratorio que incluyen el uso de LabVIEW ya que este es un sistema de programación gráfica fácil de usar ([Tiernan, 2010](#)). El software permite a estudiantes con poca experiencia en lenguajes de programación escritos crear programas sencillos con la posibilidad de realizar operaciones matemáticas desde básicas hasta avanzadas. También permite la construcción de interfaces gráficas de fácil interacción vía perillas, barras deslizables y botones (utilizando el cursor) o vía texto en caso de ser necesario.

Las características de LabVIEW lo convierten en el software de programación ideal para el uso con estudiantes de licenciatura. Como se puede observar en la tabla 2.1, seis de los ocho proyectos mencionados utilizan LabVIEW como software principal.

En ([Tiernan, 2010](#)) se presenta un programa de laboratorio basado en el uso de LabVIEW enfocado en estudiantes de ingeniería con el cual se espera que los estudiantes obtengan las herramientas y habilidades necesarias para el uso de instrumentos especializados utilizados en la industria y la investigación. El artículo hace hincapié en la necesidad de enseñar a los estudiantes temas de instrumentación que les permitan sentirse cómodos en un ambiente de trabajo especializado con equipo que por lo general es muy costoso. Para el programa de laboratorio se utiliza la tarjeta NI DAQPad-6015, en comunicación con una computadora vía USB, para la adquisición de datos de sensores de movimiento y temperatura, así como el estudio de voltajes y operaciones con interruptores. Los sen-

Table 2.1: Proyectos similares encontrados en la revisión bibliográfica

Proyecto	Tipo de laboratorio	Descripción	Utiliza hardware complementario	Software Utilizado	Variables físicas a medir	Uso de sensores
Tiernan (2010)	Virtual	Laboratorio con LabVIEW enfocado en estudiantes de ingeniería	NI DAQPad-6015 para adquisición y una tarjeta electrónica con sensores integrados, construida específicamente	LabVIEW	Temperatura, Velocidad, Voltaje	Si
Daineko et al.(2017)	Virtual	Laboratorio simulado para el entendimiento de conceptos de física	No	Blender, Maya 3D y C#	Varias	No
Espino et al. (2015)	Virtual	Proyecto basado en instrumentos virtuales para la enseñanza de la teoría de vibraciones mecánicas	No	LabVIEW	Aceleración, Velocidad, Desplazamiento	No
Meer et al. (2000)	Virtual	Simulaciones para el aprendizaje del comportamiento de un módulo de Peltier	No	LabVIEW	Voltaje, Corriente, Temperatura, Calor	No
Petry et al. (2016)	Virtual	Serie de experimentos de bajo costo para cursos de física a nivel preparatoria	Tarjeta Arduino UNO	Arduino	Temperatura	Si
Oleagordia et al. (2014)	Virtual	Plataforma equipada con osciloscopio, generador de funciones y analizador de espectro apoyada en instrumentos virtuales	PIC18F2550	LabVIEW	Voltaje	No
Llamas et al. (2016)	Virtual	Dispositivos equipados con sensores para realizar experimentos de mecánica básica	Dos dispositivos portátiles equipados con sensores y Arduino Nano v3 y Raspberry Pi2 para adquisición y control	Arduino y Go	Aceleración, Velocidad, Desplazamiento	Si
Granja et al. (2008)	Virtual	Serie de prácticas de laboratorio para medir variables físicas del laboratorio de termodinámica	NI USB 6008 para adquisición y control	LabVIEW	Temperatura	Si
Said et al. (2016)	Virtual	Instrumento Virtual para la enseñanza de la dinámica de un cuerpo en caída libre, comparando datos experimentales con simulados	Placa Arduino y tarjeta experimental con sensores fijos	Arduino y LabVIEW	Distancia, Tiempo	Si
Shankar et al.(2013)	Remoto	Laboratorio remoto para la enseñanza de la Ley de Hooke	NI C-DAQ y NI 9478	LabVIEW	Modulo de Young	Si
Tlaczala et al.(2006)	Remoto	Laboratorio para de física nuclear	Si, pero no se especifica	LabVIEW	Radiación	Si
Stefanovic et al.(2011)	Remoto	Práctica de laboratorio sobre el nivel de agua cuatro tanques acoplados	NI USB 6009	LabVIEW	Nivel de agua	

sores e interruptores utilizados están colocados en una tarjeta electrónica específicamente construida para este propósito. En el caso de (Tiernan, 2010) cada grupo de estudiantes cuenta con una tarjeta de sensores y con una tarjeta NI DAQPad-6015, esto es una característica destacable, el tener suficiente equipo de laboratorio hace posible que todos los estudiantes se involucren directamente en la práctica y así poder obtener todos los aprendizajes planteados en la práctica. El desarrollo de las lecciones planteadas en (Tiernan, 2010) comienza con una serie de prácticas escritas para que los estudiantes puedan hacer programas sencillos y conocer las diferentes funciones de LabVIEW y sus elementos principales (Panel Frontal, Diagrama de bloque, Paletas de funciones, etc.). Posteriormente se les da a los estudiantes la tarea de aprender a conectar los sensores a la tarjeta de adquisición y adquirir señales, por último se trabaja con el procesamiento de datos y su presentación en gráficas en el panel frontal de su VI (Virtual Instrument, Instrumento Virtual). De este tipo de investigaciones se puede observar la capacidad de los estudiantes de licenciatura de realizar programas sencillos utilizando LabVIEW.

El trabajo presentado en (Granja et al., 2008) cumple con la característica de usar LabVIEW, en este se presenta un proyecto de tesis que consiste en una serie de prácticas de laboratorio en las cuales se utilizan una variedad de sensores para medir variables físicas del laboratorio de termodinámica. Se utiliza la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6008 con apoyo en LabVIEW para procesar las señales y crear una interfaz para cada práctica. En la interfaz el usuario tiene a disposición toda la información de para llevar a cabo el experimento (esquemas del arreglo experimental), así como los controles del experimento y los indicadores (tablas y gráficas). En el proyecto el usuario dispone de un instrumento virtual de LabVIEW en cual se presenta un menú con las prácticas disponibles, al seleccionar la práctica se abre otro VI en el cual se realiza el experimento. Este proyecto (Granja et al., 2008) es muy similar a lo que propone esta tesis, las diferencias principales son que en el proyecto en (Granja et al., 2008) el usuario debe armar un circuito en *protoboard* cada

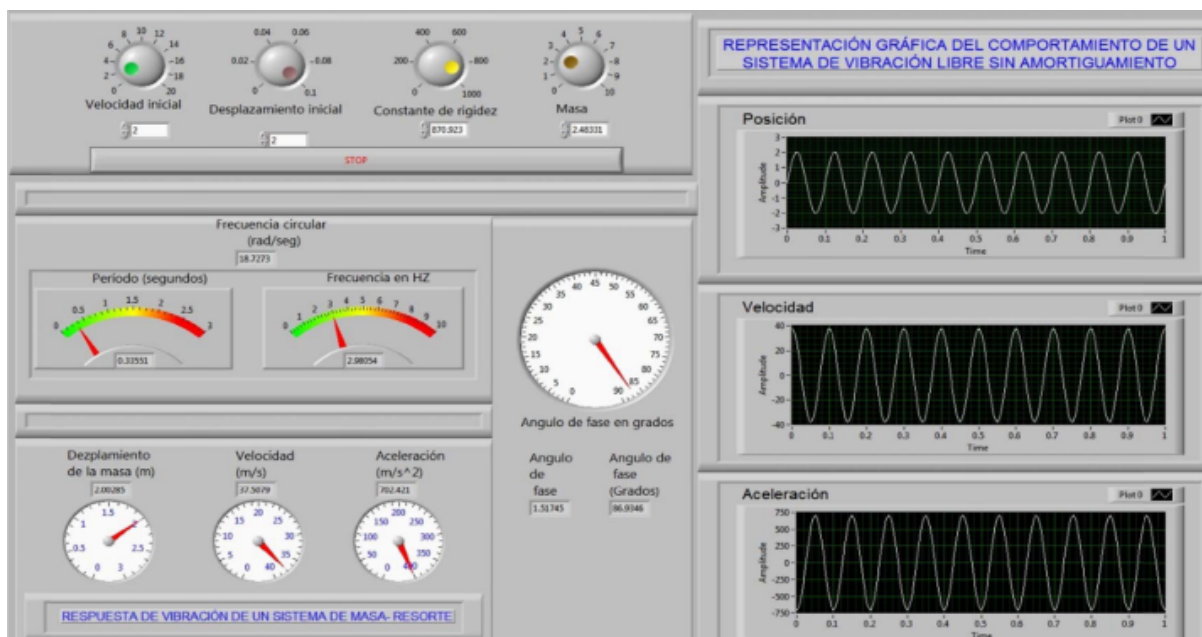


Figure 2.1: Panel frontal de un instrumento virtual de LabVIEW para la demostración de vibraciones libres. Obtenido de (Espino et al., 2015)

vez que se quiera realizar la práctica mientras que esta tesis se enfoca en desarrollar un dispositivo tipo *Plug and Play* que se conecte directamente a la tarjeta de adquisición de datos.

Dentro del enfoque del uso de simulaciones para la enseñanza de la Física resaltan dos proyectos, los cuales también utilizan LabVIEW como ambiente de desarrollo, el primero de estos (Espino et al., 2015) donde se muestra un proyecto basado en instrumentos virtuales en LabVIEW para enseñar la teoría de vibraciones mecánicas. A diferencia de los demás proyectos encontrados éste no utiliza sensores, ya que el proyecto no consta de adquisición de señales de un proceso físico real sino de una simulación utilizando como herramientas las funciones matemáticas en LabVIEW para definir las ecuaciones que rigen este movimiento y dejando que el usuario proporcione los parámetros iniciales. En la Fig. 2.1 se muestran las perillas programadas con ciertos valores para ser definidos por usuario. Este proyecto demuestra la facilidad de LabVIEW para adaptarse a las necesidades del experimento en cuestión y su utilidad en laboratorios virtuales.

El Instituto de Educación de la Física de la Universidad de Twente propone el uso de LabVIEW para una simulación de un módulo de Peltier, para utilizarse como parte de un curso enfocado a estudiantes de preparatoria que desean entrar a la Licenciatura de Física Aplicada en esta universidad (Meer et al., 2000). Los estudiantes de preparatoria no cuentan con las habilidades y conocimientos necesarios para conducir un experimento de primer año de física universitaria, por eso se espera introducir estas habilidades experimentales a través de la práctica de simulaciones en tiempo real (Meer et al., 2000). En específico, dentro de la práctica se mencionan los pasos necesarios para realizar una práctica real de un módulo de Peltier; para esto se necesitan múltiples fuentes de voltaje, multímetros y equipo especializado para experimentos de termodinámica, esta información se plantea para hacer énfasis en la dificultad del experimento y justificar la investigación teniendo en cuenta la falta de experiencia de los estudiantes del curso y lo difícil que sería

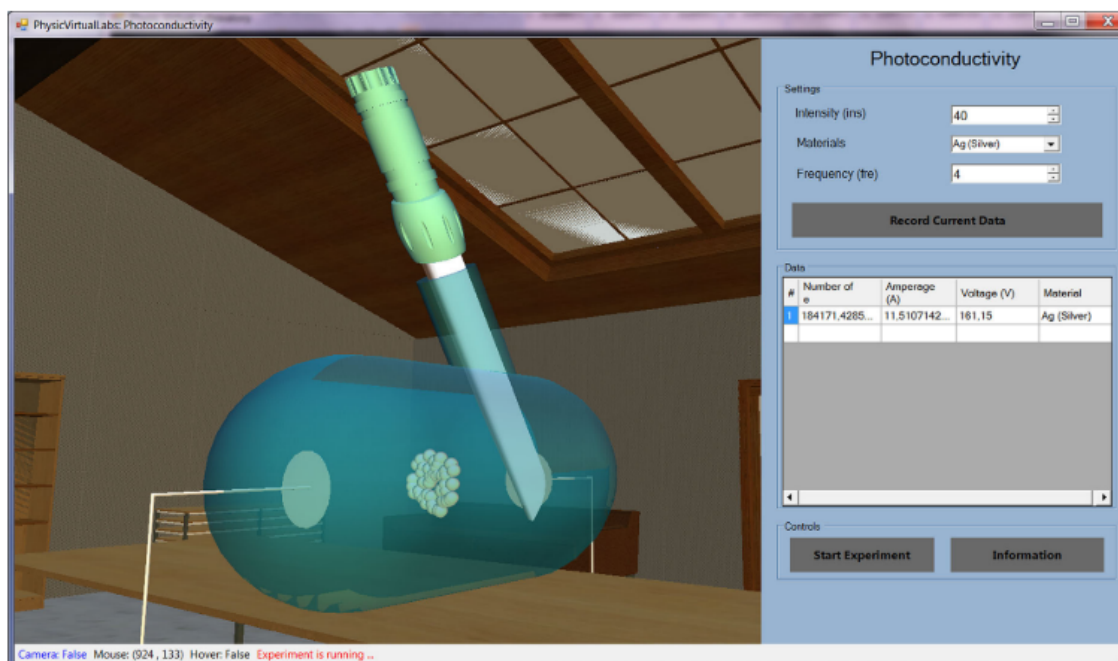


Figure 2.2: Ventana de simulación de experimento con el uso de Blender y Maya 3D. Obtenido de (Daineko et al., 2017)

para ellos llevar a cabo este experimento, por lo cual una simulación ofrece a los estudiantes la oportunidad de familiarizarse con los conceptos principales del experimento, tomando esto como el objetivo principal.

En (Daineko et al., 2017) se utiliza una combinación de los software Blender y Maya 3D para su proyecto de laboratorio simulado, éste facilita a los alumnos el entendimiento de conceptos físicos y químicos que se ven en cursos introductorios de Física a nivel licenciatura. En la Figura 2.2 se muestra uno de los experimentos simulados por en (Daineko et al., 2017). Para programar la Física de las interacciones de los materiales en las simulaciones, utilizó C#.

Al igual que en (Meer et al., 2000), pero no con simulaciones sino con el uso de hardware como la tarjeta Arduino UNO, el trabajo en (Petry et al., 2016) tiene un enfoque de investigación bajo el planteamiento utilizado en (Moreira, 2017) de que la educación de la Física sea enfocada al estudiante, desarrollando habilidades de modelado, argumentación, comunicación y experimentación, por lo cual presenta una serie de experimentos de bajo costo para cursos de Física a nivel preparatoria utilizando Arduino para el control y para la adquisición de datos. Estos experimentos cubren las áreas de óptica, termodinámica y ondas, aplicados a 195 alumnos de 6 clases. Posteriormente a la implementación del curso se observa que los estudiantes se sienten motivados a realizar el experimento y muestran mayor interés en la Física y en el uso de Arduino. Se muestra el beneficio de enfocar los cursos de laboratorio a un ambiente donde los estudiantes sean los principales desarrolladores del proyecto y el hecho de que el uso de computadoras y equipo actualizado aumenta el interés y la motivación para realizar las prácticas de laboratorio.

Por parte de la compañía National Instruments existen plataformas multifunciones enfocadas en la generación y adquisición de señales, descritas como "todo en uno", un ejemplo de esto es el dispositivo NI VirtualBench, el cual incluye cinco instrumentos comunes como son el osciloscopio, multímetro digital, generador de funciones y entradas y salidas digitales. Esta plataforma se conecta vía USB a una computadora y se puede usar tanto con LabVIEW como con la aplicación VirtualBench, la cual carga automáticamente al conec-

tar el dispositivo a la computadora, sin necesidad de descargar algún software (National Instruments, 2019).

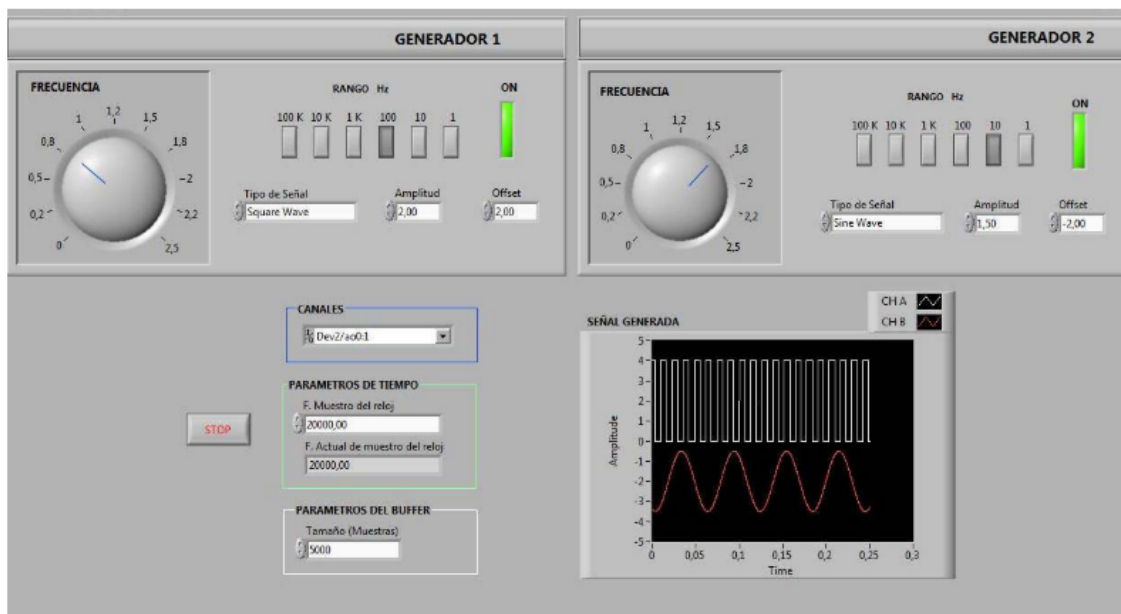


Figure 2.3: Panel frontal de LabVIEW mostrando la generación de dos señales analógicas. Obtenido de (Oleagordia et al., 2014)

La creación de dispositivos multifuncionales para los laboratorios evitan que las instituciones tengan que adquirir múltiples instrumentos especializados. En (Oleagordia et al., 2014) se muestra el desarrollo de una plataforma que contiene un generador de funciones, un osciloscopio y analizador de espectro apoyada en los instrumentos virtuales de LabVIEW para la enseñanza de instrumentación a nivel licenciatura. La plataforma desarrollada en (Oleagordia et al., 2014) funciona junto con una tarjeta creada a partir de un microcontrolador PIC18F2550 la cual elimina la necesidad de un dispositivo DAQ de la marca National Instruments, siendo así una opción más económica. Un beneficio de estos dispositivos es que los alumnos pueden familiarizarse con los instrumentos físicos ya que el ambiente de programación utilizado permite crear interfaces que simulen los botones y perillas típicamente encontrados en estos dispositivos, como se puede observar en la Fig. 2.3.

Dentro de la misma necesidad de encontrar alternativas económicas al equipo de laboratorio convencional de marcas especializadas en (Llamas et al., 2016) se desarrollan dos unidades equipadas con sensores para experimentos de mecánica básica, como se puede observar en la tabla 2.1, este es uno de los únicos tres proyectos mencionados que no utiliza LabVIEW. Al utilizar software de distribución libre se reducen los costos y aumenta la accesibilidad para escuelas. Entre los sensores utilizados en el proyecto se encuentran acelerómetros de tres ejes, sensores ultrasónicos y sensores infrarrojos. El trabajo se enfoca en crear un dispositivo que facilite su desplazamiento y que cuente con comunicación inalámbrica, en general un dispositivo que permita realizar experimentos en movimiento y con la menor cantidad de cables (Llamas et al., 2016). De estas necesidades principales surgen dos plataformas a las cuales nombran *Unidad Móvil* y *Unidad Portátil*, con sus principales diferencias siendo que la unidad móvil, equipada con un Arduino Nano

v3 y alimentada por baterías, necesita estar cerca de una computadora para transmitir los datos de los sensores vía Bluetooth mientras que la unidad portátil, equipada con una unidad Raspberry Pi2, puede almacenar la información en una tarjeta SD, lo cual permite su uso en experimentos de física en el exterior (Llamas et al., 2016). Estos dispositivos dan completo control al usuario para usar las señales de los sensores como se desee, ya que las señales recibidas son voltajes o señales digitales las cuales el usuario decide como procesar con las ecuaciones de cinemática que el experimento requiera. Los principales beneficios de este proyecto son el contar con un dispositivo portátil, compacto e inalámbrico, todas estas características siendo definidas por el tipo de experimentos que se llevan a cabo en los laboratorios de cinemática.

En el trabajo presentado en (Said et al., 2016) se unen todos los tipos de laboratorio mencionados en la tabla 2.1, ya que trata de laboratorios virtuales junto con experimentación en tiempo real (laboratorio tradicional). En el proyecto mostrado en (Said et al., 2016) se crea un VI de LabVIEW en el cual el usuario puede simular la dinámica de un cuerpo en caída libre y compararlo con datos experimentales de sensores ultrasónicos (para medir la posición de la partícula) y LEDs infrarrojos (para medir tiempos), adquiriendo las señales a través de una placa Arduino. El panel frontal del VI contiene secciones de teoría, cálculos, simulación y experimentación lo cual elimina la necesidad de un documento separado con la información de la práctica. Toda esta información puede agregarse al panel frontal y el usuario puede regresar a ella al mismo tiempo que se ejecuta el programa sin necesidad de cambiar de aplicación. También, es una mejor opción para guiar a los estudiantes a través del experimento, alternando entre información de la práctica y controles del experimento. En el panel frontal es necesario que el usuario ingrese los valores de masa del objeto y altura inicial, así, el sistema genera los resultados de: coeficiente de restitución, energía potencial inicial, velocidad, tiempo total en el que se lleva a cabo la colisión y pérdidas de energía entre rebotes. Esto ahorra tiempo de clase, ya que en laboratorios tradicionales los estudiantes deben crear sus propios programas computacionales para obtener estos datos, o en algunos casos resolver las ecuaciones a mano. El experimento, el cual cuenta con un prototipo experimental con sensores fijos, esta enfocado en el uso en laboratorios de física de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, aportando tecnología que incentive a los estudiantes a diseñar y construir equipos de laboratorio innovadores (Said et al., 2016). A la vez permite a los estudiantes comparar resultados teóricos con experimentales en tiempo real ahorrando tiempo de clase. A la vez el realizar la simulación antes del experimento ayuda a los estudiantes a saber qué resultados esperar del experimento y tener un mejor entendimiento de la física detrás de este.

Es notable el surgimiento de los laboratorios remotos como parte de el uso de computadoras para los cursos de física experimental, herramientas como LabVIEW permiten el desarrollo de estas tecnologías, donde los alumnos, aparte del acceso remoto al experimento las 24 h/7 días a la semana, pueden hacerlo a su propio paso (Stefanovic et al., 2011).

Experimentos como el acoplamiento de tanques de agua se pueden llevar a cabo desde cualquier computadora con acceso a internet por medio de LabVIEW. En tiempos donde los estudiantes están tomando clases desde su hogar, el contar con experimentos fijos en los laboratorios de los institutos a los cuales se pueda acceder remotamente asegura que los estudiantes no pierdan los beneficios de la experimentación en tiempo real. En la figura 2.4 se puede observar como es posible que los estudiantes tengan acceso a imágenes en tiempo real del experimento que están llevando a cabo remotamente.

Los laboratorios remotos combinan las mejores características de los laboratorios tradicionales con los laboratorios virtuales, y a la vez permiten el uso de equipo experimental

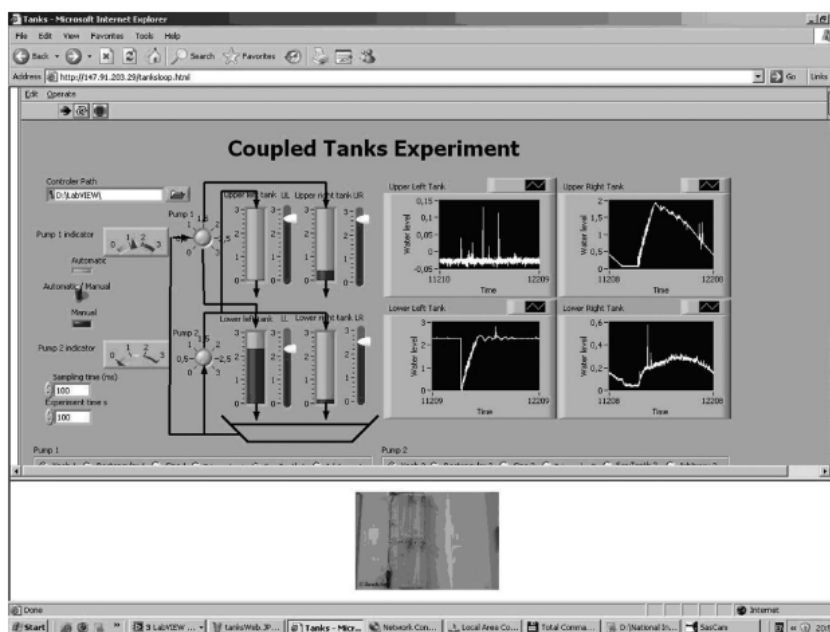


Figure 2.4: VI para el control del nivel de agua en tanques acoplados. Obtenido de (Stefanovic et al., 2011)

ordenadamente a través de una computadora con conexión a internet. Al utilizar software de control como LabVIEW, se puede aprovechar para utilizar simulaciones y hacer aún más completa la experiencia de los estudiantes. En general la mayor ventaja de los laboratorios remotos es la experimentación a distancia, proyectos como el de (Shankar et al., 2013) demuestran como estos laboratorios mejoran experiencia de aprendizaje teórica y práctica, utilizando la entrada de información y el análisis en tiempo real (Shankar et al., 2013).

Este proyecto utiliza los beneficios de LabVIEW para utilizarse como software de control y adquisición junto con tarjetas de la marca National Instruments, así como su facilidad de utilizarse con software de interfaz como HTML5 o Adobe Flash, para la enseñanza de la Ley de Hooke a estudiantes de ingeniería. El equipo de laboratorio utilizado puede replicar la práctica para que los estudiantes puedan conectarse en distintos horarios a realizar el experimento, y el utilizar un software como Adobe Flash hace que la práctica sea accesible desde cualquier computadora que tenga una versión actualizada de este.

Otro beneficio de los laboratorios remotos es el alargar el tiempo de vida de equipo de laboratorio costoso y delicado de manipular, un ejemplo es el equipo de laboratorio para la enseñanza de la física nuclear. Finalmente en (Tlaczala et al., 2006) se crea un laboratorio remoto de física nuclear utilizando LabVIEW. En este los estudiantes pueden realizar desde cualquier computadora con internet experimentos de caracterización de plástico centelleador y a la vez tomar mediciones en tiempo real sin la necesidad de manipular fuentes de radiación e instrumentos especializados de alto costo.

La enseñanza de la instrumentación está evolucionando en el sentido de utilizar las facilidades que brindan los instrumentos virtuales y de implementar plataformas experimentales especializadas. Aunque se han desarrollando plataformas experimentales basadas en instrumentos virtuales que contribuyan al entendimiento de conceptos físicos no se ha encontrado un trabajo como el de esta tesis, una plataforma experimental equipada con una amplia variedad de sensores para escoger y que dé al usuario la oportunidad de crear sus propios instrumentos virtuales aparte de los propuestos.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Recopilación de información

Durante esta etapa se creó una encuesta destinada a los profesores que imparten materias con sección de laboratorio en la Facultad de Ciencias de la UABC, esta encuesta se planteó debido a la necesidad de tener un mejor entendimiento del tipo de equipo utilizado en los laboratorios de la Facultad, así como de las necesidades que tienen los profesores para poder cumplir con sus expectativas de un curso completo de laboratorio. La encuesta se realizó por medio del sistema de Formularios de Google y fue enviada a cinco profesores, los cuales impartían individualmente los cursos de Laboratorio de Óptica, Laboratorio de Electricidad y Magnetismo, Física Térmica, Física y Laboratorio de Física.

Con la encuesta se esperaba obtener una mejor idea de las condiciones y necesidades de cada laboratorio, por lo cual se incluyeron preguntas para conocer algunas especificaciones de los instrumentos utilizados para los diferentes cursos. Las especificaciones de los instrumentos disponibles que se esperaba conocer con la encuesta fueron: el número de sensores utilizados, si los instrumentos cuentan con uno o múltiples sensores, las variables físicas que se miden y si fueron diseñados por profesores o estudiantes o comprados de alguna marca especializada de equipo de laboratorio. Aparte de familiarizarse con el equipo disponible en los laboratorios también se agregaron preguntas para conocer lo que opinaban los profesores sobre la necesidad de nuevas técnicas de laboratorio y nuevos instrumentos.

De los resultados de la encuesta (ver apéndice B) se encontró que la totalidad de los laboratorios utilizaban instrumentos para tomar mediciones, y de estos el 60 % utilizaba instrumentos con un solo sensor. También en su mayoría los instrumentos de laboratorio utilizados eran de la marca de equipo de laboratorio PASCO. Mientras que el 20 % de los laboratorios cuentan con computadoras para asistir en el control y adquisición de datos, el 60 % no las tiene y los docentes consideran que sería útil tenerlas.

3.2. Taxonomía de sensores

Se hizo una revisión de los sensores disponibles en el laboratorio de instrumentación de la UABC, se encontró que había en existencia ocho tipos de sensores, los cuales se mencionan en la tabla 3.1.

Aún cuando se contaba con una buena variedad de sensores se decidió buscar más tipos en la web para poder separarlos por su funcionalidad.

Table 3.1: Sensores disponibles en el laboratorio de instrumentación

Sensor	Variable física que mide
Fotoresistencia	Intensidad de luz
Resistencia Sensible a la Fuerza	Fuerza/Presión
De efecto Hall	Campo Magnético
Infrarrojo	Radiación infrarroja
Tilt sensor	Orientación/Inclinación
Acelerómetro de 3 ejes	Aceleración
Sensor Ultrasónico	Distancia
Temperatura tipo capacitivo	Temperatura

Table 3.2: Sensores disponibles en la web

Tipo de sensor	Nombre del sensor	Total de sensores encontrados
Resistivo	Photo cell (CdS photoresistor)	8
	Adafruit BMP388 - Precision Barometric Pressure and Altimeter	
	Round Force-Sensitive Resistor (FSR) - Interlink 402	
	Long Flex sensor	
	Short Flex Sensor	
	Linear SoftPot (Ribbon Sensor) - 100mm	
	Circular Soft Potentiometer (Ribbon Sensor)	
Capacitivo	Thermistor 10K	4
	GA1A12S202 Log-scale Analog Light Sensor	
	AM2302 (wired DHT22) temperature-humidity sensor	
Óptico	DHT11 basic temperature-humidity sensor + extras	3
	Hall effect sensor - US5881LUA	
	TMP36 - Analog Temperature sensor - TMP36	
	Pulse Sensor Amped	3
	Adafruit VL6180X Time of Flight Distance Ranging Sensor (VL6180)	
	Melexis Contact-less Infrared Sensor - MLX90614 5V	

Posteriormente se hizo una categorización de los sensores disponibles en las páginas web de los principales proveedores de componentes electrónicos, como son DigiKey, SparkFun y Adafruit, los cuales se separaron por su funcionamiento. Como se puede observar en la tabla 3.2 las categorías seleccionadas fueron sensores resistivos, capacitivos y ópticos.

De los sensores de la tabla 3.2, se seleccionaron para pruebas tres sensores del tipo resistivo y uno transistivo ya que son bastante sencillos de utilizar. Los sensores resistivos cambian su resistencia de acuerdo a su medición de cierta variable física. Al sólo necesitar tomar una medición de resistencia hace su uso con el NI myDAQ relativamente sencillo. También se decidió que tres los sensores utilizados fueran del mismo tipo, de esta forma cada sensor tendría el mismo número de terminales lo cual haría más sencillo el cambiar de un sensor a otro, tanto para el circuito electrónico que se utilizaría como para el mecanismo de selección.

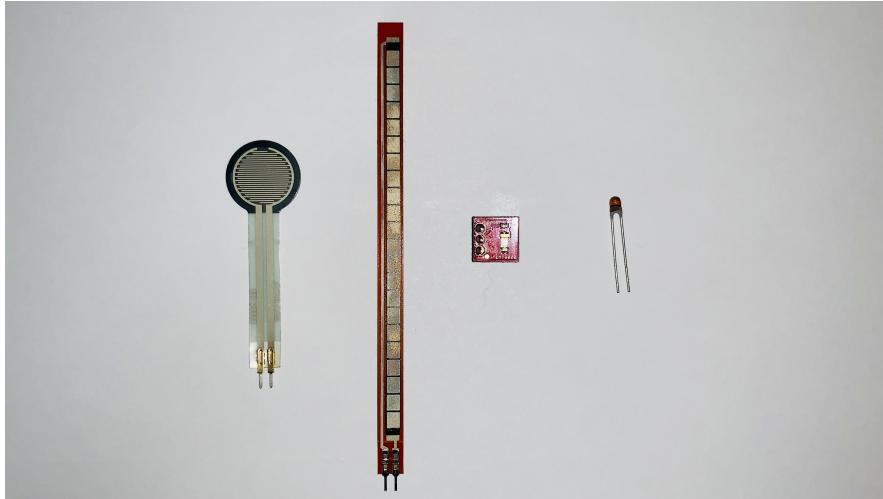


Figure 3.1: *Sensores seleccionados para el prototipo. De izquierda a derecha: Round Force-Sensitive Resistor, Long Flex Sensor, GA1A12S202 Log-scale Analog Light Sensor y Thermistor 10k.*

3.3. Prueba y asignación de sensores para la plataforma experimental

De las tablas 3.1 y 3.2 se seleccionaron los siguientes sensores para la etapa de pruebas y su probable asignación para la plataforma experimental: Long Flex Sensor, Thermistor 10k, GA1A12S202 Log-scale Analog Light Sensor y Round Force-Sensitive Resistor (FSR), las especificaciones de cada sensor se encuentran en los apéndices C, D, E y F. La Fig.3.1 muestra los cuatro sensores que se utilizaron en el prototipo. Como se puede observar se seleccionaron tres sensores del tipo resistivo y uno transistivo, ya que se llegó a la conclusión de que serían los más fáciles de utilizar y al ser todos de la misma familia podrían combinarse adecuadamente en el dispositivo.

3.3.1. Sensor de ángulo

Se comenzó con las pruebas para verificar el funcionamiento de los sensores, en el caso del Long Flex Sensor según su hoja de datos, el valor de la resistencia debe variar entre los 10K Ohms al estar plano (0°) y aumentar linealmente al doblarse, pudiéndose doblar hasta 180° (pinch bend). De las pruebas realizadas se encontró lo mostrado en la tabla 3.3, lo cual varía con lo estipulado en la hoja de datos del sensor por 11580 Ohms para el sensor plano, de lo cual se concluyó que el sensor funciona conforme a lo estipulado por el proveedor.

Para el Long Flex Sensor se sabía que la relación era lineal por lo cual con el apoyo de Matlab se realizó un programa computacional con el cual se llenó una hoja de datos donde a cada valor de resistencia que fuera posible detectar con el sensor se le dio un valor de grados de doblez. Esta hoja de datos después sería leída por LabVIEW para poder desplegar en pantalla la medición del sensor en su variable física correspondiente. De acuerdo a la tabla 3.3 el rango de resistencia para este sensor se encuentra entre los 11.58 kOhms y los 37 kOhms, por lo cual se utilizaron estos como límites.

Table 3.3: Mediciones de prueba para el Long Flex Sensor

Posición	Medición de resistencia
Plano	11.58K Ohms
45°	17.2K Ohms
180°	37K Ohms

Table 3.4: Mediciones de resistencia con el sensor de fuerza para diferentes masas

Masa(g)	Peso/Fuerza(N)	Medición de Resistencia(k Ω)
200	1.962	46.5
500	4.905	10.2
700	6.867	3.7
800	7.848	2.8

3.3.2. Sensor de fuerza

Para el sensor de fuerza se utilizaron pequeñas pesas para medir el valor de la resistencia por medio de un multímetro. Por medio de estas pruebas con diferentes masas se tomaron las mediciones que se muestran en la tabla 3.4. Con las mediciones realizadas se pudo comprobar el funcionamiento del sensor según la gráfica de la figura 3.2. En el caso de cada sensor se utilizó el multímetro digital del NI myDAQ para las mediciones de resistencia.

Para su uso en LabVIEW fue necesario encontrar una función para relacionar la medición de resistencia, en el caso de los sensores resistivos, y de corriente, para el sensor de luz, con la variable física que representan estos valores. Esta función se pudo encontrar a través de las mediciones realizadas previamente con los sensores así como con las gráficas mostradas en las hojas de datos y especificaciones de cada sensor.

La gráfica de la figura 3.2 se utilizó para relacionar la medición de resistencia para el sensor de fuerza con ella se pudo deducir una función matemática la cual fue incluida en el programa de LabVIEW por medio de un modulo de función, tomando las señales como entrada y la variable física como salida.

3.3.3. Sensor de temperatura

Para el termistor se encontró en la web una hoja de datos del proveedor, incluida en el apéndice C, en la cual se da la relación entre valores de resistencia y temperatura entre los -40°C y los 150°C . La hoja de datos mencionada muestra un valor de resistencia para cada grado en el rango mencionado, pero para que el programa de LabVIEW funcionara correctamente era necesario tener también un valor de temperatura para cada valor de resistencia que pudiera ser medido por el sensor, por lo cual se realizó un programa de Matlab en el cual se generara una nueva hoja de datos rellenando los espacios en valores de resistencia. Se decidió rellenar los espacios con el valor de temperatura inmediatamente superior para el cual sí existía un valor especificado por el proveedor.

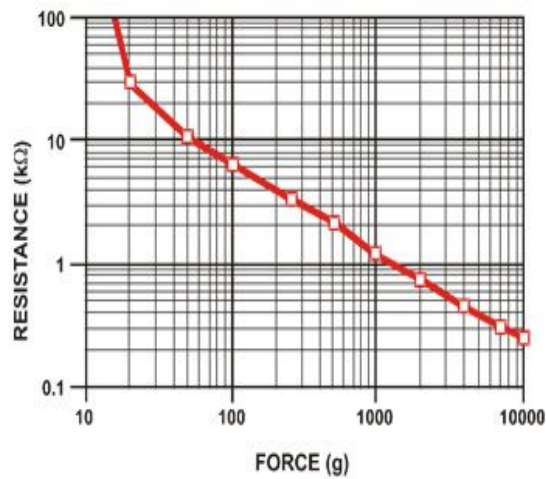


Figure 3.2: Gráfica de resistencia contra fuerza en escala logarítmica para el sensor de fuerza FSR 400 Series Round Force Sensing Resistor. Obtenida de [Interlink Technologies \(2013\)](#)

3.3.4. Sensor de luz

En el caso del sensores de luz, al ser este un fototransistor del tipo analógico, el proveedor incluye en las especificaciones la gráfica de la figura 3.3 que relaciona la variable física con la medición de corriente para el sensor de luz, la gráfica mencionada junto con otras especificaciones se puede encontrar en el apéndice D. Se utilizó la ecuación de la gráfica de la fig.3.3, la cual se muestra en la sección 3.7.2.1.

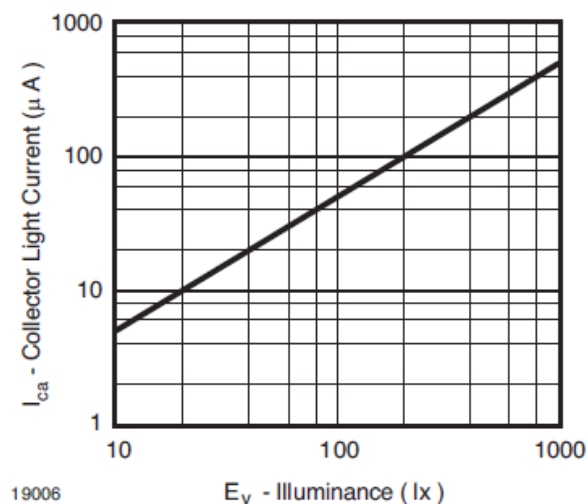


Figure 3.3: Gráfica en escala logarítmica de Corriente de luz del colector vs. Iluminancia. Obtenida de [Vishay-Semiconductors \(2004\)](#)

3.4. Diseño 3D del armazón para la plataforma

Con apoyo de TinkerCAD, una herramienta online de diseño 3D, se creó el armazón donde se posicionan los sensores y el circuito electrónico de los mismos, el objetivo es

diseñar una caja compacta que se conecte directamente al NI myDAQ sin la necesidad de cables. Se incluye en el diseño una terminal de 20 tornillos como la que incluye el NI myDAQ, la cual se conecta con los sensores por dentro del armazón y de fuera quedan los conectores macho del mismo, por lo cual se dejó un agujero rectangular del lado izquierdo del armazón con un dimensiones de $7.8\text{cm} \times 1.4\text{cm}$ para pegar la terminal de 20 tornillos.

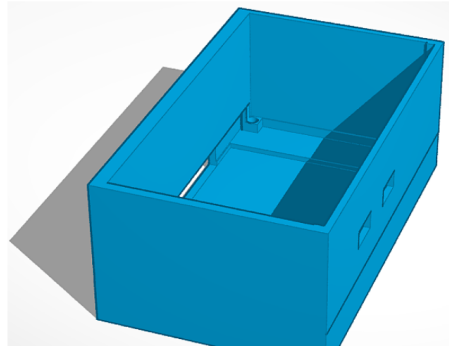


Figure 3.4: *Diseño de base 3D con las entradas de USB y la terminal de 20 tornillos del myDAQ*

Otro requerimiento incluido en el diseño fue el dejar dos espacios donde dos de los sensores, el de fuerza y el Long Flex Sensor, se conectan a través de un puerto USB. El posicionamiento de las entradas USB se realizó teniendo en cuenta la accesibilidad de estos para el usuario.

Para realizar la selección de sensores se requirió un diseño sencillo que redujera la cantidad de errores que el usuario pudiese realizar, por lo cual se ideó una perilla parecida a la que se encuentra en los multímetros digitales la cual se posicionaría sobre la tapa del dispositivo, con los nombres de los sensores como indicador para direccionar la perilla (ver Fig.3.5 y 3.6).

Para la selección de sensores se decidió utilizar interruptores magnéticos, por lo cual se diseñó una perilla con un espacio designado para un imán el cual se posiciona por encima de los interruptores al girar la perilla.

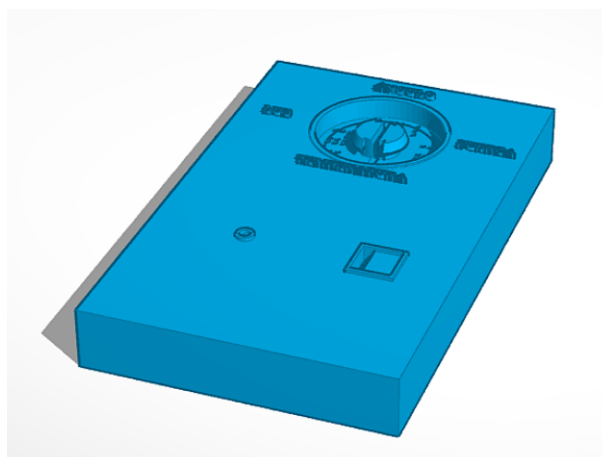


Figure 3.5: *Diseño 3D de la tapa del dispositivo*

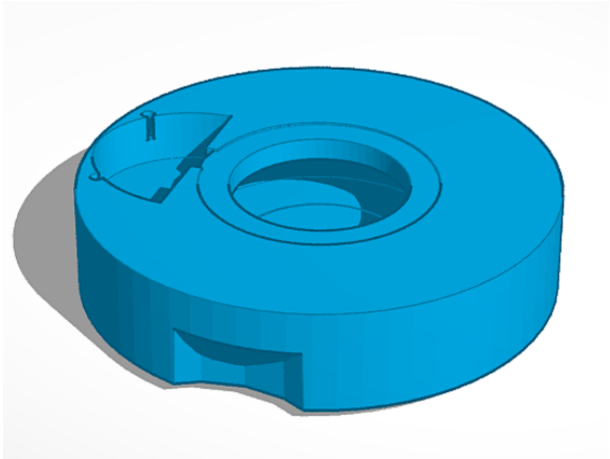


Figure 3.6: *Diseño 3D de la perilla para seleccionar el instrumento*

Table 3.5: *Tabla de selección de sensor de acuerdo a los estados de los interruptores magnéticos*

Posición de interruptor magnético				
S1	S2	S3	S3a	Sensor con corriente
Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Long Flex Sensor
Abierto	Cerrado	Abierto	Abierto	Force Sensor
Cerrado	Abierto	Abierto	Abierto	Termistor
Abierto	Abierto	Cerrado	Cerrado	Luz

3.5. Diseño del circuito a utilizar en la plataforma experimental

Al tener seleccionados los sensores que se utilizarían para el diseño final y diseñado el mecanismo de selección se pudo proceder a la creación de un circuito electrónico.

Se utilizaron interruptores magnéticos (Reed Switches) normalmente abiertos para hacer la selección del sensor a utilizarse, en total se utilizaron ocho sensores magnéticos, de los cuales cuatro están designados para escribir un señal digital en el NI myDAQ con la cual el programa de LabVIEW detecta el sensor escogido.

Los otros cuatro sensores funcionan como mecanismo de activación para tres relevadores de un polo dos tiros con bobina de 5V, los relevadores se activan para alguno de sus dos tiros dando paso a la señal del detector deseado, como se muestra en el diagrama de la figura 3.7 . En la tabla 3.5 se puede observar como funciona la selección de cada sensor al cerrar los interruptores magnéticos en diferentes combinaciones.

3.6. Diseño del circuito impreso

Para la construcción del circuito se exportó el diseño de Multisim al programa Ultiboard de National Instruments, el cual es un software de apoyo para el diseño de placas de circuito impreso (PCB por sus siglas en inglés). En Ultiboard se especifican las dimensiones de la placa de cobre que se utilizará y el archivo exportado de Multisim incluye los modelos

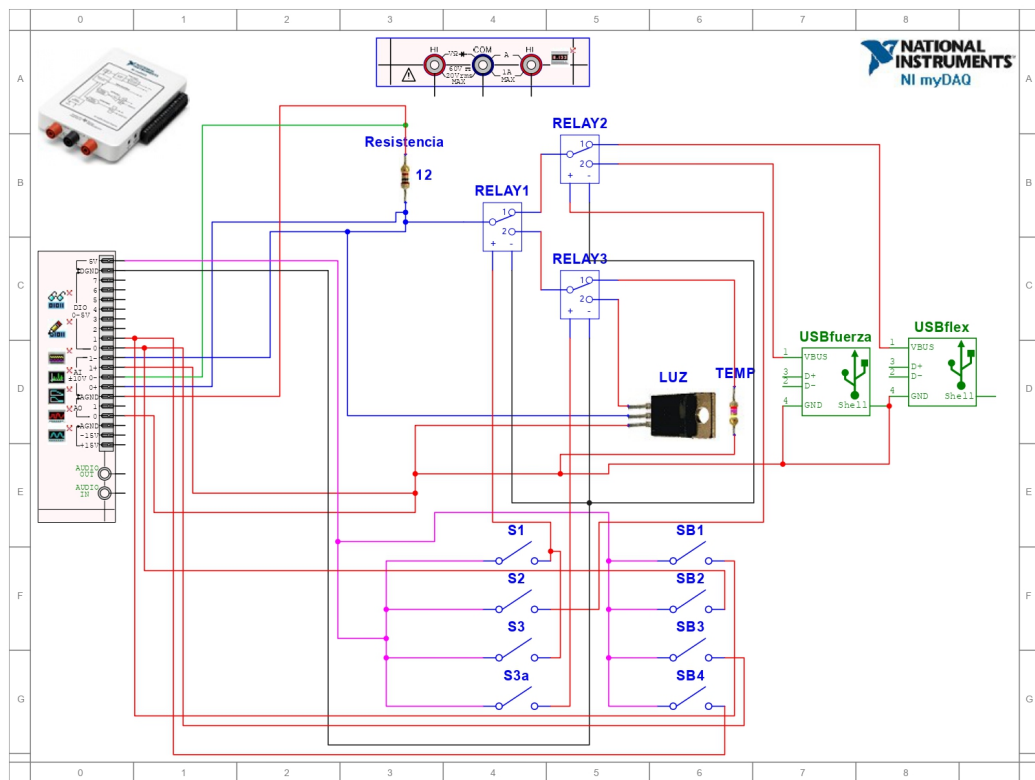


Figure 3.7: Diagrama esquemático del circuito electrónico creado en el programa de diseño Multisim

2D y 3D de cada componente electrónico utilizado y sus respectivas dimensiones para el posicionamiento de sus vías.

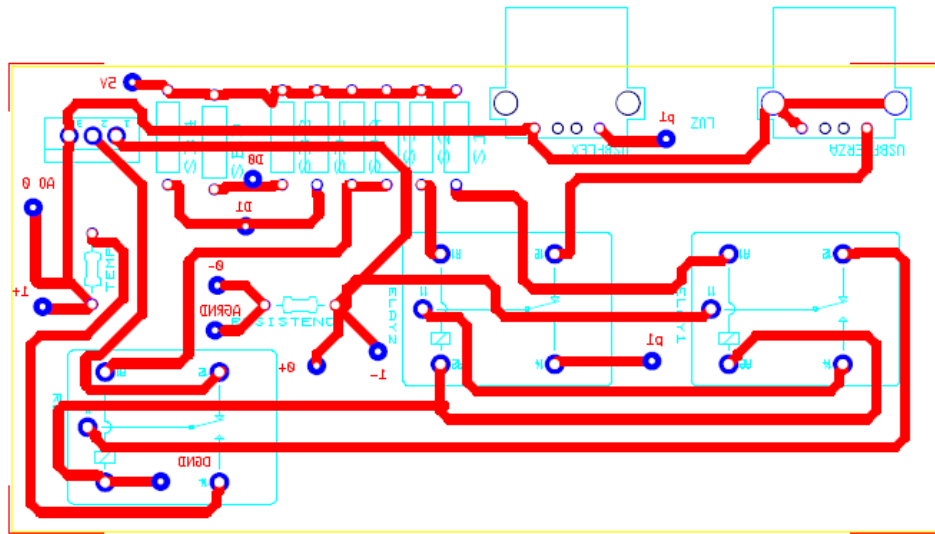


Figure 3.8: *Diseño de circuito en Ultiboard mostrando vías, rutas y posicionamiento de los componentes electrónicos*

Se acomodaron manualmente todos los componentes electrónicos sobre la superficie de cobre, como se puede observar en la fig.3.8 en color cian, después se crearon las conexiones con ayuda del Autoroute Wizard, el cual acomoda automáticamente las conexiones de la manera más eficiente y con la menor cantidad de "puentes" posibles.

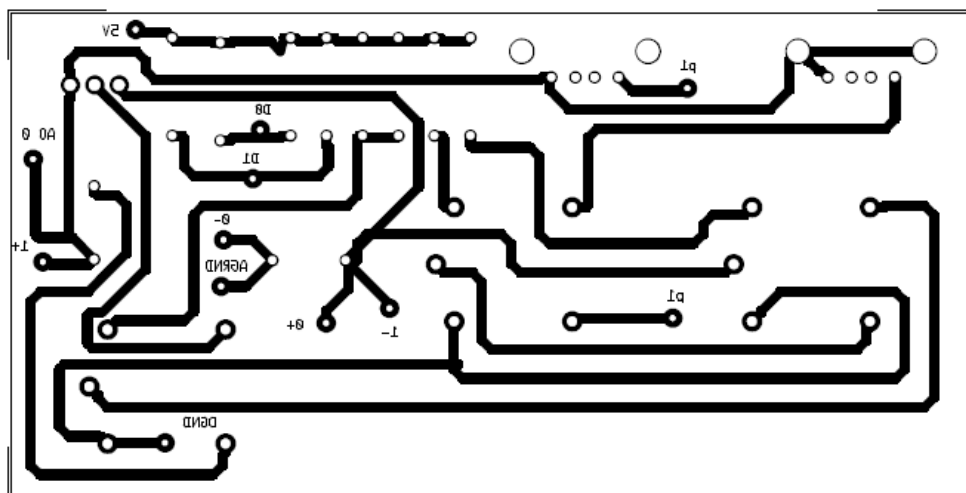


Figure 3.9: *Circuito electrónico listo para impresión en PCB*

El circuito de la fig. 3.9 muestra el diseño final exportado de Ultiboard con las vías para posicionar cada componente electrónico, en formato espejo aparecen los nombres de las

entradas de la tarjeta NI myDAQ a las cuales se conectó cada vía. Posteriormente se exportó el diseño de PCB en formato PDF para su impresión en una hoja de transferencia de circuito impreso por medio de una impresora láser. El circuito impreso se recortó al tamaño de la placa, en este caso se utilizó una placa de 5cm x 10cm, se colocó el papel del lado de la impresión tocando la parte de cobre de la placa y se calentó para su transferencia con una plancha para ropa, después de al rededor de dos minutos el circuito estaba completamente pegado a la placa en las partes donde se ubicaba la tinta, para retirar el papel sobrante se sumergió la placa en agua por 15 minutos. Tras esperar con la placa sumergida en agua se desprendió por completo el papel sobrante, posteriormente se sumergió la placa en una solución de una parte de agua por dos de Cloruro Férrico, después de al rededor de veinte minutos el exceso de cobre se había disuelto quedando solo las vías y rutas del circuito.

Se utilizó un algodón con acetona para limpiar la tinta del cobre y se procedió a perforar las vías donde se introducirían las terminales de los componentes electrónicos para soldarse.

Se soldaron todos los componentes, comenzando por los relevadores, para verificar conductividad entre la soldadura y el cobre de la placa PCB se utilizó la aplicación de milímetro digital del NI myDAQ.

3.7. Diseño del programa en LabVIEW

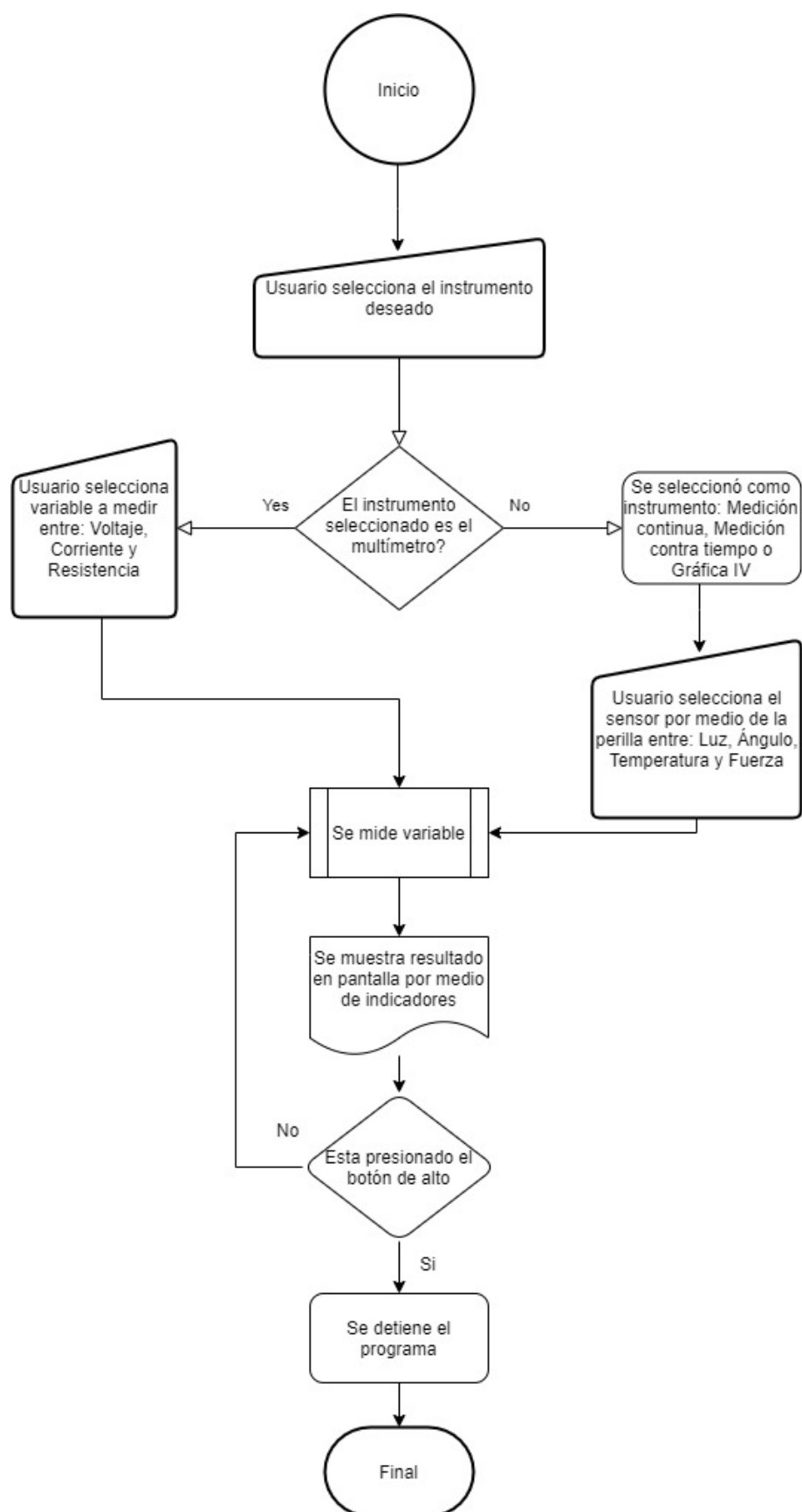
Se comenzó planeando la estructura del programa, se decidió que el programa contaría con una estructura de casos principal, con cuatro casos, uno para utilizar las terminales de multímetro digital del NI myDAQ, uno para tomar una medición continua con cualquiera de los sensores y mostrarla en un indicador numérico, uno para tomar mediciones con alguno de los sensores contra el tiempo, mostrando los valores en un gráfico tipo waveform y otro para hacer curvas I-V de cada sensor resistivo.

3.7.1. Valores iniciales de entrada

El programa se debe de leer de izquierda a derecha siguiendo el flujo de las conexiones entres VIs y nodos, por lo cual primero se explicará las entradas de los controles que selecciona el usuario. El diagrama de flujo de la Fig.3.10 muestra de manera simplificada el funcionamiento general del programa en conjunto con la plataforma experimental.

Los valores iniciales que se conectan como entrada a la estructura de casos (o Case Structure en LabVIEW) principal son: el valor de voltaje seleccionado por el usuario por una barra deslizable en el panel frontal, el número de caso que se selecciona por medio de una perilla en el panel frontal, y el número de selección del sensor.

La selección del sensor se da por medio de una lectura de las entradas digitales del NI myDAQ, se utilizan como canales físicos las entradas digitales 0 y 1, como se observa en la fig.3.11 del VI de creación de canal digital se escoge el tipo de salida como un canal para todas las líneas, lo cual, crea una señal binaria de dos bits o como se conoce en LabVIEW, un arreglo booleano 1D. La señal del arreglo booleano se transforma en un entero por medio de un nodo de conversión booleano a entero, esto se hizo para poder utilizarlo como enum, es decir un tipo de lista a la cual a una variable tipo String se le asigna un valor entero, esto permite que las entradas para la perilla que controla la estructura de casos se muestren como los nombres de los distintos sensores.

**Figure 3.10:** Diagrama de flujo representativo del programa de LabVIEW

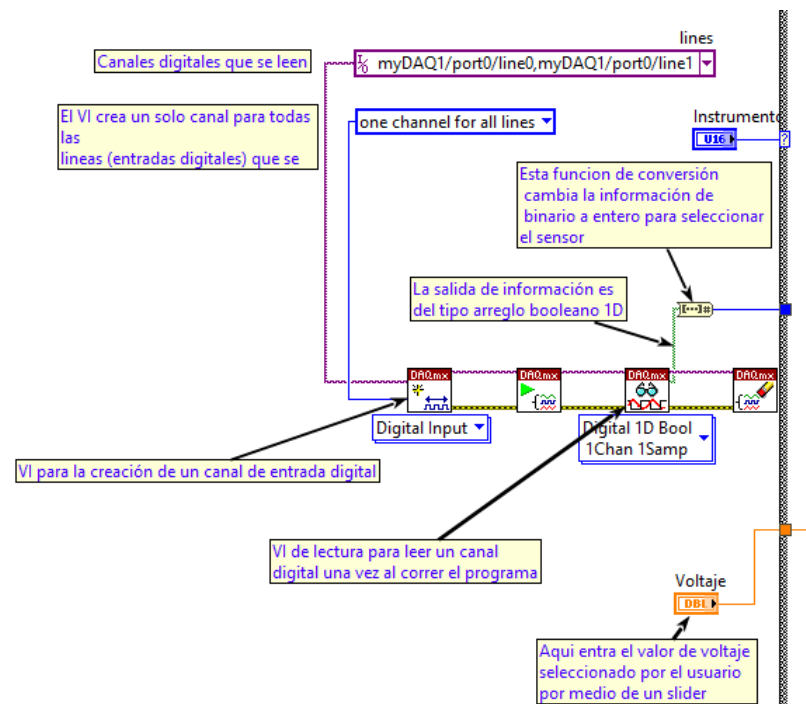


Figure 3.11: *Controles y VIs de valores iniciales del programa*

También se puede observar en la fig.3.11 dos controles, uno tipo doble el cual proviene de una barra deslizable en el panel frontal y otro tipo enum o entero de 16 bits el cual proviene de una perilla también en el panel frontal. El slider selecciona el valor del voltaje que generará el NI myDAQ por su salida analógica AO 0, mientras que la perilla tiene un tipo de instrumento asignado a cada número y funciona como entrada para el selector de caso de la estructura de casos principal. El voltaje seleccionado por el slider se genera para alimentar los distintos sensores de la plataforma experimental. Se dejó como un voltaje variable para que se pueda adaptar a las especificaciones de cualquier sensor que se decida conectar a las entradas USB de la plataforma, así como para estudiar el funcionamiento de los sensores resistivos a diferentes voltajes de entrada. A continuación se desarrollarán las diferentes opciones de casos para la estructura de casos principal.

3.7.2. Estructura de casos principal

3.7.2.1. Caso 0: Medición continua

En este caso dentro de la estructura de casos se presenta el código con el cual el usuario puede observar una medición continua de la variable física del sensor por el tiempo que sea necesario, la medición inicia al correr el programa y termina al presionar el botón de alto o en caso de encontrarse algún error.

Se comenzó con la creación de los canales de entrada y salida de señales. Para el canal de salida se seleccionó como salida una señal analógica de voltaje por medio del canal físico AO 0. Para la tarea de lectura de señales se crearon los canales de entrada de voltaje y corriente por medio de un VI de Creación de canal, se seleccionaron como canales físicos las entradas analógicas AI 1 Y AI 0 para el voltaje y la corriente respectivamente, en la fig.3.12 se pueden observar los valores máximos y mínimos configurados para cada canal, sus respectivas unidades y en el caso del canal de corriente se seleccionó como resistencia shunt una del tipo externa y con un valor de 12 Ohms.

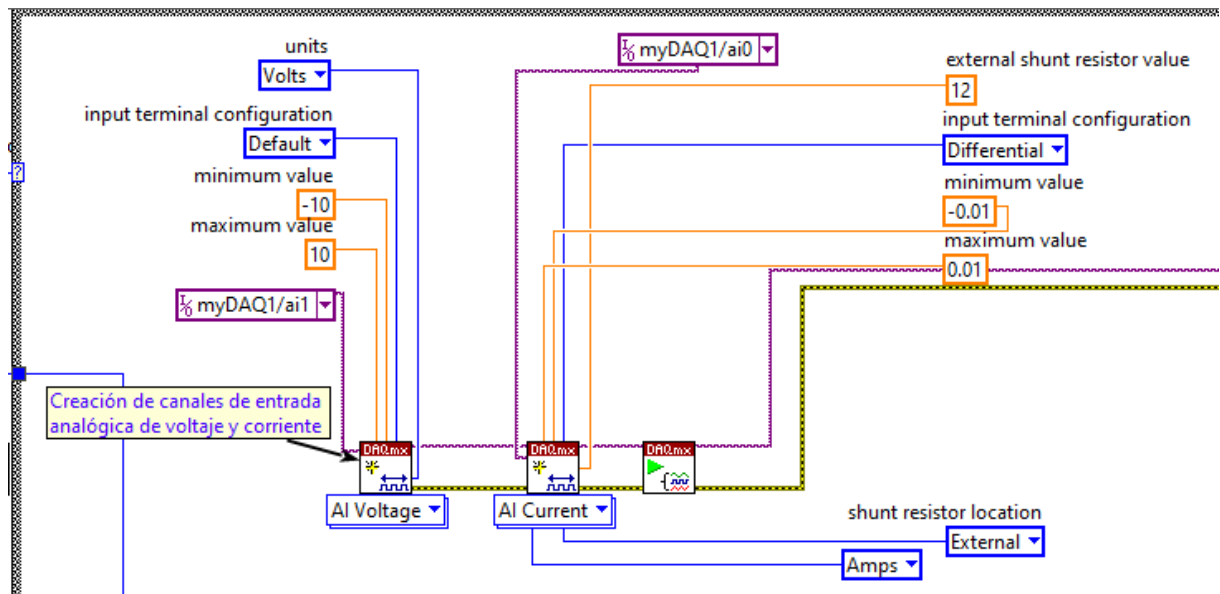


Figure 3.12: VIs de creación e inicialización de las tareas de lectura de canales analógicos

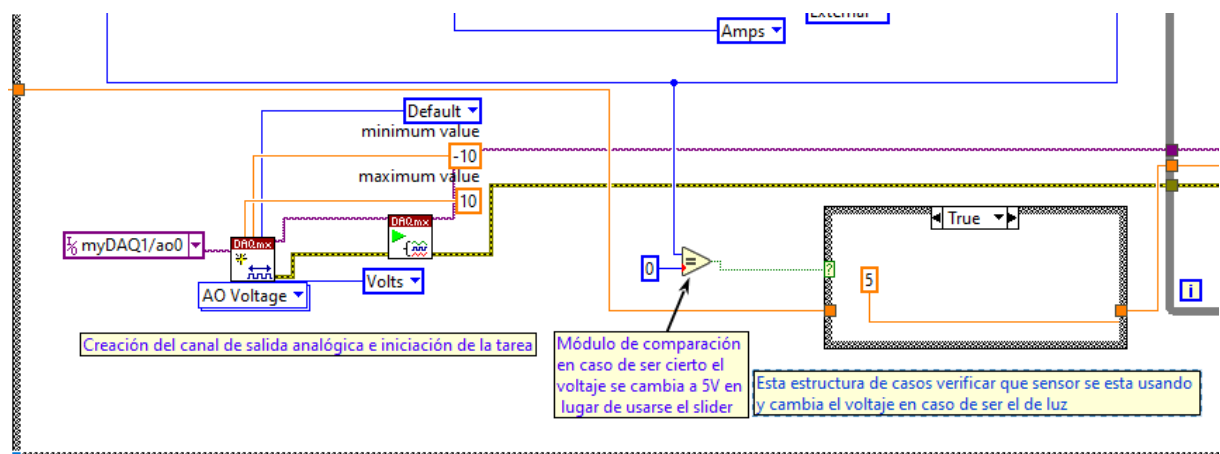


Figure 3.13: Creación e inicialización de un canal de salida de voltaje analógico.

Los canales de salida también se crean y se inicializan, de la misma manera que los de entrada, en este caso se creó un canal de salida de voltaje analógico, el cual se ajustó con los valores máximos y mínimos preestablecidos de la tarjeta NI myDAQ, como salida física se ajustó la terminal AO 0.

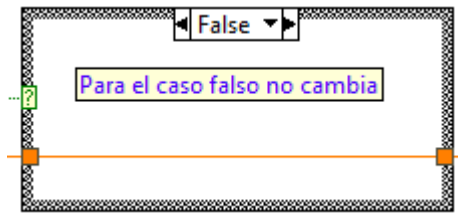


Figure 3.14: Estructura de casos para cambiar el voltaje de entrada para sensor de luz

Como se mencionó en la sección anterior el voltaje de salida es seleccionado por el usuario por medio de una barra deslizable en el panel frontal, el sensor de luz sólo puede ser utilizado con voltajes de 3.3V O 5V por lo cual se hizo un ajuste al programa con un modulo de comparación. En la fig.3.13 vemos que el nodo compara la entrada de la selección de sensor con el número 0, el cual es el número de caso para el sensor de luz, de ser iguales los números de las entradas el nodo envía una señal de salida booleana de VERDADERO la cual esta conectada al seleccionador de una estructura de casos. En el caso VERDADERO se creó una constante de 5 la cual se conecta a la entrada del VI de escritura y así este produce una señal de 5V. En caso de que el nodo tenga una salida de FALSO el alambre del la barra deslizable de voltaje no es interrumpido, como se muestra en la fig.3.14 y pasa sin cambios a la entrada del VI de escritura.

Posteriormente a la creación de canales se utiliza un VI de inicialización el cual se conecta al interior de la estructura de ciclo while.

Después de inicializar los canales de lectura estos fueron conectados al VI de Lectura el cual se encuentra dentro de un ciclo while para tomar mediciones continuas, el VI se ajustó a tomar 1 muestra tipo doble de cada uno de los dos canales en cada iteración del ciclo, el VI tiene una salida de información del tipo arreglo 1D, o un arreglo 1×2 , donde, en LabVIEW los arreglos inician desde el índice 0 por lo cual la columna 0 es el valor de voltaje y la columna 1 es el valor de corriente. En la fig.3.15 se observa la conexión donde el arreglo de salida se manda a un nodo de Indexar Arreglo con el cual se separa el arreglo en columnas, de esta forma se extraen del nodo dos elementos de arreglo 1×1 , o sea señales doble simples, estas señales fueron conectadas como entradas para una estructura de casos en la cual se procesarán de diferente manera para cada uno de los sensores.

En la fig.3.16 se observa un nodo con un reloj dentro del ciclo while, este se llama nodo de Espera y se ajusta de acuerdo a una constante que se conecta a su entrada, el valor de esta constante en milisegundos es el tiempo que se espera entre cada iteración del ciclo while. Debajo del nodo de Espera se encuentra la continuación de la tarea de los canales de salida, posterior a la inicialización del canal se conecta un VI de escritura dentro del mismo ciclo while que el VI de lectura, de esta forma las tareas se realizan al mismo tiempo el mismo número de veces, por esta razón el ciclo se puede detener por un error tanto en la lectura como en la escritura o por un botón de ALTO en el panel frontal,

para permitir que el ciclo se detenga con cualquiera de estas causas se utilizó un nodo de aritmética compuesta tipo OR, el cual se conecta a la condición del ciclo como se puede apreciar en la fig.3.17. Dentro del ciclo while se encuentra una estructura de casos a la cual

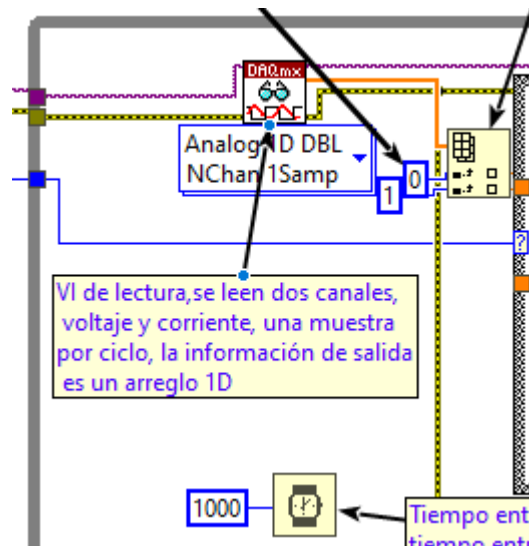


Figure 3.15: VI de lectura de señales de corriente y voltaje

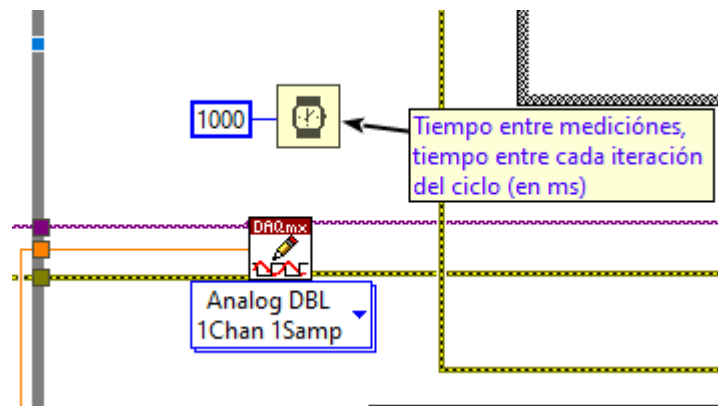


Figure 3.16: VI de escritura de señal de voltaje

se le colocaron como entradas los valores de corriente y voltaje de la iteración en curso, el seleccionador de casos está conectado a la salida de enum de la lectura de los canales digitales del NI myDAQ, o sea es seleccionada físicamente por el usuario. Los casos de esta estructura son nombrados del 0 al 3 y cada uno corresponde a uno de los cuatro sensores.

El caso 0 corresponde al sensor de luz como se puede observar en la fig.3.18, para este caso se necesita el valor de la corriente de la resistencia interna del sensor para poder obtener el valor de luxes medidos, ya que esta es la conversión que se encuentra en la hoja de datos del sensor, por lo cual se deja de lado el valor del voltaje y se utiliza como entrada solamente el de la señal de corriente. Este valor es procesado de unidades de corriente a luxes por medio de una serie de nodos, primero se colocó un nodo de multiplicación con el cual se multiplica por 1 millón para convertir la señal leída de amperes a microamperes, la señal en microamperes luego se conectó a un nodo de fórmula en el cual se establecen las variables y las ecuaciones mencionadas anteriormente para transformar la variable de microamperes a luxes. También se puede observar en la fig.3.18 una constante tipo cadena de caracteres, ésta se conectó como salida del ciclo while y posteriormente se conectó como entrada a un indicador que aparece en el panel frontal, con esto se indican las unidades de la variable que se mide en el sensor.

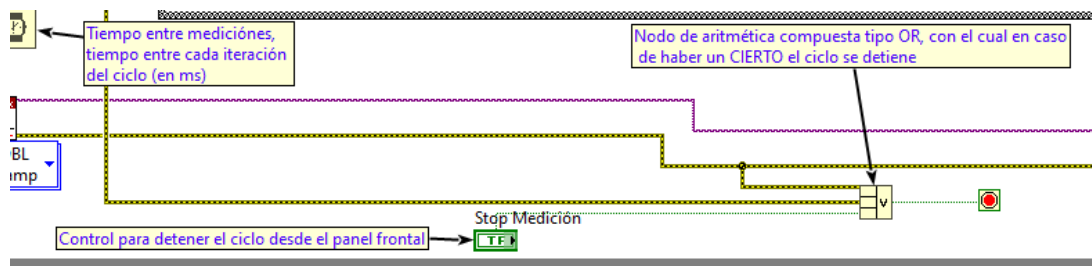


Figure 3.17: Estructura del nodo de aritmética compuesta tipo OR detener el ciclo while

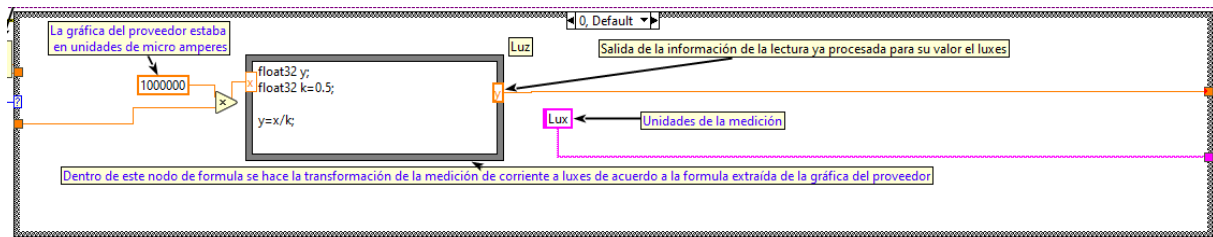


Figure 3.18: Caso 0: selección del sensor de luz para el instrumento de medición continua

En el caso del instrumento de medición continua para el sensor de Fuerza (caso 1) la estructura es muy similar a la del caso 0 para el sensor de luz, la única diferencia es que este sensor cambia su resistencia de acuerdo a su medición de la variable, por lo cual, se utilizaron como entradas las señales de voltaje y corriente y se dividió el valor del voltaje entre la corriente para obtener la resistencia utilizando un modulo de división. El valor obtenido de resistencia se divide entre 1000 para convertirlo en kilo Ohms, que es la unidad necesaria para utilizar la función del nodo de fórmula en el cual se estableció la función de correspondencia para convertir de kOhms a Newtons, la función que se muestra en el nodo de fórmula de la fig.3.19 se obtuvo de la gráfica de la fig.3.2. De la misma forma que en el caso anterior se especificó el nombre de la unidad por medio de una constante tipo cadena de caracteres.

Para el caso 2, el cual corresponde a la selección del sensor de temperatura para usarse con el instrumento de Medición Continua, se dividió la señal de voltaje entre la de corriente para obtener la resistencia al igual que en los casos anteriores, posteriormente se puede observar si se siguen las conexiones en el fig.3.20 al señal de resistencia que sale del nodo de división pasa por un nodo y cambia de color naranja a azul, lo que indica que el nodo que se usó es un conversor de doble a entero, lo que hace este nodo es quitar los decimales de la información de la señal. Para este sensor la información de la relación entre el valor medido de resistencia y la temperatura se encontraba en la forma de un archivo de texto tipo csv, el cual se menciona anteriormente se obtuvo con un programa de Matlab y las hojas de datos del proveedor del sensor (apéndice C).

Se utilizó un VI de lectura de hoja de calculo delimitada, se estableció el tipo de separador de elementos como la coma, con este VI se lee el archivo seleccionado y se crea un arreglo, el arreglo se transpone para convertirlo en un arreglo $n \times 2$ donde n es el tamaño del rango de valor de resistencia que se puede medir con el sensor. El arreglo transpuesto se conectó a un nodo de Indexar Arreglo en el cual se separaron las dos columnas del arreglo, el nuevo subarreglo que contiene los valores de resistencia se conectó a un nodo de Búsqueda en Arreglo 1D. El nodo de Búsqueda en Arreglo 1D busca el valor de su entrada entre los elementos del arreglo y da como salida el número de la columna en

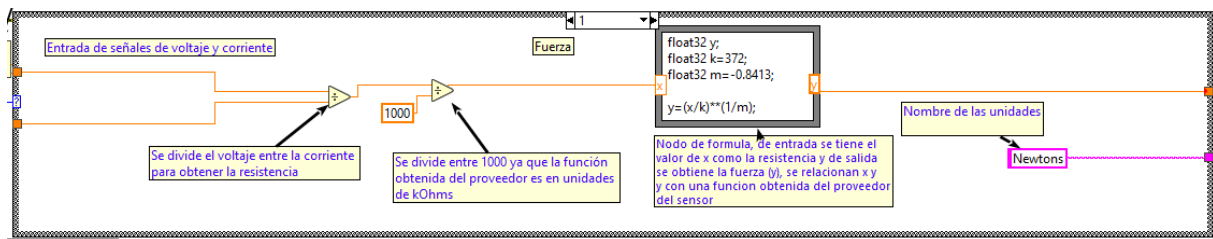


Figure 3.19: Caso 1: selección del sensor de fuerza para el instrumento de medición continua

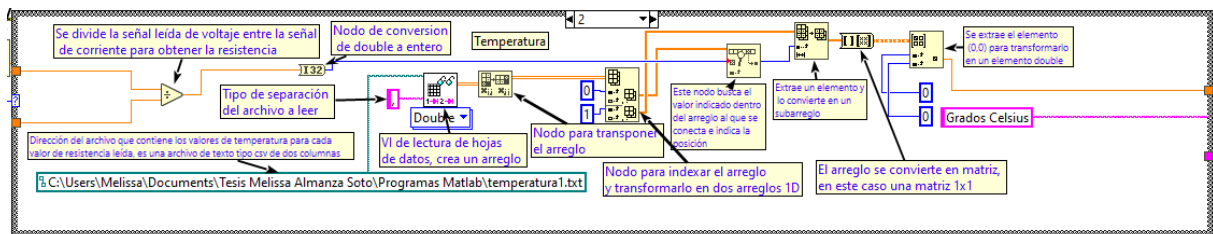


Figure 3.20: Caso 2: selección del sensor de temperatura para el instrumento de medición continua

la que se encuentra, para la entrada de este nodo se utilizó la lectura de resistencia del sensor convertida a entero. Se conectó la salida del nodo de Indexar Arreglo que contiene los valores de temperatura a un nodo de Subconjunto de arreglo, en este caso al ser un arreglo $n \times 1$ solo se conectó como entrada la salida del nodo de Búsqueda en Arreglo 1D, de esta forma el subconjunto del arreglo que se extrajo fue el elemento de temperatura que corresponde a la resistencia leída, este subconjunto de arreglo se convirtió en una matriz 1×1 con un nodo de Arreglo a Matriz y se extrajo el elemento como una señal doble con la ayuda de un nodo de Tomar Elemento de Matriz, esta señal funciona como salida de la estructura de casos y se conecta a un indicador que aparecerá en el panel frontal.

El último caso de la estructura, caso 3, corresponde a la selección del usuario del sensor de ángulo. Para la conversión de resistencia a ángulo se utilizó el archivo de texto obtenido de un programa de Matlab utilizando la información de conversión especificada por el proveedor del sensor, el archivo de entrada es del tipo csv, con éste se creó un arreglo $n \times 1$, con n siendo el rango de resistencias que se puede medir por el sensor y los elementos los valores de ángulo en unidades de grados para cada valor de resistencia. Al ser este un sensor resistivo se utilizó el mismo método de división de señales para obtener la resistencia, de la misma forma que con el sensor de temperatura en el caso 2, se convirtió la señal de resistencia de tipo doble a entero de 32 bits, con la diferencia de que este valor no se conecta a un nodo de Búsqueda en Arreglo 1D, sino, se utiliza el valor

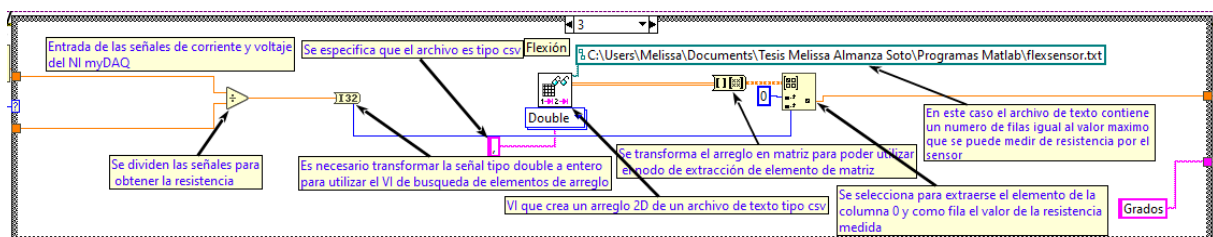
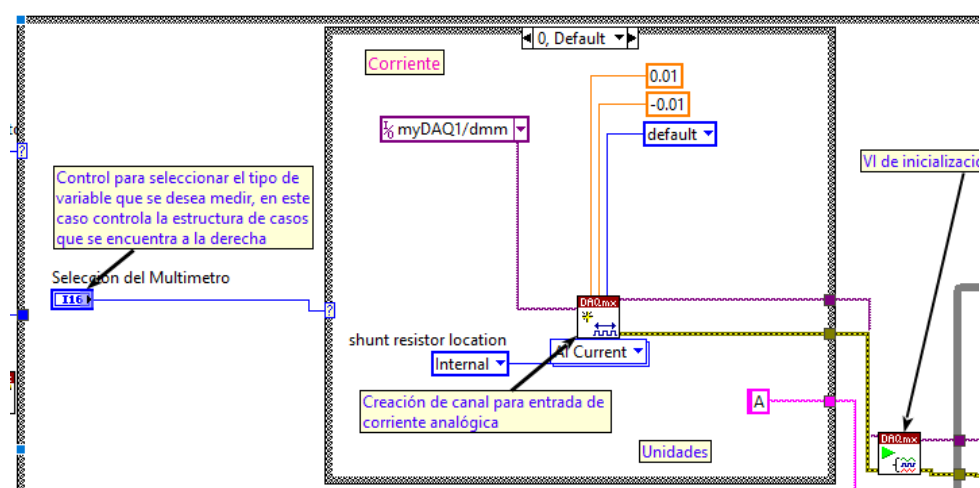


Figure 3.21: Caso 3: selección del sensor de ángulo para utilizarse con el instrumento de medición continua



de resistencia como el número de fila de la matriz creada con el VI de Lectura de Hoja de Calculo Delimitada. Se colocó un nodo de Tomar Elemento de Matriz con las entradas de 0 para el número de columna (ya que es una matriz $n \times 1$ y en LabVIEW las matrices inician en 0) y de entrada para número de fila se utilizó el valor de resistencia transformado a entero.

Como se puede observar los VIs utilizados para la adquisición de datos se conectaron entre sí por medio de un alambre de Tarea (color morado), el cual lleva la información de las tareas realizadas para que se lleve un orden, y por medio de un alambre de Error (verde grueso), el cual de presentarse un error en alguna de las tareas para el programa antes de que se ejecute la tarea del siguiente VI. De la misma forma se conectaron entre sí los VIs de escritura.

Al finalizar la tarea se utilizó un VI de Limpiar Tarea para cada estructura.

3.7.2.2. Caso 1: Multímetro

En este caso para la estructura principal de casos donde se selecciona el instrumento para utilizar se utilizaron las mismas entradas que para el caso anterior, mencionadas en la sección 3.7.1. El canal de salida de voltaje analógico se creó e inicializó de la misma forma que en la sección anterior (ver fig.3.16, con la diferencia de que en este caso no fue necesario cambiar el voltaje de la barra deslizante ya que al ser para el instrumento de multímetro no se utilizará con los sensores del dispositivo, sino, con cualquier otro componente electrónico que sea necesario para las prácticas de laboratorio del estudiante. Es importante notar que al ser un instrumentos con el propósito de utilizarse con componentes externos al dispositivo que contiene los sensores este se programo de forma que su canal de entrada fuera la entrada de multímetro digital (dmm por sus siglas en ingles) del NI myDAQ, por esta razón en la creación y ajustes del canal de entrada para la toma de corriente se utilizó como resistencia shunt la resistencia interna del NI myDAQ.

En la fig.3.22 se muestra un control con el nombre de Selección Multímetro, este corresponde a una perilla del panel frontal en la sección correspondiente al instrumento de multímetro, donde el usuario selecciona alguna de las tres opciones de variables que se pueden medir: corriente, voltaje y resistencia, por lo cual la perilla tiene asignado un número para cada tipo de variable y este número entero funciona como entrada para una

estructura de casos que contiene las conexiones y creación de canales para cada tipo de variable a medir.

El caso específico que se muestra en la fig.3.22 es el correspondiente a la selección de medición de corriente, caso 0, para este se creó un canal de entrada analógica de corriente, como se mencionó anteriormente la resistencia shunt utilizada fue la resistencia interna del NI myDAQ, los valores máximos y mínimos son los recomendados por el manual de usuario del dispositivo NI myDAQ. Para los tres casos, caso 1: Resistencia y caso 2: Voltaje, se utilizó como canal físico las entradas de dmm del NI myDAQ, tal como se muestra en la fig.3.22 para el caso 0: Corriente.

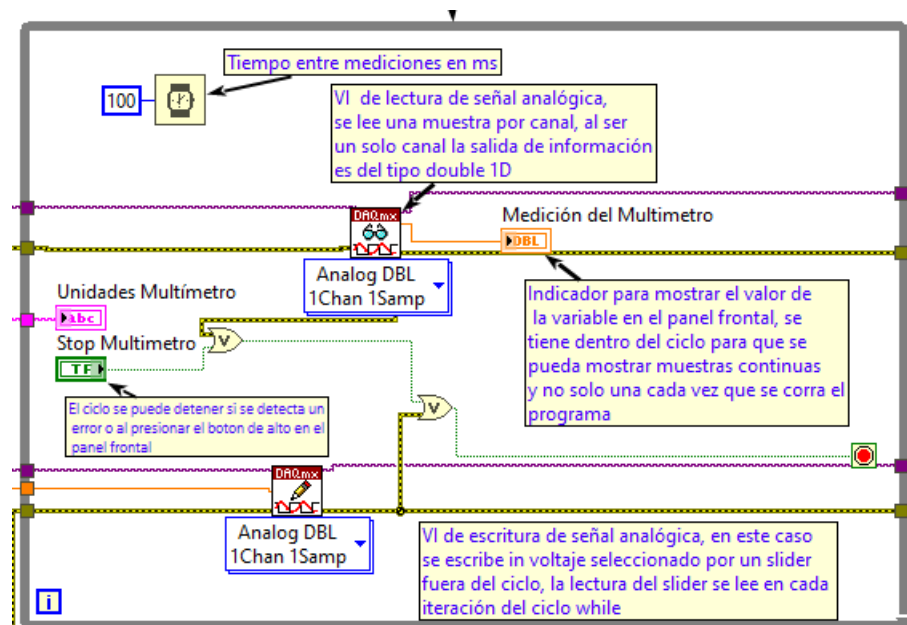


Figure 3.23: Estructura de ciclo while para la lectura y escritura de señales en el instrumento de multímetro

Las salidas de la estructura de casos fueron la tarea y el error del VI de creación de canal y la abreviación del nombre de la unidad de medición, las salidas de tarea y error se conectaron a un VI de inicialización de canal, la lectura de los canales se lleva a cabo en un ciclo While por medio de un VI de Lectura, este ciclo no contiene ninguna estructura de casos interna ya que la única variable era la selección de unidad de medición y los ajustes de esta se llevaron a cabo por completo dentro de la estructura de casos mencionada anteriormente, por lo cual el resto de la estructura del instrumento es la misma para resistencia, corriente y voltaje.

3.7.2.3. Caso 2: Gráfica Medición respecto al tiempo Tiempo

En este caso el usuario selecciona algunos de los cuatro sensores para que la medición de su variable sea desplegada en una gráfica de Medición (para cualquiera de las cuatro variables) vs Tiempo presentada en el panel frontal del proyecto, el tiempo entre mediciones es el correspondiente al valor en milisegundos de la constante conectada al VI de Espera dentro del ciclo While, aunque este valor se pudo haber seleccionado por el usuario en el panel frontal por medio de un control, se decidió que se cambiara manualmente editando el diagrama de bloques para evitar que el usuario seleccionara un valor muy bajo de espera lo cual afecta en el rendimiento del disco, se escogió como valor predeterminado 1000 ms.

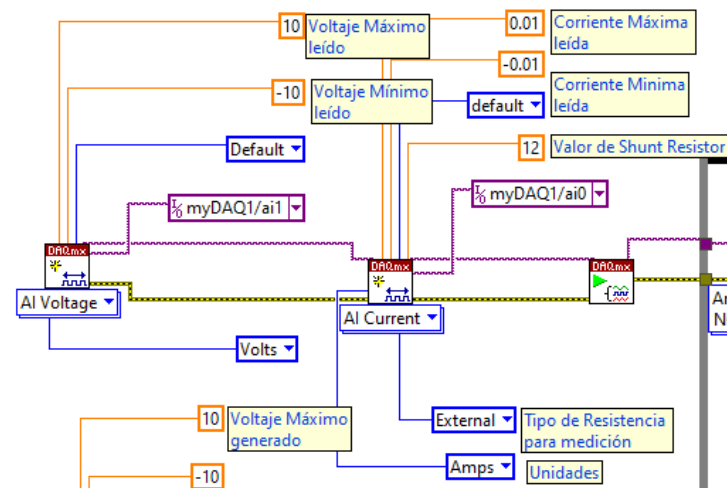


Figure 3.24: Ajustes iniciales para los canales de entrada del instrumento Gráfica IV

La configuración del diagrama de bloques es muy parecida a la de la sección 3.7.2.1, tanto su creación e iniciación de canales de entrada y salida, la forma de conversión de las señales adquiridas a sus respectivas unidades y el despliegue del nombre de las unidades en el panel frontal, siendo en sí la única diferencia el tipo de indicador en el panel frontal, para este caso se utilizó una gráfica tipo *Waveform*, la cual incluye instantáneamente una estampa de tiempo en la toma de señales apoyándose del reloj de la computadora.

3.7.2.4. Caso 3: Gráfica IV

El objetivo de la configuración del diagrama de bloques para este instrumento es la creación de una gráfica IV (Corriente vs Voltaje) para la caracterización de cualquiera de los tres sensores del tipo resistivo, esta gráfica ofrece una serie de valores en forma de una recta, al hacer un ajuste lineal para estos puntos de la gráfica y encontrar la ecuación de dicha recta se puede tener un valor preciso de la resistencia y por tanto de la variable de los sensores. Se explicarán con mayor detalle las características de la gráfica IV en la sección correspondiente a la creación del Panel Frontal del programa de LabVIEW.

La configuración de creación e iniciación de canales se da de manera similar que en los demás instrumentos, con excepción al multímetro donde los VIs de creación de canales se encuentran dentro de una estructura de casos, como se observa en la fig.3.24 la configuración de variables, valores máximos y mínimos, canales físicos y valor de la resistencia shunt son los mismos que para los instrumentos presentados anteriormente. Los alambres de Tarea y Error del VI de inicialización se conectaron como entradas para una ciclo while.

La configuración de canal de salida, al igual que para los de entrada se configuró de la misma manera que para los VIs anteriores y sus salidas de Tarea y Error se conectaron a la entrada del ciclo while. En la fig.3.25 se puede observar dos controles llamados Límite inferior y Límite superior, estos son controlados por el usuarios en el Panel Frontal del programa y funcionan para delimitar los límites de la gráfica y poder acomodarlos de manera que se aprecien mejor las mediciones, ya que los sensores funcionan en diferentes rangos de resistencia, estos indicadores se conectaron como entradas al ciclo while para indicar el voltaje inicial y final de la toma de mediciones. El control de Límite inferior se conectó como Shift Register en lugar de un Túnel.

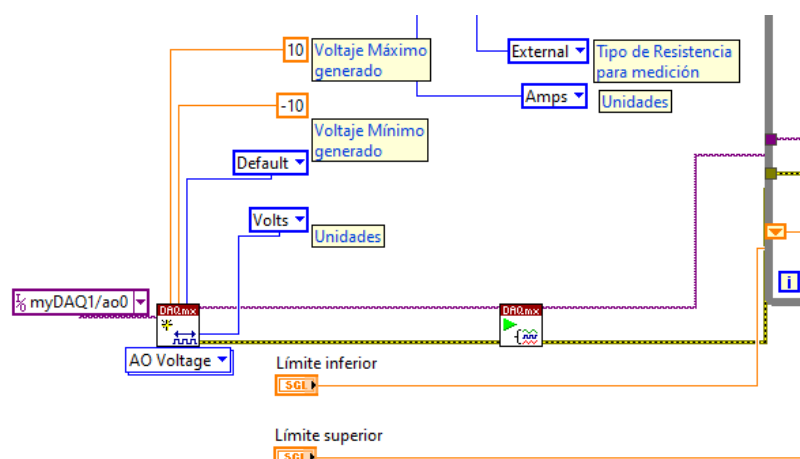


Figure 3.25: Configuración para el canal de salida de voltaje para el instrumento Gráfica IV

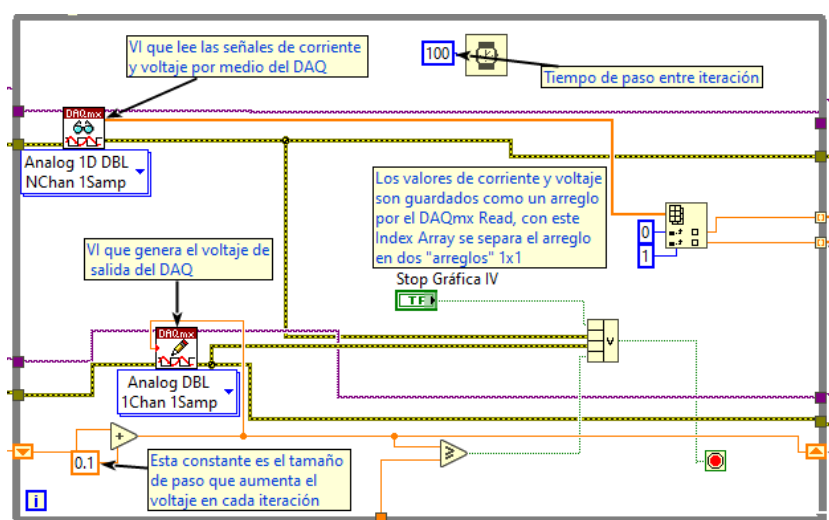


Figure 3.26: Configuración de bloques para el ciclo while del instrumento Gráfica IV

Un túnel lee la información de entrada en cada iteración del ciclo, de haberse usado en este caso el ciclo leería la misma información especificada por el usuario antes de correr el programa, en el caso del Shift Register, se crea una salida del lado opuesto de la estructura de ciclo while, como se muestra en la fig.3.26, la función de un Shift Register es guardar el valor de entrada el túnel del lado derecho y al final del ciclo pasarlo al túnel del lado izquierdo, así en en el siguiente siglo, el valor que se leerá de entrada será un valor diferente al inicial que seleccionó el usuario, en este caso se utilizó para aumentar el valor de voltaje por $0.1V$ en cada iteración, para esto se conectó un nodo de suma siendo una se sus entradas la constante de $0.1V$ y la otra la salida del Shift Register del lado izquierdo, la salida del nodo de suma se conecta al Shift Register de la derecha, a la entrada del VI de Escritura de voltaje y a un nodo de Mayor o Igual, este compara el valor de la suma con el Límite Superior especificado por el usuario, de ser mayor o igual la suma el nodo arroja una señal de salida de CIERTO la cual esta conectada al nodo de Aritmética Compuesta junto con las salidas de Error de los VIs y el botón de ALTO, en caso de que cualquiera de las entradas del nodo de Aritmética Compuesta sea CIERTO se detiene el ciclo while.

Dentro del ciclo while de la fig.3.26 se encuentran los VIs de Lectura y Escritura de señales, ambos están configurados para leer una muestra por iteración del ciclo, la única diferencia entre los dos es que el VI de Lectura lee dos canales a la vez, corriente y voltaje, por lo cual su tipo de salida es un arreglo 1D, este arreglo se separa en dos señales simples utilizando un nodo de Indexar Arreglo y sus salidas se conectan a la estructura de ciclo while. Como se puede apreciar los túneles de salida son diferentes a los mostrados

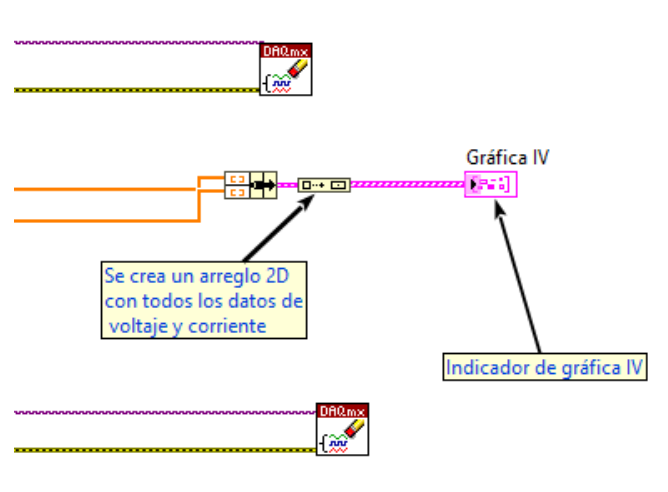


Figure 3.27: Configuración del indicador de Gráfica para el instrumento Gráfica IV

en los demás instrumentos, esto es porque se configuraron como túneles Auto-Indexados, esta función guarda los valores de salida y crea un arreglo con las mediciones de todas las iteraciones del ciclo, por lo cual su salida será un arreglo 1D de tamaño $1 \times n$, con n siendo el número de iteraciones totales del ciclo.

Posteriormente los arreglos 1D se combinaron y se conectaron como entrada a un indicador de Gráfica XY que se muestra en el Panel Frontal.

3.8. Creación del Panel Frontal para el programa de LabVIEW

El Panel Frontal de LabVIEW es la interfaz donde el usuario manipula los controles del diagrama de bloques, en la fig.3.28, se puede observar el panel frontal completo, donde se manipulan todos los controles y se observan los indicadores de diferentes tipos como gráficas, indicadores numéricos y del tipo cadena de caracteres.

Para la creación de las estructuras del panel frontal se utilizaron las decoraciones que se encuentran en la paleta opciones, se utilizó una caja lisa y un marco, se ajustaron al tamaño de forma que tuvieran el tamaño necesario para los controles e indicadores necesarios para cada instrumento. Cada instrumento se inicia corriendo el programa en LabVIEW y se para con su respectivo botón Stop.

En la fig.3.29 se muestra un acercamiento al control principal, la perilla llamada Instrumento, para esta se especificó en sus propiedades un valor máximo de 3, mínimo de 0 y aumento en intervalos de 1. A cada valor numérico se le otorgó una etiqueta de texto con el nombre de un instrumento disponible, este valor numérico es el número de caso indicado en cada caso de la subsección 3.7.2

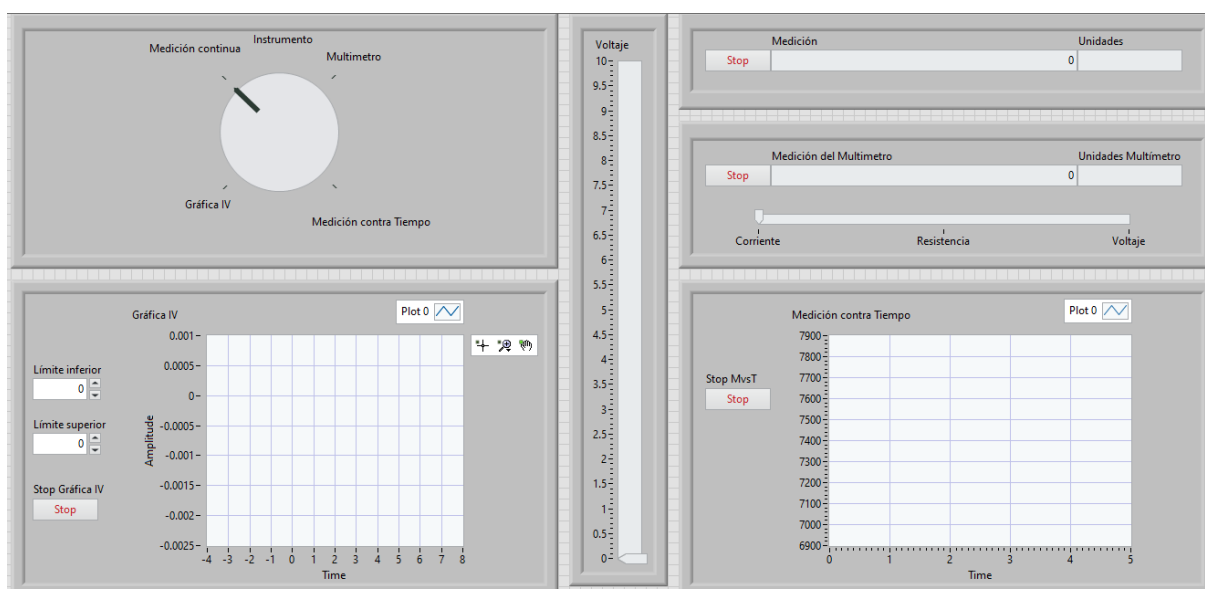


Figure 3.28: Panel Frontal completo del programa de LabVIEW

En la figura 3.29 debajo de la perilla de Selección de Instrumento, se encuentran los indicadores y controles correspondientes al instrumento Gráfica IV, del cual se mencionan sus componentes en el diagrama de bloques de la subsección 3.7.2.4. Los controles que contiene este instrumento son dos del tipo numérico, llamados Límite inferior y Límite superior con los cuales se ajusta la escala de la Gráfica, y el control de Stop para poder parar el ciclo while del instrumento desde el Panel Frontal. Dentro de los indicadores de este instrumento solo se encuentra una gráfica del tipo Gráfica XY, para la cual el eje X es la coordenada del voltaje y el eje Y la coordenada de la corriente medida en el sensor. La gráfica tipo XY se puede manipular con la Paleta de Control que se encuentra en la esquina superior derecha de instrumento, con esta se pueden hacer acercamientos, mover y localizar coordenadas de puntos de la gráfica. Para exportar la gráfica para un mejor análisis se puede dar clic derecho en ella y copiar al portapapeles la información de los puntos.

Por último en la fig.3.30 se puede observar un acercamiento al lado derecho del Panel Frontal del programa de LabVIEW, la cual esta compuesta de tres partes, una barra deslizable, y los indicadores de tres de los instrumentos mencionados en la sección anterior: Multímetro, Medición Continua y Gráfica Medición con respecto al Tiempo.

La barra deslizable que se observa del lado izquierda, llamada Voltaje, funciona como control para que el usuario seleccione el voltaje de salida de la terminal AO 0 del NI myDAQ, este voltaje se puede configurar al usar cualquiera de los instrumentos de la fig. 3.30.

El instrumento mostrado en la parte superior de la fig. 3.30 corresponde al instrumento: Medición Continua, el cual consta de su botón Stop para parar el ciclo While de la sección 3.7.2.1, el valor de la medición del sensor se muestra en un indicador del tipo numérico y para representar las unidades de la variable del sensor se colocó un indicador del tipo cadena de caracteres.

Debajo del instrumento de Medición Continua se encuentra el instrumento de Multímetro, el cual se creó de forma que se pueda utilizar las terminales dmm del NI myDAQ como entrada, por lo cual la resistencia Shunt utilizada es la interna de la tarjeta de adquisición. Para poder utilizar el instrumento de Multímetro, el usuario debe de seleccionar la variable que desea medir antes de iniciar el programa, la selección de la variable es por medio de una barra deslizable en la parte inferior del instrumento, este control funciona como entrada para una de las estructuras de casos mencionadas en la sección 3.7.2.2. Se colocaron dos

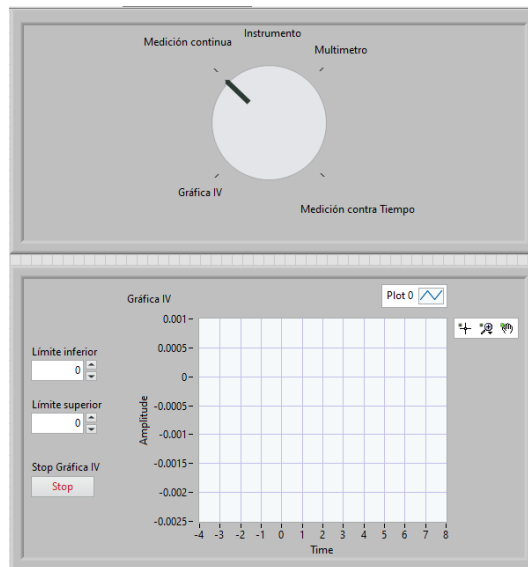


Figure 3.29: Acercamiento de los instrumentos del lado izquierdo del panel frontal del programa de LabVIEW

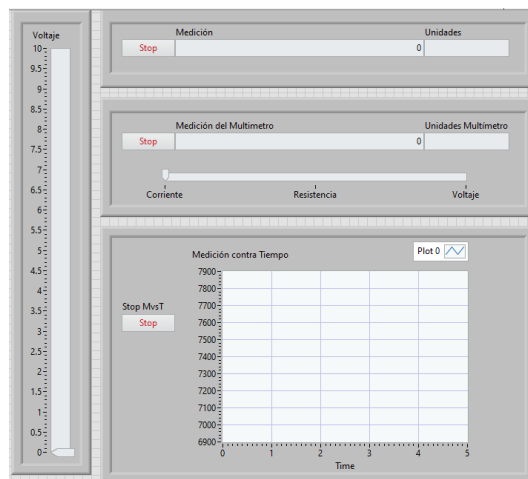


Figure 3.30: Acercamiento de los instrumentos del lado derecho del panel frontal del programa de LabVIEW

indicadores en el instrumento los cuales indican de forma numérica el valor de la medición y el nombre de la variable que se esta midiendo, Ohms, Amperes o Volts según sea el caso.

El último instrumento que conforma parte del Panel Frontal de programa es el de Gráfica Medición con respecto al tiempo, para este se colocó una gráfica del tipo Waveform, de esta forma en cada iteración del ciclo while del instrumento se tomará una medición y aparecerá como un punto en el gráfico con su respectiva estampa de tiempo, esta información se puede extraer de la gráfica dando clic derecho al terminar las mediciones. Al igual que los demás instrumentos del programa este cuenta con su botón de Stop para detener el ciclo while en el diagrama de bloques.

Capítulo 4

Resultados y discusión

A continuación se muestran capturas de pantalla de los indicadores del panel frontal de LabVIEW mostrando valores de mediciones utilizando los diferentes instrumentos y sensores. Posteriormente a mostrar los resultados se procede con una discusión individual para cada caso estudiado. Al final de la sección se incluye una discusión general para el proyecto. Para la toma de estas mediciones se utilizó el prototipo construido mostrado en la Fig.4.1.

4.1. Medición continua

Para este instrumento se encontró que de los cuatro sensores disponibles, el más estable en cuanto a valores de sus mediciones fue el sensor de luz. En la figura 4.2 se muestran valores de la medición del sensor de luz en el instrumento de medición continua, al tomar la medición el valor varía constantemente alrededor del valor mostrado. Las figuras se muestran en orden a acuerdo a la intensidad de la luz a la que estaban expuestas, siendo la fig. 4.2b la menor intensidad de la fuente de luz y la fig. 4.2e la mayor, todas las mediciones se tomaron variando la intensidad de una fuente de luz y con luz de día no directa de fondo.

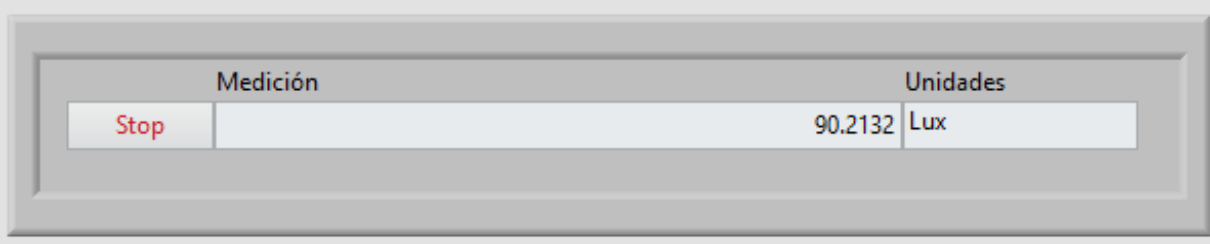
En la fig.4.2a la medición se tomó cubriendo completamente el sensor con la mano. Los valores mostrados muestran una buena relación en cuanto al cambio de intensidad de la fuente de luz, el valor medido aumenta cuando la intensidad de la fuente de luz aumenta.



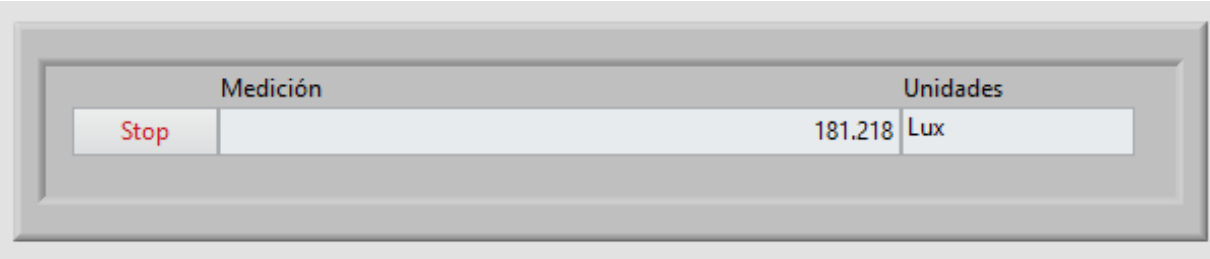
Figure 4.1: Prototipo conectado al NI myDAQ para la toma de mediciones.



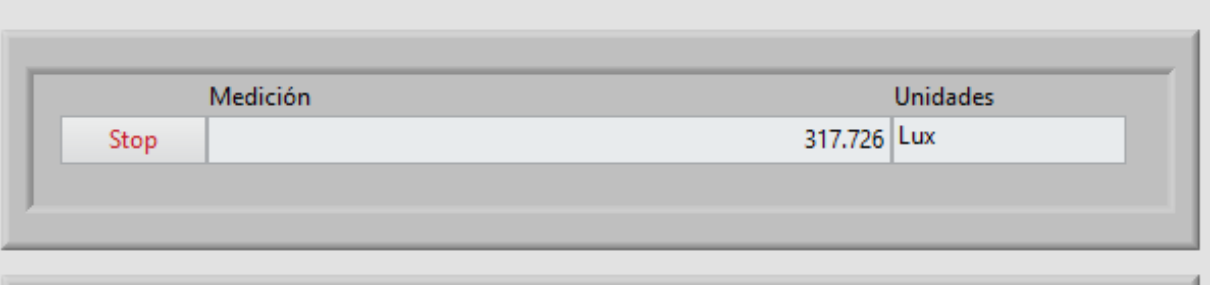
(a) Oscuridad



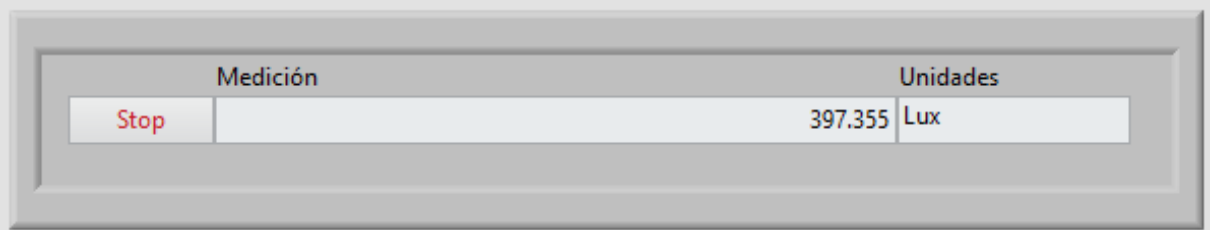
(b) Luz tenue



(c) Luz media



(d) Luz alta.



(e) Luz más intensa que la de la medición de la fig. 4.2d

Figure 4.2: Medición del instrumento de medición continua con el sensor de luz a diferentes exposiciones de luz

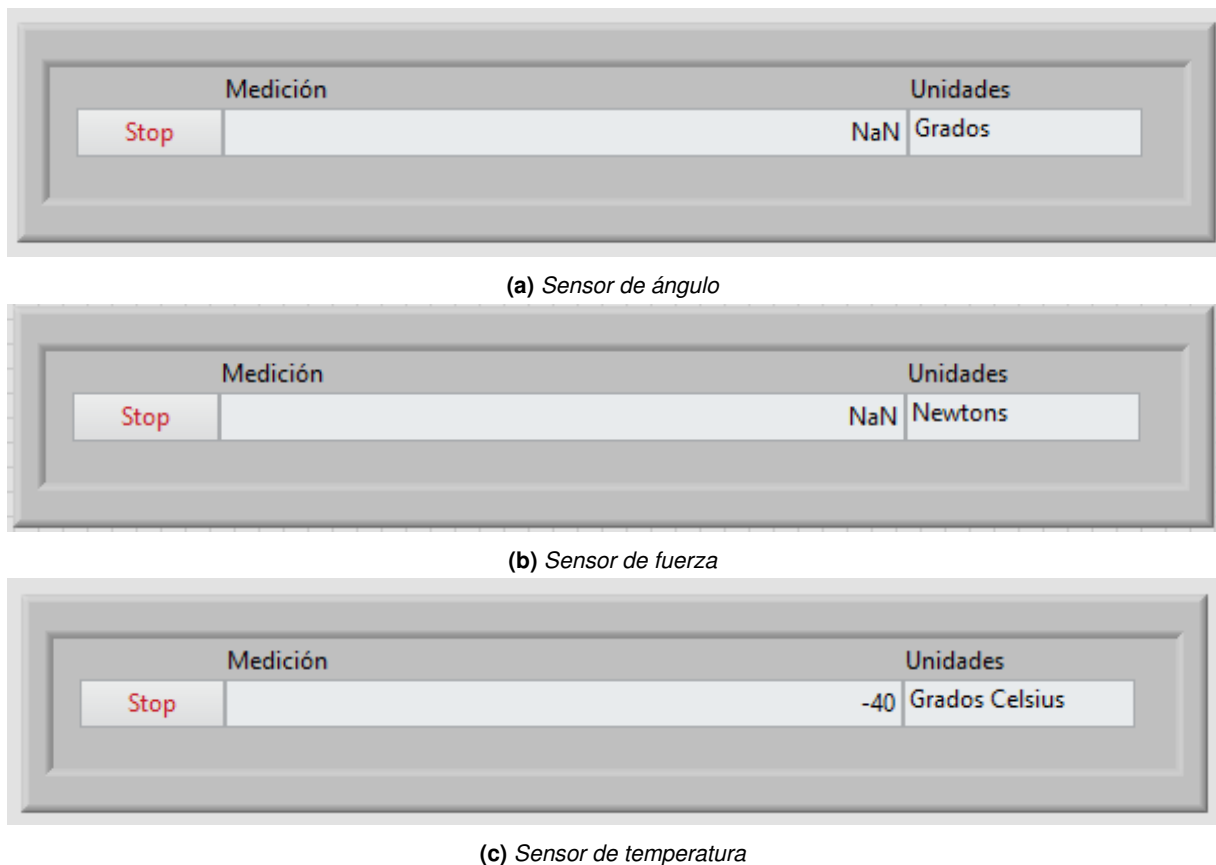


Figure 4.3: Mediciones con el instrumento de medición continua mostrando errores para diferentes sensores

No se pudieron comprobar las mediciones del sensor de luz de las figuras 4.2b a la 4.2e, ya que no se cuenta con un luxómetro, aún así las mediciones coinciden dentro de los valores para luz natural y luz artificial encontrados en la web.

Para el sensor de ángulo con el instrumento de medición continua, se encontró un problema con las mediciones. Se observa que el programa de LabVIEW muestra que el resultado es del tipo NaN (not a number) (fig.4.3a), esto ocurre también para el sensor de fuerza (fig.4.3b). Este error se mantenía para cualquier variación en las condiciones de medición de los sensores, es decir, el programa mostraba NaN para todos los ángulos de doblez del sensor de ángulo y para cualquier fuerza aplicada sobre el sensor de fuerza.

En el caso del sensor de temperatura (fig.4.3c) se muestra un valor numérico, pero este es incorrecto, ya que las mediciones se tomaron a temperatura ambiente. Se intentó hacer variar la temperatura en el sensor para verificar que no fuera un problema con la ecuación de conversión de resistencia a temperatura utilizada en el programa, pero en todos los casos se seguía mostrando la temperatura de -40° .

Este tipo de errores puede indicar la presencia de un corto circuito en el circuito de la placa PCB, lo cuál fue descartado después de revisar las conectividad entre todas las conexiones de los sensores con un multímetro. Posteriormente se tomaron medidas de la resistencia en los sensores directamente con un multímetro tocando las terminales conectadas a la placa PCB para descartar un falso contacto dentro de los cables USB utilizados, los valores medidos eran correctos para las condiciones de la medición, por tanto se concluye que los sensores funcionan correctamente.

4.2. Gráfica Medición con respecto al Tiempo

Mediciones tomadas para los distintos sensores con el instrumento de Gráfica Medición con respecto al Tiempo, el cual utiliza como indicador una gráfica tipo Waveform.

En la gráfica de la fig. 4.4a se muestra como el instrumento no obtiene ninguna medición al utilizar el sensor de ángulo, a diferencia de la fig. 4.4b y la fig. 4.4c donde sí se obtiene una medición para los sensores de fuerza y temperatura respectivamente. La señal de la fig. 4.4b es errónea ya que muestra un cambio con el tiempo aún cuando al tomarla no se hizo ninguna variación en la fuerza aplicada al sensor. La señal de la fig. 4.4c muestra un valor constante en la temperatura, aún cuando al tomarla se acercó y alejó una fuente de calor al sensor de temperatura.

El sensor de luz sí mostró variaciones respecto a la intensidad de la luz, como se muestra en la fig. 4.4d, pero los valores mostrados en la tabla están por fuera del rango del el sensor.

El tener un despliegue de puntos en las gráficas mostradas, demuestra que el programa de LabVIEW funciona correctamente, el problema parece ser parte de las conexiones en la placa PCB.

Para todos los instrumentos, a excepción del multímetro, se utiliza el mismo circuito, por lo cual si el instrumento anterior falló en medir las variables de tres de los sensores, era de esperarse que los mismos sensores fallaran para el instrumento de Gráfica Medición con respecto al Tiempo.

4.3. Multímetro

Los siguientes resultados se tomaron con el instrumento de multímetro del programa de LabVIEW.

La fig. 4.5 muestra el valor de resistencia tomado directamente de las terminales del sensor de ángulo en posición plana.

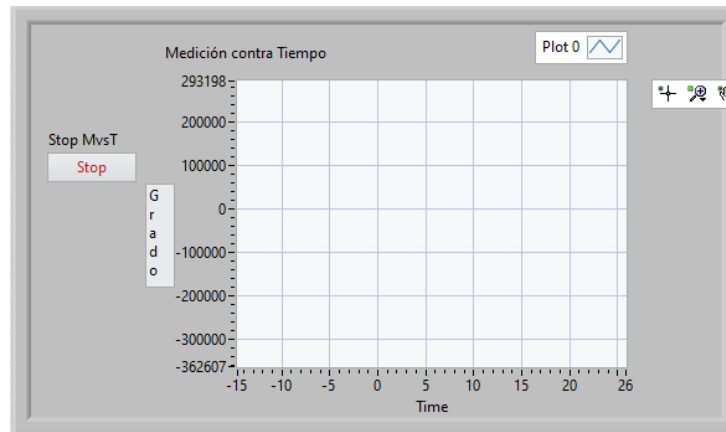
Se conectaron las terminales de dmm del myDAQ a las salidas de voltaje del mismo para medir el voltaje. Se utilizó la salida de 5V para la fig. 4.6 y la salida de 10V para la medición mostrada en la fig. 4.7.

El valor de corriente mostrado en el indicador de la fig. 4.8a corresponde a la corriente de una resistencia de $2000k\Omega$ con un voltaje de 5 V, tomado de la terminal de 5V del NI myDAQ. Para la medición mostrada en la fig. 4.8b se cambió la resistencia por una de 680Ω .

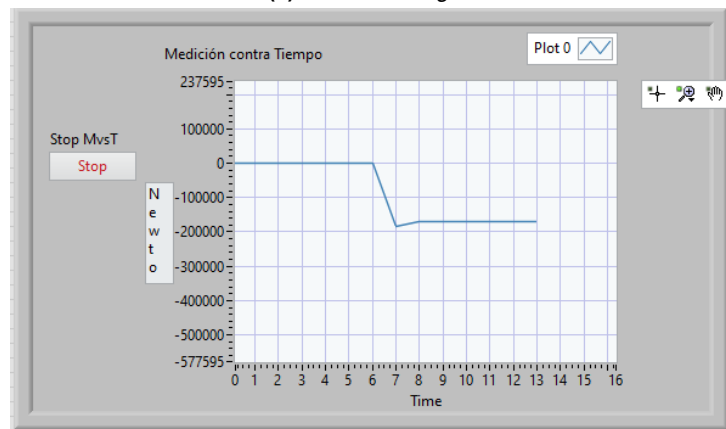
4.4. Gráfica I-V

El instrumento de gráfica IV se puede utilizar con los sensores de ángulo, fuerza y temperatura. En la fig. 4.9 se muestra una gráfica sin puntos, lo cual fue el resultado para cada uno de los tres sensores, debido a que no se seleccionó el rango de voltaje previamente a correr el programa.

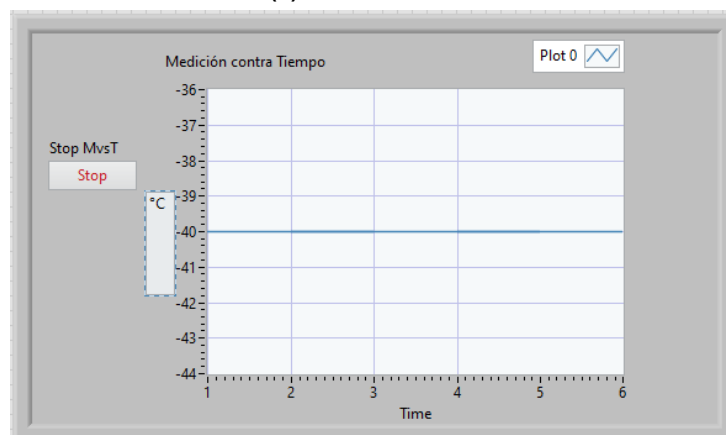
Teniendo esto en cuenta para las siguientes mediciones se seleccionó un rango de voltaje de 0 A 5V previamente a correr el programa y se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 4.10a y 4.11a. Para ambas figuras se puede observar una similitud en los rangos de corriente aun cuando se utilizaron diferentes sensores para cada una, por lo cual se hizo una análisis en el programa Origin Pro 8. Las figuras 4.10b y 4.11b mues-



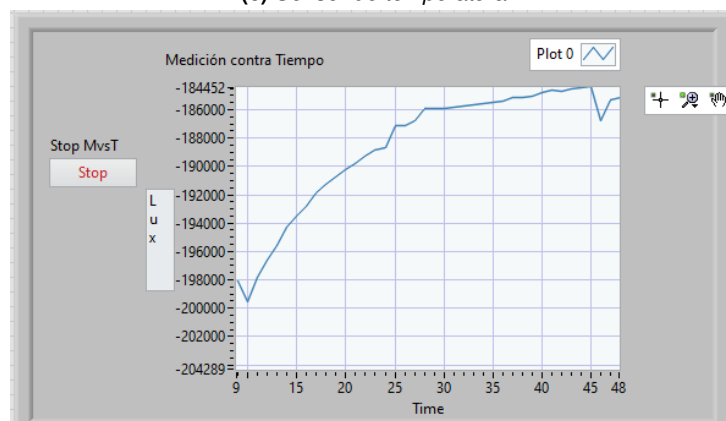
(a) Sensor de ángulo



(b) Sensor de fuerza



(c) Sensor de temperatura



(d) Sensor de luz

Figure 4.4: Medición del instrumento de Gráfica Medición con respecto al Tiempo seleccionando diferentes sensores



Figure 4.5: Medición de resistencia utilizando el instrumento de multímetro

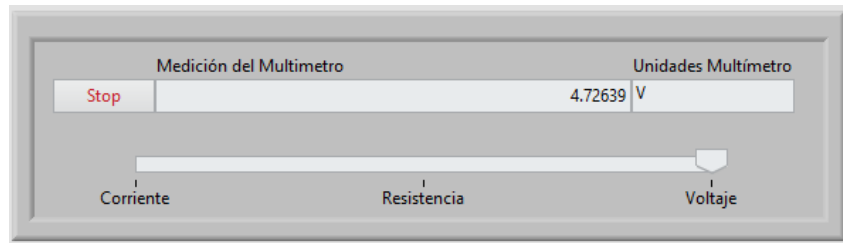


Figure 4.6: Medición de voltaje con el instrumento de multímetro

tran en ajuste lineal de los puntos de ambas gráficas IV, se obtuvo un valor muy similar de pendiente para ambas, y este valor esta por fuera de los rangos de resistencia de los sensores. Esta similitud puede deberse a que haya un falso contacto entre las conexiones de los sensores dentro del dispositivo creado.

4.5. Generación de voltaje

Se programó el myDAQ para que al utilizar el instrumento de multímetro el usuario pueda variar el voltaje de salida del una de las terminales AO, para mostrar esto se midió el voltaje de salida seleccionando 6 V y 8 V, la fig.4.12 y la fig.4.12 muestran la medición de los voltajes para cada caso respectivamente.

4.6. Toma de mediciones con los sensores en protoboard

Para poder comprobar el funcionamiento del programa de LabVIEW con los diferentes sensores, se armó un circuito provisional en protoboard cambiando el sistema de relevadores e interruptores magnéticos por un dip switch de 4 entradas (ver fig.4.14).

4.6.1. Medición continua

Sensor de ángulo

La figura 4.15a da un valor de 7.9308° para el sensor sin doblarse, esto puede deberse a que el sensor estaba en posición vertical. Para tomar la medición del valor mostrado en la figura 4.15b se dobló el sensor a un ángulo estimado de 45° , a comparación con el valor de 33.061° que se muestra en la figura.

En la fig.4.15c se muestra una medición tomada doblando el sensor de ángulo a lo que se conoce como *pinch bend* por el fabricante, donde se dobla completamente el sensor de

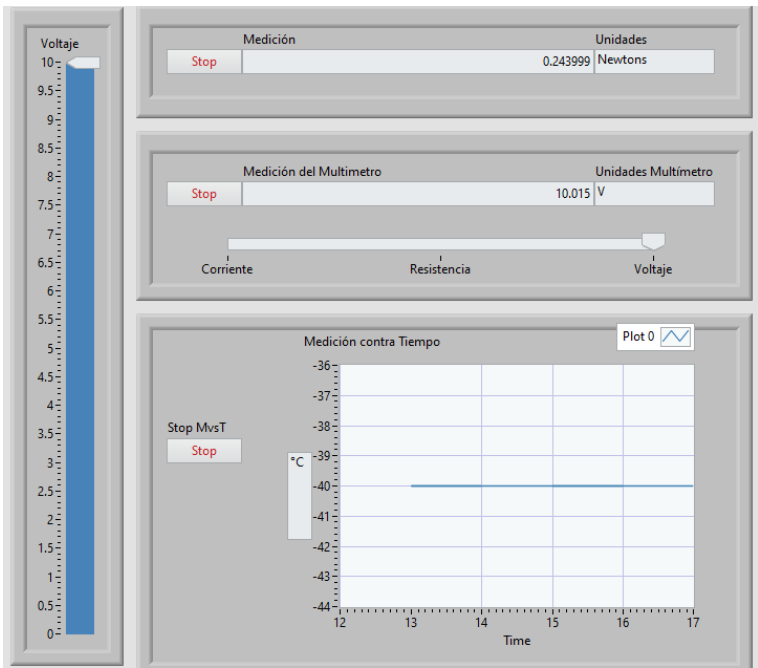
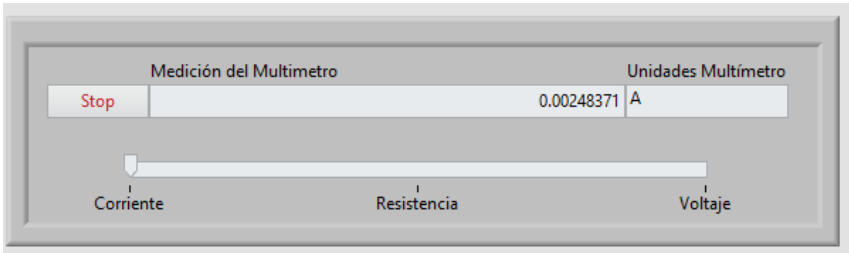
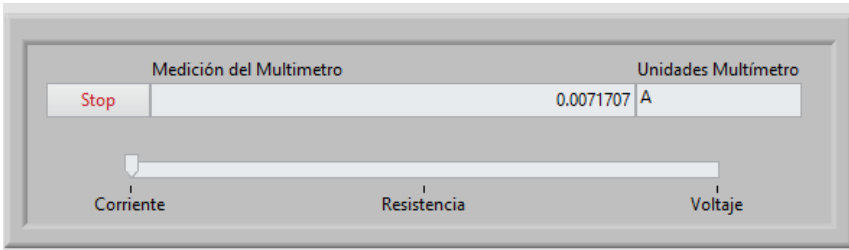


Figure 4.7: Medición de voltaje con el instrumento de multímetro



(a) Primera medición



(b) Segunda medición

Figure 4.8: Mediciones de corriente utilizando el instrumento de multímetro

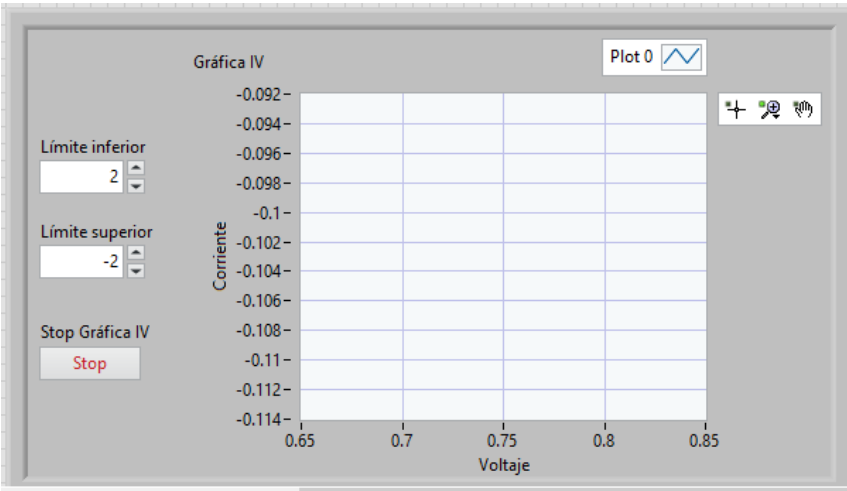
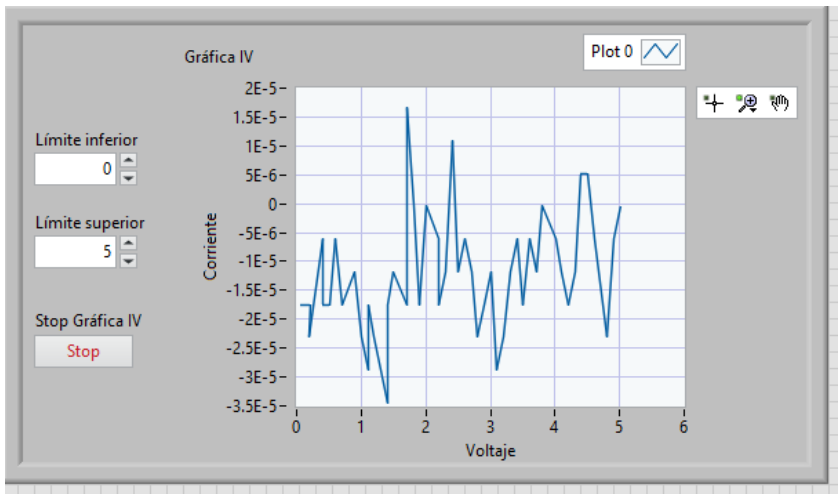
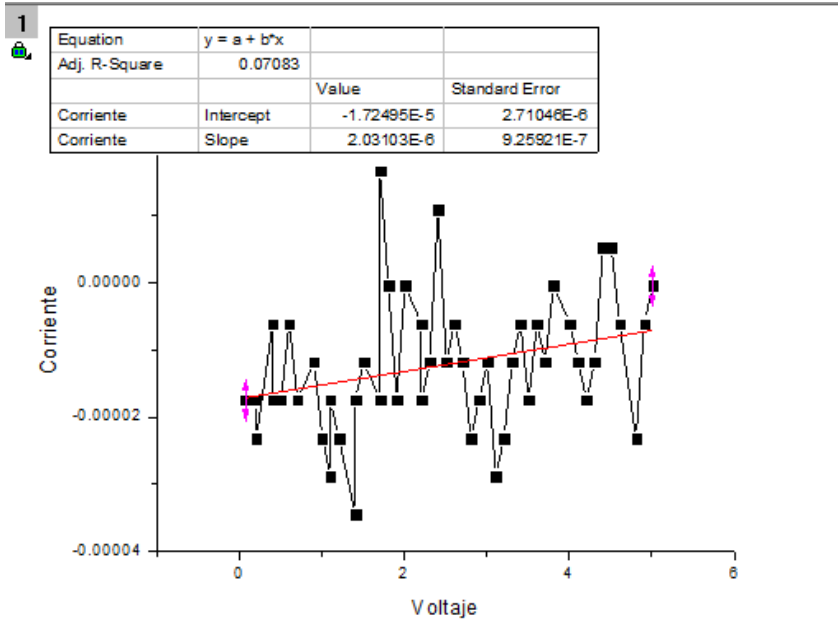


Figure 4.9: Medición del instrumento de gráfica IV

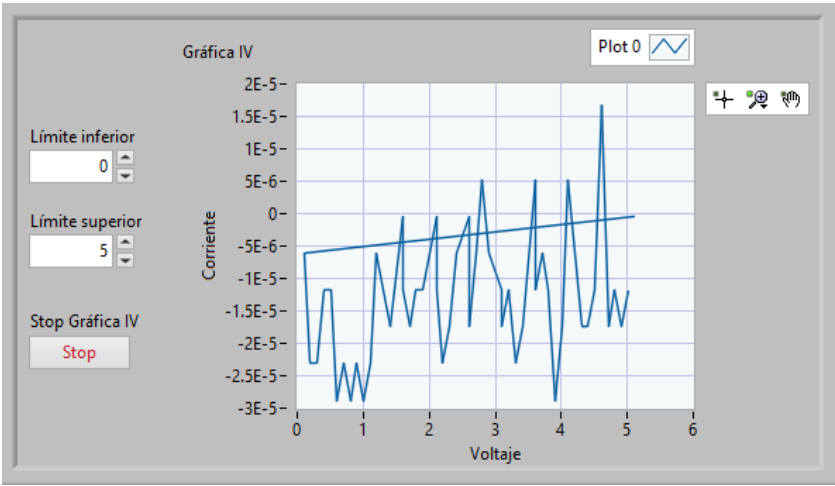


(a) Gráfica IV para el sensor de ángulo en posición plana

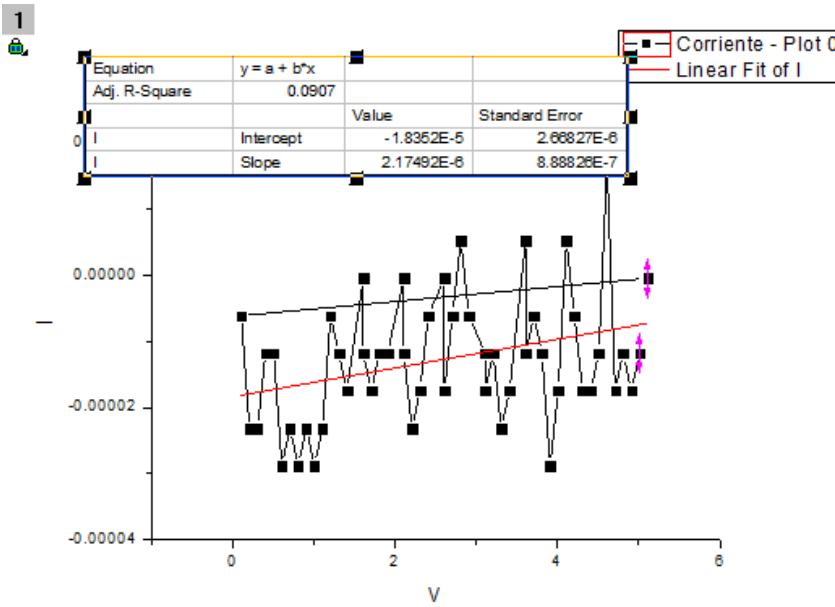


(b) Análisis en Origin Pro 8 de la gráfica de la fig.4.10a

Figure 4.10: Medición de Gráfica IV para el sensor de ángulo



(a) Gráfica IV para el sensor de temperatura



(b) Análisis en Origin Pro 8 de la gráfica de la fig.4.11a

Figure 4.11: Medición de Gráfica IV para el sensor de temperatura

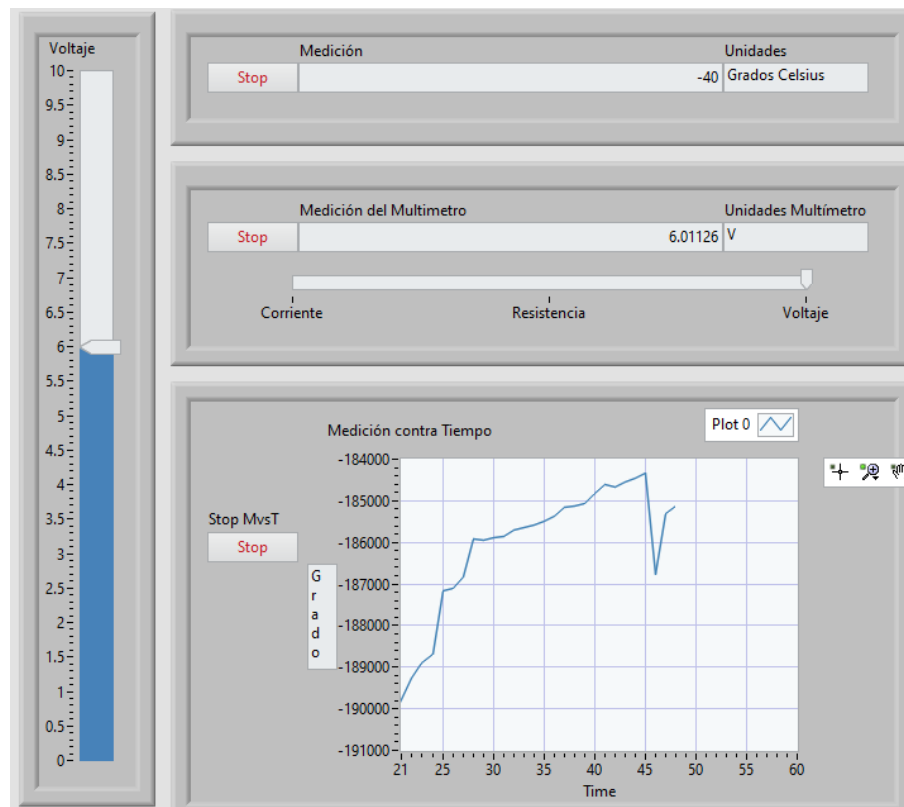


Figure 4.12: Generación de voltaje de 10 V medido con el instrumento de multímetro

forma que sus extremos dos extremos se toquen, para este doblez se midió con el sensor un ángulo de 133.53° .

Sensor de temperatura

La fig.4.16a muestra la medición del instrumento de medición continua a temperatura ambiente, para poder comprobar que el sensor detectaba variaciones en la temperatura se cubrió este con las puntas de los dedos, con lo cual la temperatura se elevó instantáneamente a 26° (medición de la fig.4.16b).

Sensor de fuerza

En la fig.4.17 se observa una medición de fuerza utilizando el circuito en protoboard, para tomar la medición se presionó el sensor entre dos dedos, al hacer esto, fue difícil mantener el mismo valor de fuerza durante toda la medición, lo ideal sería posicionar el sensor sobre una superficie plana y colocar algún objeto de masa conocida sobre la superficie sensible, esto no fue posible debido a la forma en que el sensor entra en el protoboard, lo cual lo obliga a permanecer en una posición vertical (ver fig. 4.14). A pesar de eso, se pudo tomar una medición y se observó la variación en el valor al cambiar la fuerza con que se sostenía el sensor.

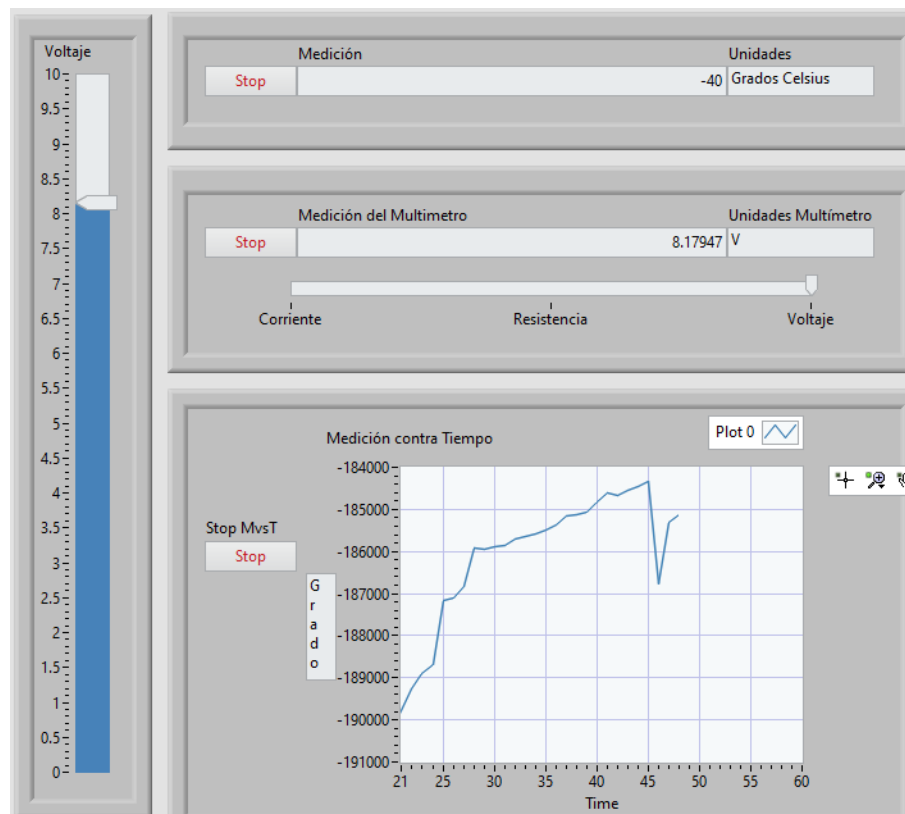


Figure 4.13: Generación de voltaje de 8 V medido con el instrumento de multímetro

Sensor de luz

Las mediciones del sensor de luz utilizando el circuito eléctrico en protoboard se muestran en la figura 4.18.

Las mediciones mostradas son un orden de magnitud mayores a las mostradas en la fig.4.2, aun cuando ambas fueron tomadas utilizando la misma fuente de luz en cada una de las intensidades señaladas, esto puede significar un problema en la placa PCB del dispositivo creado.

4.6.2. Gráfica Medición con respecto al Tiempo

Al igual que con el instrumento anterior, el instrumento de Gráfica Medición con respecto al Tiempo muestra buenas mediciones para cada uno de los sensores, esto ya que todos reaccionaron de manera correcta al variar las condiciones de la medición. Para cada uno de los sensores se utilizó una técnica diferente para tener variaciones en la medición, estas técnicas se explican con mayor detalle en las siguientes subsecciones.

Sensor de ángulo

La figura 4.19 muestra la gráfica de Grados contra Tiempo. Para tomar estas mediciones se esperó 18 segundos para asegurarse que el sensor mostrara 0° para el sensor plano, posteriormente se doblo el sensor a un ángulo aproximado de 90° y se mantuvo en esa posición por poco más de 10 segundos para luego disminuir el ángulo y terminar la medición parando el instrumento con su respectivo botón de Stop.

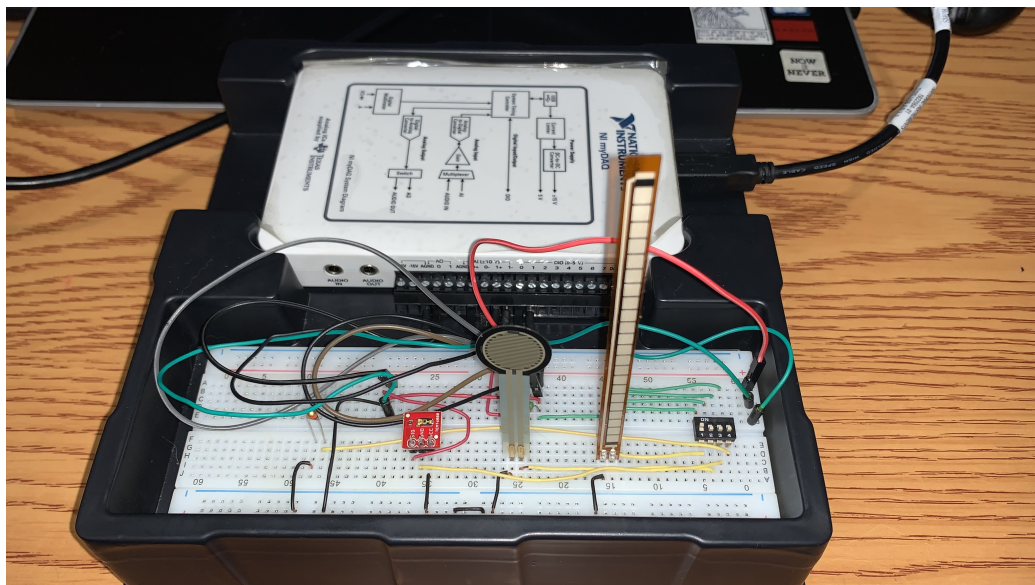
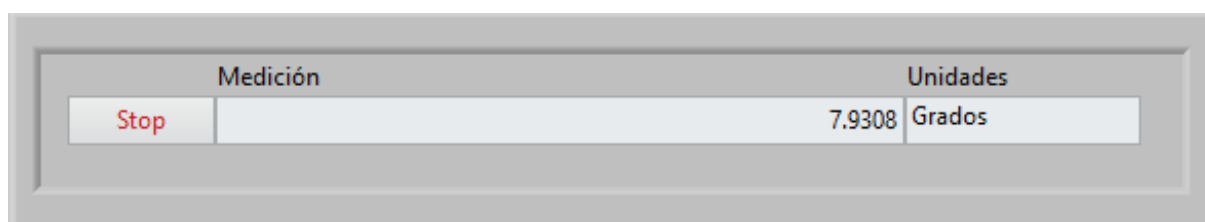


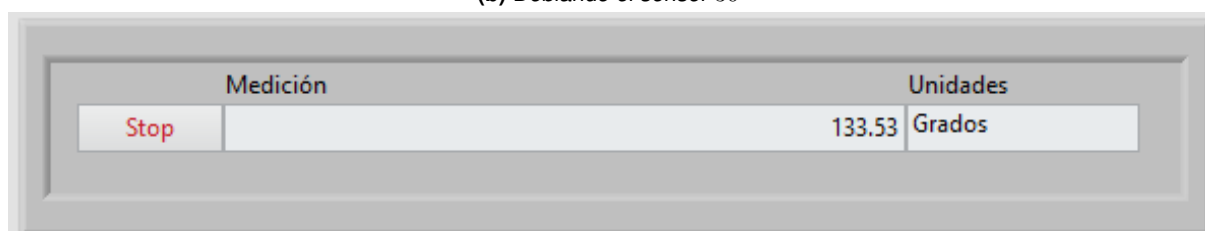
Figure 4.14: Sensores sobre circuito en protoboard conectado a myDAQ



(a) Sin doblar el sensor

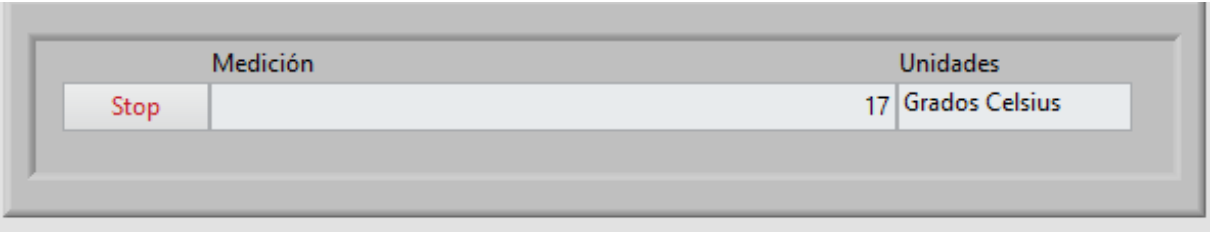


(b) Doblando el sensor 30°



(c) Doblando el sensor 180°

Figure 4.15: Medición de ángulo con el instrumento de medición continua con el sensor montado sobre un protoboard



(a) A temperatura ambiente



(b) Tocando el sensor con las puntas de los dedos

Figure 4.16: Medición de temperatura por el instrumento de medición continua con el circuito en protoboard

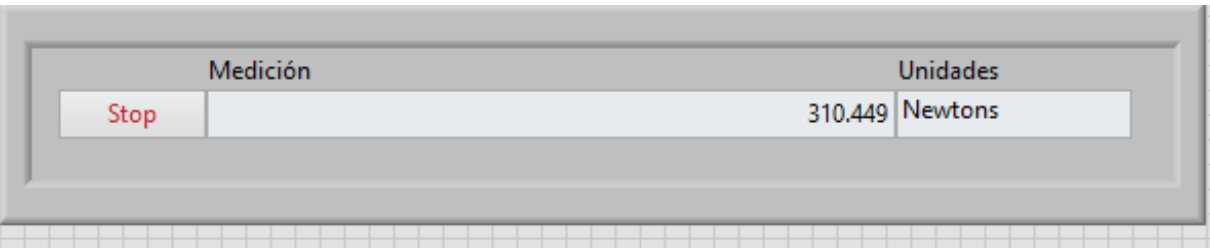
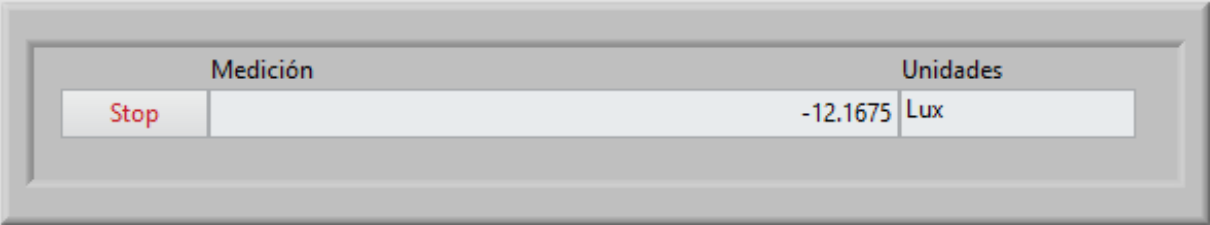
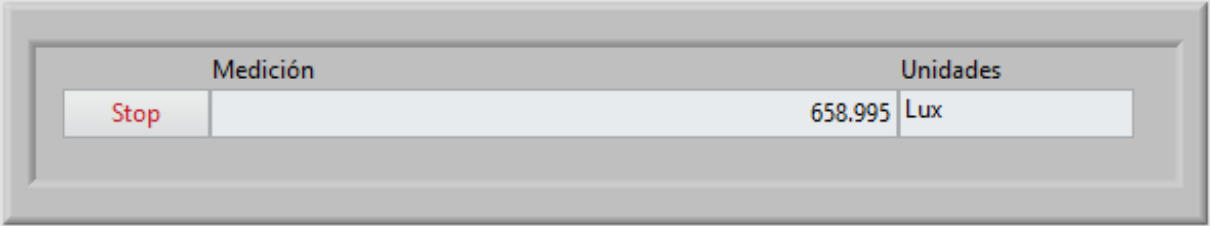


Figure 4.17: Medición de fuerza utilizando el instrumento de medición continua con el circuito en protoboard



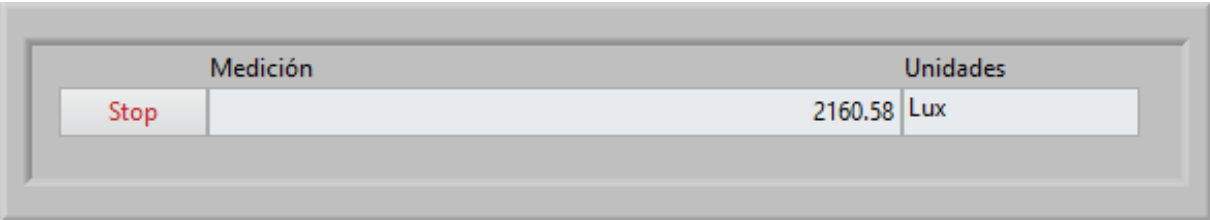
(a) Tapado



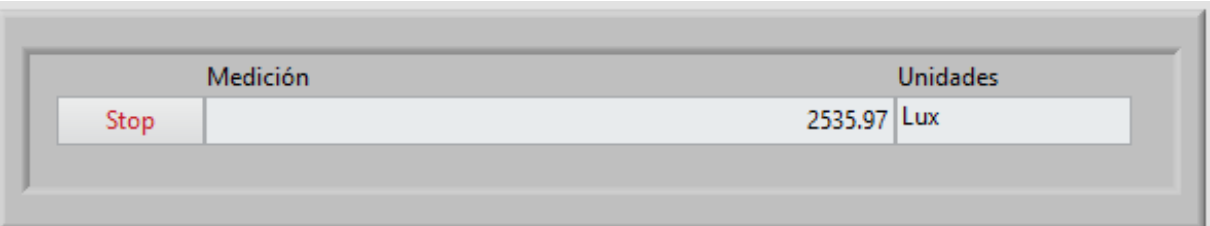
(b) Intensidad baja



(c) Intensidad media



(d) Intensidad media alta



(e) Intensidad alta

Figure 4.18: Medición continua con el sensor de luz sobre protoboard

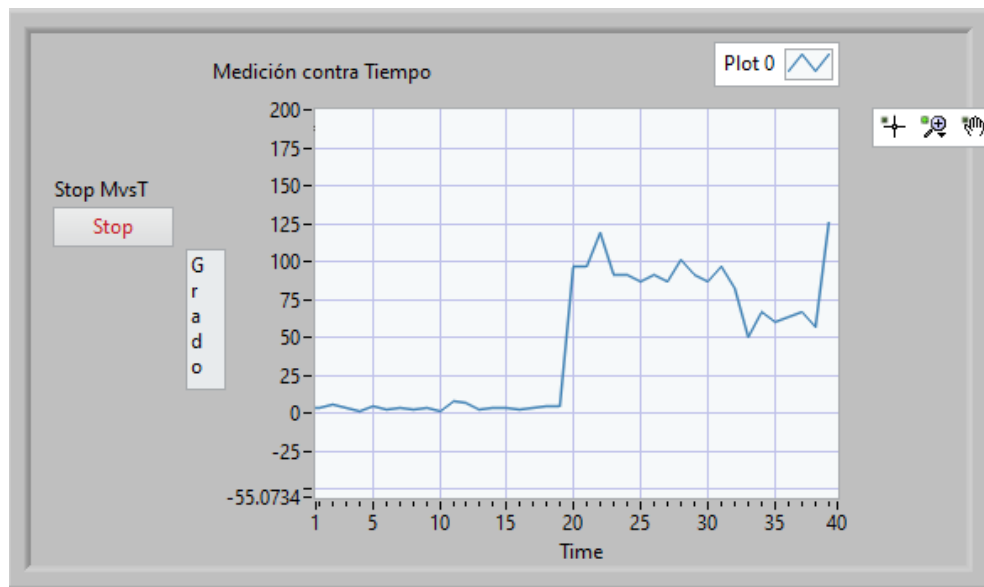


Figure 4.19: *Gráfica Medición con respecto al Tiempo para el sensor de ángulo*

Sensor de temperatura

La medición del instrumento utilizando el sensor de temperatura se realizó a temperatura ambiente de alrededor de 19° Celsius, como se observa en la gráfica de la fig. 4.20, durante los primeros segundos la medición de temperatura varía entre los 19.9 y los 21 grados, el pico que se presenta entre los 10 y 20 segundos es debido a que se tocó el sensor con la punta de los dedos, lo cual aumentó la temperatura medida. Después de soltar el sensor, la medición regresó a su valor de temperatura ambiente.

Sensor de fuerza

Al tomar mediciones de fuerza con el instrumento de Gráfica Medición con respecto al Tiempo se tomó la parte sensible del sensor entre dos dedos desde antes de tomar la medición, debido a que el sensor tiene una resistencia infinita cuando no se le aplica ninguna fuerza, esto hace que los valores de la gráfica de la fig. 4.21 se encuentren en rangos muy grandes y que no se aprecien correctamente las variaciones pequeñas en fuerza.

Al estar corriendo el programa se intentó mantener el sensor presionado con la misma fuerza y después de 30 segundos aumentarla.

Sensor de luz

Para comenzar a tomar las mediciones de la gráfica de la fig. 4.22 se tapó con la mano el sensor de luz, se corrió el programa y se destapó por algunos segundos para medir la luz ambiental, posteriormente se volvió a cubrir el sensor y se detuvo el programa con el botón de Stop del instrumento.

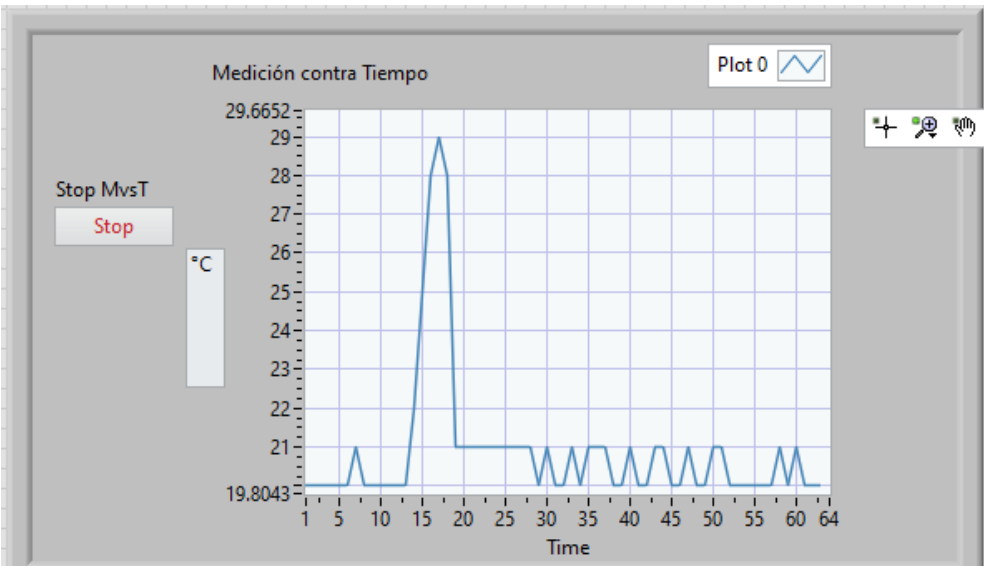


Figure 4.20: *Gráfica Medición con respecto al Tiempo para el sensor de temperatura en protoboard*

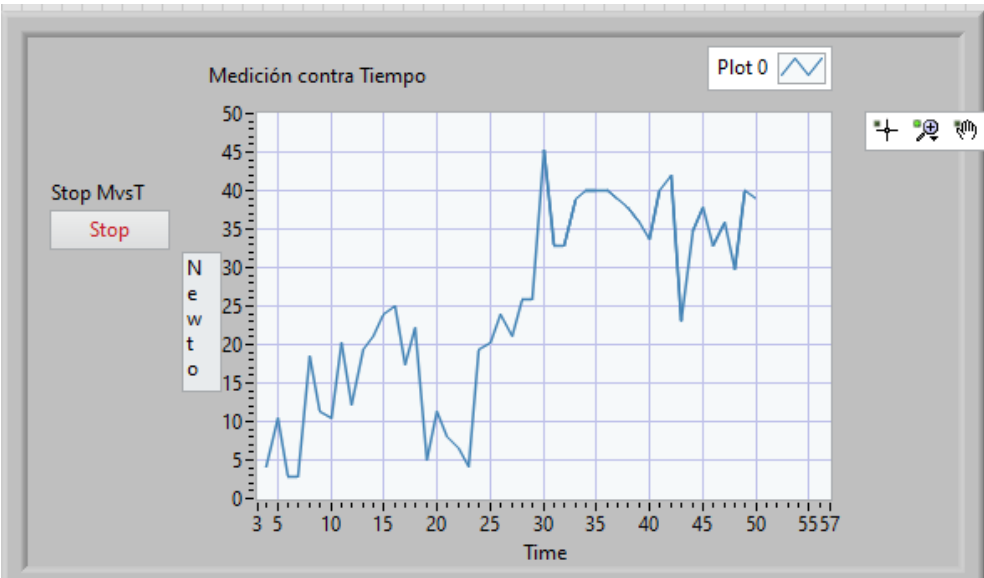


Figure 4.21: *Medición de fuerza contra tiempo utilizando el circuito en protoboard*

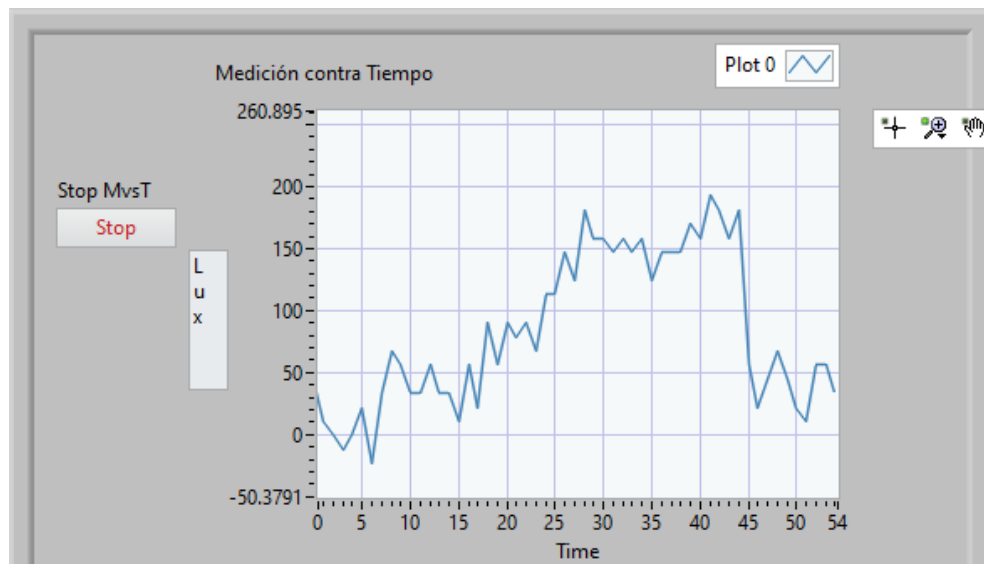


Figure 4.22: *Gráfica Medición con respecto al tiempo del sensor de luz, utilizando el circuito en protoboard*

4.6.3. Gráfica IV

Al utilizar el circuito en protoboard fue posible tomar mediciones con el instrumento de gráfica IV. En la figura 4.23 se puede observar como al tomar mediciones con valores negativos de voltaje, la gráfica IV muestra valores incorrectos.

El resto de las mediciones se tomaron solo en un rango de voltaje positivo, como es el caso de la figura 4.24. Para esta figura se seleccionó un rango de voltaje de 0V a 9V. Al intentar tomar mediciones se encontró con que el valor máximo de voltaje que se puede seleccionar es 9.9V, de ser seleccionado 10V como límite superior, el valor de voltaje para la ultima iteración del ciclo While del programa se sale de los rangos de la salida de voltaje analógico del NI myDAQ, esto debido a las especificaciones de la condición para parar el ciclo.

Después de obtener la gráfica de la fig.4.24, se hizo un análisis de los datos exportándolos a el programa Origin Pro 8. Se hizo un ajuste lineal a los puntos obtenidos por el programa de LabVIEW.

En la fig. 4.25a se muestra una captura de la distribución de los puntos con su ajuste lineal y una tabla donde se muestra el valor obtenido de la pendiente del ajuste. El valor de pendiente es $m = 8.84263 \times 10^{-5}$, al ser una gráfica de corriente contra voltaje, se puede obtener el valor de resistencia con el inverso de la pendiente, al hacer la operación se encuentra que $R = 11308.85\Omega$ lo cual corresponde a un ángulo de 0° .

Por último, la fig.4.25b muestra el análisis a la gráfica IV de una resistencia de $2k\Omega$, de acuerdo a la pendiente del ajuste lineal se obtiene que la resistencia real es $R = 1967.72\Omega$, por lo que se puede decir que las gráficas IV anteriores son correctas.

Se revisó la conectividad de el circuito impreso antes y después de soldar todas las terminales, y se encontró que todo estaba conectado correctamente a la placa PCB.

El circuito en protoboard utilizaba un dip switch en lugar de el sistema de relevadores e interruptores magnéticos, al este funcionar correctamente se comprueba que cada uno de los sensores escogidos para el proyecto funcionó de la manera esperada, los errores se deben a problemas con el diseño del circuito eléctrico final, en específico, con la parte del circuito que se encarga de la selección de sensor por medio de relevadores.

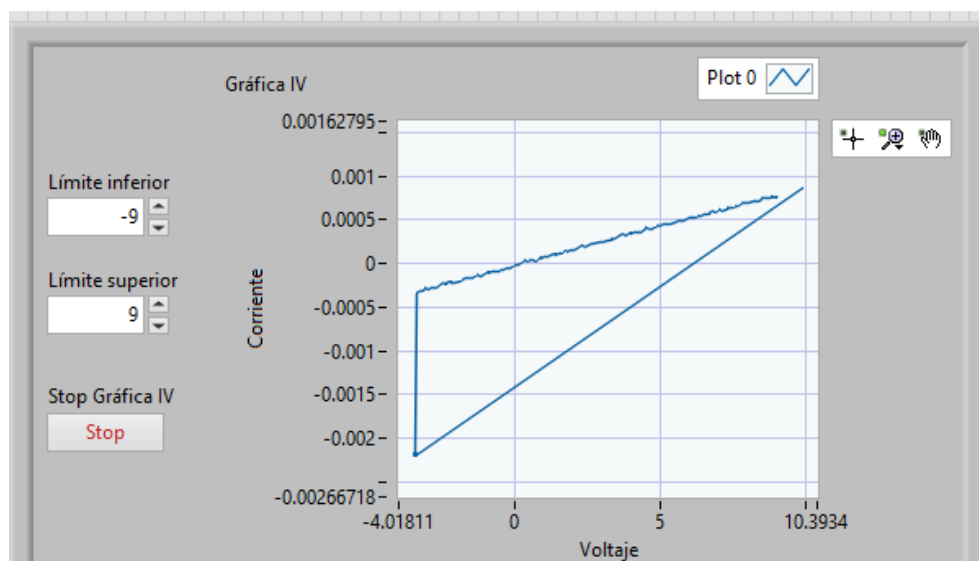


Figure 4.23: Gráfica IV para el sensor de ángulo en posición plana

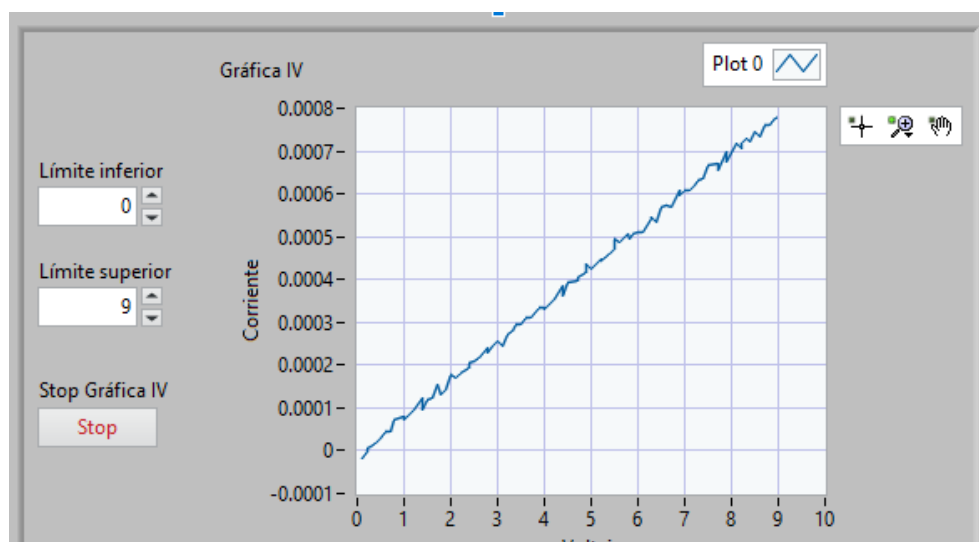
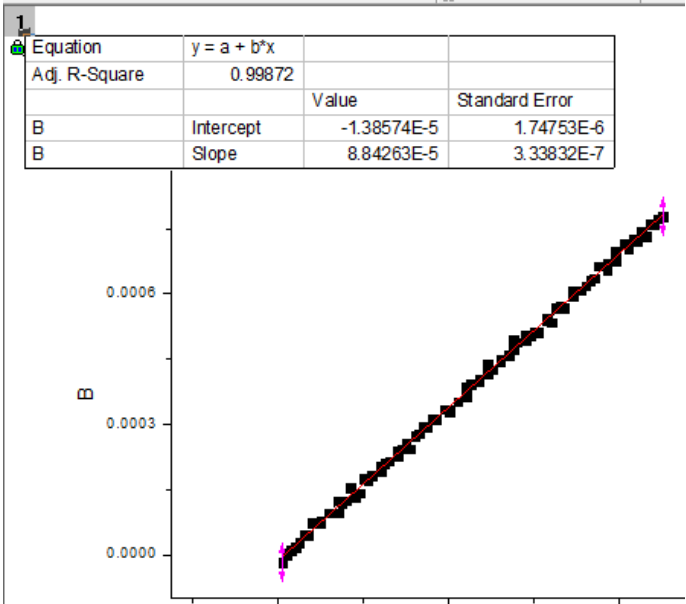
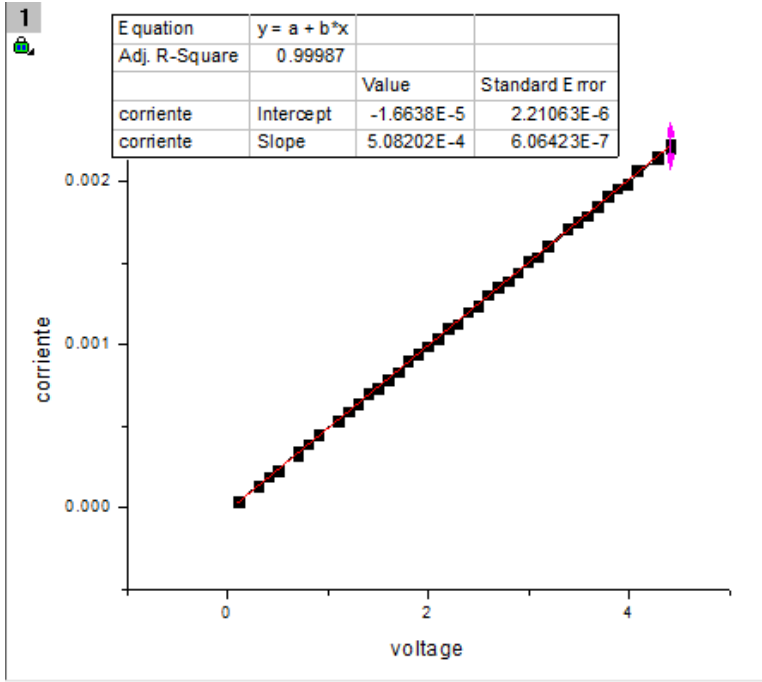


Figure 4.24: Gráfica IV para el sensor de ángulo en posición plana, cambiando el rango de voltaje



(a) Para la gráfica de la fig.4.24



(b) Para una resistencia de $2k\Omega$

Figure 4.25: Análisis de los datos de las gráficas IV

Capítulo 5

Conclusiones

En este trabajo se presentó el proceso de diseño y la construcción del primer prototipo de una plataforma experimental basada en LabVIEW para la toma de mediciones con cuatro sensores: sensor de ángulo, sensor de fuerza, sensor de temperatura y sensor de luz. Los sensores fueron asignados para su uso en la plataforma experimental después de una serie de pruebas donde se determinó que estos podían combinar correctamente en un circuito eléctrico sencillo, y a la vez ofrecían mediciones de variables útiles en los laboratorios de física de la UABC.

El programa de LabVIEW diseñado específicamente para los sensores escogidos funcionó de la manera esperada. Uno de los objetivos principales para el programa era seleccionar el sensor a utilizar por medio del circuito eléctrico, esta función se programó utilizando las entradas y salidas digitales del NI myDAQ y se pudo comprobar su funcionamiento tanto con la perilla del prototipo como con el circuito en protoboard moviendo manualmente los cables que llevan la señal binaria a las entradas digitales. En el caso de la perilla la lectura era errónea en algunos casos debido a que se necesitaba ser muy preciso con el posicionamiento del imán sobre los interruptores magnéticos, este mecanismo podría ser sustituido en futuras versiones de la plataforma experimental para evitar la variabilidad de los interruptores magnéticos.

El haber escogido que la perilla seleccione el instrumento a la vez que cierra el circuito de cada sensor fue una buena elección, en este caso uno de los problemas con el prototipo fue que los interruptores magnéticos que llevan la señales digitales no siempre funcionan de la manera correcta. Si se hubiera seleccionado el sensor en el panel frontal de LabVIEW, y la perilla se hubiera utilizado solamente para cerrar el circuito de las mediciones, no se hubiera podido detectar esta falla en el prototipo.

En un trabajo futuro se puede comenzar por perfeccionar el programa para las características específicas que requiera el usuario para la toma de mediciones, por ejemplo agregar controles al panel frontal para cambiar el periodo de toma de señales en algunos de los instrumentos virtuales. El dispositivo se creó de manera que dos de los sensores se conectaran por medio de una entrada USB, esto permite utilizar cualquier sensor con terminal USB, siempre y cuando sea del tipo resistivo, por lo cual adaptar el programa para sensores personalizados es una posibilidad, ya sea agregando controles al panel frontal donde el usuario pueda ingresar funciones matemáticas o archivos de texto para la conversión de resistencia a la variable que mida dicho sensor.

A pesar de los problemas encontrados, que se piensa son causados por fallas en el diseño del circuito eléctrico, el proyecto cumplió con los objetivos esperados. El proyecto tuvo como resultado final un programa de LabVIEW diseñado específicamente para la plataforma experimental, funcional y con un diseño de diagrama de bloques intuitivo, espe-

cialmente para estudiantes que están aprendiendo a utilizar el software ya que el programa muestra técnicas básicas de diseño de instrumentos virtuales con LabVIEW, mostrando un ejemplo del estilo de programación que siguen los desarrolladores de LabVIEW.

Bibliografía

- Chacón, J., Vargas, H., Farias, G., Sánchez, J., and Dormido, S. (2015). EJS, JIL Server, and LabVIEW: An Architecture for Rapid Development of Remote Labs. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(4):393–401.
- Daineko, Y., Dmitriyev, V., and Ipalakova, M. (2017). Using virtual laboratories in teaching natural sciences: An example of physics courses in university. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(1):39–47.
- Ertrugul, N. (2000). Towards virtual laboratories: A survey of LabVIEW-based teaching/learning tools and future trends. *International Journal of Engineering Education*, 16(3):171–180.
- Espino, P., Rendón, J., Valdez, J., Davizón, Y., Nuñez, J., and Hinojosa, C. (2015). Design of a Labview Application for the Teaching of Mechanical Vibrations in a Mechatronics Engineering Program. *IEEE Latin America Transactions*, 13(7):2347–2355.
- Etkina, E. and Murthy, S. (2006). Using introductory labs to engage students in experimental design. pages 979–986.
- Feisel, L. and Rosa, A. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, (January).
- Globig, J. E. (2003). An Interdisciplinary, LabVIEW Based, Data Acquisition and Measurements Course. Technical report.
- Granja, T., Herrera, R., and Villamarín, S. (2008). “Implementación De Un Sistema De Entrenamiento Y Enseñanza Experimental Para Los Temas De Termodinámica Y Calorimetría Instrumentado Con Labview Para El Laboratorio Virtual De Física De La Universidad Técnica De Cotopaxi”.
- Gunawan, G., Nisrina, N., Suranti, N. M., Herayanti, L., and Rahmatiah, R. (2018). Virtual Laboratory to Improve Students’ Conceptual Understanding in Physics Learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1108(1).
- Interlink Technologies (2013). FSR 402 Data Sheet.

- Kuan, W. H., Tseng, C. H., Chen, S., and Wong, C. C. (2016). Development of a Computer-Assisted Instrumentation Curriculum for Physics Students: Using LabVIEW and Arduino Platform. *Journal of Science Education and Technology*.
- Llamas, C., González Delgado, M. Á., González Rebollo, M. Á., and Vegas, J. M. (2016). Improving the Physics Laboratory Experience Through Sensors on a Wireless Open Source Hardware and Software Platform. *ICERI2016 Proceedings*, 1:8120–8126.
- Ma, J. and Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories. *ACM Computing Surveys*, 38(3):7–es.
- Meer, D., Meer, D., and Bruijn, I. (2000). Using labview in physics simulations for educational purposes.
- Moreira, M. A. (2017). GRANDES DESAFIOS PARA O ENSINO DA FÍSICA NA EDUCAÇÃO CONTEMPORÂNEA. *Revista do Professor de Física*, 1(1):1–13.
- National Instruments (2010). NI myDAQ Device.
- National Instruments (2019). VirtualBench All-in-One Instrument VirtualBench All-in-One Instrument. pages 1–10.
- Oleagordia, I. J., Barrón, M., and San Martín, J. I. (2014). Platform for Testing and Measuring Based on Virtual Instrument. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 8(3):143–151.
- Petry, C. A., Pacheco, F. S., Lohmann, D., Correa, G. A., and Moura, P. (2016). Project teaching beyond Physics: Integrating Arduino to the laboratory. *Proceedings of 2016 Technologies Applied to Electronics Teaching, TAE 2016*.
- Said, A., Chavarria Lizarraga, N., Lizarraga Lizarraga, A., Espino Roman, P., Martinez Rayon, E., Olaguez Torres, E., and Davizon Castillo, Y. (2016). Development of an instrumented didactic prototype designed for the learning of the free fall impact dynamics. *IEEE Latin America Transactions*, 14(9):4121–4128.
- Shankar, B., Sarithlal, M. K., Sharat, S., Freeman, J., and Achuthan, K. (2013). Remote triggered virtual laboratory for Hooke's law using LabVIEW. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, pages 3729–3734.
- Stefanovic, M., Cvijetkovic, V., Matijevic, M., and Simic, V. (2011). A LabVIEW-based remote laboratory experiments for control engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*.
- Subali, B., Rusdiana, D., Firman, H., Kaniawati, I., and Ellianawati, E. (2017). Computer-based experiment of free fall movement to improve the graphical literacy. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 6(1):41–48.

- Tiernan, P. (2010). Computers & Education Enhancing the learning experience of undergraduate technology students with LabVIEW software. *Computers & Education*, 55(4):1579–1588.
- Tlaczala, W., Zagórski, A., and Zaremba, M. (2006). Distance learning with labview. *Educația*, 21:135–145.
- Vishay-Semiconductors (2004). Temt6000 Datasheet.
- Zwickl, B. M., Finkelstein, N., and Lewandowski, H. J. (2012). The Process of Transforming an Advanced Lab Course: Goals, Curriculum, and Assessments.

Apéndice A

Archivos de programas y diseños 3D

El proyecto de LabVIEW diseñado para utilizar la plataforma experimental y los diseños 3D en formato .stl y .obj se encuentran en la dirección <https://drive.google.com/drive/folders/1PupTb9VrYT-KWjlRoZlbMGeWJsos2VYv?usp=sharing> accediendo con una cuenta institucional de UABC.

Apéndice B

Encuesta: Uso de sensores en laboratorios de la UABC

8/12/2020

Uso de sensores en los laboratorios de física de la UABC

Uso de sensores en los laboratorios de física de la UABC

5 respuestas

[Publicar datos de análisis](#)

Escriba el nombre del curso que imparte:

5 respuestas

Laboratorio de Óptica

Laboratorio de Electricidad y Magnetismo

Física

Física térmica (°-°)

Laboratorio de Física

¿Cuáles instrumentos se utilizan en el curso? Osciloscopio, multímetro...

5 respuestas

Multímetros, interfases para computadora

multímetros, fuentes de voltage, kv y volts, electrometros

Celulares con aplicaciones



8/12/2020

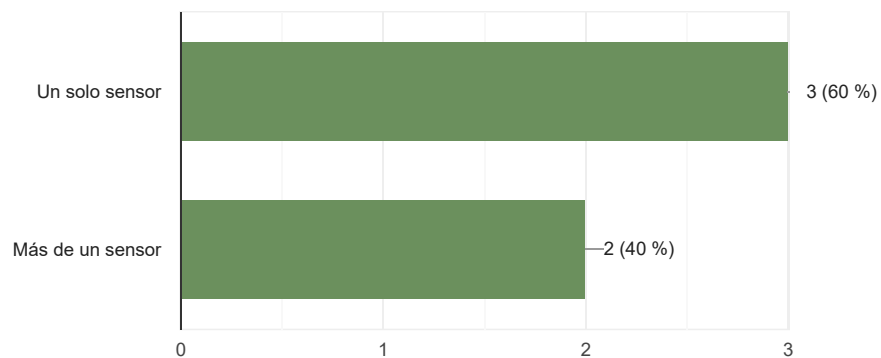
Uso de sensores en los laboratorios de física de la UABC

Multímetro, fuente de poder, termoplato, termómetro y distintos instrumentos de PASCO.

Interfaces y sensores

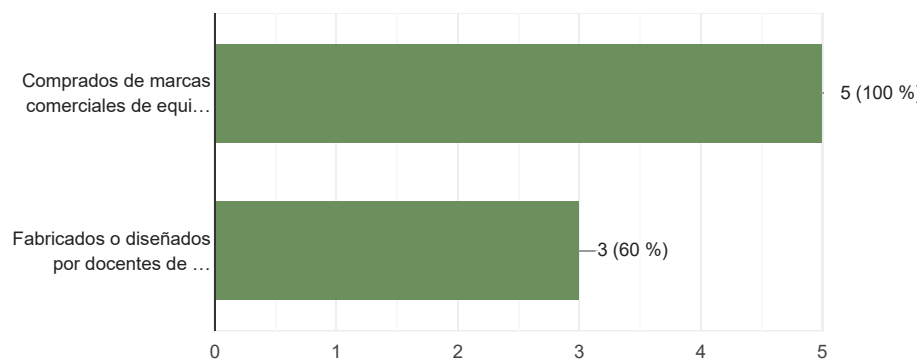
En su laboratorio se utilizan dispositivos que contienen ...

5 respuestas



Los dispositivos utilizados fueron:

5 respuestas



8/12/2020

Uso de sensores en los laboratorios de física de la UABC

En caso de ser adquiridos de marcas comerciales, por favor especifique cual/cuales

5 respuestas

PASCO

Sensor de luz Newport

pasco

Pasco

Favor de indicar las variables físicas que se miden en su laboratorio

5 respuestas

Intensidad de la luz

voltage, peso, distancia, resistencia, capacitancia

longitud, masa y tiempo

Temperatura, presión, volumen, radiación térmica, conducción térmica, conductividad térmica, dilatación térmica, capacidad calorífica.

POSICIÓN, VELOCIDAD, ACELERACIÓN, TEMPERATURA, FUERZA, ETC

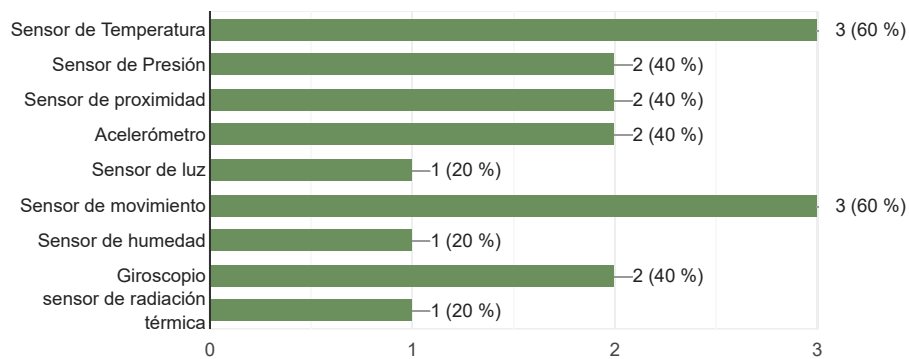


8/12/2020

Uso de sensores en los laboratorios de física de la UABC

Marque las opciones de los tipos de sensores utilizados actualmente en su laboratorio

5 respuestas



¿Considera que el equipo de instrumentación utilizado en el curso es el ideal o considera que requiere de nuevos instrumentos especializados?, en el segundo caso especifique que equipo se necesita:

3 respuestas

Es adecuado

Considero que hay que hacer adaptaciones para usarlo en conjunto con las TICs

ES NECESARIO MODERNIZAR

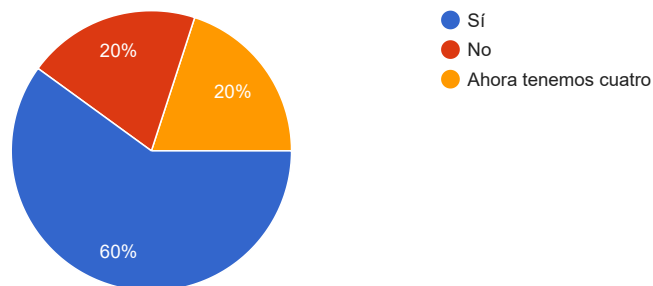


8/12/2020

Uso de sensores en los laboratorios de física de la UABC

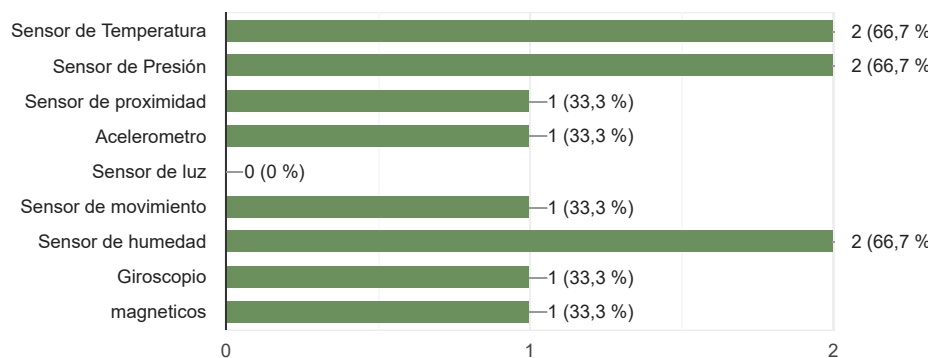
¿Considera que sería útil contar con instrumentos que utilicen computadoras para su control y adquisición de datos?

5 respuestas



Especifique que tipos de sensores serían de utilidad para su laboratorio, con los cuales no cuenta actualmente

3 respuestas



Si tiene algún comentario o propuestas de sensores no mencionadas anteriormente, favor de especificar

<https://docs.google.com/forms/d/1zYGDoDayJZ0OCVo24xxDaLHFDdUglK5ghcir-PpgOqg/viewanalytics>

8/12/2020

Uso de sensores en los laboratorios de física de la UABC

anteriormente, favor de especificar

1 respuesta

Tengo un proyecto vigente que consiste en usar celulares para medir variables físicas para la enseñanza de la Física en nivel universitario. Lo que pretenden hacer sería de gran impacto para las asignaturas básicas de física tanto en Marinas como en Ciencias

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google. [Notificar uso inadecuado](#) - [Términos del Servicio](#) - [Política de Privacidad](#)

Google Formularios



Apéndice C

Hoja de datos de sensor de temperatura

user mode



BCcomponents

Computation spreadsheet for VISHAY BC components of reference NTCC100/ NTCLE100 /NTCLE203 series

This program provides a Resistance table to function of the temperature, for the component series with P/N NTCC100 or NTCLE100, NTCLE203. with R25 values from 3.3 Ohm to 470 kOhm (old P/N 2381 640 0/3/4/5/6). The initial temperature of the table can be defined freely starting from -55 °C, and the step of temperature can be chosen between 0.1 °C and 10 °C. The maximum temperature will be fixed at 150 °C. The reference resistance and temperature values must be given (25 °C or other) as well as the resistance tolerance value. An exact B25/85 value corresponding to a selected R25 range taken from the table 1 below must be selected. If the reference resistance for the chosen B25/85 value is not within the given limits, the following error message will appear: "error : chosen Rref and B25/85 not compatible". Then use an adapted Rref and B25/85. Once the B25/85 value has been chosen, the spreadsheet will show the B25/85 tolerance and the Steinhart and Hart coefficients. In the user's mode, the example data are given for a NTCLE100E3103JB0 (10 kOhms at 25 °C, B25/85 = 3977 K). If the filled values are not valid, or if some values are missing, error messages will appear indicating what to do.

USER MODE

Go to the sheet "RTCOEF"
In the "RTCOEF" sheet :

Using the Tab key, complete the with the appropriate values (in the specified units)

Temperature step °C **MUST BE BETWEEN 0.1 °C and 10 °C**

Initial temperature °C **MUST BE BETWEEN -55 °C and 150 °C**

Reference temperature (Tref) °C **MUST BE BETWEEN -55 °C and 150 °C**

Rref (@ Tref) Ohm **Tref, Rref and B25/85 MUST BE COMPATIBLE**
example: Tref = 25 °C, Rref = 10000 Ohm, B25/85 = 3977 K

Rref tolerance at Tref. % **MUST BE ≥ 1%**

B25/85 selected from table 1 K **Tref, Rref and B25/85 MUST BE COMPATIBLE**
example: Tref = 25 °C, Rref = 10000 Ohm, B25/85 = 3977 K

table 1

number	B25/85 [K]	R ₂₅ [Ohm]		existing R ₂₅ values [Ohm]
		from	to	
1	2880	3.3	6.8	3.3, 4.7, 6.8
2	2990	10	10	10
3	3041	15	15	15
4	3136	22	22	22
5	3390	33	68	33, 47, 68
6	3528	750	3700	1000, 1500, 2000
7	3560	100	680	100, 220, 330, 470, 680
8	3740	6500	30000	12000, 15000, 22000
9	3977	2000	10000	2200, 2700, 3300, 4700, 5000, 6800, 10000
10	4090	20000	100000	33000, 47000
11	4190	33000	150000	68000, 100000
12	4370	76000	360000	150000, 220000
13	4570	180000	880000	330000, 470000



BCcomponents

Applicable : $\ln(R(T)/R_{25}) = A + B/T + C/T^2 + D/T^3$

laws

$$1/T = A1 + B1 \ln(R/R_{25}) + C1 [\ln(R/R_{25})]^2 + D1 [\ln(R/R_{25})]^3$$

$$\Delta R/R = (((1 + (\Delta R/R)_{\text{ref}}/100) \times (1 + (\Delta R/R)_{\text{bvalue}}/100)) - 1) \times 100$$

$$(\Delta R/R)_{\text{bvalue}} = \Delta B \times \text{abs}(1/T - 1/T_{\text{ref}}) \times 100$$

$$\Delta B = B25/85 \times (\text{tolerance on B25/85 in } \%) / 100$$

where abs means absolute value and T in kelvins (°C + 273.15)

material and B25/85		$\Delta B25/85(\%)$		A	B	C	D
mat A. with Bn=3977K		0.75	T ≤ 25 °C	-14.63371957	4791.8420	-115334	-3730535
			T > 25 °C	-14.63371957	4791.8420	-115334	-3730535
				A1	B1	C1	D1
			T ≤ 25 °C	0.003354016	0.0002569850	2.620131E-06	6.383091E-08
			T > 25 °C	0.003354016	0.0002569850	2.620131E-06	6.383091E-08

Temperature step °C

Initial temperature °C

Reference temperature °C

Resistance at Tref (selected from table 1) Ohm

Tolerance at Tref %

B25/85 selected from table 1 K



reference temperature:

25 °C

reference resistance value:

10000 Ohm

reference tolerance:

5 %

B25/85 value

3977 K

B25/85 value tolerance:

0.75 %

Temperature [°C]	R(T)/R ₂₅	Resistance [Ohm]	ΔR/R (%)	α [%/K]	ΔT [K]	Rmin [Ohm]	Rmax [Ohm]
-40.0	33.20935672	332093.568	7.93	-6.62	1.20	305763.446	358423.691
-39.0	31.09028680	310902.869	7.87	-6.57	1.20	286431.003	335374.736
-38.0	29.11961359	291196.137	7.81	-6.53	1.20	268440.883	313951.391
-37.0	27.28608669	272860.868	7.76	-6.48	1.20	251692.142	294029.594
-36.0	25.57936988	255793.700	7.70	-6.44	1.20	236091.972	275495.427
-35.0	23.98996208	239899.622	7.65	-6.39	1.20	221555.009	258244.235
-34.0	22.50912559	225091.257	7.59	-6.35	1.20	208002.692	242179.822
-33.0	21.12882081	211288.209	7.54	-6.31	1.20	195362.690	227213.728
-32.0	19.84164691	198416.470	7.48	-6.26	1.19	183568.376	213264.564
-31.0	18.64078776	186407.878	7.43	-6.22	1.19	172558.346	200257.411
-30.0	17.51996282	175199.629	7.38	-6.18	1.19	162275.982	188123.275
-29.0	16.47338222	164733.823	7.32	-6.14	1.19	152669.061	176798.585
-28.0	15.49570603	154957.061	7.27	-6.10	1.19	143689.383	166224.739
-27.0	14.58200694	145820.070	7.22	-6.06	1.19	135292.446	156347.694
-26.0	13.72773627	137277.363	7.17	-6.02	1.19	127437.142	147117.584
-25.0	12.92869303	129286.931	7.12	-5.98	1.19	120085.483	138488.379
-24.0	12.18099551	121809.956	7.07	-5.94	1.19	113202.344	130417.567
-23.0	11.48105544	114810.555	7.02	-5.90	1.19	106755.238	122865.871
-22.0	10.82555432	108255.544	6.97	-5.86	1.19	100714.101	115796.986
-21.0	10.21142179	102114.218	6.92	-5.82	1.19	95051.101	109177.335
-20.0	9.63581581	96358.158	6.87	-5.78	1.19	89740.459	102975.857
-19.0	9.09610455	90961.046	6.82	-5.75	1.19	84758.291	97163.801
-18.0	8.58984980	85898.498	6.77	-5.71	1.19	80082.455	91714.542
-17.0	8.11479176	81147.918	6.72	-5.67	1.19	75692.419	86603.417
-16.0	7.66883506	76688.351	6.68	-5.63	1.18	71569.132	81807.569
-15.0	7.25003604	72500.361	6.63	-5.60	1.18	67694.916	77305.806

Temperature [°C]	R(T)/R ₂₅	Resistance [Ohm]	ΔR/R (%)	α [%/K]	ΔT [K]	Rmin [Ohm]	Rmax [Ohm]
-14.0	6.85659096	68565.910	6.58	-5.56	1.18	64053.352	73078.468
-13.0	6.48682526	64868.253	6.53	-5.53	1.18	60629.191	69107.314
-12.0	6.13918366	61391.837	6.49	-5.49	1.18	57408.262	65375.411
-11.0	5.81222110	58122.211	6.44	-5.46	1.18	54377.391	61867.031
-10.0	5.50459435	55045.944	6.40	-5.42	1.18	51524.325	58567.562
-9.0	5.21505437	52150.544	6.35	-5.39	1.18	48837.665	55463.423
-8.0	4.94243922	49424.392	6.31	-5.35	1.18	46306.800	52541.984
-7.0	4.68566756	46856.676	6.26	-5.32	1.18	43921.852	49791.500
-6.0	4.44373268	44437.327	6.22	-5.28	1.18	41673.616	47201.038
-5.0	4.21569699	42156.970	6.18	-5.25	1.18	39553.520	44760.420
-4.0	4.00068692	40006.869	6.13	-5.22	1.18	37553.567	42460.171
-3.0	3.79788824	37978.883	6.09	-5.19	1.17	35666.305	40291.460
-2.0	3.60654177	36065.418	6.05	-5.15	1.17	33884.779	38246.057
-1.0	3.42593936	34259.394	6.00	-5.12	1.17	32202.499	36316.289
0.0	3.25542021	32554.202	5.96	-5.09	1.17	30613.405	34494.999
1.0	3.09436754	30943.675	5.92	-5.06	1.17	29111.840	32775.511
2.0	2.94220534	29422.054	5.88	-5.03	1.17	27692.517	31151.590
3.0	2.79839560	27983.956	5.84	-5.00	1.17	26350.495	29617.417
4.0	2.66243551	26624.355	5.80	-4.97	1.17	25081.155	28167.555
5.0	2.53385507	25338.551	5.76	-4.93	1.17	23880.177	26796.925
6.0	2.41221475	24122.148	5.72	-4.90	1.17	22743.518	25500.778
7.0	2.29710341	22971.034	5.68	-4.87	1.16	21667.395	24274.673
8.0	2.18813628	21881.363	5.64	-4.85	1.16	20648.268	23114.457
9.0	2.08495317	20849.532	5.60	-4.82	1.16	19682.819	22016.244
10.0	1.98721680	19872.168	5.56	-4.79	1.16	18767.941	20976.395
11.0	1.89461122	18946.112	5.52	-4.76	1.16	17900.720	19991.504
12.0	1.80684034	18068.403	5.48	-4.73	1.16	17078.428	19058.379
13.0	1.72362664	17236.266	5.44	-4.70	1.16	16298.502	18174.031
14.0	1.64470987	16447.099	5.40	-4.67	1.16	15558.541	17335.656
15.0	1.56984591	15698.459	5.36	-4.64	1.15	14856.291	16540.627
16.0	1.49880571	14988.057	5.33	-4.62	1.15	14189.635	15786.479
17.0	1.43137427	14313.743	5.29	-4.59	1.15	13556.587	15070.898
18.0	1.36734973	13673.497	5.25	-4.56	1.15	12955.280	14391.715
19.0	1.30654249	13065.425	5.22	-4.54	1.15	12383.959	13746.891
20.0	1.24877442	12487.744	5.18	-4.51	1.15	11840.977	13134.511
21.0	1.19387812	11938.781	5.14	-4.48	1.15	11324.784	12552.779
22.0	1.14169619	11416.962	5.11	-4.46	1.15	10833.921	12000.003
23.0	1.09208064	10920.806	5.07	-4.43	1.14	10367.017	11474.596
24.0	1.04489225	10448.923	5.04	-4.40	1.14	9922.782	10975.063
25.0	1.00000000	10000.000	5.00	-4.38	1.14	9500.000	10500.000
26.0	0.95728058	9572.806	5.04	-4.35	1.16	9090.803	10054.808
27.0	0.91661788	9166.179	5.07	-4.33	1.17	8701.453	9630.905
28.0	0.87790256	8779.026	5.10	-4.30	1.19	8330.886	9227.166
29.0	0.84103160	8410.316	5.14	-4.28	1.20	7978.102	8842.530
30.0	0.80590792	8059.079	5.17	-4.25	1.22	7642.159	8475.999
31.0	0.77243999	7724.400	5.21	-4.23	1.23	7322.170	8126.630
32.0	0.74054153	7405.415	5.24	-4.21	1.25	7017.296	7793.535
33.0	0.71013114	7101.311	5.27	-4.18	1.26	6726.749	7475.874
34.0	0.68113204	6811.320	5.31	-4.16	1.28	6449.785	7172.856
35.0	0.65347175	6534.718	5.34	-4.13	1.29	6185.701	6883.734
36.0	0.62708187	6270.819	5.37	-4.11	1.31	5933.835	6607.802
37.0	0.60189779	6018.978	5.41	-4.09	1.32	5693.561	6344.394
38.0	0.57785851	5778.585	5.44	-4.06	1.34	5464.290	6092.880
39.0	0.55490637	5549.064	5.47	-4.04	1.35	5245.463	5852.665
40.0	0.53298691	5329.869	5.50	-4.02	1.37	5036.553	5623.186
41.0	0.51204862	5120.486	5.54	-4.00	1.38	4837.062	5403.910
42.0	0.49204282	4920.428	5.57	-3.97	1.40	4646.521	5194.335
43.0	0.47292345	4729.235	5.60	-3.95	1.42	4464.484	4993.985
44.0	0.45464695	4546.469	5.63	-3.93	1.43	4290.530	4802.409
45.0	0.43717208	4371.721	5.66	-3.91	1.45	4124.262	4619.180
46.0	0.42045983	4204.598	5.69	-3.89	1.46	3965.302	4443.894
47.0	0.40447324	4044.732	5.72	-3.87	1.48	3813.295	4276.170
48.0	0.38917733	3891.773	5.75	-3.84	1.50	3667.902	4115.644
49.0	0.37453895	3745.389	5.78	-3.82	1.51	3528.805	3961.974
50.0	0.36052669	3605.267	5.81	-3.80	1.53	3395.701	3814.833
51.0	0.34711080	3471.108	5.84	-3.78	1.54	3268.303	3673.913
52.0	0.33426306	3342.631	5.87	-3.76	1.56	3146.339	3538.923
53.0	0.32195671	3219.567	5.90	-3.74	1.58	3029.551	3409.583
54.0	0.31016637	3101.664	5.93	-3.72	1.59	2917.696	3285.632
55.0	0.29886798	2988.680	5.96	-3.70	1.61	2810.541	3166.818
56.0	0.28803869	2880.387	5.99	-3.68	1.63	2707.868	3052.906
57.0	0.27765683	2776.568	6.02	-3.66	1.64	2609.467	2943.669
58.0	0.26770180	2677.018	6.05	-3.64	1.66	2515.141	2838.895
59.0	0.25815406	2581.541	6.08	-3.62	1.68	2424.702	2738.379
60.0	0.24899505	2489.951	6.10	-3.60	1.69	2337.972	2641.929
61.0	0.24020713	2402.071	6.13	-3.58	1.71	2254.781	2549.362
62.0	0.23177355	2317.735	6.16	-3.56	1.73	2174.968	2460.503
63.0	0.22367837	2236.784	6.19	-3.55	1.75	2098.381	2375.186
64.0	0.21590644	2159.064	6.22	-3.53	1.76	2024.874	2293.255

Temperature [°C]	R(T)/R ₂₅	Resistance [Ohm]	ΔR/R (%)	α [%/K]	ΔT [K]	Rmin [Ohm]	Rmax [Ohm]
65.0	0.20844338	2084.434	6.24	-3.51	1.78	1954.310	2214.558
66.0	0.20127548	2012.755	6.27	-3.49	1.80	1886.556	2138.954
67.0	0.19438972	1943.897	6.30	-3.47	1.81	1821.488	2066.307
68.0	0.18777369	1877.737	6.32	-3.45	1.83	1758.987	1996.487
69.0	0.18141560	1814.156	6.35	-3.44	1.85	1698.940	1929.372
70.0	0.17530421	1753.042	6.38	-3.42	1.87	1641.240	1864.844
71.0	0.16942883	1694.288	6.40	-3.40	1.88	1585.784	1802.793
72.0	0.16377927	1637.793	6.43	-3.38	1.90	1532.475	1743.111
73.0	0.15834584	1583.458	6.46	-3.37	1.92	1481.219	1685.697
74.0	0.15311927	1531.193	6.48	-3.35	1.94	1431.929	1630.456
75.0	0.14809078	1480.908	6.51	-3.33	1.95	1384.520	1577.295
76.0	0.14325195	1432.519	6.53	-3.31	1.97	1338.913	1526.126
77.0	0.13859478	1385.948	6.56	-3.30	1.99	1295.029	1476.867
78.0	0.13411165	1341.116	6.59	-3.28	2.01	1252.797	1429.436
79.0	0.12979526	1297.953	6.61	-3.26	2.03	1212.147	1383.758
80.0	0.12563867	1256.387	6.64	-3.25	2.04	1173.013	1339.761
81.0	0.12163526	1216.353	6.66	-3.23	2.06	1135.331	1297.374
82.0	0.11777869	1177.787	6.69	-3.21	2.08	1099.041	1256.533
83.0	0.11406294	1140.629	6.71	-3.20	2.10	1064.085	1217.174
84.0	0.11048224	1104.822	6.74	-3.18	2.12	1030.409	1179.236
85.0	0.10703108	1070.311	6.76	-3.17	2.14	997.960	1142.662
86.0	0.10370421	1037.042	6.78	-3.15	2.15	966.688	1107.397
87.0	0.10049661	1004.966	6.81	-3.13	2.17	936.544	1073.388
88.0	0.09740347	974.035	6.83	-3.12	2.19	907.485	1040.585
89.0	0.09442022	944.202	6.86	-3.10	2.21	879.464	1008.940
90.0	0.09154246	915.425	6.88	-3.09	2.23	852.442	978.407
91.0	0.08876602	887.660	6.90	-3.07	2.25	826.377	948.943
92.0	0.08608688	860.869	6.93	-3.06	2.27	801.233	920.505
93.0	0.08350121	835.012	6.95	-3.04	2.28	776.972	893.052
94.0	0.08100535	810.053	6.97	-3.03	2.30	753.559	866.548
95.0	0.07859579	785.958	7.00	-3.01	2.32	730.962	840.954
96.0	0.07626917	762.692	7.02	-3.00	2.34	709.148	816.235
97.0	0.07402228	740.223	7.04	-2.98	2.36	688.087	792.359
98.0	0.07185205	718.521	7.07	-2.97	2.38	667.750	769.291
99.0	0.06975554	697.555	7.09	-2.95	2.40	648.108	747.003
100.0	0.06772993	677.299	7.11	-2.94	2.42	629.135	725.464
101.0	0.06577251	657.725	7.13	-2.93	2.44	610.805	704.645
102.0	0.06388071	638.807	7.16	-2.91	2.46	593.094	684.520
103.0	0.06205204	620.520	7.18	-2.90	2.48	575.978	665.063
104.0	0.06028413	602.841	7.20	-2.88	2.50	559.435	646.247
105.0	0.05857471	585.747	7.22	-2.87	2.52	543.443	628.051
106.0	0.05692159	569.216	7.24	-2.86	2.54	527.982	610.450
107.0	0.05532269	553.227	7.27	-2.84	2.56	513.031	593.423
108.0	0.05377599	537.760	7.29	-2.83	2.58	498.571	576.949
109.0	0.05227958	522.796	7.31	-2.82	2.60	484.585	561.006
110.0	0.05083161	508.316	7.33	-2.80	2.62	471.055	545.577
111.0	0.04943031	494.303	7.35	-2.79	2.64	457.964	530.642
112.0	0.04807398	480.740	7.37	-2.78	2.66	445.296	516.183
113.0	0.04676100	467.610	7.39	-2.76	2.68	433.036	502.184
114.0	0.04548979	454.898	7.41	-2.75	2.70	421.168	488.627
115.0	0.04425886	442.589	7.44	-2.74	2.72	409.680	475.498
116.0	0.04306676	430.668	7.46	-2.72	2.74	398.556	462.779
117.0	0.04191211	419.121	7.48	-2.71	2.76	387.784	450.459
118.0	0.04079358	407.936	7.50	-2.70	2.78	377.351	438.521
119.0	0.03970990	397.099	7.52	-2.69	2.80	367.246	426.952
120.0	0.03865982	386.598	7.54	-2.67	2.82	357.456	415.741
121.0	0.03764218	376.422	7.56	-2.66	2.84	347.970	404.873
122.0	0.03665585	366.558	7.58	-2.65	2.86	338.779	394.338
123.0	0.03569972	356.997	7.60	-2.64	2.88	329.871	384.124
124.0	0.03477275	347.728	7.62	-2.62	2.90	321.236	374.219
125.0	0.03387394	338.739	7.64	-2.61	2.92	312.866	364.613
126.0	0.03300232	330.023	7.66	-2.60	2.94	304.750	355.296
127.0	0.03215696	321.570	7.68	-2.59	2.97	296.881	346.258
128.0	0.03133695	313.369	7.70	-2.58	2.99	289.249	337.490
129.0	0.03054144	305.414	7.72	-2.57	3.01	281.847	328.982
130.0	0.02976959	297.696	7.74	-2.55	3.03	274.667	320.725
131.0	0.02902062	290.206	7.76	-2.54	3.05	267.701	312.712
132.0	0.02829374	282.937	7.77	-2.53	3.07	260.941	304.933
133.0	0.02758822	275.882	7.79	-2.52	3.09	254.382	297.382
134.0	0.02690335	269.034	7.81	-2.51	3.11	248.016	290.051
135.0	0.02623845	262.384	7.83	-2.50	3.14	241.837	282.932
136.0	0.02559284	255.928	7.85	-2.49	3.16	235.839	276.018
137.0	0.02496590	249.659	7.87	-2.47	3.18	230.015	269.303
138.0	0.02435701	243.570	7.89	-2.46	3.20	224.360	262.780
139.0	0.02376558	237.656	7.91	-2.45	3.22	218.868	256.444
140.0	0.02319104	231.910	7.92	-2.44	3.25	213.534	250.287
141.0	0.02263285	226.328	7.94	-2.43	3.27	208.353	244.304
142.0	0.02209047	220.905	7.96	-2.42	3.29	203.320	238.489
143.0	0.02156339	215.634	7.98	-2.41	3.31	198.430	232.838

Apéndice D

Hoja de datos de sensor de luz



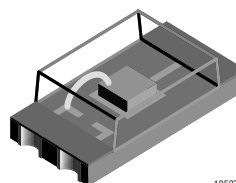
TEMT6000

Vishay Semiconductors

Ambient Light Sensor

Description

TEMT6000 is a silicon NPN epitaxial planar phototransistor in a miniature transparent mold for surface mounting onto a printed circuit board. The device is sensitive to the visible spectrum.



Features

- Adapted to human eye responsivity
- Wide angle of half sensitivity $\phi = \pm 60^\circ$
- SMD style package on PCB technology
- Suitable for IR reflow soldering
- Lead free component
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

Applications

Ambient light sensor for display backlight dimming in:

Mobile phones

Notebook computers

PDA's

Cameras

Dashboards

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Collector Emitter Voltage		V_{CEO}	6	V
Emitter Collector Voltage		V_{ECO}	1.5	V
Collector current		I_C	20	mA
Total Power Dissipation	$T_{amb} \leq 55^\circ\text{C}$	P_{tot}	100	mW
Junction Temperature		T_J	100	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range		T_{amb}	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t \leq 3\text{ s}$	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/ Ambient		R_{thJA}	450	K/W

TEMT6000

Vishay Semiconductors



Basic Characteristics

T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Collector Emitter Breakdown Voltage	I _C = 0.1 mA	V _{CEO}	6			V
Collector dark current	V _{CE} = 5 V, E = 0	I _{CEO}		3	50	nA
Collector-emitter capacitance	V _{CE} = 0 V, f = 1 MHz, E = 0	C _{CEO}		16		pF
Collector Light Current	E _v = 20 lx, standard light A	I _{ca}	3.5	10	16	μA
	E _v = 100 lx, standard light A	I _{ca}		50		μA
Angle of Half Sensitivity		φ		±60		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ _p		570		nm
Range of Spectral Bandwidth		λ _{0.1}		360 to 970		nm
Collector Emitter Saturation Voltage	E _v = 20 lx, 0.45 μA	V _{CEsat}		0.1		V

Typical Characteristics (T_{amb} = 25 °C unless otherwise specified)

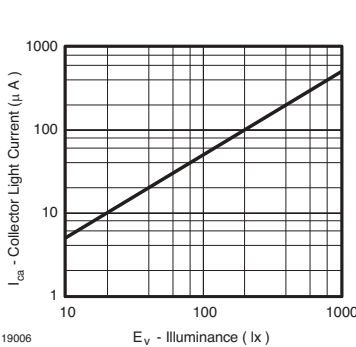


Figure 1. Collector Light Current vs. Illuminance

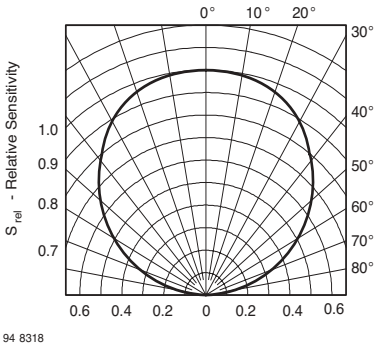


Figure 3. Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

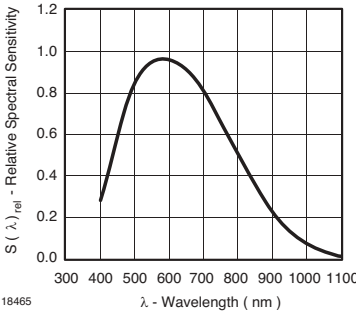


Figure 2. Relative Spectral Responsivity vs. Wavelength



TEMT6000

Vishay Semiconductors

Reflow Solder Profiles

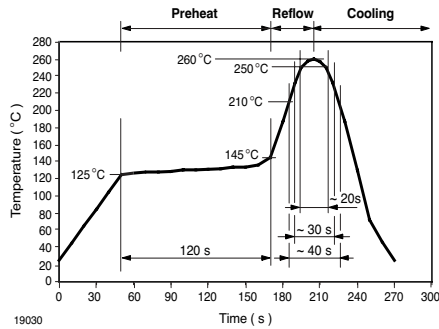


Figure 4. Lead-Free (Sn) Reflow Solder Profile

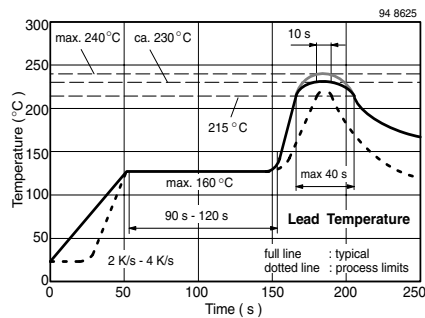


Figure 5. Lead Tin (SnPb) Reflow Solder Profile

Drying

In case of moisture absorption devices should be baked before soldering. Conditions see J-STD-020 or Label. Devices taped on reel dry using recommended conditions 192 h @ 40 °C (+ 5 °C), RH < 5 %

Drypack

Devices are packed in moisture barrier bags (MBB) to prevent the products from moisture absorption during transportation and storage. Each bag contains a desiccant.

Floor Life

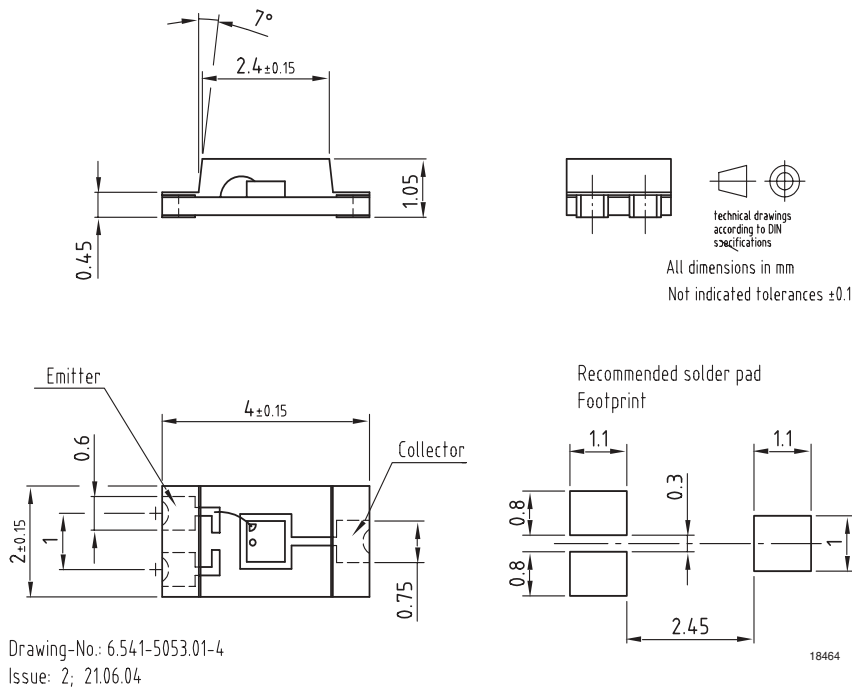
Floor life (time between soldering and removing from MBB) must not exceed the time indicated in J-STD-020. TEMT6000 is released for: Moisture Sensitivity Level 4, according to JEDEC, J-STD-020
Floor Life: 72 h
Conditions: $T_{amb} < 30\text{ °C}$, RH < 60 %

TEMT6000

Vishay Semiconductors



Package Dimensions in mm



**TEMT6000****Vishay Semiconductors****Ozone Depleting Substances Policy Statement**

It is the policy of **Vishay Semiconductor GmbH** to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODSs).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

Vishay Semiconductor GmbH has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

Vishay Semiconductor GmbH can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

**We reserve the right to make changes to improve technical design
and may do so without further notice.**

Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay Semiconductors products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay Semiconductors against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

Apéndice E

Hoja de datos de sensor de fuerza



FSR 402 Data Sheet

FSR 400 Series Round Force Sensing Resistor

Features and Benefits

- Actuation Force as low as 0.1N and sensitivity range to 10N.
- Easily customizable to a wide range of sizes
- Highly Repeatable Force Reading; As low as 2% of initial reading with repeatable actuation system
- Cost effective
- Ultra thin; 0.45mm
- Robust; up to 10M actuations
- Simple and easy to integrate

Industry Segments

- Game controllers
- Musical instruments
- Medical device controls
- Remote controls
- Navigation Electronics
- Industrial HMI
- Automotive Panels
- Consumer Electronics

Description

Interlink Electronics FSR™ 400 series is part of the single zone Force Sensing Resistor™ family. Force Sensing Resistors, or FSRs, are robust polymer thick film (PTF) devices that exhibit a decrease in resistance with increase in force applied to the surface of the sensor. This force sensitivity is optimized for use in human touch control of electronic devices such as automotive electronics, medical systems, and in industrial and robotics applications.

The standard 402 sensor is a round sensor 18.28 mm in diameter. Custom sensors can be manufactured in sizes ranging from 5mm to over 600mm. Female connector and short tail versions can also be ordered.

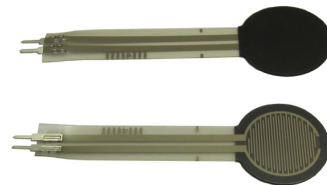


Figure 1 - Force Curve

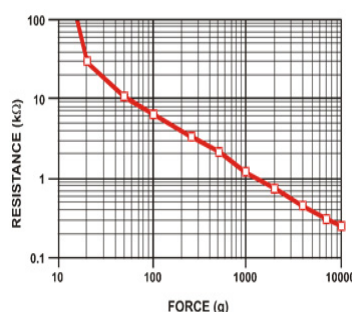
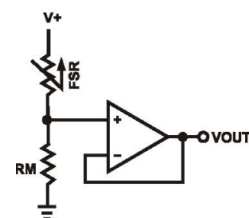


Figure 2 - Schematic



Interlink Electronics - Sensor Technologies

www.interlinkelectronics.com

Applications

Detect & qualify press

Sense whether a touch is accidental or intended by reading force

Use force for UI feedback

Detect more or less user force to make a more intuitive interface

Enhance tool safety

Differentiate a grip from a touch as a safety lock

Find centroid of force

Use multiple sensors to determine centroid of force

Detect presence, position, or motion

Of a person or patient in a bed, chair, or medical device

Detect liquid blockage

Detect tube or pump occlusion or blockage by measuring back pressure

Detect proper tube positioning

Many other force measurement applications

Device Characteristics

Feature	Condition	Value*	Notes
Actuation Force		0.1 Newtons	
Force Sensitivity Range		0.1 - 10.0 ² Newtons	
Force Repeatability ³	(Single part)	± 2%	
Force Resolution ³		continuous	
Force Repeatability ³	(Part to Part)	±6%	
Non-Actuated Resistance		10M W	
Size		18.28mm diameter	
Thickness Range		0.2 - 1.25 mm	
Stand-Off Resistance		>10M ohms	Unloaded, unbent
Switch Travel	(Typical)	0.05 mm	Depends on design
Hysteresis ³		+10%	$(R_{F+} - R_{F-})/R_{F+}$
Device Rise Time		<3 microseconds	measured w/steel ball
Long Term Drift		<5% per log ₁₀ (time)	35 days test, 1kg load
Temp Operating Range	(Recommended)	-30 - +70 °C	
Number of Actuations	(Life time)	10 Million tested	Without failure

* Specifications are derived from measurements taken at 1000 grams, and are given as one standard deviation / mean, unless otherwise noted.

1. Max Actuation force can be modified in custom sensors.
2. Force Range can be increased in custom sensors. Interlink Electronics have designed and manufactured sensors with operating force larger than 50Kg.
3. Force sensitivity dependent on mechanics, and resolution depends on measurement electronics.

Contact Us

United States Corporate Offices

Interlink Electronics, Inc.
546 Flynn Road
Camarillo, CA 93012, USA
Phone: +1-805-484-8855
Fax: +1-805-484-9457
Web: www.
interlinkelectronics.com
Sales and support:
fsr@interlinkelectronics.com

Japan

Japan Sales Office
Phone: +81-45-263-6500
Fax: +81-45-263-6501
Web: www.interlinkelec.co.jp

Korea

Korea Sales Office
Phone: +82 10 8776 1972

Application Information

FSRs are two-wire devices with a resistance that depends on applied force.

For specific application needs please contact Interlink Electronics support team. An integration guide is also available.

For a simple force-to-voltage conversion, the FSR device is tied to a measuring resistor in a voltage divider configuration (see Figure 3). The output is described by the equation:

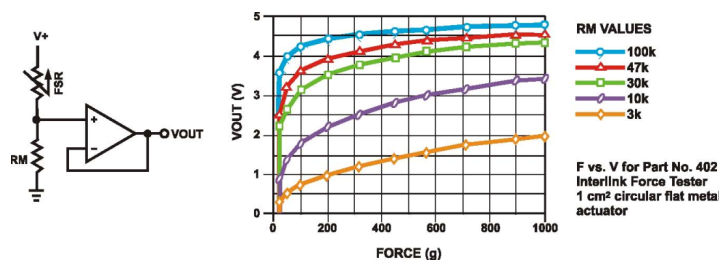
$$V_{OUT} = \frac{R_M V +}{(R_M + R_{FSR})}$$

In the shown configuration, the output voltage increases with increasing force. If R_{FSR} and R_M are swapped, the output swing will decrease with increasing force.

The measuring resistor, R_M , is chosen to maximize the desired force sensitivity range and to limit current. Depending on the impedance requirements of the measuring circuit, the voltage divider could be followed by an op-amp.

A family of force vs. V_{OUT} curves is shown on the graph below for a standard FSR in a voltage divider configuration with various R_M resistors. A (V+) of +5V was used for these examples.

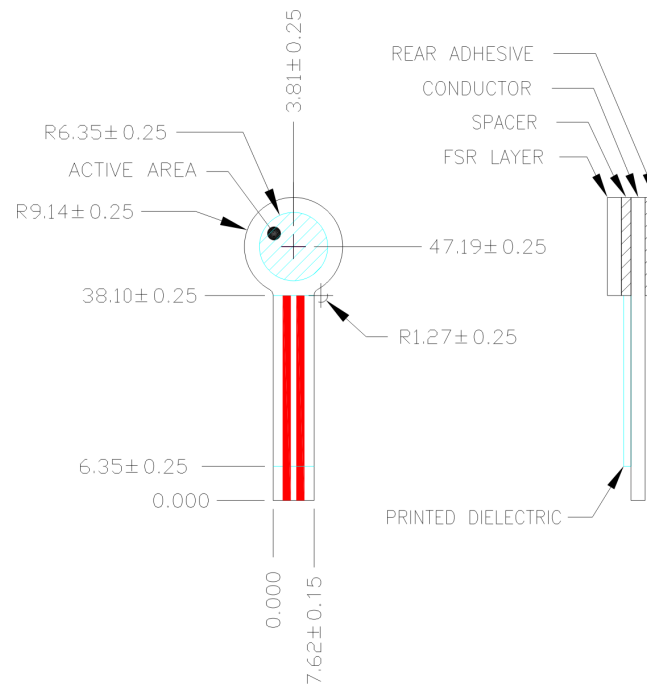
Figure 3



Part No. 402

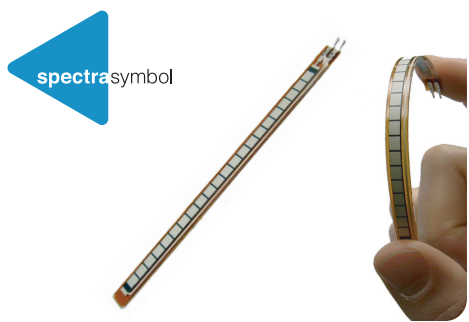
- Active Area: 12.7mm
- Nominal thickness: 0.55 mm

Mechanical Data



Apéndice F

Hoja de datos de sensor de ángulo



FLEX SENSOR FS

Features

- Angle Displacement Measurement
- Bends and Flexes physically with motion device
- Possible Uses
 - Robotics
 - Gaming (Virtual Motion)
 - Medical Devices
 - Computer Peripherals
 - Musical Instruments
 - Physical Therapy
- Simple Construction
- Low Profile

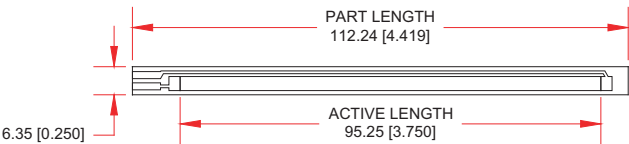
Mechanical Specifications

- Life Cycle: >1 million
- Height: ≤0.43mm (0.017")
- Temperature Range: -35°C to +80°C

Electrical Specifications

- Flat Resistance: 10K Ohms
- Resistance Tolerance: ±30%
- Bend Resistance Range: 60K to 110K Ohms
- Power Rating : 0.50 Watts continuous. 1 Watt Peak

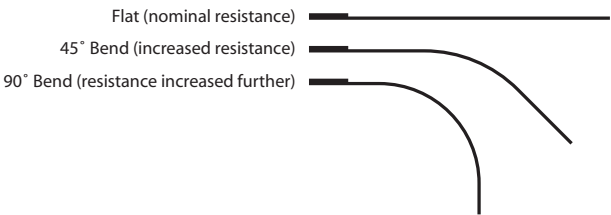
Dimensional Diagram - Stock Flex Sensor



How to Order - Stock Flex Sensor

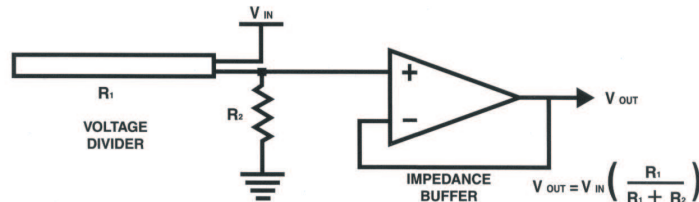
FS	—	L	—	0095	—	103	—	ST
Series		Model		Active Length		Resistance		Connectors
FS = Flex Sensor		L = Linear		0095 = 95.25mm		103 = 10 KOhms		ST = Solder Tab

How It Works



Schematics

BASIC FLEX SENSOR CIRCUIT:

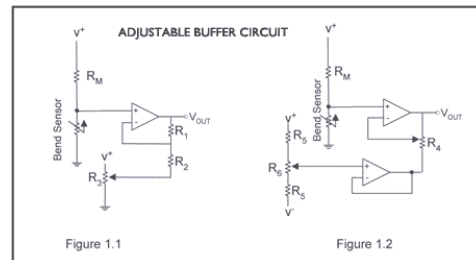


Following are notes from the ITP Flex Sensor Workshop

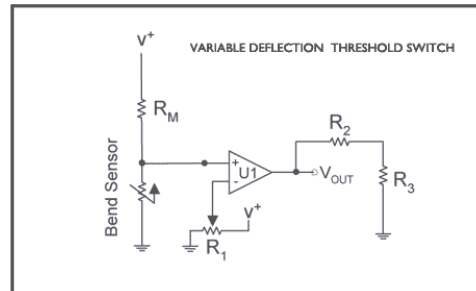
"The impedance buffer in the [Basic Flex Sensor Circuit] (above) is a single sided operational amplifier, used with these sensors because the low bias current of the op amp reduces error due to source impedance of the flex sensor as voltage divider. Suggested op amps are the LM358 or LM324."

"You can also test your flex sensor using the simplest circuit, and skip the op amp."

"**Adjustable Buffer** - a potentiometer can be added to the circuit to adjust the sensitivity range."



"**Variable Deflection Threshold Switch** - an op amp is used and outputs either high or low depending on the voltage of the inverting input. In this way you can use the flex sensor as a switch without going through a microcontroller."



"**Resistance to Voltage Converter** - use the sensor as the input of a resistance to voltage converter using a dual sided supply op-amp. A negative reference voltage will give a positive output. Should be used in situations when you want output at a low degree of bending."

