



**Diseño e implementación de un módulo didáctico de sensores industriales,
utilizando sistemas embebidos, para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de
redes industriales y control de procesos.**

Jiménez Caicedo, Leydi Marina

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación

**Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica e
Instrumentación**

Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl

14 de octubre del 2020

Latacunga



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño e implementación de un módulo didáctico de sensores industriales, utilizando sistemas embebidos, para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de redes industriales y control de procesos.”**, fue realizado por la señorita **Jiménez Caicedo, Leydi Marina**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de octubre del 2020

Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl

C.C.: 0501156061

REPORTE URKUND



Document Information

Analyzed document	JIMÉNEZ_CAICEDO_LEYDI_MARINA.docx (D81647329)
Submitted	10/14/2020 4:59:00 PM
Submitted by	Ávila Rosero Galo Raúl
Submitter email	gravila@espe.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	gravila.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / HERRERA.W.CAP2.docx Document HERRERA.W.CAP2.docx (D12994407) Submitted by: w_asca@hotmail.com Receiver: drivas.espe@analysis.arkund.com		1
W	URL: https://docplayer.es/82185587-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html Fetched: 6/17/2020 9:44:40 AM		1
W	URL: https://mielectronicafacil.com/analogica/amplicador-sumador-inversor/#page-conte ... Fetched: 10/14/2020 5:02:00 PM		1

Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl

C.C.: 0501156061



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Jiménez Caicedo, Leydi Marina** con cédula de ciudadanía N°0550005771 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un módulo didáctico de sensores industriales, utilizando sistemas embebidos, para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de redes industriales y control de procesos.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 14 de octubre del 2020

Jiménez Caicedo, Leydi Marina

C.C.: 0550005771



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Jiménez Caicedo, Leydi Marina** con cédula de ciudadanía N° 0550005771 autorizó a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“Diseño e implementación de un módulo didáctico de sensores industriales, utilizando sistemas embebidos, para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de redes industriales y control de procesos.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 14 de octubre del 2020

Jiménez Caicedo, Leydi Marina

C.C.: 0550005771

DEDICATORIA

Este trabajo previo a la culminación de mi carrera universitaria, se lo quiero dedicar a toda mi familia, en especial a mi madre Marina Caicedo la cual me ha sabido dar su amor y apoyo en el transcurso de mis estudios y ha puesto mi bienestar por encima del suyo, ella es mi orgullo como madre, hija y hermana.

A mi hermano Gustavo con quién he compartido buenos y malos momentos, y es por quién trato de ser mejor persona cada día.

Los amo demasiado.

Leydi Marina Jiménez Caicedo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y la Virgen por darme la salud y siempre estar presentes en mi vida, por la salud de mi familia y el permitirme culminar con esta meta propuesta.

A mis padres por darme la vida y brindarme su apoyo, en especial a mi madre Marina por todos los sacrificios que ha hecho por mi hermano y por mí, por el apoyo incondicional en los buenos y malos momentos de mi etapa universitaria.

A mis abuelitos Marcelo Caicedo y Luz Velasque los cuales son el pilar fundamental en mi vida, gracias por su amor, su tiempo, su apoyo, sus cuidados y sus consejos. Los amo con todo mi corazón.

Gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas por abrirme sus puertas y a mis docentes por los conocimientos y valores impartidos.

Agradezco al Ingeniero Galo Ávila y al Ingeniero Edwin Pruna por su apoyo y el saber guiarme en la culminación de este trabajo de titulación.

Leydi Marina Jiménez Caicedo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	1
CERTIFICACIÓN	2
REPORTE URKUND	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	13
ÍNDICE DE ECUACIONES	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	16
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Antecedentes	16
1.3. Justificación e importancia.....	17
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo General	17
1.4.2. Objetivos Específicos	18
1.5. Variables de la Investigación	18
1.5.1. Variable Independiente.....	18
1.5.2. Variable Dependiente	18
1.6. Hipótesis.....	18
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes investigativos	20
2.2. Sistemas Embebidos	20
2.3. Sensor	21
2.4. Sensor ultrasónico	22

2.5.	Sensor capacitivo	22
2.6.	Sensor inductivo.....	23
2.7.	Sensores fotoeléctricos.....	24
2.7.1.	Sensor fotoeléctrico de barrera	25
2.7.2.	Sensor Retroreflectivo	26
2.7.3.	Sensor fotoeléctrico difuso	27
2.8.	Termopar	28
2.9.	RTD	28
2.10.	Encoder incremental.....	29
2.11.	Pantalla táctil Nextion.....	30
2.12.	Amplificador de instrumentación	31
2.13.	Amplificador Operacional	32
2.14.	Arduino.....	35
2.15.	Motor DC.....	36

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	38	
3.1.	Representación gráfica del módulo didáctico.....	38
3.2.	Diseño y elaboración de la estructura del módulo didáctico	40
3.3.	Diseño del panel frontal	43
3.4.	Diseño electrónico de la placa	44
3.5.	Acondicionamiento de RTD- PT100	45
3.6.	Acondicionamiento Termopar tipo K.....	51
3.7.	Diseño del HMI.....	59
3.7.1.	Pantalla principal.....	59
3.7.2.	Menú de selección de sensores	60
3.7.3.	Página de sensores discretos	61
3.7.4.	Sensores de temperatura	63
3.7.5.	Sensor Ultrasónico.....	63
3.7.6.	Encoder.....	64
3.7.7.	Cargar el HMI a la pantalla Nextion	65
3.8.	Programación Arduino y pantalla Nextion	68
3.8.1.	Comunicación Arduino - Pantalla Nextion.....	68
3.8.2.	Lectura de entradas discretas	69

3.8.3.	Lectura de señales analógicas	69
3.8.4.	Sensores de temperatura en Arduino	70
3.8.5.	Indicadores del panel frontal	70
3.9.	Configuración sensor retroreflectivo SME312LPC.....	70
3.10.	Configuración del sensor de barrera QS18VN6R.....	71
3.11.	Configuración del sensor difuso QS30LDL.....	72
3.12.	Configuración del sensor ultrasónico U-GAGE T30UIPAQ.....	74
3.13.	Configuración del sensor capacitivo LJC18A3-B-Z/BX	75
3.14.	Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BY	76
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS OBTENIDOS		77
4.1.	Respuesta sensores discretos.....	77
4.1.1.	Sensor retroreflectivo	78
4.1.2.	Sensor de barrera	79
4.1.3.	Sensor difuso	81
4.1.4.	Sensor inductivo	83
4.1.5.	Sensor Capacitivo.....	84
4.2.	Sensor ultrasónico	86
4.3.	Encoder	87
4.4.	RTD y Termopar.....	89
4.5.	Alcances	91
4.6.	Limitaciones	91
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		93
5.1.	Conclusiones.....	93
5.2.	Recomendaciones	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		95
ANEXOS.....		99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sensor ultrasónico	22
Figura 2 Sensor capacitivo	23
Figura 3 Sensor inductivo	24
Figura 4 Sensor de barrera.....	25
Figura 5 Sensor fotoeléctrico retroreflectivo.....	26
Figura 6 Sensor fotoeléctrico difuso	27
Figura 7 Sensor termopar	28
Figura 8 Sensor de temperatura RTD	29
Figura 9 Encoder incremental.....	30
Figura 10 Pantalla táctil Nextion	31
Figura 11 Amplificador de instrumentación ad620.....	32
Figura 12 Amplificador inversor	33
Figura 13 Amplificador no inversor	34
Figura 14 Amplificador sumador inversor.....	35
Figura 15 Tarjeta Arduino	36
Figura 16 Partes de un motor DC.....	37
Figura 17 Representación gráfica general del módulo didáctico.....	39
Figura 18 Dimensiones de la estructura.....	41
Figura 19 Estructura interna metálica.....	42
Figura 20 Construcción de la estructura.....	42
Figura 21 Módulo didáctico prototipo 3D.....	43
Figura 22 Etiquetas de conexión para cada sensor.....	44
Figura 23 Diseño de la placa, (a) Isis (b) Ares	45
Figura 24 Puente de Wheatstone y AD620.....	46
Figura 26 Diseño del amplificador no inversor	49
Figura 27 Circuito electrónico del acondicionamiento de la PT100.....	51
Figura 28 Amplificación de voltaje del Termopar	52
Figura 29 Diseño de compensación con un sensor LM35.....	53
Figura 30 Gráfica del V_{out} con respecto al V_{in}	54
Figura 31 Diseño del amplificador operacional sumador no inversor.....	56
Figura 32 Gráfica del V_{out} con respecto al V_{in}	56

Figura 33	Diseño del acondicionamiento de un termopar tipo K	58
Figura 34	Pantalla inicial en Nextion	60
Figura 35	Página de selección de sensores	61
Figura 36	Sub menú de sensores discretos	62
Figura 37	Sensor fotoeléctrico de barrera	62
Figura 38	Página de la RTD y termopar	63
Figura 39	Página del sensor ultrasónico	64
Figura 40	Página de funcionamiento del encoder	65
Figura 41	Conexión de la pantalla a Arduino	66
Figura 42	Compilación del HMI en Nextion	66
Figura 43	Cargar el HMI	67
Figura 44	Elegir el puerto de comunicación	67
Figura 45	HMI cargado en la pantalla Nextion	68
Figura 46	Conexión del sensor retroreflectivo	71
Figura 47	Conexión del sensor de barrera receptor y emisor	72
Figura 48	Conexión del sensor difuso	74
Figura 49	Conexión para el sensor ultrasónico	75
Figura 50	Conexión del sensor capacitivo	75
Figura 51	Conexión del sensor inductivo	76
Figura 52	Salida sin objeto (a) Indicador panel (b) Indicador pantalla	78
Figura 53	Salida con objeto (a) Indicador panel (b) Indicador pantalla	79
Figura 54	Salida objeto altamente reflectante (a) Indicador pantalla (b) Indicador panel	80
Figura 55	Salida objeto de bajo contraste (a) Indicador pantalla (b) Indicador panel	81
Figura 56	Salida con un cubo de color azul	82
Figura 57	Salida con el cubo de color rojo	83
Figura 58	Detección del sensor capacitivo	85
Figura 59	Indicador del sensor ultrasónico	86
Figura 60	Página de ejecución del sensor ultrasónico	87
Figura 61	Estado activado del encoder	88
Figura 62	Página del encoder en Nextion	88
Figura 63	Valor de referencia para indicadores	89
Figura 64	Termopar en estado OFF	90
Figura 65	Gráfica de tendencias de la pt100 y del termopar	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventana de contrastes	73
Tabla 2 Materiales de la ruleta giratoria.....	84
Tabla 3 Materiales de la ruleta que detecta el sensor capacitivo	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Voltaje de salida respecto al voltaje de entrada, recta 1	48
Ecuación 2 Voltaje de salida respecto al voltaje de entrada, recta 2	54
Ecuación 3 Voltaje de salida respecto al voltaje de entrada, recta 3	57

RESUMEN

Se realizó el diseño e implementación de un módulo didáctico con la integración de varios sensores industriales tales como: inductivo, capacitivo, encoder, ultrasónico, RTD, termocupla y sensores fotoeléctricos (barrera, retroreflectivo, y difuso), para prácticas de laboratorio enfocadas a la enseñanza de sensores industriales, y de esta manera profundizar el conocimiento acerca de las principales características de cada uno de los sensores. El proyecto se resume en la construcción de la estructura física, la instalación de sensores, el acondicionamiento de señales, la programación del sistema embebido y el diseño del HMI a través de la pantalla táctil Nextion. Para la visualización del estado de cada sensor se utiliza una interfaz gráfica amigable e intuitiva con el usuario, la cual proporciona información de sus características y funcionamiento. También se implementó una banda transportadora para los sensores fotoeléctricos y encoder con el fin de simular la disposición de los mismos en la industria, un horno que alcanza una temperatura máxima de 52° centígrados para la RTD y el termopar, y una ruleta de distintos materiales para comprobación de los sensores inductivo y capacitivo. Finalmente, para la aplicación del sensor ultrasónico se implementó un mecanismo a través de un servomotor que permite variar el nivel de una base plástica.

PALABRAS CLAVE:

- **SENSORES INDUSTRIALES**
- **SISTEMA EMBEBIDO**
- **PANTALLA NEXTION**
- **MÓDULO DIDÁCTICO**

ABSTRACT

The design and implementation of a didactic module was carried out with the integration of several industrial sensors such as inductive, capacitive, encoder, ultrasonic, RTD, thermocouple, and photoelectric sensors (barrier, retroreflective, and diffuse). The didactic module is intended to the teaching industrial sensors and laboratory practices in order to deepen the knowledge about the main characteristics of them. The project is summarized in the construction of the physical structure, installation of sensors, signal conditioning, programming of the embedded system, and design of the HMI through the Nextion touch screen. To display the status of each sensor, a user-friendly and intuitive graphical interface is used and it provides information on its characteristics and operation. A conveyor belt for the photoelectric sensors and encoder was also implemented in order to simulate their arrangement in the industry. The simulation recreates an oven that reaches a maximum temperature of 52 ° C for the RTD and the thermocouple. It also simulates a roulette wheel with different materials for testing inductive and capacitive sensors. Finally, for the application of the ultrasonic sensor, a mechanism was implemented through a servomotor that allows the level of a plastic base to be varied.

KEYWORDS:

- **INDUSTRIAL SENSORS**
- **EMBEDDED SYSTEM**
- **NEXTION SCREEN**
- **DIDACTIC MODULE**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, no cuenta con módulos didácticos enfocados al aprendizaje de instrumentación y sensores industriales, como son: ultrasónico, capacitivo, inductivo, termopar, RTD, y fotoeléctricos (barrera, retro reflectivo, difuso), lo que limita profundizar el conocimiento acerca del principio de funcionamiento y aplicaciones de los elementos antes mencionados que interactúan directamente con las variables físicas en control de procesos y automatización industrial; en este contexto, la enseñanza a través de módulos didácticos para prácticas de laboratorio integra la parte teórica con la práctica logrando la óptima formación de profesionales en cuanto a instrumentación de sensores.

1.2. Antecedentes

La instrumentación electrónica es parte fundamental de los procesos industriales, y se define como el conjunto de elementos, equipos y dispositivos que se utilizan para medir, convertir, transmitir y registrar variables de un proceso con el fin de controlar y mantener su funcionamiento de manera óptima, a través de la correcta manipulación y aplicación de los elementos que interactúan con variables físicas tales como: nivel, temperatura, presencia, etc. Al implementar módulos didácticos que representen casos

típicos de procedimientos industriales se realiza el entrenamiento general a estudiantes en lo que corresponde a control automático, instrumentación electrónica e instrumentación virtual. (Altamirano & Méndez, 2016)

En la actualidad la instrumentación, tiene relevancia en el sector industrial y comercial, ya que brinda la posibilidad de contar con equipos de detección de señales, toma de decisiones, control industrial que requiere en gran medida la interacción, y visualización en el entorno donde se encuentre un fenómeno a medir. (Vargas Guativa et al., 2015)

1.3. Justificación e importancia

En el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos se realizan prácticas enfocadas a instrumentación, automatización, redes industriales, etc., por esta razón es fundamental adquirir conocimientos sólidos del principio de funcionamiento y correcto uso de los sensores industriales, con el fin de lograr un aprendizaje óptimo y formar profesionales capacitados para la solución de problemas industriales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar e implementar un módulo didáctico de sensores industriales, utilizando sistemas embebidos, para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar los diferentes módulos didácticos que existen en la comunidad científica para aprendizaje de instrumentación industrial, de igual forma conocer el principio de funcionamiento y características de los sensores industriales.
- Diseñar e implementar el módulo didáctico a través de la instalación de sensores, acondicionamiento de señales, y programación del sistema embebido, para la visualización de forma local de cada una de las variables.
- Validar el funcionamiento del módulo didáctico mediante pruebas experimentales.
- Realizar guías para el desarrollo de prácticas en instrumentación y sensores industriales, en el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos.

1.5. Variables de la Investigación

1.5.1. Variable Independiente

Módulo didáctico

1.5.2. Variable Dependiente

Desarrollo de prácticas

1.6. Hipótesis

¿El módulo didáctico de sensores industriales a través de un sistema embebido, mediante el desarrollo de prácticas, permitirá un eficaz proceso de enseñanza y

aprendizaje en instrumentación y sensores industriales, en el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Un módulo didáctico se constituye de diferentes partes pedagógicas para el aprovechamiento académico de los estudiantes, así también para la formación de ingenieros, los procesos y procedimientos industriales en la actualidad debe ser eficaz, abarcando contenidos en el área de instrumentación (Vargas Guativa et al., 2015).

Entre varias investigaciones existentes, se puede mencionar: (Vargas Guativa et al., 2015), elaboraron un módulo para prácticas de instrumentación electrónica en el cual se implementó amplificadores operacionales, filtrado de señales, electrónica digital, contadores binarios y visualización de la señal. También, (Altamirano & Méndez, 2016) diseñaron e implementaron varios módulos para reforzar conocimientos en las materias de control automático, instrumentación electrónica e instrumentación industrial, con una adecuada clasificación de dispositivos electrónicos.

2.2. Sistemas Embebidos

Wilmshurst (2003) afirma: “Un sistema embebido es un método cuya función principal no es computacional, pero es controlado por un computador integrado. Este computador puede ser un microcontrolador o un microprocesador. La palabra embebido implica que se encuentra dentro del sistema general, oculto a la vista, y forma parte de un todo de mayores dimensiones”.

Los sistemas embebidos suelen ser de bajo costo, tamaño pequeño, buen desempeño en tiempo real para procesar datos, y además consumir un mínimo de energía para hacer uso eficiente de las baterías o prevenir el daño de elementos por la generación de calor.

Además, un sistema embebido generalmente consta de tres componentes:

1. Hardware.
2. Software.
3. Sistema operativo (Pérez, 2009)

2.3. Sensor

El sensor es un dispositivo diseñado para convertir una magnitud física en una señal eléctrica la cual después es procesada y así generar una acción predeterminada

Los sensores industriales adoptan una estructura general que se componen de tres etapas:

1. Sensor o captador. Realiza la conversión de una magnitud física en una magnitud eléctrica.
2. Tratamiento de la señal. Puede o no existir, se encarga del filtrado, amplificación y comparación de la señal a través de circuitos electrónicos.
3. Salida. La constituyen los circuitos de amplificación, conversión o conmutación necesarios en la señal de salida (Velásquez, n.d.)

2.4. Sensor ultrasónico

El sensor ultrasónico (Figura 1) detecta objetos de distinto material ya sean sólidos o líquidos mediante ondas de sonido y sin necesidad de contacto físico, son ideales para la detección de objetos: transparentes, brillantes o no reflectivos, que pueden resultar difíciles de detectar con otros tipos de sensores , (Automation, 2016).

Figura 1

Sensor ultrasónico



Nota: En esta imagen se muestra uno de los diferentes tipos de sensores ultrasónicos que existen en el mercado. (Banner, 2020)

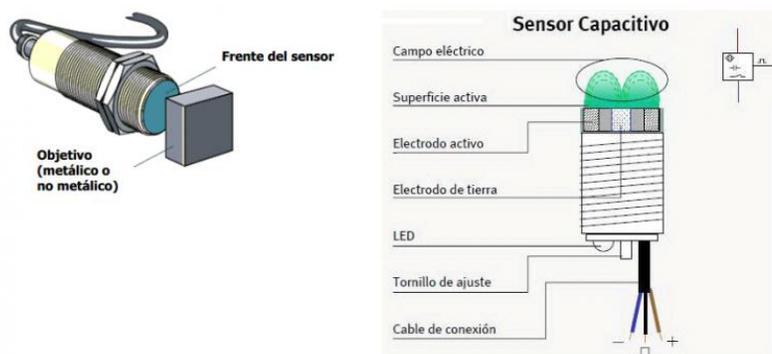
2.5. Sensor capacitivo

Un sensor capacitivo (Figura 2) es un dispositivo que opera sin contacto físico con el material, principalmente para la detección de materiales dieléctricos como plástico, líquidos, materiales granulados, etc., la constante dieléctrica se altera y a la vez la

capacitancia, internamente causa oscilaciones las cuales son convertidas a un nivel de tensión, y es lo que se lee de los terminales de los sensores capacitivos (Niño & Diaz, 2010).

Figura 2

Sensor capacitivo



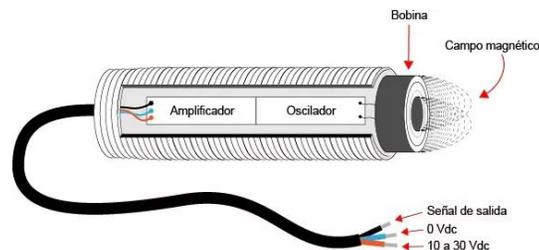
Nota: Partes que conforman un sensor capacitivo. (Wikifav, 2012)

2.6. Sensor inductivo

El sensor inductivo (Figura 3) es un dispositivo que se utiliza para detectar la presencia de objetos metálicos, ya que en su interior existe una bobina eléctrica la cual forma un campo magnético, en su salida consiste en una etapa transistorizada que puede ser de dos tipos, PNP o NPN (Rubio, 2013).

Figura 3

Sensor inductivo



Nota: El sensor inductivo está conformado internamente, por un oscilador transistorizado y en la cabeza del sensor una bobina. (Contaval, 2017)

2.7. Sensores fotoeléctricos

Son componentes que se accionan al momento de abrir o al cerrar un circuito eléctrico por medio de un haz de luz y un elemento fotosensible, para así poder detectar la presencia o ausencia de diferentes objetos siempre y cuando el haz de luz sea interrumpido.

Un sensor fotoeléctrico consta de leds infrarrojos y luz modulada, ya que de esta manera genera una gran inmunidad a otras formas de luz, una alta velocidad de respuesta, y una vida útil ilimitada. Además, este tipo de sensores también pueden detectar característica del objeto como tamaño, color, reflectividad y si este se encuentra en la misma posición (Hernández et al., 2002).

2.7.1. Sensor fotoeléctrico de barrera

El emisor y el receptor se encuentran por separado (Figura 4) y deben posicionarse opuestos entre sí, para que la luz del emisor incida sobre el receptor, este tipo de sensor se utiliza para objetos no transparentes, o reflectantes, ya que emite un alto nivel de energía óptica.

Se usan para detectar objetos pequeños, posicionar piezas y el conteo de partes (Hernández et al., 2002).

Figura 4

Sensor de barrera



Nota: En la imagen se puede observar que se deben colocar verticalmente. (infoPLC, 2013)

2.7.2. Sensor Retroreflectivo

El emisor y el receptor se encuentra en la misma cápsula (Figura 5), el primero emite un haz de luz al segundo gracias al elemento reflector, al momento de interrumpir este haz de luz con el objeto ya sea por sombra o bloqueo, el sensor se activa.

La alineación del sensor retroreflectivo se realiza de la siguiente manera; Apuntar el sensor frente al elemento reflector, de manera que este quede centrado verticalmente y no necesariamente perpendicular al lente óptico del mismo, una de sus desventajas es que tiene menor alcance que un sensor de barrera (Hernández et al., 2002).

Figura 5

Sensor fotoeléctrico retroreflectivo



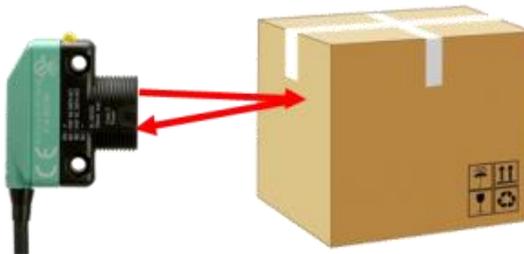
Nota: El sensor retroreflectivo tiene un tamaño compacto, además se lo puede colocar en una pared con su respectivo soporte. (Seco-Larm, n.d.)

2.7.3. Sensor fotoeléctrico difuso

Un sensor fotoeléctrico difuso (Figura 6), está compuesto por un emisor y un receptor que se encuentran en la misma cápsula, el objeto es detectado cuando este se coloca en dirección con el haz de luz del emisor y así retornando una parte hacia el receptor. La detección se origina de un solo punto, es por ello que su instalación es sencilla y sin necesidad de un reflector, el objeto debe ser altamente reflectivo y tener una gran área de dispersión, además tiene menor alcance por lo tanto no se recomienda para objetos pequeños (Hernández et al., 2002).

Figura 6

Sensor fotoeléctrico difuso



Nota: Este tipo de sensor tiene detección directa con el objeto, ya sean estos de tamaño pequeño, por consiguiente, tienen poco alcance. (Sentronic, n.d.)

2.8. Termopar

El termopar es un transductor (Figura 7) muy utilizado industrialmente, se conforma con dos alambres de diferente material unidos en un extremo. Al aplicar una temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, que va en el orden de los milivoltios el cual aumenta en forma casi lineal con la temperatura (ARIAN, n.d.).

Figura 7

Sensor termopar



Nota: En la imagen se puede observar un termopar de dos hilos, o también llamados termocuplas. (Ebchq, n.d.)

2.9. RTD

La RTD (Figura 8) son sensores también conocidos como detectores resistivos de temperatura, constituyen de un metal generalmente de platino, funciona cuando la

temperatura aumenta o disminuye es decir la resistencia cambia respectivamente (Mantilla, 2000).

Figura 8

Sensor de temperatura RTD



Nota: En la imagen se indica una RTD de dos hilos, el sensor esta recubierto para permitir el paso de temperatura. (Naylamp, n.d.)

2.10. Encoder incremental

El encoder incremental TRD - S360BD es un transductor rotativo (Figura 9) que proporciona un número determinado de pulsos que se encuentran equitativamente espaciados por revolución (PPR) o por pulgada o milímetro de movimiento, el cual es lineal y puede ser leído por un microcontrolador, además se maneja un solo canal de salida para aplicaciones donde el sentido de la dirección de movimiento no es significativo (unidireccional), el canal Z provee la posición absoluta de cero del eje del encoder (Panchi & Herrera, 2015).

Figura 9

Encoder incremental



Nota: Encoder incremental rotativo TRD-S360BD, este tipo de dispositivo se lo puede colocar sobre el motor. (AutomationDirect, n.d.)

2.11. Pantalla táctil Nextion

La pantalla TFT es un panel táctil de la familia denominada como Nextion (Figura 10), una de las particularidades es que la interfaz gráfica se carga en la memoria de la misma pantalla y no en la micro que controla el sistema, además usa una UART para comunicarse, por tanto, solo utiliza dos cables (TX, RX) para la comunicación y los otros dos para la alimentación, lo que facilita el cableado (Gómez, 2017).

Figura 10

Pantalla táctil Nextion



Nota: Está diseñada para interactuar de manera más intuitiva con los usuarios.

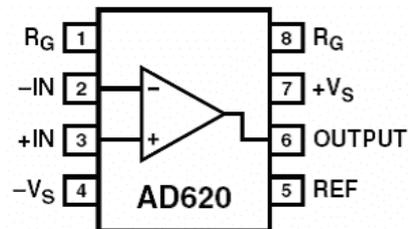
(Bigtrónica, n.d.)

2.12. Amplificador de instrumentación

Es un amplificador diferencial (Figura 11) cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y ha sido perfeccionado para que funcione de acuerdo a su propia especificación aún en un ambiente hostil, solo utiliza una resistencia externa la cual sirve para definir la ganancia que puede ir de 1 hasta 1000 (Drake, 2005).

Figura 11

Amplificador de instrumentación ad620



Nota: En la imagen se puede observar la configuración de pines en el amplificador operacional AD620. (Medina & Cortes, 2007)

2.13. Amplificador Operacional

Es un dispositivo compacto, lineal y con una alta ganancia por lo que se alimenta con fuente positiva y negativa, un amplificador operacional está conformado por un circuito electrónico que tiene dos entradas y una salida, además se caracterizan por ser construido con componentes más genéricos. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor de ganancia (García, 2010).

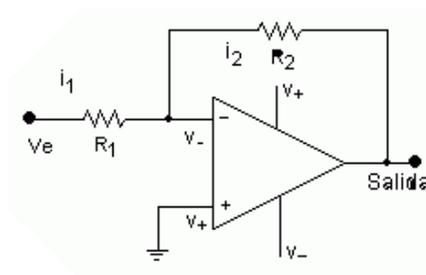
- **Amplificador inversor**

En este circuito, la entrada está conectada a la carga y la señal se aplica a la entrada, con realimentación desde la salida (Figura 12), el amplificador inversor amplifica e invierte una señal a 180° , por lo tanto, el valor del voltaje de salida está desfasado con

entrada y su valor se obtiene al multiplicar el voltaje de entrada por una ganancia fija, establecida por la relación entre R_2 y R_1 , resultando invertida esta señal (García, 2010).

Figura 12

Amplificador inversor



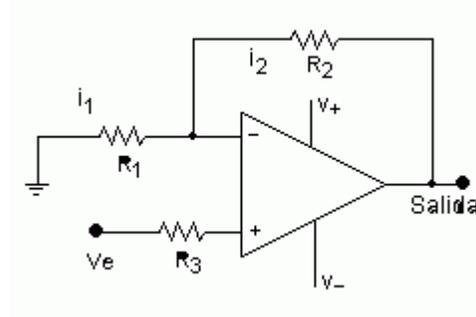
Nota: En la imagen se puede observar la configuración de los pines en el amplificador. (García, 2010)

- **Amplificador no inversor**

Para este caso la tensión de entrada, está en fase con la de salida, es así que la tensión de salida genera una corriente hacia el terminal inversor, a su vez a través de R_1 se genera una corriente, pero de signo contrario, por lo que las dos corrientes se anulan, reflejando en la salida la tensión de entrada amplificada (García, 2010).

Figura 13

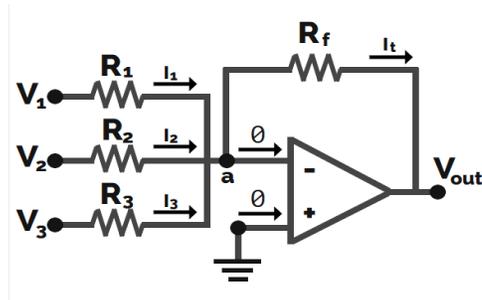
Amplificador no inversor



Nota: Configuración para un amplificador no inversor. (García, 2010)

- **Amplificador sumador inversor**

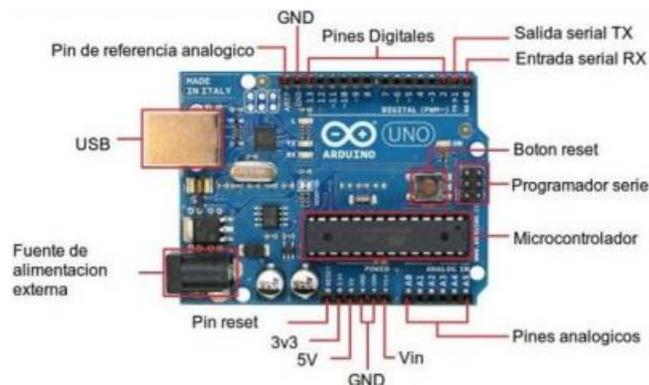
El sumador inversor (Figura 14), es uno de los circuitos más utilizados, la salida se obtiene sumando los voltajes de cada entrada y multiplicando por la ganancia constante, el número de entradas no es definido, permitiendo ampliarlo cuando así lo requiera (García, 2010).

Figura 14*Amplificador sumador inversor*

Nota: Este amplificador tiene una retroalimentación en el terminal negativo por el paso de una resistencia y la entrada no inversora está conectada a tierra. (MiElectrónicaFácil, 2020)

2.14. Arduino

Arduino es una placa que ofrece hardware y software libre (Figura 15), además constituye de un microcontrolador reprogramable y dispone de una serie de pines entrada/salidas digitales y de salidas analógicas, las cuales sirven para conectar de forma sencilla diferentes sensores y actuadores (Panchi & Herrera, 2015).

Figura 15*Tarjeta Arduino*

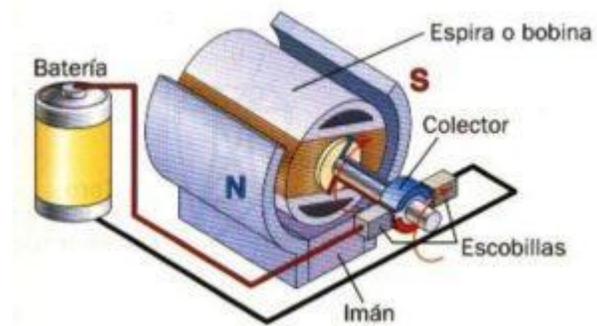
Nota: En la imagen se describe como está compuesta la placa Arduino. (Panchi & Herrera, 2015)

2.15. Motor DC

El motor eléctrico transforma la energía eléctrica en mecánica, mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas. Cuando la corriente pasa por la bobina se comporta como un imán es decir los polos se rechazan o se atraen; al dar media vuelta el paso de corriente se interrumpe y la bobina deja de comportarse como un imán, pero por inercia se sigue moviendo hasta que da otra media vuelta, esto permite que el motor rote constantemente ya que el ciclo se repite, además son de los más comunes y económicos (Patiño, 2018).

Figura 16

Partes de un motor DC



Nota: En la figura se indica las partes que conforman un motor de corriente continua.

(Motorex, 2020)

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

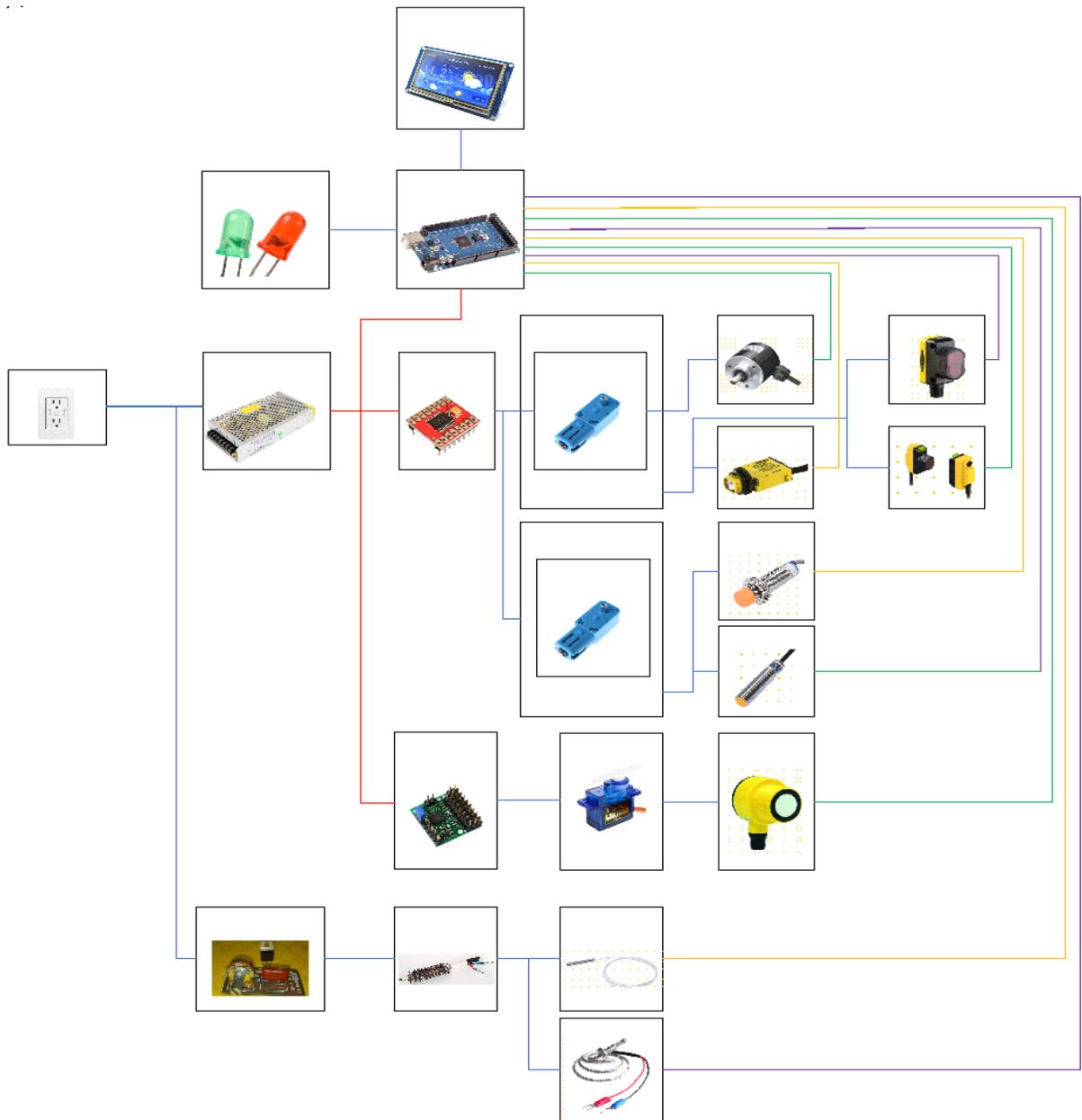
En este capítulo se presenta el diseño e implementación del módulo didáctico de sensores industriales, así como el acondicionamiento de señales, la elaboración de la estructura, y la programación del sistema embebido.

3.1. Representación gráfica del módulo didáctico

Es importante identificar los dispositivos a emplearse en el diseño del módulo didáctico, por esta razón se describe en la Figura 17 un diagrama general de la distribución de los sensores industriales, sistema embebido y pantalla TFT.

Figura 17

Representación gráfica general del módulo didáctico



3.2. Diseño y elaboración de la estructura del módulo didáctico

El diseño fue elaborado en el software SolidWorks con las medidas indicadas en la Figura 18, en la parte interna del módulo didáctico se encuentra una estructura metálica que sirve de soporte para los diferentes componentes (Figura 19), la parte externa es cubierta por una plancha de tol negro de 1.5mm de espesor, el mismo que fue pintado a presión de color gris (Figura 20).

Los materiales ubicados en la parte externa de la estructura son:

- Pantalla TFT Nextion NX8048T070 de 7 pulgadas
- Sensor retroreflectivo SME312LPC
- Sensor de barrera QS18VP6R (receptor)
- Sensor de barrera QS186E (emisor)
- Sensor difuso QS30LDL
- Sensor ultrasónico T30UIPAQ
- Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BY
- Sensor capacitivo LJC18A3-B-Z/BX
- Termopar tipo K
- Pt100
- Encoder TRD-S30BD
- Banda
- Interruptor de 110V AC

- Potenciómetros
- Borneras de conexión

Los componentes de la estructura interna son:

- Arduino mega 2560
- Arduino nano 328P
- Placa electrónica
- Regulador de voltaje HX10B018
- Controlador de motores L298N
- Módulo MAX31865
- Módulo MAX6675
- Fuente de 12 Vdc, 20A.

Figura 18

Dimensiones de la estructura

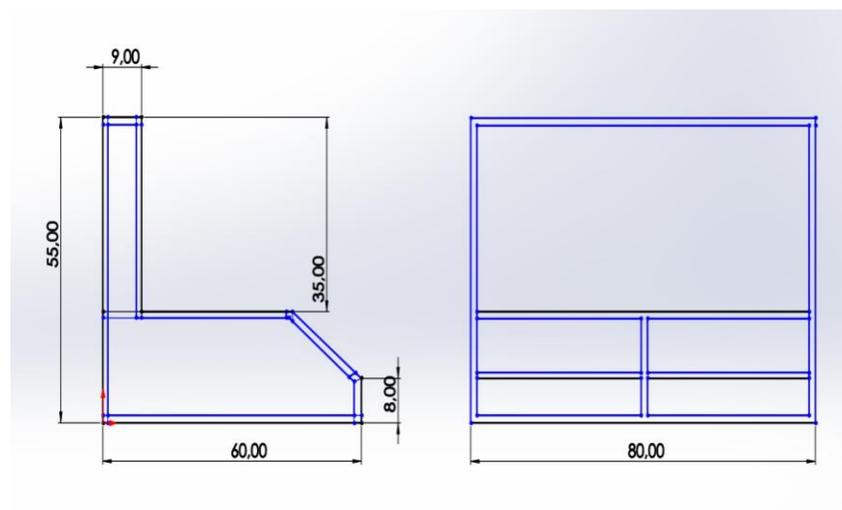


Figura 19

Estructura interna metálica

**Figura 20**

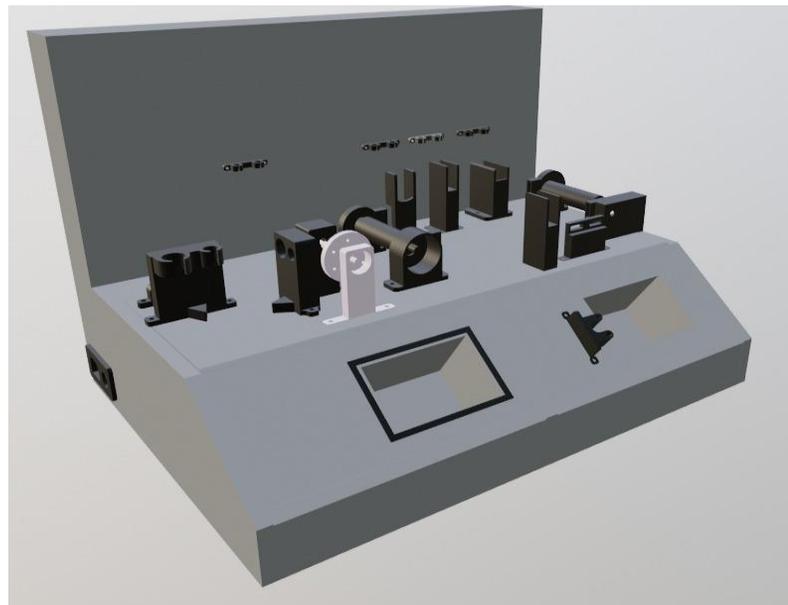
Construcción de la estructura



También se diseñó el prototipo 3D conformado por soportes para los sensores, banda transportadora, ruleta con distintos materiales desarrollados en SolidWorks, también se determina las secciones donde se ubicarán la pantalla TFT y el horno, como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Módulo didáctico prototipo 3D



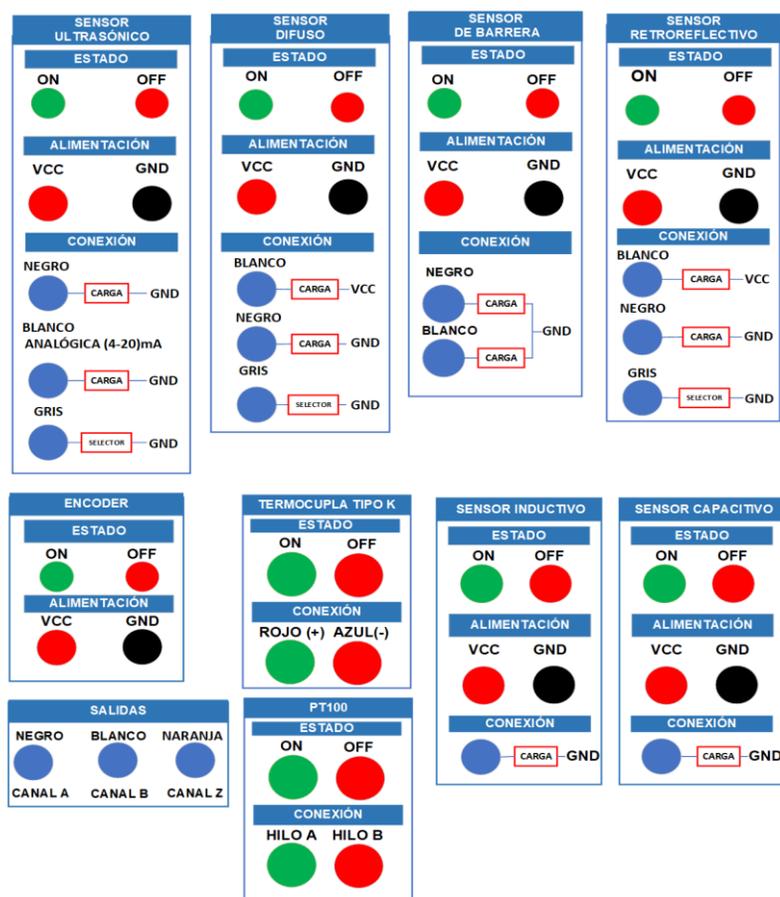
3.3. Diseño del panel frontal

Para el diseño del panel frontal se toma en consideración, los terminales de conexión de cada sensor y el uso de leds indicadores para verificar el estado de los

mismos. Las etiquetas (Figura 22) facilitan la identificación para la correcta polarización y adquisición de señales de cada grupo de sensores implementados en el módulo didáctico.

Figura 22

Etiquetas de conexión para cada sensor



3.4. Diseño electrónico de la placa

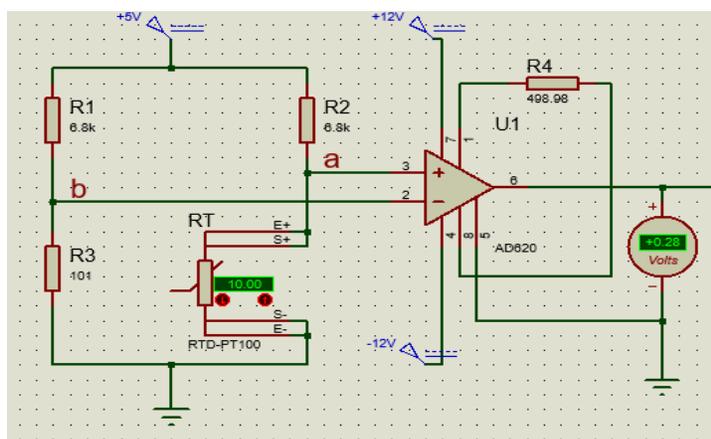
El diseño de la placa electrónica fue elaborado en el software Proteus para la adquisición de señales analógicas y digitales de cada sensor; en el caso de las señales

En primer lugar, se debe establecer el rango de medición del sensor, para este caso se determinó de $10 - 100^{\circ}\text{C}$, por consiguiente, y de acuerdo con la hoja característica de la RTD (pt100) se obtienen los valores de resistencia de 103.90Ω y 138.50Ω respectivamente.

Luego se hace uso del puente de Wheatstone que permite convertir la variación resistiva del sensor en voltaje a través de la diferencia de potencial entre el nodo a y b. También se implementa un amplificador de instrumentación AD620 como se muestra en la Figura 24, el cual sirve para obtener y amplificar la diferencia de potencial.

Figura 24

Puente de Wheatstone y AD620



Para determinar los valores de las resistencias R_1 , R_2 , y R_3 el puente debe estar equilibrado por lo que:

$$R_{T(10^{\circ}\text{C})} = R_3$$

$$R_1 = R_2$$

Entonces se establece que R_1 y R_2 es de $6.8k\Omega$ debido a que la corriente máxima de activación del sensor no debe superar el $1mA$ recomendado por el fabricante, por lo tanto, con el valor de $6.8k\Omega$ se obtiene:

$$I_{activacion\ del\ sensor} = I_{rama\ a} = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_{T(10^\circ C)}}$$

$$I_{activacion\ del\ sensor} = I_{rama\ a} = \frac{5}{6.8k\Omega + 103.90\Omega}$$

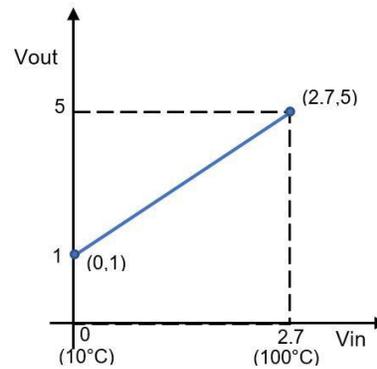
$$I_{activacion\ del\ sensor} = I_{rama\ a} = 0.72\ mA$$

Entonces se muestra que la corriente de activación del sensor y en la rama a es de $0.72\ mA$ suficientes para que el sensor trabaje de manera óptima.

Ahora bien, es necesario realizar el acondicionamiento de la señal obtenida a un nivel de voltaje estándar de 1 – 5 voltios mediante un amplificador operacional 741 con la finalidad de trabajar posteriormente en el microcontrolador, para ello se realiza la gráfica el voltaje de salida (V_{out}) con respecto al voltaje de entrada (V_{in}) (Figura 25).

Figura 25

Gráfica del V_{out} con respecto al V_{in} .



De la Figura 25, se obtiene la ecuación de la recta

$$(y - y_0) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_0)$$

$$(y - 1) = \frac{5 - 1}{2.7 - 0}(x - 0)$$

$$y = 1.48x + 1$$

Ecuación 1

Voltaje de salida respecto al voltaje de entrada, recta 1

Donde:

y = voltaje de salida

x = voltaje de entrada

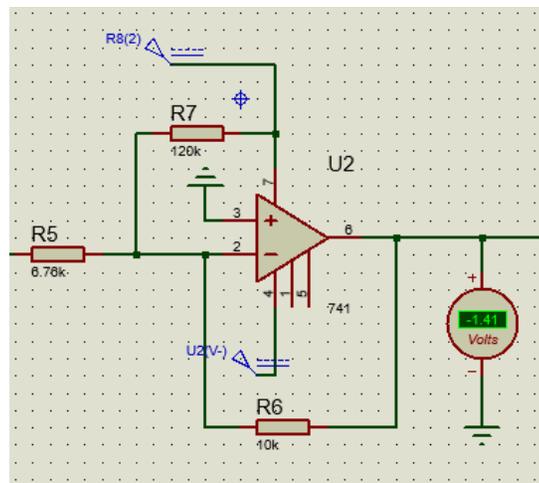
Para una mejor comprensión se cambian las variables:

$$V_o = AVin + B$$

Ahora se procede con el cálculo de las resistencias del amplificador no inversor para el acondicionamiento que se muestra en la Figura 26.

Figura 26

Diseño del amplificador no inversor



Se tiene entonces:

$$A = \frac{R6}{R5}$$

Se asume $R6 = 10K\Omega$ y se reemplaza el valor de $A = 1.48$ de acuerdo a la Ecuación 1.

$$R5 = \frac{10K\Omega}{1.48}$$

$$R5 = 6.76K\Omega$$

Para el valor de $R7$ se lo realiza de la siguiente manera:

$$B = \pm V_{CC} \frac{R6}{R7}$$

$$1 = 12V \frac{10K\Omega}{R7}$$

$$R7 = 120K\Omega$$

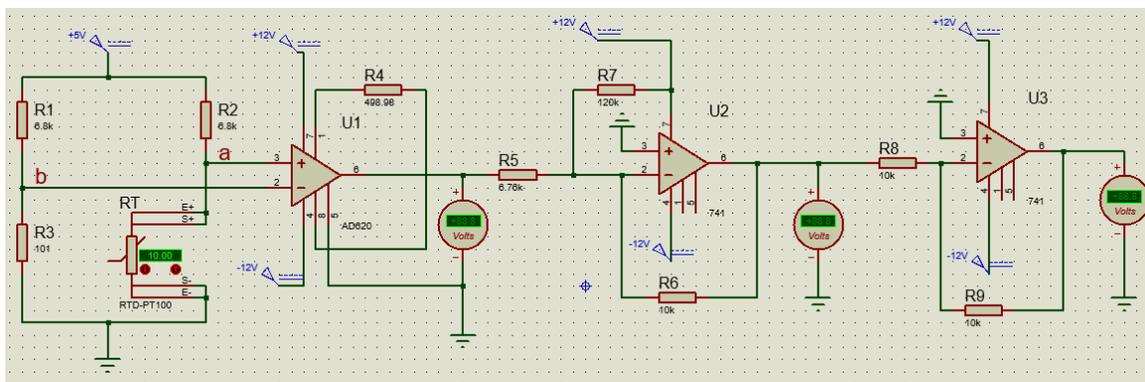
Se debe tomar en cuenta que de acuerdo al signo del término independiente B, en la fórmula si este es positivo se usa $+V_{CC}$ y si es negativo $-V_{CC}$. De igual manera la resistencia $R7$ se conecta al voltaje de polarización o a tierra respectivamente.

El voltaje obtenido con el uso del circuito operacional 741 es negativo, por lo tanto, se implementa un amplificador inversor, obteniendo finalmente la salida de 1 – 5 voltios.

Una vez realizadas las etapas de amplificación, puente Wheatstone y acondicionamiento, se obtiene el circuito electrónico como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Circuito electrónico del acondicionamiento de la PT100.



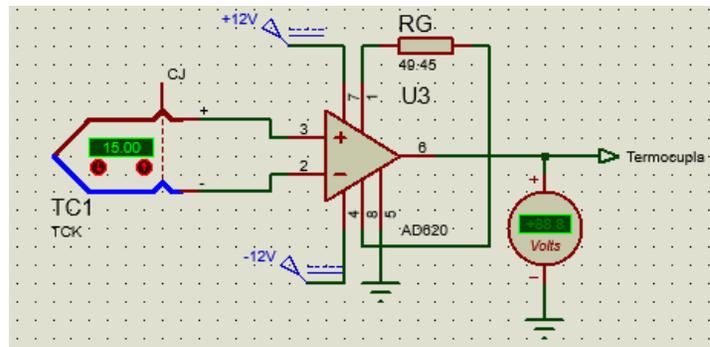
3.6. Acondicionamiento Termopar tipo K

El termopar es un transductor que convierte la temperatura de un cuerpo o fluido en la variación de voltaje a través de dos metales de distinto material unidos a un mismo punto denominado unión caliente. La unión fría es la que proporciona la variación de temperatura en el orden de los milivoltios, por lo tanto, se necesita una previa amplificación, compensación de la junta fría y acondicionamiento a una señal estándar de 1 – 5 voltios para trabajar con el microcontrolador.

En primer lugar, se debe amplificar el voltaje obtenido del termopar con el uso de un amplificador de instrumentación AD620 con una ganancia de 1000, para ello se debe calcular R_G que se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Amplificación de voltaje del Termopar



De acuerdo a la hoja característica del fabricante R_G se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{G - 1}$$

Reemplazando los valores se obtiene el siguiente resultado:

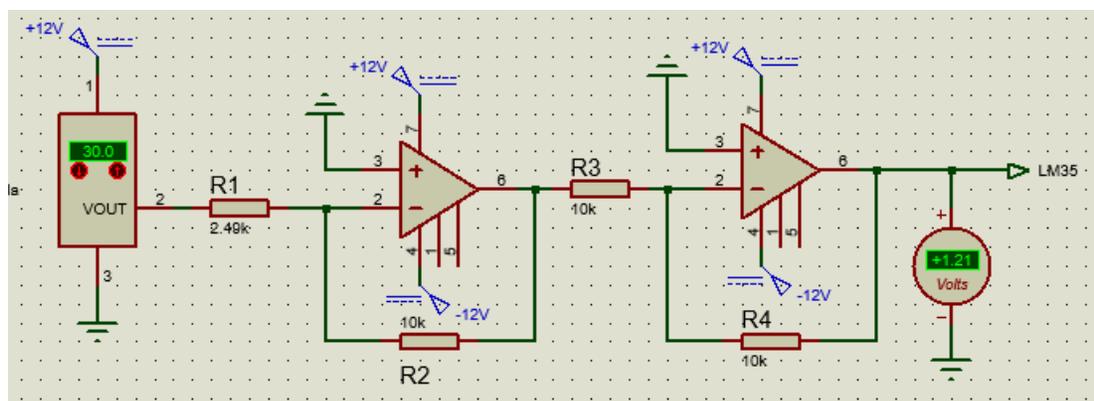
$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{1000 - 1}$$

$$R_G = 49.45\Omega$$

Posteriormente se usa el sensor LM35 previamente acondicionado a los valores del termopar (Figura 29) para compensar la incidencia de la temperatura ambiente en la medición, es decir se realiza la compensación de la junta fría.

Figura 29

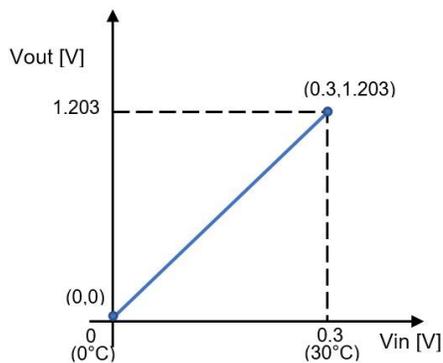
Diseño de compensación con un sensor LM35



Para realizar dicha compensación se acondiciona la señal de salida del sensor LM35 a los valores que entrega el termopar de acuerdo a los datos de variación de voltaje que proporciona el fabricante en un rango de 0 – 30° centígrados de temperatura ambiente, en la Figura 30 se representa el voltaje de salida (V_{out}) con respecto al voltaje de entrada (V_{in}) para el acondicionamiento.

Figura 30

Gráfica del V_{out} con respecto al V_{in} .



Se obtiene la ecuación de la recta:

$$(y - y_0) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_0)$$

$$(y - 0) = \frac{1.203V - 0}{0.3V - 0} (x - 0)$$

$$y = 4.01x$$

Ecuación 2

Voltaje de salida respecto al voltaje de entrada, recta 2

Para una mejor comprensión se cambian las variables:

$$V_o = AV_{in} + B$$

En base a la Ecuación 2 y la configuración del amplificador operacional, se obtiene:

$$A = \frac{R2}{R1}$$

Se asume $R2 = 10K\Omega$

$$R1 = \frac{10K\Omega}{4.01}$$

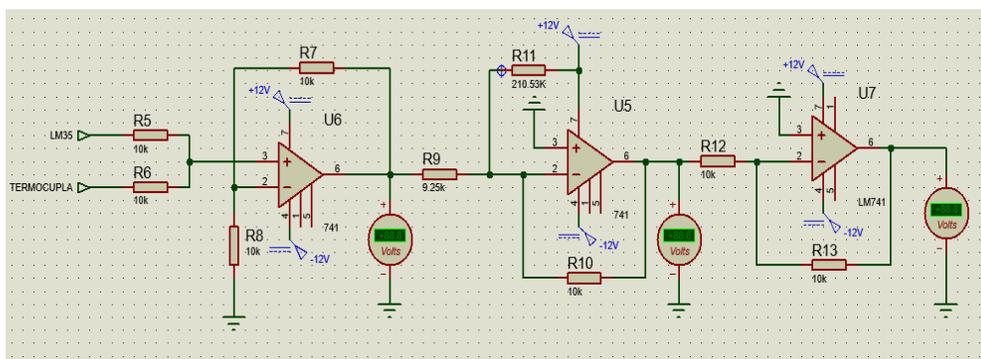
$$R1 = 2.49K\Omega$$

Debido a que a la salida del acondicionamiento se obtiene un voltaje negativo se hace uso se implementa un amplificador inversor para cambiar el signo de la señal a la salida.

Seguidamente, se realiza la suma de voltajes respecto al LM35 y al termopar, y el resultante es acondicionado a valores de 1 – 5 voltios, de igual manera a través de un amplificador operacional se realiza la inversión del voltaje negativo para su posterior uso en un microcontrolador, como se indica en la Figura 31.

Figura 31

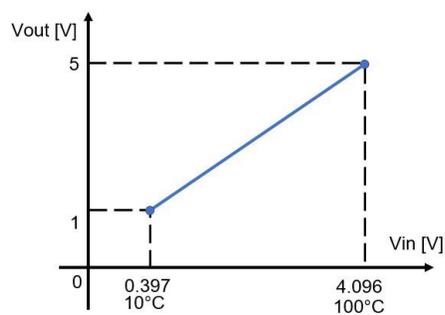
Diseño del amplificador operacional sumador no inversor



Así mismo, se realiza la gráfica del voltaje de salida (V_{out}) con respecto al voltaje de entrada (V_{in}) para el acondicionamiento (Figura 32) y se procede con los cálculos respectivos.

Figura 32

Gráfica del V_{out} con respecto al V_{in} .



Se calcula la ecuación de la recta:

$$(y - y_0) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_0)$$

$$(y - 0) = \frac{5V - 1V}{4.096V - 0.397V} (x - 0)$$

$$y = 1.081x + 0.571$$

Ecuación 3

Voltaje de salida respecto al voltaje de entrada, recta 3

Para una mejor comprensión se cambian las variables:

$$V_o = AV_{in} + B$$

En base a la ecuación de la recta y la configuración del amplificador operacional, se obtiene:

$$A = \frac{R_{10}}{R_9}$$

Se asume $R_{10} = 10K\Omega$

$$R_9 = \frac{10K\Omega}{1.081}$$

$$R_9 = 9.25K\Omega$$

Para el valor de R_{11} se utiliza la siguiente ecuación:

$$B = \pm V_{CC} \frac{R_{10}}{R_{11}}$$

$$0.571 = 12$$

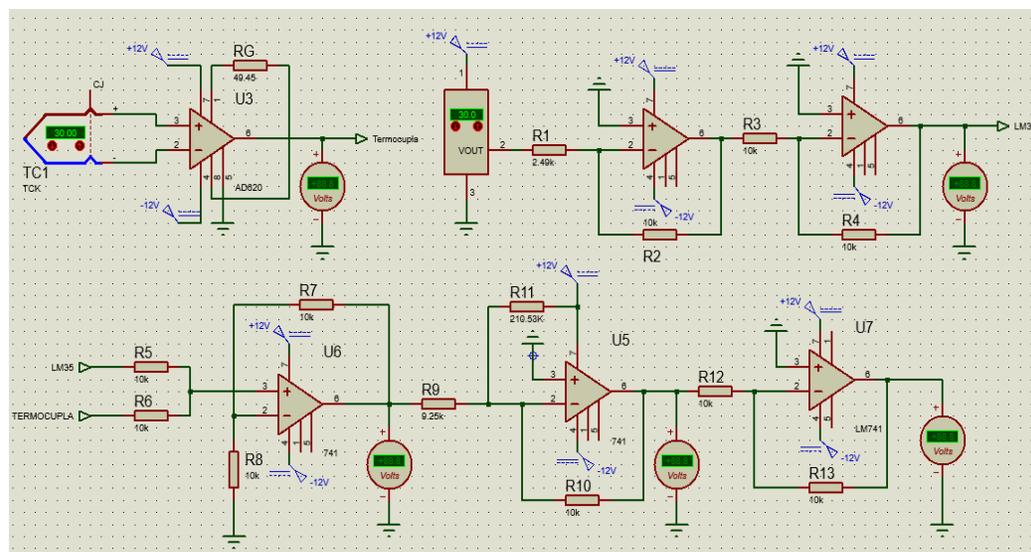
$$V \frac{10K\Omega}{R_{11}}$$

$$R_{11} = 210.53K\Omega$$

Finalmente, una vez realizadas las etapas de amplificación, compensación de junta fría, y acondicionamiento a un voltaje estándar se obtiene el diagrama de conexión que se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Diseño del acondicionamiento de un termopar tipo K



3.7. Diseño del HMI

La interfaz gráfica desarrollada en la pantalla Nextion se diseñó de tal manera que sea intuitiva y amigable con el usuario, es decir se busca facilitar la interacción entre el estudiante y el módulo didáctico.

La pantalla Nextion permite utilizar varios componentes como botones, deslizadores, textos, imágenes, entre otros, para crear páginas que cumplan con la función de proporcionar información acerca de las principales características de los sensores, sean estos discretos o analógicos e interactuar con los actuadores que conforman el módulo.

3.7.1. Pantalla principal

En la pantalla inicial, para acceder al funcionamiento del módulo se debe ingresar un usuario y contraseña establecida por programación en el evento del botón ingresar, como se observa en la Figura 34.

Figura 34

Pantalla inicial en Nextion



3.7.2. Menú de selección de sensores

En esta página (Figura 35) se da al usuario la opción de elegir el grupo de sensores para verificar su funcionamiento y proporcionar las características principales de cada uno de ellos.

Figura 35

Página de selección de sensores



3.7.3. Página de sensores discretos

En este sub menú se presentan los sensores inductivos, capacitivo, retroreflectivo, barrera, ultrasónico y difuso como se observa en la Figura 36, además cada sensor dispone de una página propia en donde se presenta las características del mismo, el modo de conexión y su estado (Figura 37), finalmente se dispone de un botón regresar en el caso que así lo requiera.

Figura 36

Sub menú de sensores discretos



Figura 37

Sensor fotoeléctrico de barrera

The screenshot shows the Nexion Editor software interface. The main window displays the characteristics and connection diagram of a photoelectric barrier sensor. The left panel, titled "CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE BARRERA", lists the following characteristics:

- El emisor y el receptor se encuentran por separado.
- Deben posicionarse opuestos entre sí para que la luz del emisor incida sobre el receptor
- Este tipo de sensor se utiliza para objetos no transparentes, o reflectantes, ya que emite un alto nivel de energía óptica.

The right panel, titled "DIAGRAMA DE CONEXIÓN", shows the connection diagram. The sensor has four wires: Marrón (Brown), Azul (Blue), Negro (Black), and Blanco (White). The Marrón wire is connected to the positive terminal (+) of a 10-30V dc power source. The Azul wire is connected to the negative terminal (-). The Negro and Blanco wires are connected to a load (CARGA). The sensor's state is shown as "Desactivado" (Deactivated).

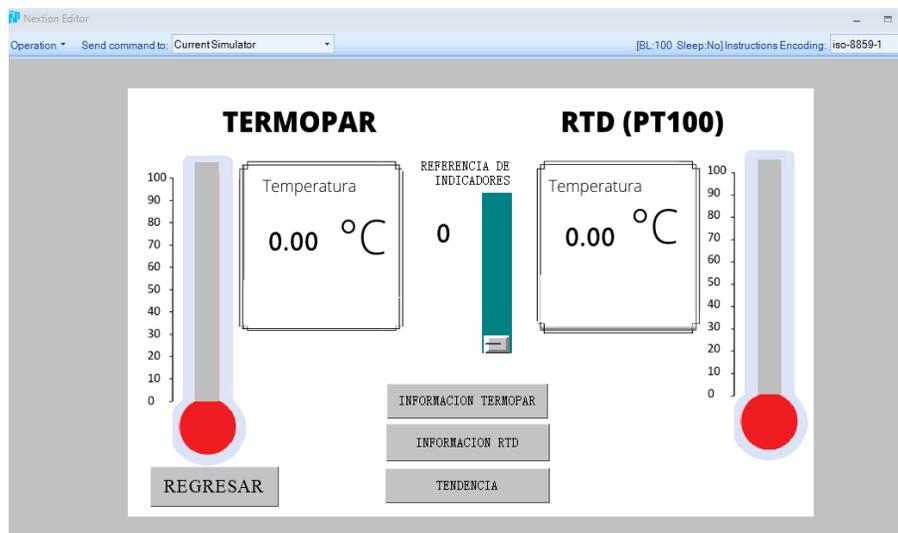
Below the connection diagram, the sensor's state is shown as "Desactivado" (Deactivated) with a red circle indicating the sensor's status.

3.7.4. Sensores de temperatura

En esta página (Figura 38) se puede verificar la temperatura que proporciona la RTD y el termopar, además existe botones que brindan información sobre las mismas, y también una barra deslizadora para determinar un valor de referencia para los indicadores de temperatura.

Figura 38

Página de la RTD y termopar



3.7.5. Sensor Ultrasónico

En esta página (Figura 39) se presenta la información del sensor, la conexión y una barra deslizadora para manejar el nivel a través de un mecanismo accionado por un servomotor.

Figura 39

Página del sensor ultrasónico

The screenshot shows a web page titled "CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR ULTRASONICO" with the following text:

- Se basa en la emisión de ondas sonoras hacia superficies reflectantes y la recepción del eco de dichas ondas en un receptor.
- La medición es obtenida a través del tiempo que se demoran las ondas en ser captadas por el receptor y la velocidad del sonido en la superficie.
- Dispone de una salida analógica de escala automática normalizada de 4 – 20mA y una salida discreta utilizada generalmente para el control de bombas; dichas salidas son programadas a la par o de manera independiente a través de botones proporcionando flexibilidad para diferentes aplicaciones

Below the text is a button labeled "REGRESAR".

The "DIAGRAMA DE CONEXIÓN" section shows a wiring diagram with the following labels: Azul, Marrón, Blanco, Negro, Gris, Análogo, Digital, 12-24V, and Enseñanza remota.

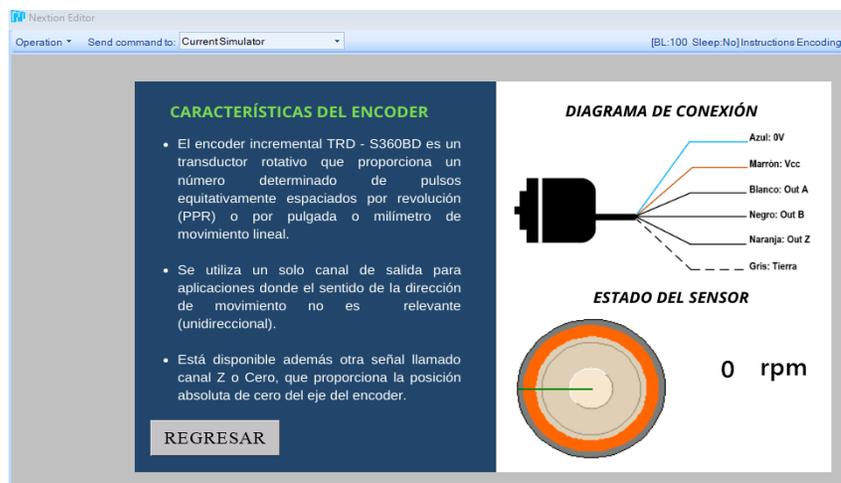
The "ESTADO DEL SENSOR" section displays "0 % 0.0 cm" and a green progress bar.

3.7.6. Encoder

En esta última página (Figura 40) se indica las características principales del encoder, el diagrama de conexión y también las revoluciones del mismo así como su rotación.

Figura 40

Página de funcionamiento del encoder



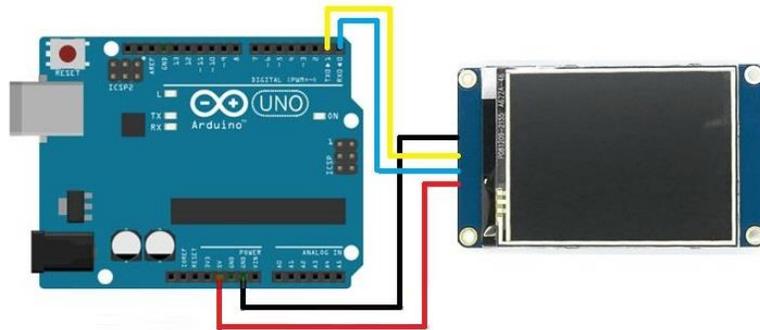
3.7.7. Cargar el HMI a la pantalla Nextion

Una vez concluido el diseño se procede a cargar el HMI a la pantalla Nextion para lo cual se conecta los terminales de alimentación a una fuente de 5V, y los terminales de Tx y Rx a los pines de Tx y Rx del microcontrolador Arduino respectivamente (Figura 41), después se procede a la compilación del programa (Figura 42), por consiguiente se carga el programa (Figura 43) seleccionando el puerto al que esté conectado Arduino (Figura 44) y finalmente se espera que el programa se suba por completo (Figura 45).

Se debe tener en cuenta que las variables de los objetos de la pantalla Nextion deben ser declarados como locales si estos se van a enviar hacia Arduino y globales si se van a recibir.

Figura 41

Conexión de la pantalla a Arduino



Nota: En la figura se indica el modo de conexión entre Arduino y la pantalla Nextion.

(Makerspace, n.d.)

Figura 42

Compilación del HMI en Nextion

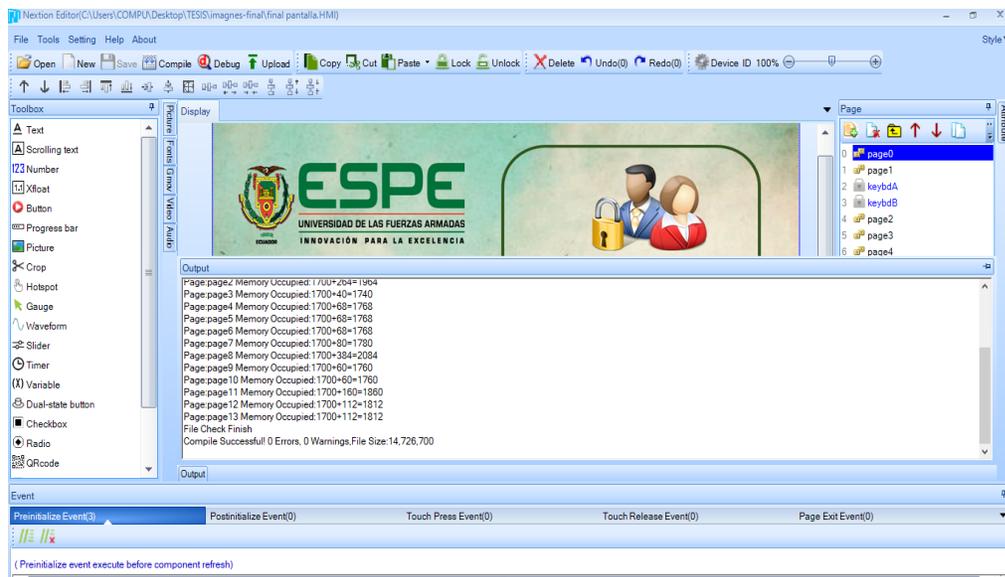


Figura 43

Cargar el HMI



Figura 44

Elegir el puerto de comunicación

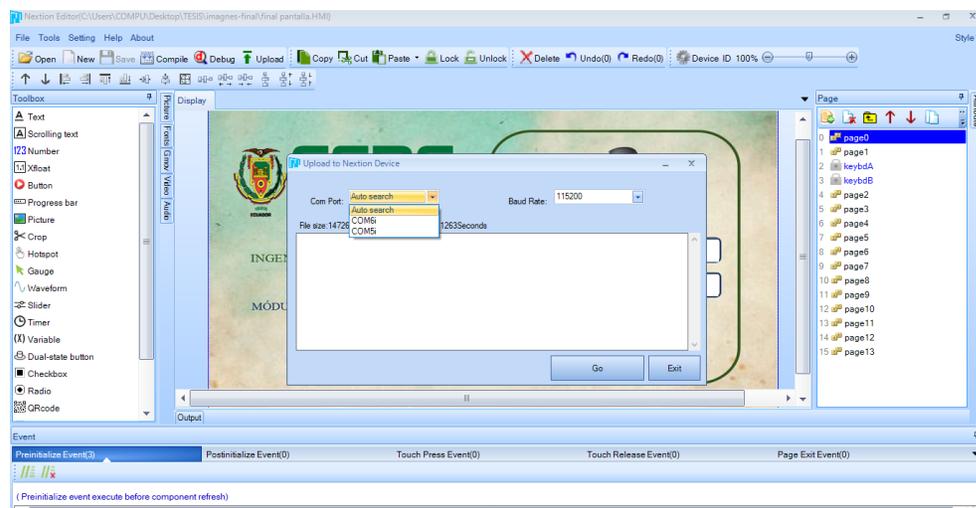
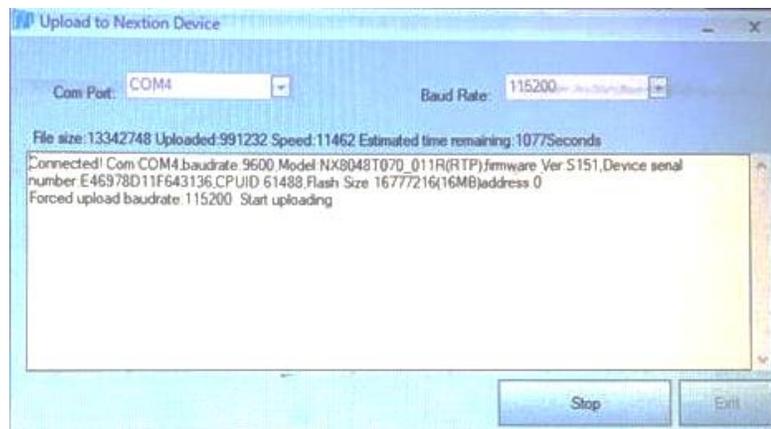


Figura 45

HMI cargado en la pantalla Nextion



3.8. Programación Arduino y pantalla Nextion

Para la etapa de programación se debe considerar que cada sensor envíe datos mientras se encuentre en la página que le corresponde, se proporciona al usuario la capacidad de manipular uno por uno los sensores industriales y a su vez visualizar el estado de manera física y en el HMI.

3.8.1. Comunicación Arduino - Pantalla Nextion

Para realizar la comunicación entre la tarjeta Arduino y la pantalla táctil Nextion es necesario hacer uso de la comunicación serial nativa entre ambos dispositivos, en donde se debe analizar las tramas enviadas y recibidas por la pantalla. Todos los comandos

manejados por la pantalla terminan con tres bytes de 0xFF 0xFF 0xFF es decir en código hexadecimal (0xFF) para el envío de la trama.

Toda la comunicación serial es a través de caracteres o de tramas por eso se define una variable tipo char con un vector en el código de Arduino.

3.8.2. Lectura de entradas discretas

Los componentes en Nextion tienen su ID y el número de página al que corresponden, esta información permite en la programación de Arduino acceder a cada elemento y vincular la información obtenida con las entradas y salidas del microcontrolador.

3.8.3. Lectura de señales analógicas

Las entradas analógicas se utilizan para la lectura de la señal entregada por el sensor ultrasónico y los potenciómetros que se encuentran en la parte externa del módulo, el primer potenciómetro sirve para habilitar el motor 1 que gira la ruleta con distintos materiales, el segundo da movilidad al motor 2 el cual acciona la banda transportadora.

3.8.4. Sensores de temperatura en Arduino

Para obtener el dato de temperatura de los sensores RTD y el termopar se utiliza módulos dedicados para el acondicionamiento de dichas señales, para ello se debe descargar la librería específica y hacer uso de las funciones que proporcionan para la obtención de datos.

3.8.5. Indicadores del panel frontal

Para visualizar el estado de los sensores implementados en el módulo didáctico se realiza la activación de leds, en el caso de los sensores discretos al sensar un objeto, para el sensor ultrasónico cuando el nivel excede o se encuentra bajo los 6cm de altura, el encoder activa o desactiva los leds cuando el motor se encuentra detenido o en movimiento y finalmente para los sensores de temperatura cuando se cumpla la condición con el valor de referencia determinado por el usuario.

3.9. Configuración sensor retroreflectivo SME312LPC

Para realizar la configuración del sensor se debe realizar los siguientes pasos:

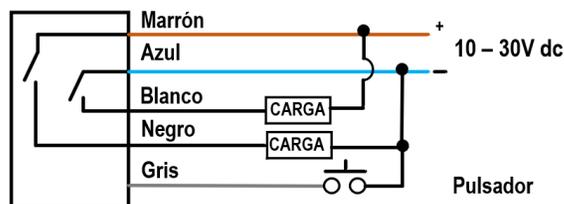
1. Ingresar al modo de enseñanza presionando alrededor de 4 segundos el botón de este sensor que posee dos leds uno amarillo y uno bicolor (rojo/verde), el led rojo se apagará o parpadeará y el led amarillo se encenderá.

2. Seleccionar la condición de salida ON/OFF para cuando se detecte un material, por lo tanto, presionar una vez el botón y el led amarillo parpadeará, y posteriormente los dos leds se apagarán.

En la Figura 46 se indica el tipo de conexión para dicho sensor, además el espejo que posee debe colocarse de manera vertical y alineado al sensor.

Figura 46

Conexión del sensor retroreflectivo



Nota: En la figura se observa la conexión con un pulsador para el cable gris, con el fin de realizar un bloqueo de seguridad. (Banner, 2020)

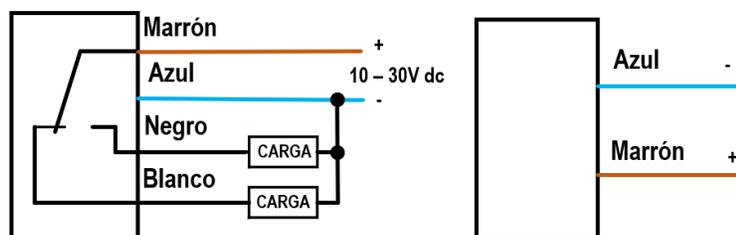
3.10. Configuración del sensor de barrera QS18VN6R

Para el caso de este sensor se dispone de un emisor (QS18SE) y un receptor (QS18VN6R) que se encuentran por separado, tiene configuración NPN o PNP según el modelo de sensor, en este caso es tipo PNP. Tanto el emisor como el receptor deben ser colocados fijamente y de manera vertical uno en frente de otro. Posee dos indicadores led

el verde fijo es cuando se encuentra encendido el sensor y el led amarillo se apagará cuando el objeto sea detectado. En la Figura 48 se puede observar el modo de conexión del sensor.

Figura 47

Conexión del sensor de barrera receptor y emisor



Nota: El emisor y el receptor se alimentan por separado con 12 voltios. (Banner, 2020)

3.11. Configuración del sensor difuso QS30LDL

Para ingresar al modo enseñanza del sensor difuso se debe seguir los siguientes pasos:

1. El sensor posee dos leds indicadores uno color verde y el otro amarillo, al momento de presionar el botón (-) alrededor de 4 segundos se activa el modo estático, el led verde se apagará y el led amarillo se encenderá.

2. Se coloca el objeto a detectarse e inmediatamente se vuelve a presionar una sola vez el mismo botón, el led verde se apagará y el amarillo también, mientras que en barra indicadora parpadearán el número 5 y 6.
3. Para que la salida sea OFF, se coloca el objeto que cumpla con esta condición y se presiona una sola vez el botón, el led verde se encenderá, y un led de la barra parpadeará (Tabla 1) para indicar el nivel de contraste con el objeto.

Tabla 1*Ventana de contrastes*

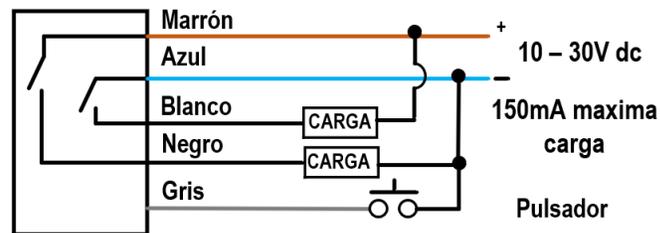
Led de gráfico de barras	Diferencia de señal relativa/recomendación
6 a 8	Excelente: funcionamiento muy estable
2 a 5	Bueno: las variables externas no afectarán en la detección.
2 a 3	Bajo: la detección de variables externas puede afectar en la detección.
1	Marginal: esquema de detección nulo

Nota: En la tabla se presenta la ventana de contraste para verificar su señal al momento de realizar un tipo de configuración. (Banner, 2020)

Se presenta en la Figura 48 el modo de conexión para el sensor difuso.

Figura 48

Conexión del sensor difuso



Nota: En la figura se observa la conexión con un pulsador para el cable gris, con el fin de realizar un bloqueo de seguridad. (Banner, 2020)

3.12. Configuración del sensor ultrasónico U-GAGE T30UIPAQ

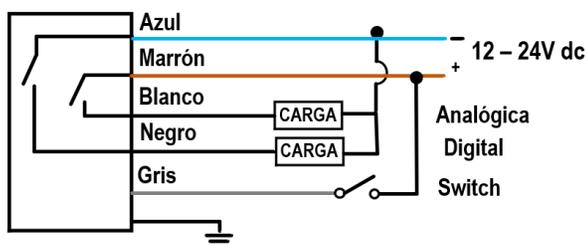
Para configurar los límites de salida ya sea analógica o discreta se debe seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar la salida para el primer punto (analógica o discreta) y mantener presionado el botón correspondiente hasta que el led verde se apague el cual corresponde a encendido y el led amarillo se encienda es decir el de salida.
2. Colocar el objeto para el primer límite inferior y se debe presionar el mismo botón, y el led amarillo parpadeará.
3. Ingresar el límite superior y presionar nuevamente el botón, el led amarillo se apagará y el led verde se encenderá, indicando que se culminó con la configuración.

Además, en la Figura 49 se puede observar el modo de conexión para el sensor ultrasónico.

Figura 49

Conexión para el sensor ultrasónico



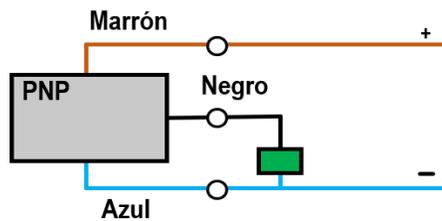
Nota: En la figura se observa el modo de conexión para una señal digital y una analógica en el sensor ultrasónico. (Banner, 2020)

3.13. Configuración del sensor capacitivo LJC18A3-B-Z/BX

El sensor capacitivo tiene configuración PNP (Figura 50), este componente incluye un potenciómetro lineal con el cual se ajusta la sensibilidad con respecto al material que se desee detectar, cuando el objeto sea detectado el led que dispone se encenderá. (Panchi & Herrera, 2015)

Figura 50

Conexión del sensor capacitivo



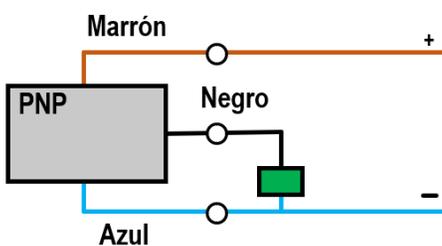
Nota: Configuración PNP. (Banner, 2020)

3.14. Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BY

El sensor inductivo tiene configuración PNP como se indica en la Figura 51, dispone de un solo led indicador el cual se activa al momento de detectar el objeto metálico y debe hacer contacto con el sensor.

Figura 51

Conexión del sensor inductivo



Nota: Configuración PNP. (Banner, 2020)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se presenta las pruebas y los resultados de funcionamiento del módulo didáctico de sensores industriales, para comprobar la correcta medición, así como también las gráficas de la variable de temperatura.

Con el objetivo de manipular cada uno de los sensores que conforman el módulo didáctico, se accede a la señal de salida únicamente con la selección de la página del HMI que le corresponda mediante la pantalla táctil.

4.1. Respuesta sensores discretos

Para verificar el correcto funcionamiento de los sensores industriales retroreflectivo, barrera y difuso, se realizó la detección de cubos de plástico de distintos colores como son: blanco, negro, rojo y azul, los cuales son colocados en la banda transportadora que se mueve a través de la acción de un motor mediante un potenciómetro, de igual manera se proporciona una ruleta de materiales: madera, acero, cobre, plástico, y cartón para la comprobación de funcionamiento de los sensores capacitivo e inductivo.

4.1.1. Sensor retroreflectivo

El sensor retroreflectivo detecta distintos materiales, en especial se utiliza en la industria para la detección de objetos transparentes, ya que emite luz infrarroja que incide en el espejo reflectante colocado en frente del sensor a una distancia máxima de 1m y retorna al receptor.

Está alimentando con 12 voltios, al momento de no existir algún tipo de material el led indicador del sensor permanecerá apagado y los leds de estado en el módulo funcionarán de acuerdo al funcionamiento del sensor, de igual manera sucederá en la pantalla TFT.

En la Figura 52 se muestran los resultados obtenidos sin la presencia de un objeto, mientras que en la Figura 53 en presencia de un objeto.

Figura 52

Salida sin objeto (a) Indicador panel (b) Indicador pantalla



(a)



(b)

Figura 53

Salida con objeto (a) Indicador panel (b) Indicador pantalla



(a)



(b)

4.1.2. Sensor de barrera

En el sensor de barrera el emisor y el receptor se encuentran por separados y deben ser ubicados de manera vertical y alineados entre sí, el emisor emite un haz de luz infrarroja que es captado por el receptor, la detección del objeto se realiza al momento que este interrumpe el haz de luz infrarroja. No es adecuado para objetos transparentes y tampoco para objetos altamente reflectantes, tienen un largo alcance de hasta 20 metros y se encuentra alimentado por 12 voltios, detecta distintos materiales.

En la Figura 54 se muestran los resultados obtenidos con la presencia de un cubo de color blanco el cual es altamente reflectante, es decir no detecta el objeto, por ende, el led rojo en el módulo permanecerá encendido, mientras que en la Figura 55 en presencia de un cubo de color negro de bajo contraste, el led de color verde se encenderá comprobando que el objeto fue detectado.

Figura 54

Salida objeto altamente reflectante (a) Indicador pantalla (b) Indicador panel



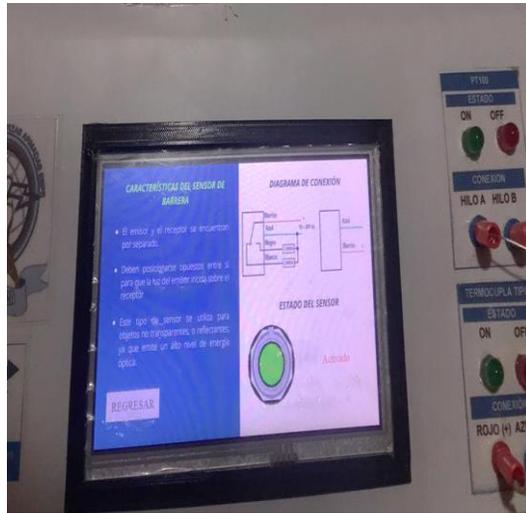
(a)



(b)

Figura 55

Salida objeto de bajo contraste (a) Indicador pantalla (b) Indicador panel



(a)



(b)

4.1.3. Sensor difuso

En el sensor difuso el emisor y receptor se encuentran en el mismo elemento por lo que es de fácil instalación al no depender de un receptor. La detección ocurre al momento que el objeto interrumpe el rayo láser que el sensor emite y este incide en la superficie del objeto retornando así una fracción del rayo de luz hacia al receptor, por esta razón no es recomendable para objetos que tengan áreas altamente reflectivas o sean transparentes, además tiene un corto alcance en comparación al sensor de barrera.

En la Figura 56 el sensor se encuentra en presencia de un cubo de color azul el cual no será sensado y por lo tanto el led de color rojo en el panel estará encendido, al

momento de colocar el cubo de color rojo, el led del panel y el del sensor se encenderán de la misma manera que en la pantalla Nextion (Figura 57).

Figura 56

Salida con un cubo de color azul



Figura 57

Salida con el cubo de color rojo



Nota. Se realizó la configuración estática de dos puntos para la detección del cubo de color rojo.

4.1.4. Sensor inductivo

Para la comprobación del funcionamiento con el sensor inductivo se utilizó una rueda con distintos materiales como son: madera, plástico, metal, bronce y cartón; este sensor emite un campo magnético por lo que solo detecta distintos materiales metálicos. Su distancia de detección es de 0.4 centímetros como máximo y esta alimentado a 12 voltios.

En la Tabla 2 se muestra la detección de los diferentes materiales para el sensor inductivo.

Tabla 2

Materiales de la ruleta giratoria

Material	Detecta	No detecta
Bronce	✓	
Cartón		✓
Metal	✓	
Plástico		✓
Madera		✓

4.1.5. Sensor Capacitivo

El sensor capacitivo detecta materiales metálicos y no metálicos. En la industria es utilizado para la detección materiales dieléctricos, la distancia mínima de detección es de 0.1 a 1 centímetro y está alimentado con un voltaje de 12 voltios. Para la verificación del funcionamiento se hace uso de la ruleta de distintos materiales ubicada en módulo.

En la Figura 58 se indica la detección de todos los materiales que conforman la ruleta a través del encendido de led de color verde (Tabla 3), de igual manera sucede en la pantalla TFT.

Tabla 3

Materiales de la ruleta que detecta el sensor capacitivo

Material	Detecta
Bronce	✓
Cartón	✓
Metal	✓
Plástico	✓
Madera	✓

Figura 58

Detección del sensor capacitivo



4.2. Sensor ultrasónico

En el sensor ultrasónico se verificó que al detectar la base de plástico en el límite inferior la corriente de salida sea de 4 miliamperios y en el límite superior se obtiene 20 miliamperios con la salida analógica, esta alimentado con 12 voltios y su rango de medida mínimo es de 15 centímetros.

En la programación de Arduino se estableció que el led verde del módulo se encienda cuando la base plástica supera los 6 centímetros (Figura 59) y se apaga cuando sea menor, esto se lo realiza con la manipulación de una barra deslizador en la pantalla Nextion y también en la misma se observa la altura a la que se encuentre la base (Figura 60).

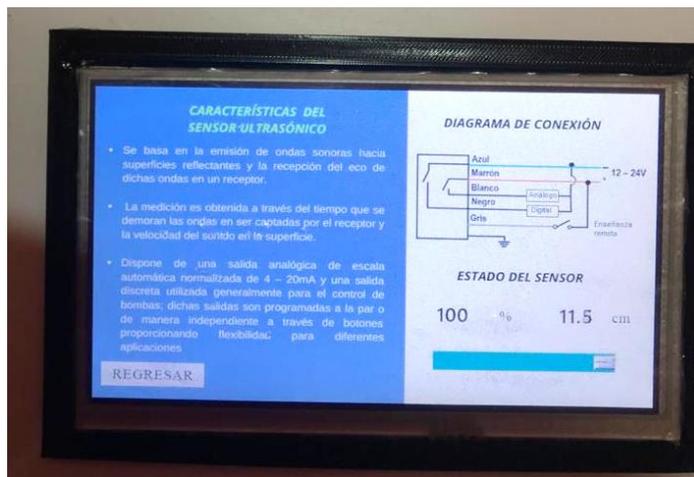
Figura 59

Estructura de medición para altura



Figura 60

Página de ejecución del sensor ultrasónico



4.3. Encoder

El encoder dispone de tres canales, en esta ocasión se hace uso de uno de ellos, el cual proporciona la velocidad en revoluciones por minuto (rpm). Por medio de la manipulación de un potenciómetro ubicado en el módulo didáctico se da movilidad a un motor de 12 voltios acoplado al encoder alimentado con 5 voltios.

En la Figura 61 se muestra que, al accionar el motor por medio del potenciómetro, el estado del led de encendido en el módulo se activará, mientras que en la pantalla Nextion se observa las rpm y la rotación del eje del motor (Figura 62).

Figura 61

Estado activado del encoder

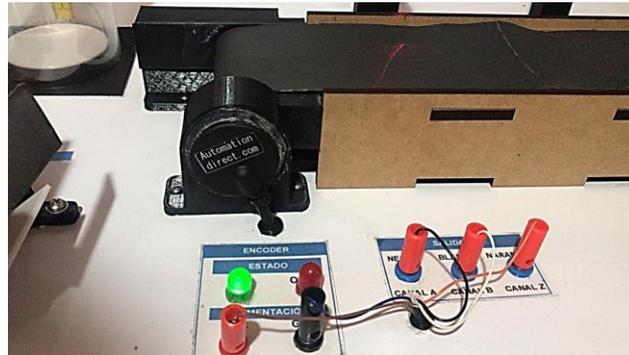


Figura 62

Página del encoder en Nextion



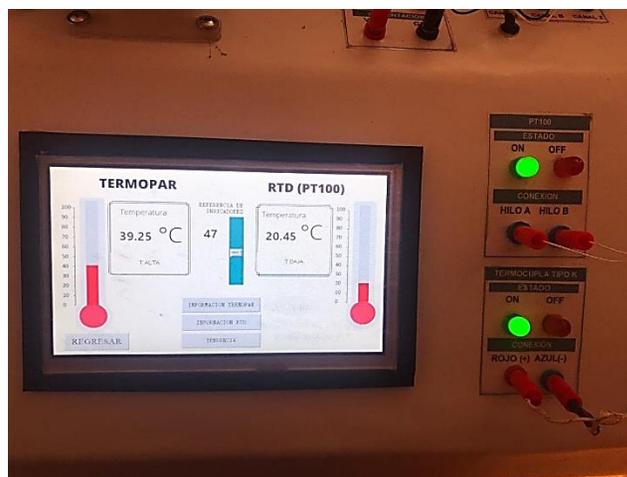
4.4. RTD y Termopar

Para verificar el funcionamiento de los sensores de temperatura, se utiliza un horno compuesto de una niquelina que permite variar la temperatura interna a través de un circuito de potencia. Dicha variación se logra con la acción de un potenciómetro ubicado en la parte externa del módulo.

En la Figura 63 se muestra los leds verdes encendidos en el panel del módulo debido a la referencia establecida por una barra deslizadora en la pantalla Nextion, una vez que uno de los dos sensores supere el valor colocado el led rojo se encenderá en el panel (Figura 64).

Figura 63

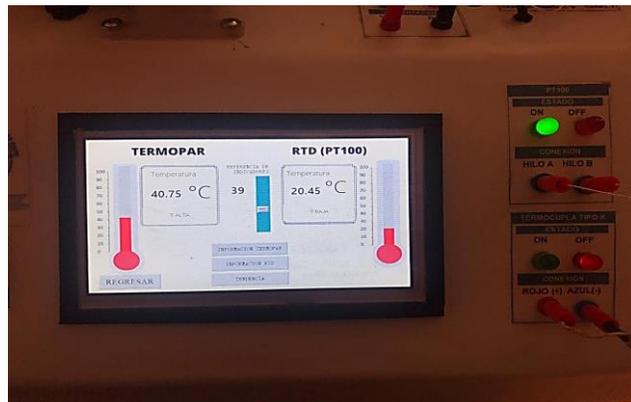
Valor de referencia para indicadores



Nota. La temperatura del termopar se elevó ya que se lo colocó en el horno ubicado en el módulo didáctico.

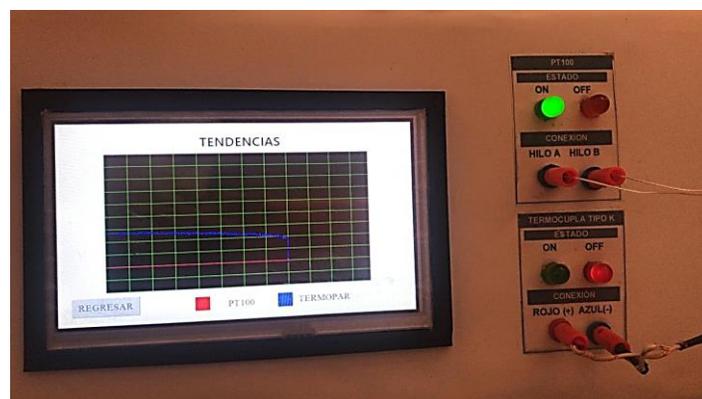
Figura 64

Termopar en estado OFF



Además, en la Figura 65 se puede apreciar las tendencias de la RTD y del termopar.

Figura 65 *Gráfica de tendencias de la pt100 y del termopar*



Nota. La línea de color azul hace referencia a la señal del termopar y la de color rojo a la pt100.

4.5. Alcances

- El módulo didáctico por medio de una pantalla táctil proporciona información relevante e indica el comportamiento de sensores industriales para facilitar la familiarización de los mismos a los estudiantes.
- La interfaz gráfica de la pantalla táctil permite la interacción de sensores industriales fotoeléctricos, capacitivo, inductivo, termopar, RTD y encoder de manera amigable e intuitiva ya que dispone de páginas para cada sensor.
- El módulo didáctico permite verificar el funcionamiento de cada sensor implementado a través de prácticas de laboratorio enfocadas al estudio de sensores industriales.

4.6. Limitaciones

- El rango de medición del sensor ultrasónico es de 15 centímetros mínimo y máximo 1 metro de distancia, de acuerdo a las características dadas por el fabricante, por esta razón la variación del mecanismo de nivel en la estructura es limitada.
- La banda transportadora solo soporta el peso de los materiales entregados con el módulo.

- La temperatura del horno llega hasta los 52° centígrados como máximo, debido a que la potencia disipada por la niquelina que calienta el horno es de 30 watts.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se realizó la investigación de distintos tipos de módulos didácticos enfocados al estudio de sensores industriales, determinando así que la aplicación de los mismos en prácticas de laboratorio genera resultados positivos en el aprendizaje de estudiantes de carreras afines.
- El módulo didáctico implementado permite la visualización local de las características y funcionamiento de sensores industriales a través del acondicionamiento y lectura de las señales que entregan al microcontrolador Arduino.
- Se validó el funcionamiento del módulo didáctico sometiendo a los sensores a diversas pruebas experimentales de acuerdo a su aplicación, y verificando que su comportamiento se vea reflejado en la interfaz gráfica implementada.
- Se realizó dos guías para el desarrollo de prácticas de laboratorio, enfocadas a sensores industriales las cuales permitirán ejecutar el funcionamiento del módulo de manera adecuada por los estudiantes.
- De todos los sensores fotoeléctricos implementados en el módulo didáctico el sensor retroreflectivo es el único capaz de detectar objetos de vidrio.
- El sensor inductivo únicamente detecta objetos metálicos, además tiene que estar lo suficientemente cerca al objeto para poder detectarlo.

- El sensor capacitivo detecta todo tipo de material, pero la distancia para la detección debe ser ajustada a través de un potenciómetro lineal que posee.

5.2. Recomendaciones

- Verificar que el sensor retroreflectivo y el sensor de barrera estén alineados para su correcto funcionamiento.
- Evitar colocar objetos pesados en la banda transportadora ya que el motor y la estructura están diseñados para mover los objetos entregados con el módulo.
- Es recomendable antes de comprobar el funcionamiento de cada uno de los sensores implementados en el módulo didáctico realizar la lectura de las principales características y tipo de conexión en la interfaz gráfica realizada en la pantalla nextion con el fin de optimizar el aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, E., & Méndez, P. (2016). *Diseño y construcción de módulos virtual de instrumentación industrial , de la carrera de ingeniería en mantenimiento eléctrico. I.*
- ARIAN. (n.d.). Que són y como funcionan las termocuplas. *Control & Automatizacion*, 1–10. <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- Automation, R. (2016). *Deteccion de presencia.*
- AutomationDirect. (n.d.). *TRD-S360-BD*. Retrieved September 2, 2020, from [https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/sensors_-z-_encoders/rotary_encoders/light_duty_incremental_encoders_\(quadrature\)/6mm_solid_shaft_npn_open_collector_\(trd-s_series\)/trd-s360-bd](https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/sensors_-z-_encoders/rotary_encoders/light_duty_incremental_encoders_(quadrature)/6mm_solid_shaft_npn_open_collector_(trd-s_series)/trd-s360-bd)
- Banner. (2020). *Sensores.* <https://www.bannerengineering.com/mx/es/products/sensors.html>
- Bigtrónica. (n.d.). *Pantalla Táctil LCD Nextion*. Retrieved September 2, 2020, from <https://www.bigtronica.com/poblado/display-lcd-tft-diodos-led/lcd/1310-pantalla-tactil-lcd-nextion-32.html>
- Contaval. (2017). *Sensores Inductivos de 3 hilos*. <https://www.contaval.es/sensores-inductivos-vdc-3-hilos/>
- Drake, J. M. (2005). *Tema III : El amplificador de instrumentación .* 1–19. https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_3.pdf
- Ebchq. (n.d.). *Automatizacion y control industrial*. Retrieved March 1, 2020, from <http://www.electricasbogota.com/detalles/temperatura/310-56100>

García, V. (2010). *Electrónica Práctica Aplicada*.

<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/el-amplificador-operacional>

Gómez, E. (2017). *Pantalla Nextion de Itead y Arduino*.

<https://www.rinconingenieril.es/pantalla-nextion-de-itead-y-arduino/>

Hernández, J., Ramos, G., & Castaño, J. (2002). *Electronica Industrial y Automatizacion* (Cekit).

infoPLC. (2013, May 16). *Sensores Fococelulas* . [https://www.infoplcn.net/archivo-de-noticias/tag/Sensores Fococelulas?start=120](https://www.infoplcn.net/archivo-de-noticias/tag/Sensores-Fococelulas?start=120)

Makerspace. (n.d.). *MVC Nextion – Introducción a Nextion Editor*. Retrieved October 8, 2020, from <https://zaragozmakerspace.com/index.php/lessons/mvc-nextion-introduccion-a-nextion-editor/>

Mantilla, A. (2000). *Programa computacional didáctico para sistemas de instrumentación: teoría, selección y diseño*.

Medina, F., & Cortes, J. (2007). *Diseño y construcción de un dispositivo para la medición del trastorno del movimiento en la mano - temblor*.

https://www.researchgate.net/figure/Figura-9-Configuracion-de-pines-del-AD620-Su-bajo-ruido-lo-hace-adecuado-para_fig6_26611756

MiElectrónicaFácil. (2020). *Amplificador sumador no inversor*.

<https://mielelectronicafacil.com/analogica/amplificador-sumador-inversor/#page-content>

Motorex. (2020). *Diferencias entre motores eléctricos de Corriente Continua y Corriente Alterna*. <http://www.motorex.com.pe/blog/cual-es-la-diferencia-entre-los-motores-electricos-ca-y-cc/>

- Naylamp. (n.d.). *Sensor de proximidad inductivo* . Retrieved March 1, 2020, from <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/403-sensor-de-proximidad-inductivo-lj18a3-5-zax-npn.html>
- Niño, Z., & Diaz, V. (2010). *Módulo didáctico para prácticas de laboratorio con detectores de proximidad para la asignatura instrumentación electrónica.*
- Panchi, S. F., & Herrera, W. P. (2015). *Diseño y construcción de un módulo didáctico de un sistema de automatización de llenado y envasado de sólidos, utilizando sensores fotoeléctricos, ultrasónicos, capacitivos, encoders, galgas extensiométricas y brazos robóticos, para el Laboratorio de Rede.*
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11327/1/AC-ESPEL-ENI-0361.pdf>
- Patiño, J. (2018). *Motores de Corriente Continua. Taller V*, 1–18.
- Pérez, D. (2009). Sistemas embebidos y sistemas operativos embebidos. *Lecturas En Ciencias de La Computación.*
https://www.researchgate.net/publication/304199530_Sistemas_Embebidos_y_Sistemas_Operativos_Embebidos
- Rubio, J. (2013). *Automatizacion, Sensores Inductivos.*
<https://www.seas.es/blog/automatizacion/sensores-inductivos/>
- Seco-Larm. (n.d.). *Sensor de Rayos Fotoeléctricos Reflectivo.* Retrieved March 1, 2020, from <http://www.seco-larm.com/es/E-931-S35RRQ>
- Sentronic. (n.d.). *Sensores Fotoeléctricos Estándar* . Retrieved March 1, 2020, from <https://www.sentronic.com.co/portal-360/sensores-fotoelectricos-estandar/>
- Vargas Guativa, J. A., González Gaona, N. J., & Isaza Domínguez, L. (2015). Unidad

modular para la ejecución de prácticas de instrumentación electrónica. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*, 16(32), 90.

<https://doi.org/10.21500/01247492.1672>

Velásquez, J. (n.d.). *Sensores en la Produccion*.

Wikifav. (2012). *WIKIFAV*.

http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Imagen:Sens_09473.png

Wilmshurst, T. (2003). *An Introduction to the Design of Small Scale Embedded Systems with examples from PIC, 80C51 and 68HC05/08 Microcontrollers*. Palgrave Foundations.

ANEXOS